

ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Е.С. Нестеров

Гидрометцентр России, Москва

Описываются характерные черты атмосферной циркуляции в регионе Северной Атлантики в последние 50–60 лет: рост индекса североатлантического колебания с середины 1960-х до начала 1990-х годов, сдвиг на восток центров действия атмосферы в Северной Атлантике в 1978–1997 гг., увеличение индекса восточноатлантического колебания после 1996 г., формирование взрывных циклонов в северо-восточной части Атлантического океана.

Введение

Природа океанической циркуляции, изучению которой посвящены наиболее известные работы П.С. Линейкина, тесно связана с циркуляцией атмосферы. В ранних работах П.С. Линейкина были выполнены теоретические исследования муссонной циркуляции, при этом основное внимание уделялось конвекции в атмосфере (*Линейкин, 1947, 1949*). На основе уравнений динамики и термодинамики воздушных потоков над неравномерно нагретой подстилающей поверхностью была получена структура воздушных потоков, выявлены особенности полей атмосферного давления и температуры воздуха, построены карты линий тока в атмосфере.

При изучении сезонной динамики течений в Северной Атлантике (*Линейкин, Кутало, 1974*) поле ветра задавалось таким образом, чтобы отразить основные черты крупномасштабной циркуляции атмосферы в регионе. Полученное решение нестационарной задачи позволило, в частности, оценить влияние ветра на сезонные изменения течений. В настоящей работе обобщаются результаты исследований особенностей циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой в последние десятилетия.

Крупномасштабная циркуляция атмосферы в регионе Северной Атлантики является важнейшим звеном глобальной циркуляции, от состояния кото-

рого существенно зависят погода и климат Европы. Для изучения причин изменчивости циркуляции в регионе используются гидродинамические модели атмосферы и статистический анализ различных параметров циркуляции.

К основным количественным характеристикам состояния атмосферы относятся индексы циркуляции, которые рассчитываются, в частности, по данным о геопотенциале Н700, Н500 или о приземном давлении (Смирнов и др., 1998; Barnston and Livezey, 1987). Для региона Северной Атлантики наибольший интерес представляют индексы: NAO – североатлантическое колебание; EA – восточноатлантическое колебание; EA/WR – колебание Восточная Атлантика – Западная Россия; SCA – скандинавское колебание; POL – колебание Полярная область – Евразия. В дальнейшем для обозначения североатлантического и восточноатлантического колебаний будем использовать сокращения САК (индекс NAO) и ВАК (индекс EA) соответственно.

Считается, что наибольшее влияние на погоду и климат Европы оказывает североатлантическое колебание. Оно выражено во все сезоны года и проявляется на масштабах от нескольких суток до нескольких столетий (Мохов и др., 2000; Полонский и др., 2004). В многочисленных работах показано влияние САК на основные гидрометеорологические поля в атлантико-европейском регионе (АЕР) (Бардин, Полонский, 2005; Нестеров, 2003; Попова, Шмакин, 2003). Корреляция зимних значений индекса NAO и аномалий температуры воздуха в северной Европе составляет 0.7–0.8 (Johansson et al., 1998).

Вместе с тем, в некоторых исследованиях указывается, что для описания изменчивости характеристик циркуляции в АЕР одного индекса NAO недостаточно. В работах (Franzke and Feldstein, 2005; Mailier et al., 2006; Rogers, 1997) показано, что для описания количества, интенсивности и траекторий циклонов в Северной Атлантике (шторм-трека) целесообразно привлечение индексов EA, EA/WR, SCA и POL.

Определение временных масштабов формирования основных колебаний циркуляции атмосферы является одной из актуальных проблем. В работах (Benedict et al., 2004; Feldstein, 2000) было получено, что некоторые колебания, в частности САК и PNA (колебание Тихий океан – Северная Америка), формируются на масштабах 7–10 суток, что делает необходимым учет процессов синоптического масштаба при изучении природы колебаний. В частности, поскольку формирование потоков тепла и влаги из океана в атмосферу происходит также на масштабе в несколько суток (Гулев и др., 1994; Alexander and Scott, 1997), то целесообразно оценить влияние теплообмена океана и атмосферы на атмосферную циркуляцию. В работах (Нестеров, 2003; Нестеров, 2009a; Intercomparison and validation of ocean-atmosphere energy flux fields, 2000) было показано, что это влияние может быть существенным.

В связи с процессами, связанными с глобальным потеплением, долгопериодная изменчивость крупномасштабной циркуляции атмосферы привлекает особое внимание исследователей. В данной статье рассматриваются некоторые характерные черты циркуляции атмосферы в АЕР в течение последних 50–60 лет.

Исходные данные

В работе использовались среднемесячные индексы NAO и EA за 1948–2009 гг. (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>) и суточный индекс NAO_d (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/history.shtml).

Выполненные в последние годы исследования по изучению влияния процессов взаимодействия океана и атмосферы синоптического и более крупных масштабов на циркуляцию атмосферы (Нестеров, 2009а; Ciasto and Thompson, 2004; Czaya and Frankignoul, 2002; Liu and Wu, 2004) показали, что в качестве источников возмущений для атмосферы необходимо рассматривать как потоки тепла на поверхности океана, так и характеристики распределения температуры поверхности океана (ТПО). Время приспособления атмосферы к аномалиям в потоках тепла на поверхности океана, взаимодействующих с аномалиями ТПО, составляет от нескольких дней до нескольких месяцев (Deser and Timlin, 1997; Ferreira and Frankignoul, 2005; Mosedale et al., 2005).

В качестве исходных данных для анализа изменчивости ТПО будем использовать коэффициенты при первой естественной ортогональной функции (КЕОФ) разложения поля ТПО в Северной Атлантике в области 10–70° с.ш., 0–80° з.д. (Deser and Timlin, 1997). В работах (Cassou and Terray, 2001; Friederichs and Hense, 2003; Peng et al., 2003) были выявлены связи между параметрами этого разложения и характеристиками циркуляции атмосферы.

Рост индекса североатлантического колебания

Одной из главных особенностей циркуляции атмосферы в АЕР во второй половине XX века является значительный рост индекса NAO с середины 1960-х до начала 1990-х годов (рис. 1). Отметим, что на данном рисунке использовались данные для всех месяцев года, в то время как в большинстве работ учитываются в основном зимние значения индекса NAO (в этом случае рост NAO более значителен).

Увеличение индекса NAO явилось отражением существенных изменений в режиме циркуляции атмосферы. Прежде всего, произошел сдвиг к северу шторм-трека в Северной Атлантике. По данным (Wang et al., 2006) величина сдвига в зимние месяцы составила 180 км. Это привело к увеличению циклонической активности и усилению штормов в высоких широтах Северной Атлантики (Geng and Sugi, 2001; Gulev et al., 2001; McCabe et al., 2001) и увеличению высот волн в северо-восточной части Атлантического океана (Gulev and Grigorieva, 2004; Wang and Swail, 2002). Наряду с усилением циклонической активности отмечено ослабление интенсивности блокирующих ситуаций в атмосфере региона (Barriopedro et al., 2006).

Сдвиг шторм-трека к северу также привел к изменению погодных условий в Европе. В период с 1960-х по 1990-е годы отмечены повышение темпера-

туры воздуха и увеличение количества осадков в зимний период в северной Европе и противоположные изменения в южной Европе (Moberg *et al.*, 2006; Scafe *et al.*, 2007).

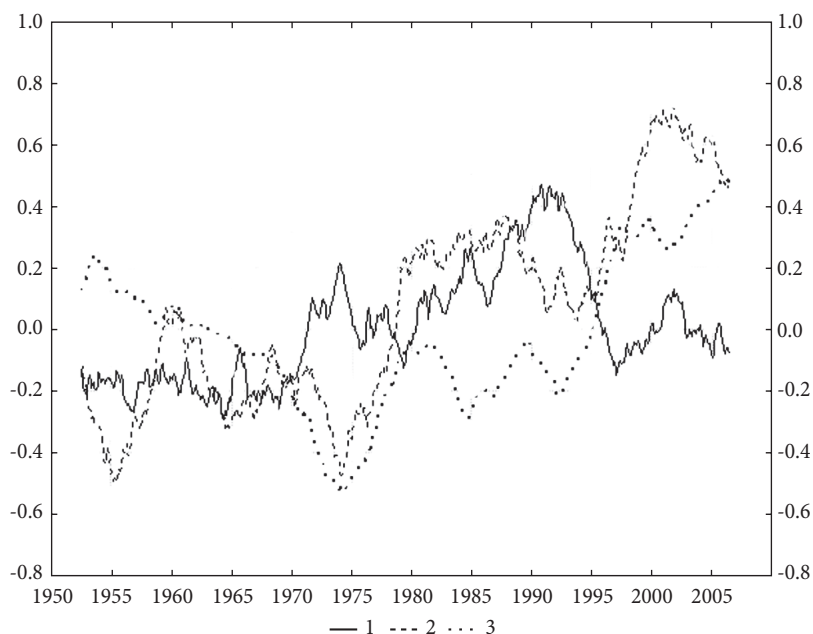


Рис. 1. Изменения со временем индексов NAO (1), EA (2) и КЕОФ ТПО (3) (5-летнее скользящее сглаживание).

Сдвиг на восток центров действия атмосферы

Как отмечалось во введении, североатлантическое колебание оказывает влияние на различные гидрометеорологические поля в атлантико-европейском регионе, что нашло отражение в корреляционных связях между индексом NAO и параметрами этих полей. Однако в период роста NAO во второй половине XX века обнаружилось, что некоторые связи ослабли или, наоборот, усилились.

Так, если в период 1958–1977 гг. корреляция между NAO и переносом льда через пролив Фрама была очень слабой (коэффициент корреляции $r = 0.1$), то в период 1978–1997 гг. она значительно увеличилась ($r = 0.7$) (Hilmer and Jung, 2000). Авторы объясняют это аномалией в меридиональной компоненте поля ветра в районе пролива Фрама, формирование которой связано со сдвигом на восток центров САК в 1978–1997 гг. по сравнению с 1958–1977 гг. В дальнейшем в работе (Jung *et al.*, 2003) было получено, что в результате этого сдвига в зимний период увеличилась вероятность выхода глубоких циклонов

на Европу, произошло повышение температуры воздуха в восточной Европе, уменьшились турбулентные потоки тепла и увеличилась площадь ледового покрова в море Лабрадор.

В этом контексте можно упомянуть результаты работы (*Polyakova et al., 2006*), где на основе обработки данных за период 1873–2001 гг. было получено, что корреляционные связи между индексом NAO и полями приземного давления, температуры воды и воздуха в Северной Атлантике неустойчивы не только во времени, но и в пространстве.

Формирование крупномасштабных колебаний типа САК процессами синоптического масштаба тесно связано с понятием режимов циркуляции, под которыми понимаются квазиустойчивые (от нескольких суток до нескольких недель) состояния атмосферы, возникающие в результате нелинейного взаимодействия процессов планетарного и синоптического масштабов (*Муравьев и др., 2009; Palmer, 2003*).

Проблеме выделения режимов циркуляции атмосферы в северном полушарии посвящены, например, работы (*Michelangeli et al., 1995; Cassou et al., 2004; Johnson et al., 2008*), в которых, в частности, для региона Северной Атлантики выделено от 2 до 6 режимов, среди них основными являются режимы циркуляции при положительном и отрицательном значении индекса NAO ($NAO > 0$ и $NAO < 0$). Причем при $NAO > 0$ Азорский максимум и Исландский минимум смещены на 30° к востоку по сравнению с $NAO < 0$ (*Cassou et al., 2004*).

Анализ частоты возникновения режимов показал, что в 1958–1977 гг. режимы с $NAO < 0$ возникали более часто, чем режимы с $NAO > 0$, а в 1978–1997 гг. ситуация обратная (*Johnson et al., 2008*). Таким образом, сдвиг на восток центров САК в 1978–1997 гг. можно трактовать как увеличение в этот период количества режимов с $NAO > 0$, что привело к смещению по долготе центров действия атмосферы.

Как отмечалось во введении, для описания циркуляции атмосферы в АЕР наряду с индексом NAO целесообразно привлекать и другие индексы, в частности, индекс восточноатлантического колебания EA, поскольку это колебание играет существенную роль в циркуляции региона (*Нестеров, 2009б; Franzke and Feldstein, 2005; Mailier et al., 2006*).

Анализ многолетней изменчивости среднемесячных индексов NAO и EA (рис. 1) показывает, что до 1996 г. можно выделить лишь один длительный период (первая половина 1970-х годов), когда значения индексов были различны по знаку и заметно отличались по абсолютной величине ($NAO > 0$, $EA < 0$). Существенные различия в ходе индексов появились начиная с 1996 г., когда индекс EA стал устойчиво больше индекса NAO. Как видно из графика, этому предшествовал устойчивый рост температуры поверхности океана с начала 1990-х годов. Можно также отметить согласованные изменения EA и ТПО в 1970-х годах.

Известно, что центры действия ВАК сдвинуты на юго-восток по отношению к центрам САК, и, таким образом, преобладание положительной фазы ВАК может приводить к интенсификации циклонической деятельности в восточной части Северной Атлантики и смещению траекторий циклонов. Сильный сдвиг на восток центров действия атмосферы в Северной Атлантике в начале 1997 г. отмечен также в работе (Курбаткин, 2008).

Анализ несглаженных значений индексов EA и NAO показал, что после 1996 г. наиболее длительные различия между ними возникли в 2006–2007 гг., когда с апреля 2006 по март 2007 г. индекс EA имел только положительные значения, в то время как в индексе NAO чередовались положительные и отрицательные значения. Этот период включает в себя зиму 2006–2007 гг., которая оказалась аномально теплой сразу в нескольких странах Европы (Levinson and Lawrimore, 2008). В частности, в Москве была зафиксирована необычно большая продолжительность периода (декабрь–январь), когда среднесуточная температура воздуха превышала климатическую норму (Исаев, 2007). Одна из причин этого явления заключалась в большой повторяемости глубоких циклонов, смещавшихся из Северной Атлантики на Европу по траекториям, которые были сдвинуты к северу по сравнению с обычными условиями.

Анализ изменений других индексов циркуляции показал, что индекс SOI, характеризующий явление Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), в этот период был отрицательным, что свидетельствует о развитии Эль-Ниньо (положительной или «теплой» фазы ЭНЮК). В работе (Нестеров, 2000) было получено, что Эль-Ниньо может возбуждать положительную фазу восточно-атлантического колебания, а Ла-Нинья (отрицательная или «холодная» фаза ЭНЮК) – отрицательную фазу. Таким образом, устойчивая положительная фаза ВАК в 2006 г. может быть связана с развитием Эль-Ниньо в этот период.

Взрывные циклоны в северо-восточной части Атлантического океана

Одной из особенностей циркуляции атмосферы в АЕР в последние годы являются случаи выхода глубоких циклонов из Северной Атлантики на Европу, что приводит к большому ущербу. В качестве примера можно привести циклоны Anatol, Kurt, Lothar и Martin в декабре 1999 г., которые вызвали гибель 130 человек и нанесли ущерб странам западной и центральной Европы в размере около 18 млн евро (Ulbrich et al., 2001; Mailier et al., 2006).

Анализ эволюции этих и подобных им циклонов показал, что некоторые из них сформировались в северо-восточной части Атлантического океана (СВА) в области Исландского минимума, а их развитие проходило по типу взрывного циклогенеза со скоростью заглубления более 1 гПа в час. Отмечено, что эти циклоны могут группироваться в серии (кластеры), причем формирование кластеров характерно, в основном, для СВА; в западной части Северной Атлантики циклоны формируются и движутся более регулярно. Расчеты по климатическим моделям показывают, что в будущем количест-

во таких циклонов может увеличиться (Bengtsson et al., 2006; Knippertz et al., 2000; Pinto et al., 2009).

Изучение условий формирования взрывных циклонов в СВА в зимний период (Нестеров, 2010) показало, что, как правило, им предшествуют выносы холодного сухого воздуха с североамериканского континента или из Гренландии на океан при значении суточного индекса $NAO_d > 1$, для которого характерна обширная область среднесуточной отрицательной аномалии H500 в Северной Атлантике к северу от 50° с.ш. со значениями до -300 гПа, что свидетельствует об интенсификации зональных типов циркуляции.

Для определения межгодовой изменчивости условий, способствующих формированию взрывных циклонов в СВА, было подсчитано количество дней с $NAO_d > 1$ с декабря по март в период с 1950 по 2009 г. (60 сезонов). Среднее за сезон количество дней с $NAO_d > 1$ составило 14.6. Наиболее часто максимальные значения NAO_d наблюдались в первой половине 1990-х годов (рис. 2). Как и следовало ожидать, межгодовая изменчивость количества дней в декабре-марте с $NAO_d > 1$ оказалась подобной изменчивости среднего за декабрь-март месячного индекса NAO (не приводится), т.е. значения $NAO_d > 1$ наиболее часто наблюдаются в периоды с наибольшим значением индекса NAO.

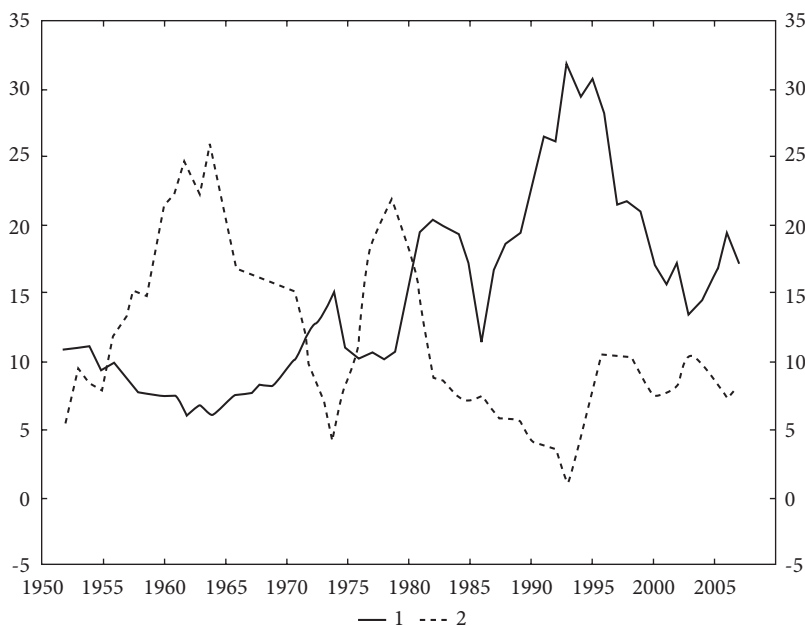


Рис. 2. Изменения со временем количества дней в декабре-марте с $NAO_d > 1$ (1) и $NAO_d < -1$ (2).

Необходимо отметить, что после 1996 г., когда индекс ЕА стал в среднем превосходить индекс NAO, в 6 из 13 зимних сезонов количество дней с $NAO_d > 1$ превысило среднее значение: 1996–1997 гг. (32 дня), 1999–2000 гг. (49 дней), 2003–2004 гг. (16 дней), 2004–2005 гг. (30 дней), 2006–2007 гг. (23 дня), 2007–2008 гг. (19 дней). Это свидетельствует о довольно высокой повторяемости в последние годы условий, благоприятных для формирования взрывных циклонов в СВА.

На рис. 2 также приведена кривая количества дней с индексом $NAO_d < -1$, для которого характерно усиление меридиональных типов циркуляции. Сравнение кривых на рис. 2 дает наглядное представление о роли синоптических процессов в формировании преобладания меридиональной циркуляции в регионе Северной Атлантики в 1950–1960-е годы и зональной циркуляции в 1990-е годы.

Заключение

В качестве основных особенностей циркуляции атмосферы в регионе Северной Атлантики в последние десятилетия можно выделить следующие.

1. Значительный рост индекса североатлантического колебания с середины 1960-х до начала 1990-х годов, с чем связаны сдвиг к северу шторм-трека в Северной Атлантике, увеличение циклонической активности и усиление штормов в высоких широтах, увеличение высот волн в северо-восточной части Атлантического океана, повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков в зимний период в северной Европе и противоположные изменения в южной Европе.

2. Сдвиг на восток центров действия атмосферы в Северной Атлантике в 1978–1997 гг. по сравнению с 1958–1977 гг., в результате которого в зимний период увеличилась вероятность выхода глубоких циклонов на Европу и повысилась температура воздуха в восточной Европе.

3. Увеличение индекса восточноатлантического колебания после 1996 г. и его превосходство над индексом североатлантического колебания, чему предшествовал устойчивый рост температуры поверхности океана в Северной Атлантике с начала 1990-х годов. Высокие значения индекса восточноатлантического колебания и связанные с этим изменения в траектории циклонов, вероятно, явились одной из причин аномально теплой зимы в Европе 2006–2007 гг.

4. Формирование в северо-восточной части Атлантического океана в зимний период взрывных циклонов, которые в случае выхода на Европу наносят большой материальный ущерб. Возникновению таких циклонов предшествуют выносы холодного сухого воздуха с североамериканского континента или из Гренландии на океан при высоких значениях суточного индекса североатлантического колебания.

Литература

- Бардин М.Ю., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 41. № 2. С. 3–13.
- Гулев С.К., Колинко А.В., Лапто С.С. Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.
- Исаев А.А. О климатических рекордах в Москве зимой и в холодный сезон 2006/07 г. // Метеорология и гидрология. 2007. № 9. С. 41–47.
- Курбаткин Г.П. Об оценке полувековой эволюции механизмов, контролирующих в годовом цикле теплообмен между высокими и средними широтами // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 4. С. 419–434.
- Линейкин П.С. Гидродинамическая теория муссонов над круглым островом // Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз. 1947. Т. 11. № 2. С. 103–126.
- Линейкин П.С. Теория конвекции в прямоугольном бассейне // Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз. 1949. Т. 13. № 5. С. 393–408.
- Линейкин П.С., Кутало А.А. Динамика течений Северной Атлантики и их сезонные изменения // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. 1974. Т. 10. № 4. С. 387–399.
- Мохов И.И., Елисеев А.В. и др. Североатлантическое колебание: диагноз и моделирование десятилетней изменчивости и ее долгопериодной эволюции // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 5. С. 605–616.
- Муравьев А.В., Куликова И.А., Круглова Е.Н. Распределение экстремальных характеристик атмосферной циркуляции по данным реанализа и гидродинамического моделирования // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 33–47.
- Нестеров Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2000. № 8. С. 74–83.
- Нестеров Е.С. О фазах североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 64–74.
- Нестеров Е.С. О влиянии температуры воды и потоков тепла на поверхности океана в Северной Атлантике на циркуляцию атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009а. № 1. С. 39–46.
- Нестеров Е.С. О восточноатлантическом колебании циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009б. № 12. С. 32–40.
- Нестеров Е.С. О формировании взрывных циклонов в северо-восточной части Атлантического океана // Метеорология и гидрология. 2010 (в печати).
- Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н., Ворли С. Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии // Морской гидрофизический журнал. 2004. № 2. С. 42–59.
- Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 62–74.
- Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю. Североатлантическое колебание и климат. СПб.: РГГМУ, 1998. 121 с.

- Alexander M.A. and Scott J.D.* Surface flux variability over the North Pacific and North Atlantic oceans // *J. Climate*. 1997. V. 10. No. 11. P. 2963–2978.
- Barnston A.G., and Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Weath. Rev.* 1987. V. 115. No. 6. P. 1083–1126.
- Barriopedro D., García-Herrera R., Lupo A.R., and Hernández E.* A climatology of Northern Hemisphere blocking // *J. Climate*. 2006. V. 19. No. 6. P. 1042–1063.
- Benedict J.J., Lee S., and Feldstein B.S.* Synoptic view of the North Atlantic oscillation // *J. Atm. Sci.* 2004. V. 61. No. 2. P. 121–144.
- Bengtsson L., Hodges K.I., and Roeckner E.* Storm tracks and climate change // *J. Climate*. 2006. V. 19. No. 15. P. 3518–3543.
- Cassou C., and Terray L.* Oceanic forcing of the wintertime low-frequency atmospheric variability in the North Atlantic European sector: a study with the ARPEGE model // *J. Climate*. 2001. V. 14. No. 22. P. 4266–4291.
- Cassou C., Terray L., Hurrell J.W., and Deser C.* North Atlantic winter climate regimes: spatial asymmetry, stationarity with time, and oceanic forcing // *J. Climate*. 2004. V. 17. No. 5. P. 1055–1068.
- Ciasto L.M., and Thompson D.W.J.* North Atlantic atmosphere–ocean interaction on intraseasonal time scales // *J. Climate*. 2004. V. 17. No. 8. P. 1617–1621.
- Czaja A., and Frankignoul C.* Observed impact of Atlantic SST anomalies on the North Atlantic oscillation // *J. Climate*. 2002. V. 15. No. 6. P. 606–623.
- Deser C., and Timlin M.* Atmosphere–ocean interaction on weekly timescales in the North Atlantic and Pacific // *J. Climate*. 1997. V. 10. No. 3. P. 393–408.
- Feldstein S.B.* The timescale, power spectra, and climate noise properties of teleconnection patterns // *J. Climate*. 2000. V. 13. No. 24. P. 4430–4440.
- Ferreira D., and Frankignoul C.* The transient atmospheric response to midlatitude SST anomalies // *J. Climate*. 2005. Vol. 18. No. 7. P. 1049–1067.
- Franzke C., and Feldstein S.B.* The continuum and dynamics of Northern hemisphere teleconnection patterns // *J. Atm. Sci.* 2005. V. 62. No. 9. P. 3250–3267.
- Friederichs P., and Hense A.* Statistical inference in canonical correlation analyses exemplified by the influence of North Atlantic SST on European climate // *J. Climate*. 2003. V. 16. No. 3. P. 522–534.
- Geng Q., and Sugi M.* Variability of the North Atlantic cyclone activity in winter analyzed from NCEP–NCAR reanalysis data // *J. Climate*. 2001. V. 14. No. 18. P. 3863–3873.
- Gulev S.K., and Grigorieva V.* Variability of the winter wind waves and swell in the North Atlantic and North Pacific as revealed by the voluntary observing ship data // *J. Climate*. 2006. V. 19. No. 21. P. 5667–5685.
- Gulev S. K., Zolina O., and Grigoriev S.* Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // *Climate Dyn.* 2001. V. 17. P. 795–809.
- Hilmer M., and Jung T.* Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic oscillation and Arctic sea ice export // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. P. 989–992.
- Intercomparison and validation of ocean-atmosphere energy flux fields.* Final report of the Joint WCRP/SCOR working group on air-sea fluxes (SCOR working group 110). WCRP-112. WMO/TD. No. 1036. 2000. 303 p.
- Johansson A. et al.* On the level and origin of seasonal forecast skill in Northern Europe // *J. Atm. Sci.* 1998. V. 55. No. 1. P. 103–127.

- Johnson N.C., Feldstein S.B., and Tremblay D. The continuum of Northern Hemisphere teleconnection patterns and a description of the NAO shift with the use of self-organizing maps // *J. Climate*. 2008. V. 21. No. 23. P. 6354–6371.
- Jung T., Hilmer M., Ruprecht E. et al. Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability // *J. Climate*. 2006. V. 19. No. 21. P. 5667–5685.
- Knippertz P., Ulbrich U., and Speth P. Changing cyclones and surface wind speeds over the North Atlantic and Europe in a transient GHG experiment // *Climate Research*. 2000. V. 15. P. 109–122.
- Levinson D.H., and Lawrimore J.H.(eds). State of the climate in 2007 // Special supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society. 2008. V. 89. No. 7. 179 p.
- Liu Z., and Wu L. Atmospheric response to North Pacific SST: The role of ocean–atmosphere coupling // *J. Climate*. 2004. V. 17. No. 9. P. 1859–1882.
- Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T., and Hodges K.I. Serial clustering of extratropical cyclones // *Mon. Weath. Rev.* 2006. V. 134. No. 8. P. 2224–2240.
- McCabe, G.J., Clark M.P., and Serreze M.C. Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity // *J. Climate*. 2001. V. 14. No. 12. P. 2763–2768.
- Michelangioli P.A., Vautard R., and Legras B. Weather regimes: recurrence and quasi stationarity // *J. Atm. Sci.* 1995. V. 52. No. 8. P. 1237–1256.
- Moberg et al. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000 // *J. Geophys.Res.* 2006. V. 111. P. D22106. doi:10.1029/2006JD007103.
- Mosedale T.J., Stephenson D.B., and Collins M. Atlantic atmosphere–ocean interaction: a stochastic climate model-based diagnosis // *J. Climate*. 2005. V. 18. No. 7. P. 1086–1095.
- Palmer T.N. Extended-range atmospheric prediction and the Lorenz model // *Bull. Amer. Met. Soc.* 1993. V. 74. No. 1. P. 49–65.
- Peng S., Robinson W.A., and Li S. Mechanisms for the NAO responses to the North Atlantic SST tripole // *J. Climate*. 2003. V. 16. No. 12. P. 1987–2004.
- Pinto J.G., Zacharias S., Fink A.H. et al. Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO // *Climate Dynamics*. –2009. V. 32. No. 5. P. 711–737.
- Polyakova E.I., Journel A.G., Polyakov I.V., and Bhatt U.S. Changing relationship between the North Atlantic Oscillation and key North Atlantic climate parameters // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. P. L03711. doi:10.1029/2005GL024573.
- Rogers J.C. North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe // *J. Climate*. 1997. V. 10. No. 7. P. 1635–1647.
- Scaife A.A., Folland C.K. et al. European climate extremes and the North Atlantic Oscillation // *J. Climate*. 2008. V. 21. No. 1. P. 72–83.
- Ulbrich U., Fink A.H., Klawa M., and Pinto J.G. Three extreme storms over Europe in December 1999 // *Weather*. 2001. V. 56. P. 70–80.
- Wang, X.L., and Swail V.R. Trends of Atlantic wave extremes as simulated in a 40-yr wave hindcast using kinematically reanalyzed wind fields // *J. Climate*. 2002. V. 15. No. 9. P. 1020–1035.
- Wang X.L., Swail V.R., and Zwiers F.W. Climatology and changes of extra-tropical storm tracks and cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958–2001 // *J. Climate*. 2006. V. 19. No. 13. P. 3145–3166.

ATMOSPHERE CIRCULATION FEATURES IN THE NORTH ATLANTIC DURING THE LAST DECADES

E.S. Nesterov

Atmosphere circulation features in the North Atlantic during the last 50–60 years are described: an increase of the North Atlantic Oscillation index from the middle of 1960th until the beginning of 1990th, an eastward shift of the atmosphere action centers in the North Atlantic during 1978–1997, an increase of the East-Atlantic Oscillation index after 1996, formation of explosive cyclones in the northeast part of The Atlantic Ocean.