

ОБ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗИМАХ В ЕВРОПЕ В 2009–2012 ГОДАХ

Е.С. Нестеров

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
nesterov@mecom.ru*

Введение

Выпуск долгосрочных метеорологических прогнозов является одной из основных задач глобальных и региональных метеорологических центров. В России эти прогнозы выпускает, в частности, Гидрометцентр России в рамках Северо-Евразийского климатического центра [3]. Глобальный ансамблевый сезонный прогноз осуществляется на базе модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ [7]. Повышение качества прогнозов планируется за счет усовершенствования модели ПЛАВ, а также проведения исследований источников предсказуемости атмосферы на сезонном масштабе [2, 3].

Одной из сложных задач является прогноз длительных аномалий в циркуляции атмосферы, приводящих к аномальным сезонам. В связи с этим представляется интересным рассмотреть особенности характеристик атмосферы и океана в периоды, предшествующие аномальным зимам. В данной статье рассматриваются условия формирования аномальных зим в атлантико-европейском регионе (АЕР) в 2009–2012 годах.

Характеристики зим в АЕР в 2009–2012 годах

Наиболее ярко различия в аномальных зимах в Европе в 2009–2012 гг. выражены в температуре воздуха. Как видно из рис. 1, если зимы 2009/2010 и 2010/2011 гг. были экстремально холодными, то зима 2011/2012 гг. была теплой. Характер атмосферной циркуляции в АЕР в зимы 2009/2010 и 2011/2012 гг. был существенно различным. Если зимой 2009/2010 гг. струйное течение располагалось над Северной Атлантикой между 30 и 40° с. ш., то зимой 2011/2012 г. – около 55° с. ш. [25]. Фазы североатлантического колебания (САК) в рассматриваемые зимы были экстремальны и противоположны: отрицательная фаза САК зимой 2009/2010 и 2010/2011 гг. и положительная фаза зимой 2011/2012 гг.

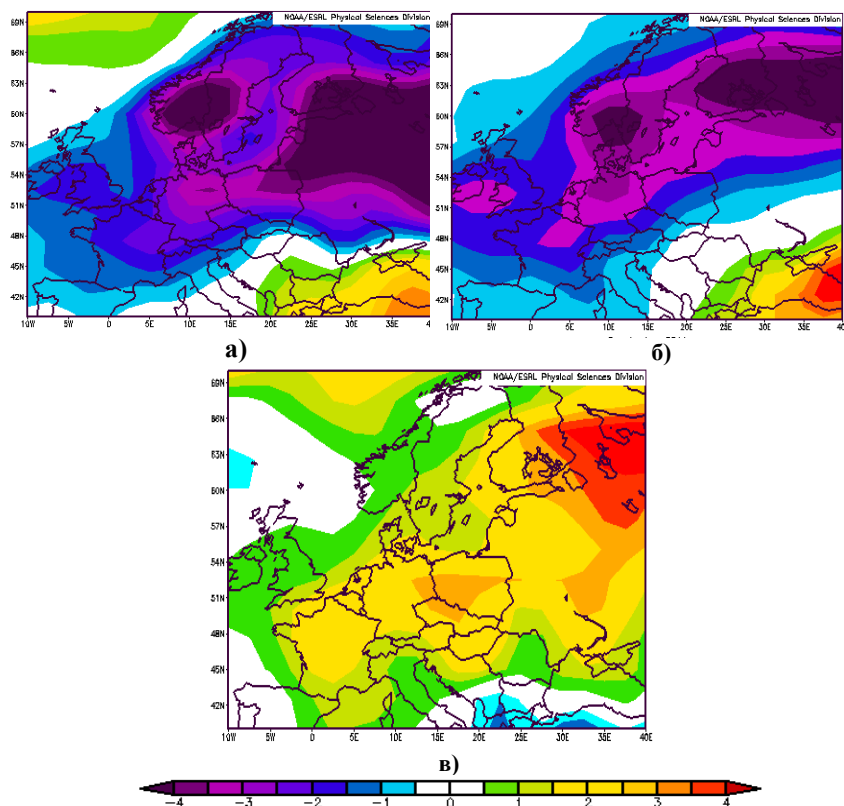


Рис. 1. Композитная аномалия температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в декабре-январе по данным реанализа NCEP/NCAR: 2009/2010 (а); 2010/2011 (б); 2011/2012 гг. (в).

Отрицательная фаза САК зимой 2009/2010 гг. оказалась наиболее сильной за весь период расчета индексов циркуляции атмосферы с 1950 г. Средняя за декабрь 2009 г. – февраль 2010 г. величина САК составила $-2,12$ (зимой 1962/1963 гг. – $1,94$; зимой 1968/1969 гг. – $1,69$) [1]. Зима 2009/2010 гг. была самой холодной в западной Европе после зимы 1978/1979 гг. [14, 23, 31]. Наиболее значительные отрицательные аномалии температуры воздуха ($-3\dots-4^{\circ}\text{C}$) отмечались в западной части Скандинавии и в восточной Европе (рис. 1а).

Зимой 2009/2010 гг. наблюдался аномально большой снежный покров в северо-западной Европе [28]. Экстремально низкие температуры

в Скандинавии обусловили быстрое развитие ледового покрова в Финском и Ботническом заливах Балтийского моря, который в середине февраля 2010 г. (на две недели раньше нормы) достиг максимального развития [11]. Вместе с тем следует отметить, что в глобальном масштабе зима 2009/2010 гг. была теплой с положительными аномалиями температуры воздуха в Гренландии, Канаде, Северной Африке [15, 25].

Зимой 2010/2011 гг. экстремально низкие температуры в северной и центральной Европе отмечались в ноябре и декабре 2010 г. Декабрь 2010 г. оказался самым холодным в Германии и Франции за предшествующие 40 лет, а в Великобритании – за 100 лет [11, 20, 31]. В декабре 2010 г. – январе 2011 г. значительные отрицательные аномалии температуры были на северо-востоке Европы (рис. 1б), в частности, в декабре 2010 г. на севере европейской части России среднемесячная температура была на 5 °С ниже нормы [10]. В феврале 2011 г. холодная ложбина, сформировавшаяся над Россией, обусловила адвекцию арктического воздуха на Скандинавию и восточную Европу, что также внесло вклад в аномально холодные условия в Европе зимой 2010/2011 годов. [12].

Зима 2011/2012 гг. была аномально теплой в северной Европе и аномально сухой в южной Европе [25]. В декабре 2011 г. атмосферная циркуляция над АЕР значительно изменилась в результате установления сильной положительной фазы САК (индекс САК был равен 2,25) и на Европу начал поступать теплый воздух из Атлантики. В декабре 2011 г. – январе 2012 г. значительные положительные аномалии температуры были на северо-востоке Европы (рис. 1в), в частности, в декабре 2011 г. в восточной части Скандинавии, балтийских странах, европейской части России положительная среднемесячная аномалия температуры достигала 4 °С [12].

В начале февраля 2012 г. наблюдалось распространение из Сибири на северо-запад России и северную Европу области высокого давления, в результате чего холодные воздушные массы достигли центральной и восточной Европы. Однако, в отличие от сильных похолоданий в Европе в предшествующие годы, это явление не было связано с отрицательной фазой САК [12].

При описании особенностей циркуляции атмосферы в АЕР чаще всего используется индекс САК (рис. 2). Исследования показали, что САК влияет не только на средние значения температуры в центральной и северной Европе, но также на их экстремумы [9].

Зима 2009/2010 гг. характеризовалась рекордной продолжительностью отрицательной фазы САК (63 дня; с положительной фазой – только 5 дней) [15]. Период 28.12.2009 – 13.01.2010 гг. был отмечен экстремальным отрицательным суточным индексом САК и аномально низкой

температурой в Европе. В [33] высказано предположение, что экстремальным значениям индекса САК в этот период способствовал нисходящий тренд САК в 2000-х годах (рис. 2).

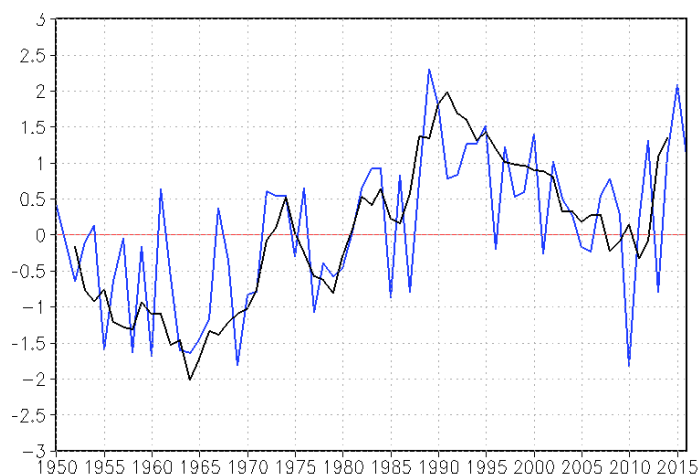


Рис. 2. Нормированный зимний (январь-март) индекс САК. Черная кривая – пятилетнее скользящее сглаживание [36].

Отрицательная фаза САК часто связана с формированием блокирующих режимов в атмосфере (блокингов) [6, 8]. Зимой 2010 г. частота блокинга (33 %) была одной из наибольших после 1949 г. и близкой к частоте 1963 г. (34 %) [15]. Блокирующие ситуации могут возникать, в частности, при обрушении волн Россби [8]. При формировании волн Россби над Тихим океаном возникает сдвиг по времени между их образованием и обрушением над Северной Атлантикой. Численные эксперименты показывают, что модели общей циркуляции атмосферы способны воспроизводить 10–14-суточный процесс эволюции волн Россби и их влияние на формирование той или иной фазы САК (отрицательной фазы при циклоническом обрушении волн и положительной фазы при антициклоническом) [20].

Формирование блокингов над Северной Атлантикой, связанных с циклоническим или антициклоническим обрушением волн Россби (ОВР), в зимы 2009/2010 и 2011/2012 гг. было различным. Зимой 2009/2010 гг. блокинги в основном наблюдались в высоких широтах (Гренландия), а зимой 2011/2012 гг. – в южных. То есть возможна следующая последовательность: циклоническое ОВР в высоких широтах способствует

формированию блокинга и затем отрицательной фазы САК (зима 2009/2010 гг.); антициклоническое ОВР способствует формированию положительной фазы САК (зима 2011/2012 гг.) [25].

Помимо САК, на экстремумы температуры в Европе влияет также восточно-атлантическое колебание (ВАК). В положительной фазе ВАК зимой происходит адвекция теплого воздуха в юго-западном направлении, что препятствует образованию экстремально холодных ночей в центральной и западной Европе [9]. В связи с этим рекордно низкие температуры в декабре 2010 г. не могут быть объяснены только на основе САК, нужно еще учитывать ВАК, которое, как и САК, также влияет на положение и интенсивность исландского минимума и азорского максимума, что сказывается на аномалиях температуры в западной Европе. Учет ВАК помогает понять, почему декабрь 2010 г. (когда была отрицательная фаза ВАК) был много холоднее, чем декабрь 2009 г. (когда была положительная фаза ВАК), хотя значения индекса САК в оба месяца были близки [21]. Особенности распределения аномалий давления и циклонической активности в зависимости от соотношения фаз САК и ВАК в зимний период 2009/2012 гг. были рассмотрены в [1].

Потенциальные источники предсказуемости аномальных зим в Европе

Обычно в качестве источников предсказуемости состояния атмосферы на сезонном масштабе рассматривают «медленные» внешние воздействия (температура поверхности океана, характеристики морского льда и снежного покрова и т. д.) [2]. Выше было показано, что основные характеристики аномальных зим (аномалии температуры воздуха и др.) тесно связаны с индексом САК. Поэтому далее будут рассмотрены потенциальные предикторы состояния индекса САК в зимы 2009/2012 гг. Следует отметить, что в некоторых работах САК рассматривается как региональное проявление арктического колебания (АК) [15], и в исследованиях используется индекс АК.

Температура поверхности океана в Северной Атлантике

Выполненные в последние годы исследования по изучению влияния процессов взаимодействия океана и атмосферы синоптического и более масштабов на циркуляцию атмосферы показали, что в качестве источников возмущений для атмосферы необходимо рассматривать как характеристики распределения температуры поверхности океана (ТПО), так и потоки тепла на поверхности океана. Время приспособления атмосферы к аномалиям в потоках тепла на поверхности океана, взаимодействующих

с аномалиями ТПО, составляет от нескольких дней до нескольких месяцев [5].

Влиянию Северной Атлантики на погоду и климат Европы посвящено множество исследований (см., например, [5, 18, 30, 34]). В частности, в большом количестве работ рассматривалось влияние аномалий ТПО на циркуляцию атмосферы, однако однозначных выводов не получено. Выполненный в [5] анализ условий в океане и атмосфере, предшествующих формированию в ноябре-феврале той или иной фазы САК, показал, что важное значение имеют: 1) состояние азорского антициклона летом; 2) теплонакопление океана в области Гольфстрима в сентябре; 3) теплообмен океана и атмосферы в ноябре-декабре.

Формированию положительной фазы САК в январе предшествуют: а) усиление азорского максимума в июне-июле; б) положительная аномалия ТПО в Гольфстриме в сентябре; в) ослабление (по сравнению с обычными условиями) в ноябре-декабре потока скрытого тепла из океана в атмосферу в области Гольфстрима и усиление его в области исландского минимума. При формировании отрицательной фазы САК все процессы противоположны.

В результате взаимодействия океана и атмосферы происходит как формирование аномалий в циркуляции атмосферы, так и формирование аномалий ТПО. При развитии той или иной фазы САК в поле аномалий ТПО в Северной Атлантике образуется так называемый «триполь», включающий аномалии ТПО в приполярных и субтропических широтах одного знака, а у восточного побережья США – противоположного. Влияние триполя на формирование САК осенью и в начале зимы обсуждается в [18].

С аномалиями ТПО также связаны аномалии теплосодержания верхнего слоя океана (ТВСО). В [20] показано, что основное влияние на формирование отрицательной фазы САК и холодной зимы 2010/2011 гг. в Европе оказали аномалии ТВСО в Северной Атлантике.

Зимой 2009/2010 гг. при сильной отрицательной фазе САК сформировался триполь в аномалиях ТПО и аномалиях ТВСО, включающий положительные аномалии к югу от Гренландии и в субтропиках Северной Атлантики и отрицательные аномалии у восточного побережья США. Летом 2010 г. аномалии ТВСО сохранялись ниже летнего перемещенного слоя океана и снова появились (механизм «reemergence») осенью, что способствовало формированию отрицательной фазы САК и аномально низким температурам зимой 2010/2011 гг. [13, 20, 31].

Вместе с тем, численные эксперименты [14] показали, что аномалии ТПО в ноябре-декабре 2010 г. оказали большее влияние на формирование

отрицательной фазы САК зимой 2010/2011 гг., чем аномалии ТПО в ноябре-декабре 2009 г. на САК зимой 2009/2010 гг. Это связано с тем, что конце 2010 г. аномалии ТПО были выражены значительно сильнее, особенно в морях Лабрадор и Ирмингера. В [14] сделано предположение, что зимой 2009/2010 гг. формирование сильной отрицательной фазы САК в значительной степени было связано с внутренней изменчивостью атмосферы, а океан играл более пассивную роль.

Интересно отметить, что в Северной Атлантике в течение 14 месяцев в 2009–2010 гг. было зафиксировано 30%-ное замедление термохалинной циркуляции и уменьшение переноса тепла на север через 25° с. ш, что привело к охлаждению верхнего слоя океана [13]. Предполагается, что это способствовало формированию отрицательной фазы САК зимой 2010/2011 гг.

В [14] также предполагается, что замедление циркуляции, уменьшение переноса тепла на север в конце 2009 г., аномальный снежный покров Евразии, аномальная площадь льда в Арктике могли дать вклад в отрицательную аномалию теплосодержания океана в Северной Атлантике зимой 2009/2010 гг., которая повторилась через механизм «teemergence» в начале зимы 2010/2011 гг.

И наконец, необходимо указать на обнаруженную связь между Тихоокеанским декадным колебанием (ТДК) в поле ТПО, Атлантическим многодекадным колебанием (АМК) также в поле ТПО и низкочастотной изменчивостью индекса САК [33]. В этой работе сделано предположение, что нисходящий тренд индекса САК с начала 1990-х гг. (рис. 2) связан с нисходящим трендом ТДК с середины 1980-х гг. и восходящим трендом АМК с 1990-х гг., т. е. долгопериодная изменчивость ТПО в Тихом и Атлантическом океанах также внесла вклад в формирование отрицательной фазы САК зимой 2009/2010 годов.

Явление Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК)

Выводы о влиянии фаз ЭНЮК на фазы САК противоречивы. В [29] отмечается, что есть тенденция установления отрицательной фазы САК в период Эль-Ниньо и положительной фазы при Ла-Нинья. Вместе с тем, в [8, 20] указывается, что в годы Ла-Нинья повышается повторяемость блокингов, которые связаны с отрицательной фазой САК. В [4] сделан вывод, что влияние ЭНЮК на САК проявляется только при полугодовом разрешении, а месячном и сезонном – нет. Там же установлено, что есть зависимость САК в холодное полугодие от режима предшествующего «теплого» полугодия для ЭНЮК (зависимость с положительным знаком). В [14] влияние ЭНЮК на САК считается маловероятным.

Помимо ЭНЮК, важной характеристикой атмосферной циркуляции в тропиках является колебание Маддена – Джулиана с характерным периодом от 30 до 90 суток. Влияние этого колебания распространяется также на циркуляцию атмосферы во внетропических широтах, в частности на САК [2].

Снежный покров Евразии

По данным наблюдений, есть связь между снежным покровом Евразии в октябре и арктическим колебанием (АК) в последующую зиму. Возможный механизм состоит в том, что аномально большой снежный покров осенью влияет на альbedo подстилающей поверхности и способствует сдвигу сибирского максимума к западу и формированию распространяющихся вверх волн Россби, которые замедляют и ослабляют стратосферный полярный вихрь. Это ослабление распространяется вниз в тропосферу и вызывает отрицательную фазу АК [16, 29].

Выше уже указывалось, что зимой 2009/2010 гг. был аномально большой снежный покров в северо-западной Европе. В [16] также отмечается, что к концу октября 2009 г. снежный покров Евразии был наибольшим с 1976 г., и высказывается гипотеза, что это повлияло на формирование экстремально отрицательного индекса АК зимой 2009/2010 гг., причем АК сформировалось в средней стратосфере и распространилось вниз в тропосферу на масштабах 1–2 недели.

Гипотеза о формировании экстремальной отрицательной фазы АК в результате нисходящего распространения аномалий из стратосферы поддерживается также в [32]. Здесь же отмечается, что нисходящему распространению предшествовало стратосферное потепление. В этих работах делается вывод, что вклад АК в аномально холодную зиму 2009/2010 гг. больше, чем вклад ЭНЮК. В [26] на основе численного моделирования показано, что нисходящие процессы из стратосферы в тропосферу достаточно сильны, чтобы влиять на частоту экстремально низких температур и сильных осадков и в Европе.

Ледовый покров в Арктике

Аномалии в площади ледового покрова в Арктике летом могут влиять на циркуляцию атмосферы в последующие осень и зиму. В частности, уменьшение ледового покрова может способствовать формированию отрицательной фазы САК [20]. В [27] показано, что аномалии ледового покрова в Карском море в ноябре влияют на формирование той или иной фазы САК зимой.

Квазидвухлетняя цикличность

Известно, что межгодовая изменчивость квазидвухлетней цикличности (КДЦ) влияет на тропосферу в Северной Атлантике. В частности, западная фаза КДЦ связана с более сильным струйным течением в начале зимы [27]. Есть связь между КДЦ и зимним САК. Поскольку КДЦ прогнозируется на несколько лет, это можно использовать для прогноза САК [29].

К потенциальным источникам предсказуемости зим в Европе относятся также солнечная активность и извержения вулканов [29]. В некоторых работах показана связь холодных зим в Европе (и отрицательной фазы САК) с низкой солнечной активностью и теплых зим с высокой активностью, а также связь сильных извержений вулканов с положительной фазой САК следующей зимой.

Численное моделирование условий экстремальных зим в Европе 2009–2012 гг.

Численные эксперименты по исследованию предсказуемости зимних условий выполнялись, в частности, в метеорологической службе Великобритании (Met office) еще до зим 2009–2012 гг. В [24] на основе модели HadCM3 показано влияние ТПО на атмосферу через потоки явного и скрытого тепла. Зимние АТПО и в наблюдениях, и в модели сохраняются ниже летнего ВКС и восстанавливаются через механизм «reemergence» следующей осенью. В ретроспективных прогнозах коэффициент корреляции между фактическим индексом САК зимой и модельным равен 0,45–0,63 (для прогноза зимнего САК по АТПО в мае равен 0,45). Успешность этих прогнозов в первую половину XX века оказалась низкой, что, возможно, связано с декадными колебаниями.

В [27, 29] на основе глобальной системы сезонных прогнозов GloSea 5 (Met office) исследована сезонная предсказуемость зимних условий в Северной Атлантике и Европе. Система включает: 1) модель стратосферы с высоким разрешением для воспроизведения распространения возмущений ветра из стратосферы в тропосферу; 2) модели атмосферы и океана с высоким разрешением (в частности, моделируется блокинг в Северной Атлантике, который связан с САК); 3) учет морского льда в Арктике.

Показано, что зимние условия и характеристики САК предсказуемы на несколько месяцев. В ретроспективных зимних прогнозах получены хорошие результаты для САК, циклонической активности, приземной температуры и скорости ветра. Коэффициент корреляции между прогнозом зимнего индекса САК с заблаговременностью от 1 до 4 месяцев и фактическим значением индекса равен 0,62.

В [17] исследовалась предсказуемость условий зимы 2009/2010 гг. на основе двух версий модели GloSea 4. На основе первой версии было успешно предсказано отрицательное значение зимнего индекса САК в прогнозах, составленных в сентябре-ноябре 2009 г. Вторая, более полная версия, включала внезапные стратосферные потепления. Это особенно актуально для зимы 2009/2010 гг. с комбинацией сильного Эль-Ниньо и восточной фазы квазидвухлетней цикличности, способствующей развитию стратосферных потеплений. Показано, что потепления играют важную роль в формировании поля приземного давления, и их учет улучшает прогноз условий зимы 2009/2010 гг. Потепления способствуют распространению возмущений из стратосферы в тропосферу, особенно в конце зимы, и формированию блокирующих ситуаций. Важность учета процессов в нижней стратосфере при моделировании холодных зим в Европе подчеркнута также в [22].

Роль различных факторов в формировании экстремально отрицательной фазы САК зимой 2009/2010 гг. исследовалась также в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды на основе системы месячных прогнозов [19]. Учитывались аномалии ТПО и морского льда, характеристики циркуляции атмосферы в тропиках, стратосферного полярного вихря, квазидвухлетней цикличности, солнечной инсоляции и приповерхностной температуры воздуха как характеристики снежного покрова. Показано, что ни один из этих факторов не способен воспроизвести наблюдаемую фазу САК, особенно ее интенсивность. По мнению авторов [19], эти результаты поддерживают гипотезу, что формирование и длительность отрицательной фазы САК зимой 2009/2010 гг. обусловлены внутренней динамикой атмосферы.

Условия аномальной зимы 2010/2011 гг. с экстремально низкими температурами в северной и центральной Европе в ноябре и декабре 2010 г. исследовались в [20] с использованием модели GloSea 4. В численных экспериментах учитывались распределение аномалий ТПО и аномалий теплосодержания верхнего слоя океана в Северной Атлантике, явление ЭНЮК, ледовый покров в Арктике, снежный покров в Евразии. Результаты показывают, что основное влияние на формирование отрицательной фазы САК и холодной зимы 2010/2011 гг. в Европе оказывали аномалии ТВСО в Северной Атлантике. Аномалии ледового покрова в Арктике также внесли вклад.

В настоящее время актуальным является вопрос о влиянии потепления в Арктике на циркуляцию атмосферы в средних широтах. Если в климатическом масштабе это влияние может быть существенным, то в межгодовой изменчивости оно менее очевидно. Это подтверждается численными экспериментами с 12 климатическими моделями в рамках проекта

CMIP5 [35]. В частности, эксперименты не выявили влияния температуры воздуха в Баренцевом и Карском морях на процессы блокирования в средних широтах и формирование холодных зим в Европе на межгодовом масштабе.

Особенности зимы 2011/2012 гг.

Наиболее интересной чертой описываемых зим является переход от холодных зим 2009/2010 и 2010/2011 гг. к теплой зиме 2011/2012 гг. Какие из выше указанных факторов могли повлиять на этот переход? Рассмотрим особенности атмосферной циркуляции в период, предшествующий зимам 2010/2011 и 2011/2012 гг.

Как видно из рис. 3, наибольшие различия в циркуляции атмосферы в периоды, предшествующие этим зимам, начались в середине ноября. Одна из причин этого могла заключаться в том, что теплосодержание верхних слоев океана к моменту начала интенсивной теплоотдачи океана в атмосферу (ноябрь) в эти годы было существенно различным. Об этом косвенно свидетельствуют композитные аномалии ТПО в сентябре, то есть в период максимального теплонакопления в океане. Если в сентябре 2011 г. вся акватория Северной Атлантики между 30 и 45° с. ш. была занята положительной аномалией ТПО, то в сентябре 2010 г. в этой области была отрицательная аномалия ТПО.

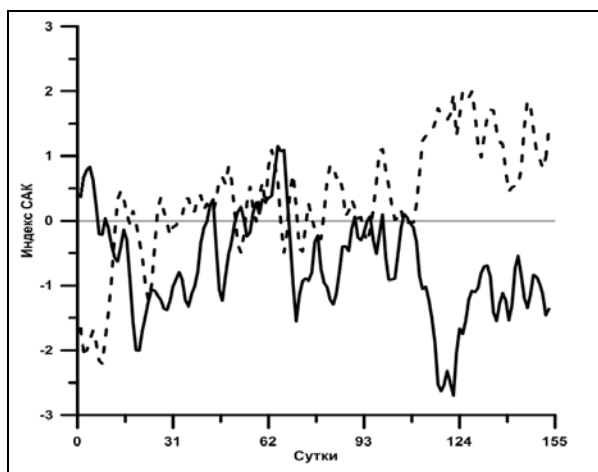


Рис. 3. Суточный индекс САК в августе-декабре 2010 г. (сплошная линия) и в августе-декабре 2011 г. (пунктир). На оси X отложены сутки начиная с 1 августа.

Эти особенности сказались на формировании потоков тепла из океана в атмосферу. Если для ноября 2010 г. характерно сочетание положительных и отрицательных аномалий потока скрытого тепла, то в ноябре 2011 г. на основной части акватории была положительная аномалия (рис. 4). Эти же особенности характерны для потока явного тепла. Таким образом, можно предположить, что в ноябре 2011 г. атмосфера получила больше тепла из океана, чем в среднемноголетнем, что способствовало усилению зональных процессов в АЕР и, в конечном счете, установлению теплой зимы в Европе. Композитные аномалии геопотенциала поверхности 500 гПа (не приводятся) отражают начало формирования отрицательной фазы САК в ноябре 2010 г. и положительной фазы в ноябре 2011 г.

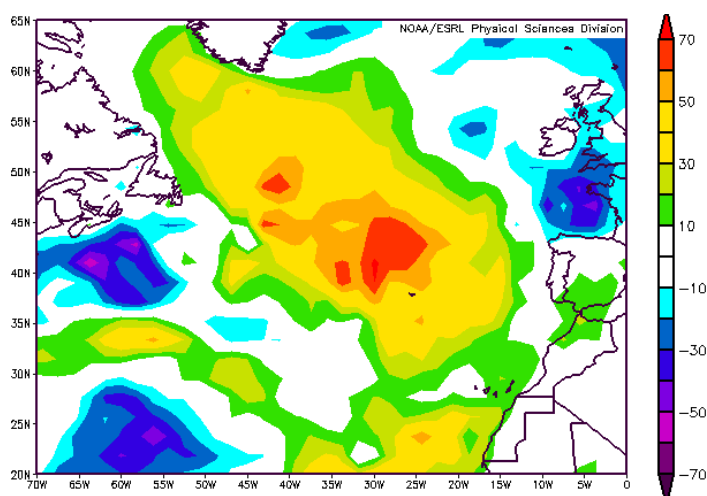


Рис. 4. Композитная аномалия потока скрытого тепла ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в ноябре 2011 г. по данным реанализа 20 CR.

Выше указывалось, что через механизм «геоemergence» отрицательные аномалии ТПО, сформировавшиеся в результате холодной зимы, могут восстанавливаться осенью, как это было в 2010 г. Интересно рассмотреть, почему этого не произошло после зимы 2010/2011 гг. Для этого сравним особенности циркуляции атмосферы во второй половине зимы – начале весны 2009/2010 и 2010/2011 гг.

Как видно из рис. 5, если в январе-апреле 2010 г. в Северной Атлантике преобладали меридиональные процессы (отрицательная фаза САК), то в феврале-апреле 2011 г. стали преобладать зональные процессы, которые не способствовали дальнейшему усилению отрицательных аномалий

ТПО, сформировавшихся в аномально холодный период с декабря 2010 по январь 2011 г. Анализ показал, что отрицательные аномалии ТПО в конце зимы 2010/2011 гг. были значительно слабее, чем в конце зимы 2009/2010 гг., и не оказали существенного влияния на ТПО осенью 2011 года.

Полученные результаты согласуются с выводами [13, 14, 20, 31] о важной роли аномалий температуры поверхности океана и теплосодержания верхнего слоя океана в формировании аномальных зим в Европе. Для более полного анализа перехода от холодных зим 2009/2010 и 2010/2011 гг. к теплой зиме 2011/2012 гг. необходимо рассмотрение и других факторов, указанных в разделе о потенциальных источниках предсказуемости аномальных зим в Европе.

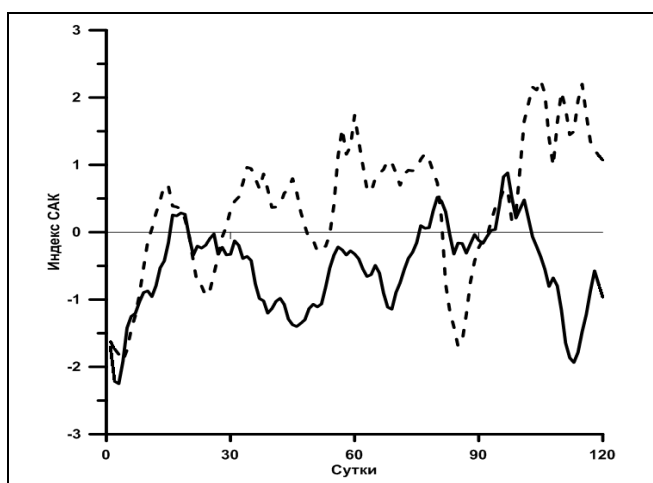


Рис. 5. Суточный индекс САК в январе-апреле 2010 г. (сплошная линия) и в январе-апреле 2011 г. (пунктир). На оси X отложены сутки начиная с 1 января.

Заключение

Проведенный анализ показал, что экстремально холодные зимы 2009/2010 и 2010/2011 гг. и экстремально теплая зима 2011/2012 гг. отличались не только по температуре воздуха, но и по другим характеристикам, и им предшествовали различные состояния океана и атмосферы. Если зимой 2009/2010 гг. струйное течение над Северной Атлантикой располагалось между 30 и 40° с.ш., то зимой 2011/2012 г. – около 55° с. ш.

Зима 2009/2010 гг. характеризовалась рекордной продолжительностью отрицательной фазы САК и высокой частотой блокирующих образований.

В формирование условий зимы 2010/2011 гг. значительный вклад мог внести механизм «teemergence», когда отрицательные аномалии температуры поверхности океана в Северной Атлантике, сформировавшиеся к концу зимы 2009/2010 гг., сохранились ниже перемешанного слоя океана летом 2010 г. и снова появились осенью, что способствовало образованию отрицательной фазы САК. В этот процесс могло внести вклад 30%-ное замедление термохалинной циркуляции в Северной Атлантике в течение 14 месяцев в 2009–2010 гг. и уменьшение переноса тепла на север через 25° с. ш., что привело к охлаждению верхнего слоя океана.

Численные эксперименты по исследованию предсказуемости зимних условий выполняются в различных метеорологических центрах. На основе модели GloSea 4 метеослужбой Великобритании в сентябре-ноябре 2009 г. было успешно предсказано отрицательное значение индекса САК зимой 2009/2010 гг., а отрицательное значение индекса САК в ноябре 2010 г. – январе 2011 г. было предсказано в октябре 2010 г. восемью из одиннадцати метеорологических центров ВМО. Опыт численного прогноза экстремальных зимних условий показал, что для этого необходимы модели атмосферы и океана с высоким разрешением и модель стратосферы для воспроизведения распространения возмущений из стратосферы в тропосферу.

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли аномалий температуры поверхности океана, теплосодержания верхнего слоя океана, потоков явного и скрытого тепла из океана в атмосферу в формировании аномальных зим в Европе.

Список использованных источников

1. *Абузьяров З.К., Нестеров Е.С.* О связи ветра и волнения в Северной Атлантике с колебаниями атмосферной циркуляции // *Метеорология и гидрология.* 2014. № 7. С. 63-71.
2. *Киктев Д.Б., Толстых М.А., Мирвис В.М.* О предсказуемости экстремальных метеорологических явлений на временных масштабах до сезона // *Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации.* М., 2014. С. 54-66
3. *Киктев Д.Б., Хан В.М., Крыжов В.Н. и др.* Технология выпуска долгосрочных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // *Труды Гидрометцентра России.* 2015. Вып. 358. С. 36-58.
4. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Трехкомпонентный анализ сезонных особенностей взаимосвязи между явлениями Эль-Ниньо, североатлантическим колебанием и индийским муссоном // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 12. С. 18-32.

5. *Нестеров Е.С.* Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада лтд, 2013. 144 с.
6. *Тищенко В.А., Хан В.М., Вильфанд Р.М., Рожет Е.* Исследование развития атмосферных процессов блокирования и квазистационарирования антициклонов в Атлантико-Европейском секторе // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 7. С. 15-30.
7. *Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В., Мизяк В.Г.* Оперативная технология расчета глобальных прогнозов с помощью полулагранжевой модели атмосферы ПЛИАВ // *Труды Гидрометцентра России*. 2011. Вып. 346. С. 170-180.
8. *Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 11. С. 5-18.
9. *Andrade C., Leite S.M., Santos J.A.* Temperature extremes in Europe: overview of their driving atmospheric patterns // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2012. Vol. 12, No. 5. P. 1671-1691.
10. *Blunden J. et al.* State of the climate in 2010 // *Bull. Amer. Met. Soc.* 2011. Vol. 92, No. 6. P. S1-S236.
11. *Blunden J. et al.* State of the climate in 2011 // *Bull. Amer. Met. Soc.* 2012. Vol. 93, No. 7. P. S1-S282.
12. *Blunden J. et al.* State of the climate in 2012 // *Bull. Amer. Met. Soc.* 2013. Vol. 94, No. 8. P. S1-S258.
13. *Bryden H.L. et al.* Impact of a 30% reduction in Atlantic meridional overturning during 2009–2010 // *Ocean Science*. 2014. Vol. 10, No. 4. P. 683-691.
14. *Buchan J. et al.* North Atlantic SST anomalies and the cold North European weather events of winter 2009/10 and December 2010 // *Mon. Wea. Rev.* 2014. Vol. 142, No. 2. P. 922-932.
15. *Cattiaux J. et al.* Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate // *Geophys. Res. Lett.* 2010. Vol. 37, No. 20. L20704.
16. *Cohen J.L. et al.* Winter 2009/10: A case study of an extreme Arctic Oscillation event and a skillful climate prediction // *AGU Fall Meeting Abstracts*. 2010. doi: 10.1029/2010GL044256.
17. *Fereday D.R. et al.* Seasonal forecasts of northern hemisphere winter 2009/10 // *Environ. Res. Lett.* 2012. Vol. 7, No. 3.
18. *Gastineau G., Frankignoul C.* Influence of the North Atlantic SST variability on the atmospheric circulation during the twentieth century // *J. Climate*. 2015. Vol. 28. P. 1396-1416.
19. *Jung T., Vitart F., Ferranti L., Morcrette J.-J.* Origin and predictability of the extreme negative NAO winter of 2009/10 // *Geophys. Res. Lett.* 2011. Vol. 38. No. 7.
20. *Maidens A. et al.* The influence of surface forcings on prediction of the North Atlantic Oscillation regime of winter 2010/11 // *Month. Weath. Rev.* 2013. Vol. 141, No. 11. P. 3801-3813.
21. *Moore G.W.K., Renfrew I.A.* Cold European winters: interplay between the NAO and the East Atlantic mode // *Atmos. Sci. Lett.* 2012. Vol. 13. P. 1-8.
22. *Ouzeau G. et al.* European cold winter 2009–2010: How unusual in the instrumental record and how reproducible in the ARPEGE-Climat model? // *Geophys. Res. Lett.* 2011. Vol. 38, No. 11.

23. *Osborn T.J.* Winter 2009/2010 temperatures and a record breaking North Atlantic Oscillation index // *Weather*. 2011. Vol. 66. P. 19-21.
24. *Rodwell M.J., Folland C.K.* Atlantic air-sea interaction and seasonal predictability // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 2002. Vol. 128. P.1413-1443.
25. *Santos J.A., Woollings T., Pinto J.G.* Are the winters 2010 and 2012 archetypes exhibiting extreme opposite behavior of the North Atlantic jet stream? // *Mon. Wea. Rev.* 2013. Vol. 141, No. 10. P. 3626-3640.
26. *Scaife A.A. et al.* European climate extremes and the North Atlantic Oscillation // *J. Climate*. 2008. Vol. 21. P. 72-83.
27. *Scaife A.A. et al.* Skillful long-range prediction of European and North American winters // *Geophys. Res. Let.* 2014. Vol. 41, No. 7. P. 2514-2519.
28. *Seager R. et al.* Northern Hemisphere winter snow anomalies: ENSO, NAO and the winter of 2009/10 // *Geophys. Res. Let.* 2010. Vol. 37, No. 14.
29. *Smith D.M. et al.* Seasonal to decadal prediction of the winter North Atlantic Oscillation: emerging capability and future prospects // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 2016. Vol. 142. P. 611-617.
30. *Sutton R.T., Dong B.* Atlantic ocean influence on a shift in European climate in the 1990s // *Nat. Geosci.* 2012. Vol. 5. P. 788-792.
31. *Taws S.L., Marsh R., Wells N.C., Hirschi J.* Reemerging ocean temperature anomalies in late-2010 associated with a repeat negative NAO // *Geophys. Res. Let.* 2011. Vol. 38. No. 20.
32. *Wang L., Chen W.* Downward Arctic Oscillation signal associated with moderate weak stratospheric polar vortex and the cold December 2009 // *Geophys. Res. Let.* 2010. Vol. 37, No. 9.
33. *Wang C., Liu H., Lee S.K.* The record breaking cold temperatures during the winter of 2009/2010 in the Northern Hemisphere // *Atm. Sci. Let.* 2010. Vol. 11, No. 3. P. 161-168.
34. *Wells N.C.* The North Atlantic ocean and climate change in the UK and northern Europe // *Weather*. 2016. Vol. 71, No. 1. P. 3-6.
35. *Woollings T., Harvey B., Masato G.* Arctic warming, atmospheric blocking and cold European winters in CMIP5 models // *Environ. Res. Let.* 2014. Vol. 9. No. 1.
36. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/JFM_season_ao_index.shtml

Поступила в редакцию 14.04.2017 г.