

Е.С. Пальцева, А.И. Угрюмов, Н.В. Федосеева

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ИСЛАНДСКОЙ ДЕПРЕССИИ И
ФОРМИРОВАНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА
НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ**

E.S. Paltseva, A.I. Ugryumov, N.V. Fedoseyeva

**LONG-TIME DYNAMICS OF THE ICELANDIC LOW AND SHORT-TERM
CLIMATIC VARIATIONS IN NORTH-WESTERN RUSSIA**

Исследована связь климатических колебаний температуры воздуха в Санкт-Петербурге в XX и начале XXI века с длительными изменениями географического положения Исландской депрессии. Обнаружена значительная зависимость температуры от широты и долготы Исландской депрессии. Однако теснота данной связи меняется со временем – она наиболее высока в периоды глобальных потеплений.

Ключевые слова: короткопериодные изменения климата, Санкт-Петербург, циркуляция атмосферы, исландская депрессия.

The time series on both annual temperature in St.-Petersburg and geographic localization of the Icelandic depression were studied throughout the XX and in the early XXI centuries. It was noted, the low latitude and longitude and the temperature are essentially linked. However, strength of the link observed is varying on the given time scale with the highest values during the global warming periods.

Keywords: Short-term climatic changes, St.-Petersburg, atmospheric circulation, the Icelandic low.

Климатическая изменчивость

Известно, что изменения климата Земли совершаются в большом спектре временных масштабов с периодами от миллионов до нескольких десятков лет. Если рассматривать колебания климата за последние 100-150 лет, которые принято называть современными изменениями климата, то можно уверенно выделить два временных масштаба колебаний: вековой, выраженный в виде положительного тренда температуры, и короткопериодный, представленный циклическими изменениями температуры длительностью в несколько десятков лет. Оба вида изменений глобальной температуры хорошо видны на рис. 1, заимствованном из работы [3].

Помимо очевидного положительного тренда температуры (рис. 1) отмечаются три не менее очевидных волны потеплений с максимумами (по сглаженному ряду) в 1880-1890 гг., в 1940-1950 гг. и в 2000-2010 гг. Если рассматривать современные изменения климата в региональном аспекте, короткопериодные циклические колебания температуры будут выражены еще ярче, хотя их временная привязка может быть иной, чем у средней глобальной температуры. Так, в Санкт-Петербурге (рис. 2, см. далее) в

1900–2010 гг. кроме положительного тренда отмечались следующие по времени максимумы температуры: 1910, 1920, 1936, 1950, 1975, 1990, 2005 гг.

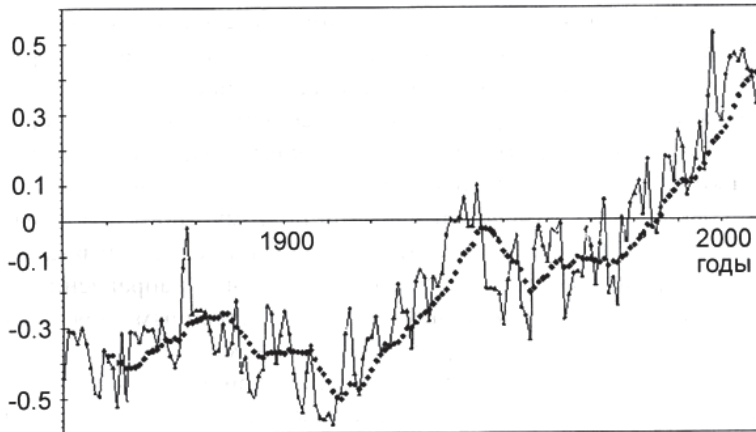


Рис. 1. Средние годовые аномалии глобальной температуры воздуха у земной поверхности (тонкая линия) и их осредненные за предыдущие 11 лет величины (прерывистая жирная линия).

Современные изменения регионального климата целесообразно, таким образом, разделить на два класса: первый представлен трендовой составляющей изменения температуры, а второй — циклической составляющей. А.В. Кислов [3] предлагает именовать первый класс собственно *изменениями климата*, а второй — *климатической изменчивостью*. Мы будем придерживаться именно такой классификации, поскольку она обладает несомненными достоинствами с точки зрения изучения генезиса изменений климата, выявления их физических причин.

Оставляя пока в стороне вековые изменения климата, возможные причины которых анализируются во множестве работ (обзор см. в [2, 3, 7]) и привлекают сейчас главное внимание мирового научного сообщества, рассмотрим механизмы региональной климатической изменчивости. Она достойна не меньшего внимания по двум причинам. Во-первых, именно короткопериодные изменения климата вызывают наибольший интерес с точки зрения прогноза климатических изменений на 10–20 лет вперед. Для ныне живущего и следующего поколений человечества многих регионов Земли реалистичные оценки будущей температуры, количества осадков, повторяемости неблагоприятных явлений погоды являются необходимой предпосылкой устойчивого развития. Во-вторых, в области моделирования региональной климатической изменчивости уже достигнуты вполне определенные успехи, т.е. имеется некоторая теоретическая база для развития схем краткосрочного климатического прогноза. Это — все известные и общепризнанные модели автоколебательных процессов в системе океан–атмосфера, среди которых, в первую очередь, следует назвать Северо-Атлантическое колебание, Северо-Тихоокеанское колебание, Арктическое колебание и Эль-Ниньо — Южное колебание. Несмотря на планетарный масштаб данных механизмов, все они действуют

в определенных регионах Земли. Так, Северо-Атлантическое колебание во многом определяет длительные колебания погоды и климата в Северной Атлантике и западной половине Евразии [9, 11, 12]. Ареалом Эль-Ниньо – Южное колебание являются тропические районы Тихого и Индийского океанов, проникновение влияния этого механизма в умеренные широты часто декларируется, но убедительно еще не доказано [8].

Северо-Атлантическое колебание

Задача данной работы – показать, как формируется климатическая изменчивость в Северо-Западном регионе России под влиянием Северо-Атлантического колебания (САК) и отдельных его звеньев. Поэтому рассмотрим кратко особенности САК. Циркуляционной основой данного механизма является взаимодействие двух квазипостоянных центров высокого и низкого давления в Северной Атлантике [9]. Центр циклонической системы расположен к юго-западу от о. Исландия, и поэтому она получила название исландской депрессии, или исландского минимума давления. Южнее, в районе Азорских островов, расположен центр антициклонической системы – азорский максимумом давления или антициклон. Эти барические системы традиционно называются центрами действия атмосферы.

Благодаря наличию центров действия атмосферы, в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно наблюдается западно-восточный перенос воздушных масс. Однако интенсивность этого переноса значительно меняется во времени, поскольку центры действия испытывают согласованные циклические изменения давления и положения в пространстве. Этот процесс и получил название Северо-Атлантического колебания. В последнее время выявлены аналогичные циклические изменения температуры поверхности воды в Атлантическом океане, которые оказались хорошо согласованными с колебаниями зонального потока в атмосфере [5]. Таким образом, САК является единым процессом, протекающим одновременно в океане и атмосфере, и представляет собой результат их крупномасштабного взаимодействия.

Северо-Атлантическое колебание обладает одним фундаментальным свойством: в масштабе климатической изменчивости (10–20 лет) исландская депрессия и азорский антициклон совершают согласованные возвратно-поступательные движения вдоль оси, ориентированной с юго-запада на северо-восток относительно их среднего многолетнего положения. Эта закономерность была количественно подтверждена в работе [9], где показано, что в течение 120 последних лет коэффициент корреляции между широтой (увеличение к северу) и долготой (увеличение к востоку) каждого из центров действия положителен и равен 0,70. Кроме того, в работе [9] приведена таблица средних за каждое 10-летие периода 1873–1995 гг. координат центров действия. Положения этих центров, нанесенные на карту Северной Атлантики, образуют узкие эллиптические зоны, вытянутые с юго-запада на северо-восток.

С точки зрения изучения влияния САК на климатическую изменчивость в Европе этот вывод очень важен. Действительно, в периоды приближения циркуляционной системы САК к Европе (максимальные широты и долготы центров) неизбежно должна увеличиваться адвекция теплого атлантического воздуха на континент, вызывая климатическое потепление. В периоды крайнего юго-западного положения центров

зональный поток над Европой слабеет, уступая место влиянию на климат других циркуляционных факторов, скорее всего, арктическому антициклону, вызывающему похолодания. Одним из подтверждений справедливости данной схемы могут служить результаты работы Дж. Харрела, где приведена карта повышения температуры воздуха в Северном полушарии при возрастании индекса САК. Примечательно, что наибольший рост температуры отмечается в Европе с центром на Северо-Западе России [12]. Понятно, что описанная схема может действовать, в основном, в холодную часть года, когда океан существенно теплее материка.

Исландская депрессия и климат Санкт-Петербурга

С целью дальнейшего подтверждения описанной выше схемы формирования климатической изменчивости получим количественные оценки связи САК с температурой воздуха в Северо-Западном регионе России. При этом следует учесть, что зимой Северного полушария из двух объектов САК наибольшее развитие имеет исландская депрессия, азорский антициклон преобладает в данной паре центров действия летом [9]. Поэтому в качестве показателей состояния САК в зимний период выберем параметры, описывающие исландскую депрессию – давление в центре, широту и долготу расположения.

В качестве показателя температурного режима Северо-Запада России были взяты данные по Санкт-Петербургу за сезон весны (март – апрель). Выбор станции наблюдений и сезона года диктовался следующими соображениями: 1) данные по Петербургу наиболее полные и репрезентативные, 2) последнее потепление, вызывающее наибольший интерес у исследователей климата, было в Петербурге наиболее интенсивным зимой и, особенно, весной.

Для подтверждения последнего тезиса сошлемся на результаты работы [4], где были оценены для всех месяцев года положительные линейные тренды температуры на Северо-Западе России за период с 1961 по 1993 гг. Ниже представлены значения линейных трендов абсолютного максимума температуры, отнесенные к 10-летнему периоду (таблица).

Значения линейных трендов абсолютного максимума температуры, отнесенные к 10-летнему периоду

Январь	0,8	Июль	-0,2
Февраль	0,7	Август	0,0
Март	1,1	Сентябрь	-0,7
Апрель	1,0	Октябрь	0,1
Май	0,1	Ноябрь	-0,9
Июнь	0,0	Декабрь	0,3

Последнее потепление климата привлекает особенное внимание потому, что результаты математического моделирования будущего роста температуры планеты с

учетом прогнозируемого увеличения CO_2 в атмосфере часто интерпретируются так, что наблюдаемое потепление уже есть результат антропогенного влияния на климат (см. обзоры в [3, 6, 7]). В этой связи интересно проверить, не может ли значительный, хотя и региональный, рост температуры на Северо-Западе России после 1980 г., иметь циркуляционную причину, а именно изменения интенсивности САК.

Для выявления зависимости между состоянием исландской депрессии и температурного режима в Санкт-Петербурге использовались временные ряды среднего за декабрь, январь и февраль давления в центре депрессии, значения ее широты и долготы (период с 1900 г. по 2009 г.). Режим температуры воздуха в Петербурге характеризовался средними значениями температуры за каждый год в марте – апреле за тот же период.

Далее указанные временные ряды трансформировались в ряды аномалий, т.е. отклонений ежегодных величин от их средних многолетних значений за весь исследуемый период. Для того чтобы выявить длительные колебания масштаба десятилетий, полученные временные ряды аномалий подверглись операции скользящего сглаживания по 7 лет, а затем дополнительно по 3 года.

Для оценки статистических связей между параметрами исландской депрессии и температурой воздуха в Петербурге рассчитывались коэффициенты корреляции временных рядов и строились совместные графики их временного хода в целях иллюстрации найденных связей. Прежде всего, следует отметить, что коэффициент корреляции аномалий давления в центре депрессии и аномалий температуры в Петербурге близок к нулю. Это означает, что один из традиционных показателей САК как климатообразующий фактор на Северо-Западе России «не работает». Гораздо лучше статистические связи температуры в Петербурге с широтой и долготой исландской депрессии. Обе связи оказались прямыми и оцениваются следующими коэффициентами корреляции: для широты расположения исландской депрессии и температуры в Петербурге статистическая связь характеризуется коэффициентом корреляции $R = 0,65$, а для долготы исландской депрессии $R = 0,50$. Это означает, что смещение депрессии к северо-востоку (растет ее широта и долгота), т.е. приближение ее к Санкт-Петербургу, действительно вызывает тенденцию потепления климата на Северо-Западе России. При этом Петербург испытывает влияние южной периферии депрессии, по которой на континент распространяется теплый в зимних и весенних условиях атлантический воздух.

Проиллюстрируем теперь наглядно связи аномалий широты и долготы исландской депрессии с аномалией температурой в Санкт-Петербурге соответствующими графиками временного хода этих величин (рис. 2 и 3).

По графикам можно сделать вывод о том, что достаточно четко проявляются циклические колебания исследуемых величин. Период колебаний изменяется в большей части 20 столетия от 10 до 15 лет. Последнее потепление, начавшееся согласно графикам на рис. 2 и 3 примерно с 1960 г., сопровождается ростом и широты, и долготы исландской депрессии, при этом детали потепления подтверждаются временным ходом параметров депрессии. Так, например, задержка потепления в 1970-1980 гг. сопровождается стабилизацией широты расположения депрессии и даже отрицательными аномалиями ее долготы. Дальнейший резкий рост температуры связан со столь же резкой миграцией депрессии к северу и востоку.

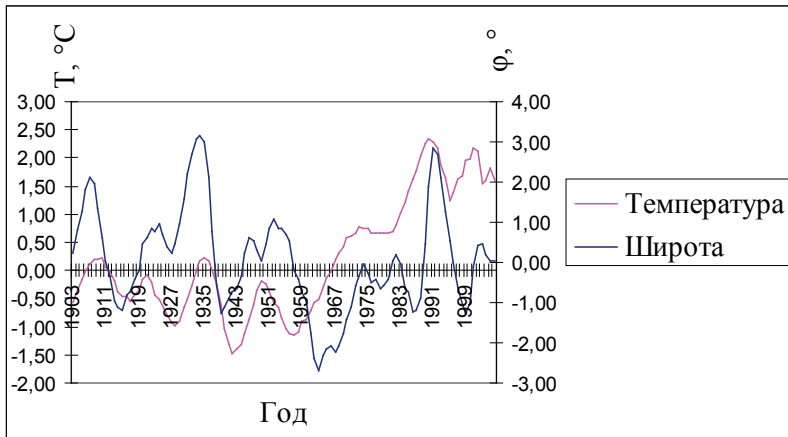


Рис. 2. График временного хода аномалии широты исландской депрессии и аномалии температуры в Санкт-Петербурге за период с 1900 по 2009 гг.

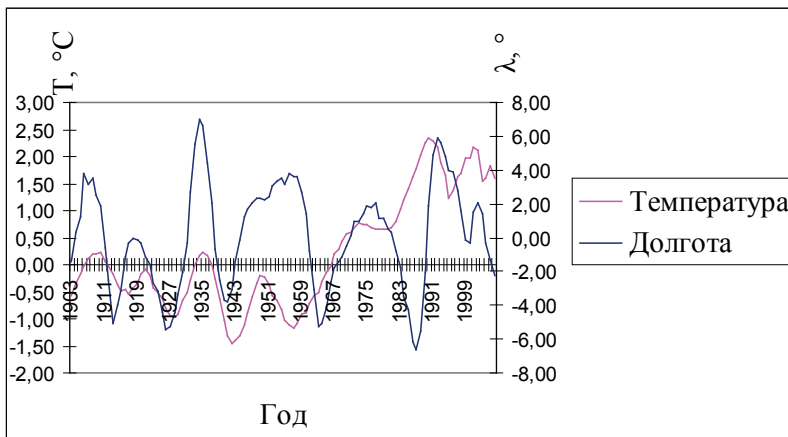


Рис. 3. График временного хода аномалии долготы исландской депрессии и аномалии температуры в Санкт-Петербурге за период с 1900 по 2009 гг.

Обнаруженные связи подтверждает адвективный, циркуляционный механизм климатической изменчивости весеннего сезона на Северо-Западе России. Особенно важно, что они описывают не только феномен последнего экстремального потепления, но и его временные особенности. На рис. 2 и 3 хорошо видно, что примерно с начала 1990-х гг. потепление вступило в фазу стабилизации, одновременно широта и долгота исландской депрессии стали приближаться к норме. Учитывая цикличность климатической изменчивости, можно предположить, что сейчас наступает

период регионального похолодания климата на Северо-Западе России, связанный с отходом исландской депрессии к своему нормальному положению. Определенным подтверждением этому является возобновление зимних холодов в 2009/2010 и 2010/2011 гг. на Европейской территории России после длительного господства аномально теплых зим.

Вместе с тем, авторы не склонны игнорировать результаты численного моделирования климатических изменений с учетом наблюдаемого роста содержания парниковых газов, особенно CO_2 , в атмосфере Земли. Однако рост температуры атмосферы, вызываемый парниковым эффектом, относится именно к **изменениям климата**, имеющим вековой масштаб, а не к **климатической изменчивости**, происходящей в масштабе десятилетий. Два этих вида климатических флуктуаций обуславливают и разные масштабы (амплитуды) изменений температуры воздуха. Это хорошо видно при анализе результатов численного моделирования парникового эффекта.

В работе [3] приведены результаты расчета глобальной температуры воздуха до 2100 г. по целому ансамблю численных моделей, учитывающих разные сценарии дальнейшего развития промышленности, транспорта и других сторон экономики. Так, наиболее «жесткий» сценарий А2 предполагает бесконтрольное развитие региональных экономик при полном отсутствии природоохранных мероприятий (наибольшая эмиссия парниковых газов в атмосферу). Сценарий В1, напротив, наиболее «мягкий», при нем мир ориентирован на устойчивое развитие, разработку и внедрение новых чистых технологий. Так вот, при реализации сценария А2 вековой рост глобальной температуры от базового 2000 г. оценивается в $3,6\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. в среднем $0,36\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$. Сценарий В1 дает $1,8\text{ }^\circ\text{C}$ или $0,18\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$. На уровне наших современных знаний, это и есть возможная «вилка» антропогенного влияния на климатический рост температуры.

Климатическая изменчивость масштаба десятилетий характеризуется совершенно иными амплитудами изменения температуры. Так, по данным рис. 2 и 3, рост температуры в Петербурге с 1960 по 1990 гг. составил $3,4\text{ }^\circ\text{C}$ или $1,13\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$. Это в 3,1 раза больше, чем антропогенное повышение температуры по сценарию А2, и в 6,3 раза больше, чем по сценарию В1.

Из этого сопоставления и результатов, полученных в нашей работе, следует, что при прогнозе климата на 10-20 лет, по крайней мере, в Северной Европе следует, прежде всего, учитывать влияние на температуру длительных изменений атмосферной циркуляции, которые являются следствием развития Северо-Атлантического колебания.

Об одной особенности статистических связей

На графиках рис. 2 и 3 видно, что существуют периоды хорошей прямой связи параметров исландской депрессии с температурой воздуха, когда максимумы и минимумы сравниваемых величин совпадают по времени. Однако есть и периоды нарушения прямой связи. Например, для широты депрессии хорошая прямая связь прослеживается в период с 1900 по 1955 гг. Далее до 1965 г. наблюдается обратная связь между исследуемыми величинами, т.е. с уменьшением широты депрессии температура

в Петербурге все-таки растет. Потом прямая связь опять восстанавливается. Вот здесь мы подходим к одному из коренных вопросов статистических исследований в области долгосрочных прогнозов погоды и короткопериодных изменений климата. В принципе, основные факторы, которые способны влиять на долговременные изменения погоды и климатическую изменчивость, нам известны [10]. Однако история изучения этих факторов показывает, что найденные на одном периоде хорошие связи, объясняющие влияние какого-либо из них на формирование климата и погоды, с течением времени ухудшаются, либо вообще становятся обратными.

Классическим примером такой «изменчивости» статистических связей является обнаруженная еще Уокером, отцом так называемого Метода мировой погоды, статистическая связь между уровнем воды в экваториальном озере Виктория и ледовитостью Арктики (!). На момент установления связи (начало XX в.) она характеризовалась положительным коэффициентом корреляции около 0,8. В 1920-1930 гг. связь эта исчезла, а вот, начиная с 1950 г., вновь восстановилась, но уже была отрицательной и столь же тесной [1]. Примеров такого рода и в более поздних исследованиях не счесть. Это, конечно, не способствует развитию прогнозов на далекую перспективу. В чем же здесь дело?

Мы полагаем, что в большом количестве действующих факторов, неравномерности их влияния на климатическую изменчивость и в очень слабой изученности их совместного действия. Позволим себе высказать предположение, что в определенные отрезки времени некоторые факторы климатообразования могут быть доминирующими, затем они «уступают место» другим факторам и теряют свою лидирующую роль. Затем вновь их влияние обнаруживается.

В качестве примера изменяющейся со временем роли одного из факторов в формировании климатической изменчивости рассмотрим самую тесную статистическую связь из обнаруженных нами, связь аномалий температуры в Петербурге и широты исландской депрессии (рис. 2). Проведем скользящую оценку данной связи по следующей методике. Разобьем весь временной ряд на 20-летия, центры которых отстоят один от другого на 5 лет. Так, первое 20-летие включает в себя 1900-1920 гг., второе 20-летие — 1905-1925 гг., третье — 1910-1930 гг. и так далее. Для каждого 20-летия рассчитаем коэффициенты корреляции между значениями аномалий температуры в Петербурге и значениями аномалий широты исландской депрессии. Полученные коэффициенты корреляции отнесем к серединам 20-летних интервалов. В результате мы получим диаграмму, позволяющую судить, как изменялась теснота статистической связи «температура в Петербурге — широта исландской депрессии» в течение прошедшего века. Результаты представлены на рис. 4.

Прежде всего, заметно, что теснота статистической связи действительно и весьма существенно меняется со временем. Так, отмечается периоды высокой положительной связи в 1910-1915 гг., в 1925-1950 гг. и достаточно тесной — в 1970-2000 гг. В остальное время связь либо отсутствует, либо даже отрицательна (в 1950-1970 гг. она характеризуется коэффициентом корреляции, равном почти — 0,6). В периоды хорошо выраженной положительной связи коэффициенты корреляции в максимуме достигали 0,80. Период нарушения положительной связи составляет примерно пятую часть всего XX столетия.

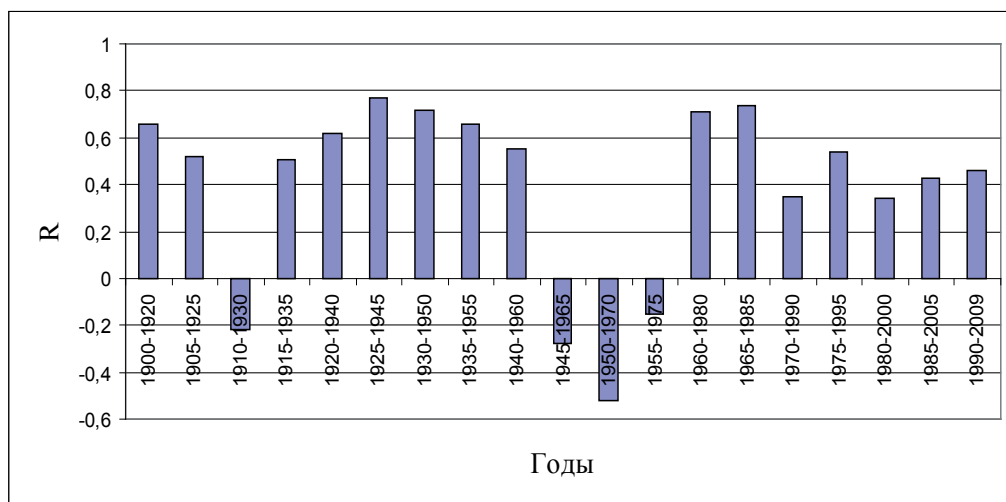


Рис. 4. Диаграмма временного хода скользящих коэффициентов корреляции для временных рядов аномалий широты исландской депрессии и аномалий температуры в Петербурге.

Таким образом, нам удалось установить периоды наличия, отсутствия и нового возрождения статистических связей между широтой расположения исландской депрессии и температурой в Петербурге в течение XX – начала XXI вв. В чем же причина векового изменения тесноты исследованных связей? Окончательный ответ на данный вопрос вряд ли можно дать в пределах нашей работы, но можно попытаться высказать некоторые предположения, которые полезны для дальнейших исследований.

Как известно, режим атмосферной циркуляции в Европе находится под влиянием активности четырех центров действия атмосферы: исландского циклона, азорского, арктического и сибирского антициклонов [1, 10]. Резонно предположить, что в периоды слабого влияния исландской депрессии на климат Северной Европы, основная климатообразующая роль переходит к антициклоническим центрам действия. Поскольку мы рассматриваем весенний сезон (март-апрель), скорее всего, это арктический антициклон. Азорский антициклон именно в марте-апреле имеет минимум развития [9], а в вторжения гребня сибирского антициклона на территорию Европы – процесс исключительный, отмечающийся редко.

Литература

1. *Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И.* Долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985.
2. *Борисенков Е.П., Пасецкий В.М.* Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия. – СПб.: Гидрометеоздат, 2002.
3. *Кислов А.В.* Динамика климата в XX и XXI веке. // Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. – М.: МАКС Пресс, 2011.

4. Климат России. / Под ред. Н.В. Кобышевой. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001.
5. *Лаврова И.В., Угрюмов А.И.* Северо-Атлантическое колебание в океане и его влияние на ледяной покров в западном секторе Арктики. // Ученые Записки РГГМУ, 2009, № 9.
6. Наш будущий климат. // ВМО, № 952, Женева, Швейцария, 2003.
7. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. — Казань: Казанский гос. университет, 2009.
8. *Петросянц М.А., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Соколикхина Е.В., Соколикхина Н.Н.* Циркуляция атмосферы в тропиках. Климат и изменчивость. — М.: МАКС Пресс, 2005.
9. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. — СПб.: изд. РГГМУ, 1998.
10. *Угрюмов А.И.* Долгосрочные метеорологические прогнозы. — СПб.: изд. РГГМУ, 2006.
11. *Угрюмов А.И.* Тепловой режим океана и долгосрочные прогнозы погоды. —Л.: Гидрометеиздат, 1981. —176 с.
12. *Hurrell J.W.* The North Atlantic Oscillation. // National Center for Atmospheric Research. National Academy of Sciences. 12-th Annual Symposium "FRONTIERS OF SCIENCE". November 2-4, 2000.