

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.465

А.Б. Полонский

Атлантическая мультидекадная осцилляция и ее проявления в Атлантико-Европейском регионе

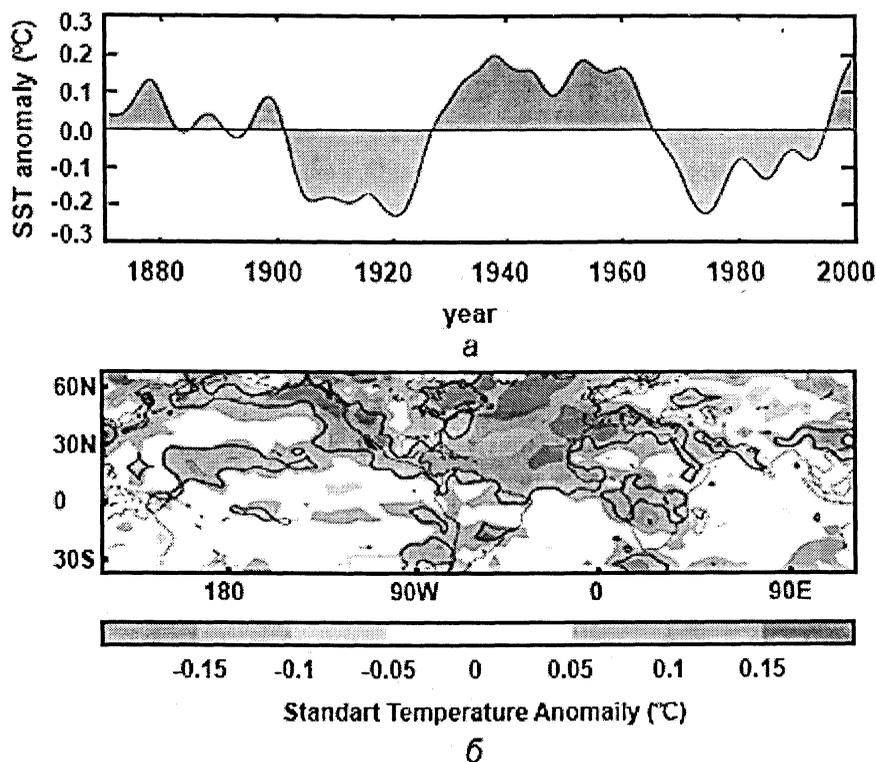
Статья – краткий обзор работ по Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), представляющей собой квазипериодические изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике с характерным временным масштабом от 50 до 100 лет. АМО – одно из проявлений естественной изменчивости в системе океан – атмосфера. Характерный масштаб АМО определяется скоростью меридиональной океанической циркуляции в Северной Атлантике. АМО влияет на различные климатические характеристики: температуру воздуха и сток рек в Европейском и Северо-Американском регионах, количество и интенсивность тропических циклонов в Атлантике, параметры среднеширотных циклонов и антициклонов в Атлантико-Европейском регионе. Главным механизмом, посредством которого АМО влияет на климатические характеристики прилегающих к Северной Атлантике регионов, является атмосферная реакция на термические аномалии в океане, приводящая к смещению центров действия атмосферы, изменению интенсивности и преобладающего направления распространения атмосферных циклонов и антициклонов. С использованием данных длительных инструментальных наблюдений в Восточной Европе и о реконструированной температуре в Альпийском регионе показано, что АМО определяет существенную долю низкочастотной изменчивости температуры в Европе. Это подтверждает потенциальную предсказуемость региональных атмосферных проявлений АМО на декадном масштабе.

Введение. Общие сведения об Атлантической мультидекадной осцилляции. Атлантической мультидекадной осцилляцией (АМО) называют квазипериодические изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике с характерным временным масштабом от 50 до 100 лет. Естественная изменчивость в системе океан – атмосфера с таким масштабом описывалась во многих работах (см., например, [1 – 13]). По-видимому, впервые она была проанализирована в работе [11] на основе данных инструментальных наблюдений за температурой и атмосферным давлением в XX в. для акватории Северной Атлантики. Почти одновременно Шлезингер и Раманкути, используя одномерный спектральный анализ глобальных данных о приземной температуре и температуре поверхности океана, осредненных по нескольким крупным регионам, показали, что АМО – это главным образом североатлантическая мода, поскольку она проявлялась именно в этом регионе [13]. Позднее был установлен следующий важный факт [8]. Междесятилетняя мода глобальной температуры поверхности океана является одним из главных сигналов в поле температуры Мирового океана на масштабах от межгодового до междекадного, не связанных с Эль-Ниньо – Южным колебанием и вызывающих атмосферный отклик в поле давления. Амплитуда этого сигнала максимальна в Северной Атлантике. Другими словами, фактически это североатлантическая мода, амплитуда которой достигает макси-

© А.Б. Полонский, 2008

му юго-восточнее Гренландии. Поэтому в некоторых работах (например, [1, 2]) она названа междекадной модой. Североатлантического колебания (САК). Термин АМО стал общеупотребительным по отношению к этой моде лишь в самые последние годы. Он подчеркивает не только атлантическое происхождение, но и низкочастотный характер колебания. Несколько позже АМО была обнаружена при моделировании глобальной климатической системы с помощью совместных моделей системы океан – атмосфера [5, 6, 10, 12].

Для количественной характеристики АМО часто используют индекс, который представляет собой среднегодовую аномалию температуры поверхности океана в Северной Атлантике (обычно осредненную между экватором и 60° с.ш.). Изменчивость этого индекса имеет квазипериодический характер (рис. 1, а). В качестве другой характеристики АМО можно использовать сглаженный низкочастотным фильтром индекс САК. Анализ долговременных рядов индекса САК, восстановленных по палеоданным с 1675 г., выявил, что 54 – 68-летние вариации индекса САК значимы на 1%-ном уровне [14]. Позднее авторы работы [7] показали, что существует значимая десятилетняя изменчивость потоков тепла на границе океан – атмосфера, связанная с низкочастотной модой САК (т.е. фактически с АМО).



Р и с. 1. Изменчивость индекса АМО (а) и аномалии приземной температуры на Земном шаре при положительных величинах индекса АМО, равных одному стандартному отклонению σ_I (б) (по [10])

Главным механизмом, формирующим низкочастотную изменчивость температуры поверхности океана и потоков тепла на границе раздела океан – атмосфера в Северной Атлантике (т.е. АМО), считаются квазипериодические колебания меридионального переноса тепла в Северной Атлантике, хотя относительно основной причины генерации АМО существуют разные точки зрения. Одни авторы считают, что квазипериодические низкочастотные колебания меридионального переноса тепла в Северной Атлантике являются следствием сдвига фаз между термической и халинной модами. Другие настаивают на преимущественно термическом происхождении АМО. В последнем случае АМО, по их мнению, поддерживается сдвигом фаз между изменчивостью температуры поверхности океана и потоков тепла на границе раздела океан – атмосфера (см. обсуждение этого вопроса в работах [1, 2, 5, 6, 10, 12]). На важность последнего механизма указывает тот факт, что между низкочастотной изменчивостью абсолютной влажности приводной атмосферы, приводящей к изменчивости скрытых турбулентных потоков тепла на границе раздела вода – воздух, и температуры поверхности океана в северо-западной части Северной Атлантики наблюдается сдвиг фаз в 16 – 17 лет [1].

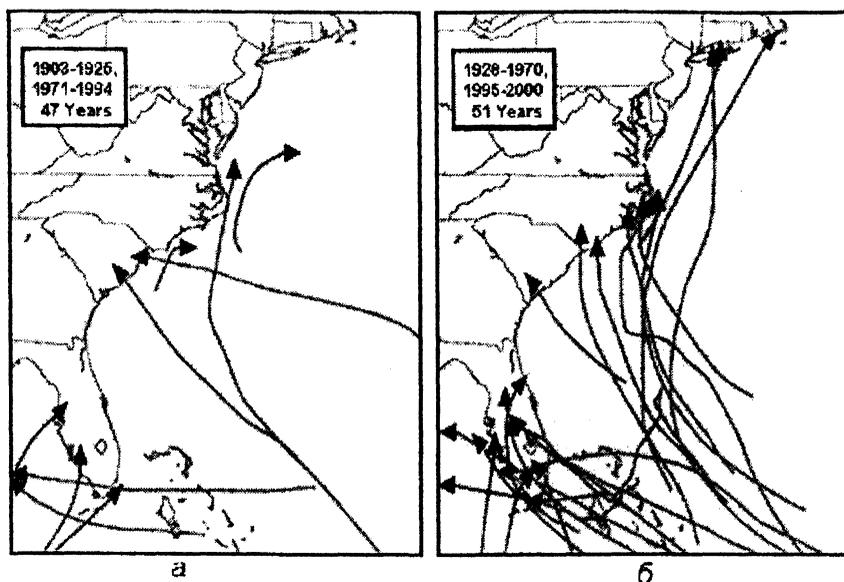
Проявления Атлантической мультидекадной осцилляции в крупномасштабных атмосферных характеристиках и статистике циклонов в Атлантико-Европейском регионе. Несмотря на то, что АМО представляет собой главным образом океанский сигнал, она приводит к значимому атмосферному отклику, на что, по-видимому, впервые обратил внимание Ю. Кушнир в работе [11]. Авторы работы [8], используя данные об атмосферном давлении с середины XIX в., показали, что существует значимый глобальный атмосферный отклик на аномалии температуры поверхности воды в Северной Атлантике. Причем этот отклик проявляется во всей нижней и средней тропосфере. Вследствие этого общая циркуляция атмосферы характеризуется различными режимами при высоких и низких индексах АМО (т.е. при положительных величинах индекса АМО, превышающих стандартное отклонение σ_1 , и отрицательных его величинах, меньших σ_1). Сам индекс АМО при этом коррелирует с различными климатическими характеристиками: температурой воздуха и стоками рек в Европейском и Северо-Американском регионах, количеством и интенсивностью тропических циклонов в Атлантике, параметрами среднеширотных циклонов и антициклонов в Атлантико-Европейском регионе [2, 15 – 17].

Рассмотрим для иллюстрации три из наиболее важных проявлений АМО в региональных атмосферных характеристиках.

Во-первых, АМО формирует крупномасштабные термические аномалии в нижней тропосфере Северо-Атлантического региона. При высоком индексе АМО практически вся Северная Атлантика, Северная Америка и Западная Европа характеризуются положительными температурными аномалиями (рис. 1, б). Несмотря на относительно небольшую величину (около $0,2^\circ\text{C}$), они устойчивы, так как имеют достаточно большой временной масштаб, чтобы эффективно влиять на климатическую изменчивость в этом регионе.

Во-вторых, АМО влияет на количество и интенсивность атлантических тропических циклонов, оказывающих разрушительное воздействие на юго-

восточные штаты США. При высоких температурах поверхности воды (положительная фаза АМО) количество тропических циклонов (рис. 2), а также их интенсивность значительно увеличиваются. Это является свидетельством хорошо известного факта важности влияния температуры поверхности воды на тропические циклоны.



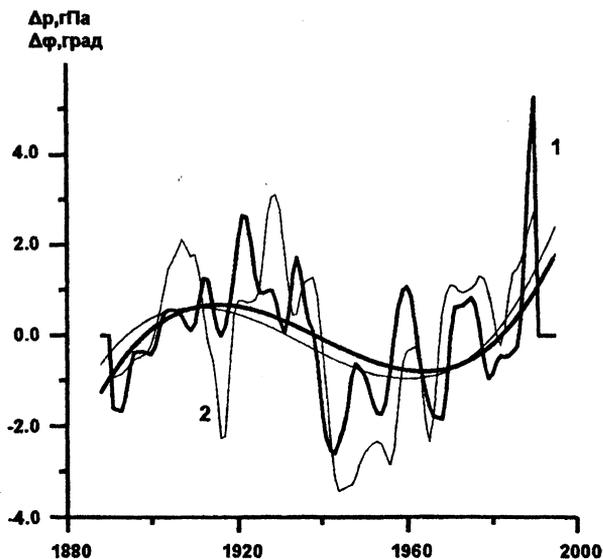
Р и с. 2. Траектории тропических циклонов в северо-западной части Субтропической Атлантики в период отрицательной (а) и положительной (б) фаз АМО (по [15])

В-третьих, АМО влияет на количество циклонов в Европейском регионе. Это влияние обусловлено смещением североатлантических центров действия атмосферы в разные фазы АМО (рис. 3). При высоких индексах АМО североатлантические циклоны распространяются преимущественно на Центральную и Восточную Европу, что приводит, в частности, к увеличению количества циклонов в Черноморском регионе (рис. 4).

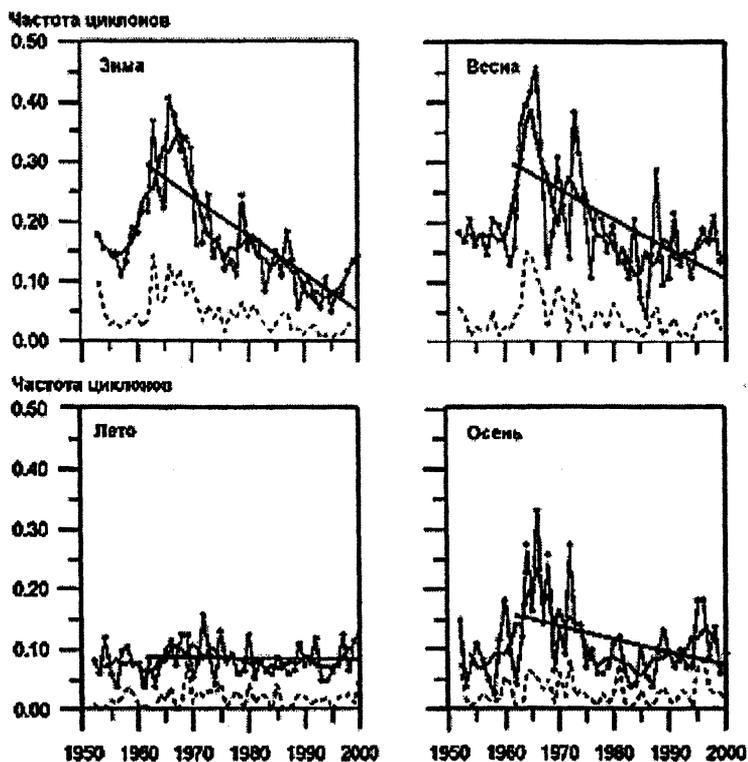
Необходимо подчеркнуть два следующих обстоятельства.

1. Для региональных восточно-европейских проявлений АМО исключительно важна именно величина смещения центров действия, а не изменения их глубины. Характер смещения центров действия атмосферы при положительных фазах АМО и САК (на межгодовом масштабе) различен. Если положительная фаза САК сопровождается смещением центров действия к северо-востоку, то при положительных индексах АМО центры действия смещаются к юго-западу [18]. Это обуславливает различие в характере (и даже знаке) связи индексов САК и АМО с параметрами циклонов Европейского региона.

2. На рис. 4 хорошо видны сезонные различия в низкочастотной изменчивости черноморских циклонов. Эти различия определяются тем, что описанный механизм влияния АМО на черноморские циклоны реализуется главным образом в зимне-весенний период. Летом влияние АМО на Черноморский регион минимально.

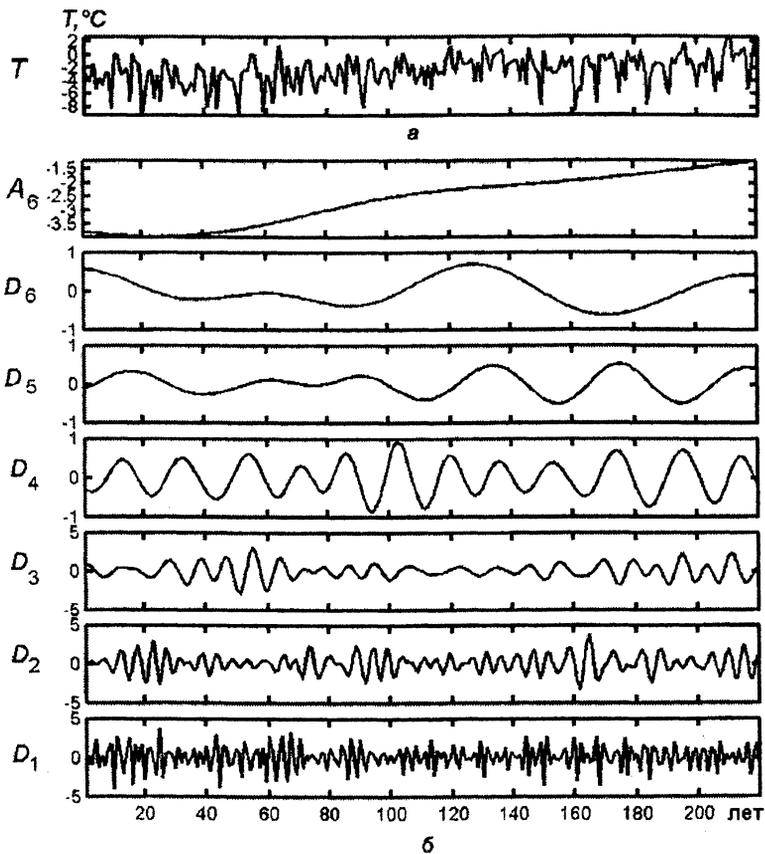


Р и с. 3. Изменчивость разности приземного давления в Азорском максимуме и Исландском минимуме зимой (1) и разности широт этих центров действия атмосферы (2), а также аппроксимирующие полиномы 3-го порядка соответственно (линейный тренд был предварительно удален и ряды профильтрованы 5-летним скользящим фильтром) (по [16])



Р и с. 4. Временной ход частоты циклонов в Черноморском регионе для четырех сезонов 1952 – 2000 гг. (тонкая сплошная кривая – данные по всем циклонам без фильтрации, жирная сплошная кривая – 5-летнее скользящее среднее для всех циклонов, прямая линия – линейный тренд частоты циклонов (с 1962 г.), штриховая – данные по 25% наиболее интенсивных циклонов) (по [17])

Статистическая значимость выделения различных характеристик Атлантической мультидекадной осцилляции. Предсказуемость АМО. Поскольку характерный период АМО составляет 50 – 100 лет, возможность статистически значимого выделения этой осцилляции по инструментальным данным продолжительностью 100 – 200 лет проблематична. Авторы работы [19] прямо указали на невозможность такого выделения, что послужило основой для продолжительной дискуссии по этому вопросу в литературе. Не вдаваясь в обсуждение принципиальных соображений, высказанных по этому поводу в различных работах, можно отметить, что с формальной точки зрения авторы работы [19], конечно, правы. Для статистически значимого выделения АМО необходимы значительно более длительные ряды наблюдений, чем доступные данные инструментальных гидрометеорологических наблюдений.



Р и с. 5. Изменчивость январской температуры в Варшаве за 1779 – 1998 гг. (а) и коэффициенты ее вейвлет-разложения (б) (при вейвлет-разложении использовался материнский вейвлет Мейера)

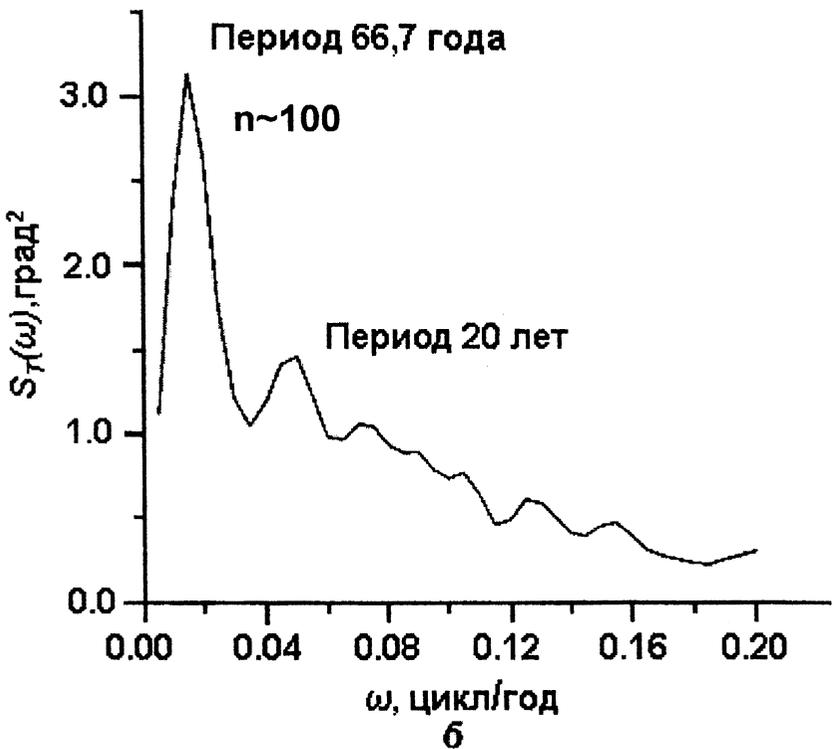
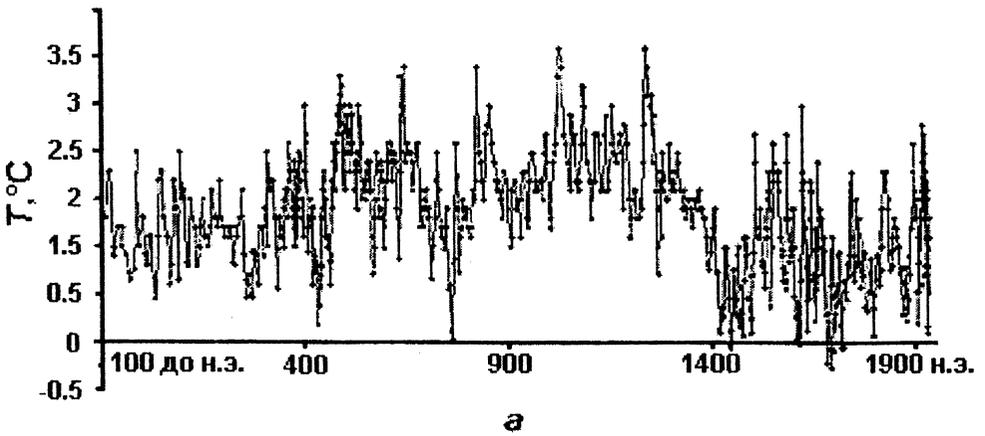
Это тем более справедливо для временных рядов, обнаруживающих перемежающиеся низкочастотные квазипериодические осцилляции. Именно к осцилляциям такого типа принадлежит АМО. Для иллюстрации этого факта обратимся к длительному ряду инструментальных наблюдений за январской температурой в Варшаве (с 1779 по 1998 гг.) и его вейвлет-разложению (рис. 5, а, б). И на самой временной реализации температуры, и на времен-

ном ходе коэффициента вейвлет-разложения D_6 хорошо видно наличие 60 – 80-летних колебаний температуры, накладывающихся на тренд или более низкочастотную изменчивость значительной интенсивности (см. график для коэффициента A_6). Причем типичная амплитуда этих колебаний меняется более чем в два раза, увеличиваясь в конце XIX в. и XX в. по сравнению с концом XVIII в. – первыми тремя четвертями XIX в. За весь период наблюдений было охвачено не более трех периодов АМО, что делает невозможной оценку статистической значимости полученного результата.

С целью оценки статистической значимости результатов расчета характеристик АМО необходимо привлекать значительно более длительные ряды, к которым относятся реконструкции гидрометеорологических характеристик по различным (в том числе палео-) данным. Обратимся к одной из последних реконструкций временной изменчивости температуры в Альпах за 2000-летний период (с 90 г. до нашей эры до 1935 г. [20]). Среднегодовая температура воздуха реконструирована в работе [20] по изотопному составу кислорода в сталагмитах одной из альпийских пещер. Временной ход восстановленной таким образом температуры воздуха указывает на значительные естественные колебания температуры в диапазоне периодов от 50 до нескольких сотен лет (рис. 6, а). Обращают на себя внимание резкое повышение температуры в период раннего средневековья, существенно превышающее скорость современного потепления (для Альпийского региона), и наличие квазипериодических 60 – 80-летних колебаний. Анализ первой особенности временной изменчивости температуры выходит за рамки настоящей работы (для этого можно, например, обратиться к оригинальной работе [20]). Для анализа 60 – 80-летних колебаний все флюктуации температуры с периодами, превышающими 200 лет, были отфильтрованы. Далее был рассчитан спектр по всей реализации с использованием фильтра Парзена. Этот фильтр был выбран, поскольку его характеристики относятся к числу таких, которые максимально увеличивают количество степеней свободы (уменьшают дисперсию оценки). При этом, правда, увеличивается смещение оценки. Однако точная локализация частоты (периода) преобладающего колебания является в данном случае не самым главным приоритетом. Задача заключается в оценке значимости 60 – 80-летних колебаний, а не в установлении более точной периодичности этих колебаний.

На рис. 6, б хорошо видно, что наиболее яркой особенностью спектра температуры является наличие значимого пика на периоде около 67 лет. Энергия (амплитуда) соответствующих колебаний максимальна во всей полосе периодов от 2 до 200 лет, причем сами эти колебания обуславливают почти 40% суммарной дисперсии температурных флюктуаций в указанном частотном диапазоне. Отметим, что спектр, приведенный на рис. 6, б, в целом характеризуется красным смещением (т.е. энергия спектральных компонент уменьшается от низких частот к высоким). На долю флюктуаций температуры с периодами, превышающими 20 лет, приходится более двух третей суммарной дисперсии. Это может показаться странным, так как обычно более энергонесущие колебания температуры воздуха концентрируются в более высокочастотной части спектра – на межгодовом масштабе (что подтвержда-

ет, в частности, и временной ход температуры воздуха в Варшаве, приведенный на рис. 5). Последнему факту, однако, не следует придавать особого значения, поскольку сам метод реконструкции приводит к уменьшению амплитуды наиболее высокочастотных компонент изменчивости температуры.



Р и с. 6. Изменчивость температуры, реконструированной в работе [20] по данным об изотопном составе сталагмитов в одной из альпийских пещер, (а) и спектр температуры, из которой отфильтрованы периоды, превышающие 200 лет (n – число степеней свободы), (б)

Вместе с тем относительно принципиального вопроса о значимости 60 – 80-летних колебаний температуры нижних слоев атмосферы, обусловленных АМО, и их достаточно большой интенсивности можно дать однозначно утвердительный ответ. Это дает возможность обоснованно судить о потенциальной предсказуемости АМО и ее атмосферных проявлений, по крайней мере, на масштабе десятилетия. Действительно, из-за большой инерции системы океан – атмосфера (в первую очередь за счет океанической ее компоненты, определяющей типичный период осцилляции в 60 – 80 лет) предсказуемость АМО и связанной с ней повторяемости различных гидрометеорологических событий (в том числе и катастрофических) в Северо-Атлантическом регионе на декадном масштабе оценивается как значимая. Необходимо отметить, что принципиально на это было обращено внимание еще в работе [21], однако до настоящего времени предсказуемость АМО и (особенно) связанных с ней атмосферных проявлений представляет собой предмет серьезных дискуссий. Это обусловлено, в частности, следующими двумя обстоятельствами.

1. Недостаточной уверенностью части исследователей в устойчивости меридиональной термохалинной циркуляции в современную климатическую эпоху. В последнее время, однако, все большее число авторов различных публикаций поддерживают мнение о том, что термическая мода меридиональной термохалинной циркуляции (типичная для нынешнего климата) достаточно устойчива, а реализация халинного режима Стоммела (т.е. термохалинной катастрофы) в ближайшие 100 – 200 лет маловероятна, на что ранее указывалась в нескольких работах (см., например, [2, 22]).

2. Малостью отношения сигнала к шуму для атмосферного отклика на АМО, обусловленной как небольшой абсолютной величиной аномалий температуры в разные фазы АМО (сигнал), так и значительной амплитудой собственной (внутренней) атмосферной изменчивости (шум). Последние исследования позволяют тем не менее надеяться, что, несмотря на это, полезный атмосферный сигнал АМО может быть выделен на статистически значимом уровне и служить основой для прогнозирования климатических тенденций на срок порядка десяти лет [2].

Заключение. Атлантическая мультидекадная осцилляция – это квазипериодические изменения температуры поверхности океана в Северной Атлантике с характерным временным масштабом от 50 до 100 лет, представляющие собой одно из проявлений естественной изменчивости в системе океан – атмосфера. Характерный временной масштаб АМО определяется скоростью меридиональной океанической циркуляции в Северной Атлантике. АМО проявляется в различных климатических характеристиках: температуре и стоках рек в Европейском и Северо-Американском регионах, количестве и интенсивности тропических циклонов в Атлантике, параметрах среднеширотных циклонов и антициклонов в Атлантико-Европейском регионе. Главным механизмом, посредством которого АМО воздействует на климатические характеристики прилегающих к Северной Атлантике регионов, является реакция потоков тепла на границе раздела океан – атмосфера и атмосферного давления на термические аномалии в океане. Это приводит к смещению цен-

тров действия атмосферы, изменению интенсивности и преобладающего направления распространения атмосферных циклонов и антициклонов. Большая инерция системы океан – атмосфера (за счет океанической компоненты, определяющей типичный период осцилляции в 60 – 80 лет) делает весьма перспективной значимую предсказуемость АМО и связанной с ней повторяемости различных гидрометеорологических явлений в Северо-Атлантическом регионе на декадном масштабе.

В заключение выражаю благодарность сотруднику Морского гидрофизического института НАН Украины А.В. Торбинскому за помощь в подготовке и техническом оформлении работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б.* Низкочастотная изменчивость гидрометеорологических полей и потоков тепла в Северной Атлантике // *Морской гидрофизический журнал.* – 2004. – № 4. – С. 19 – 38.
2. *Полонский А.Б.* Роль океана в современных изменениях климата // *Там же.* – 2001. – № 6. – С. 32 – 58.
3. *Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н.* Низкочастотная изменчивость меридиональных дрейфовых переносов в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* – 1996. – № 7. – С. 89 – 99.
4. *Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н.* О статистической структуре гидрометеорологических полей в Северной Атлантике // *Морской гидрофизический журнал.* – 2004. – № 1. – С. 14 – 25.
5. *Delworth T., Manabe S., Stouffer R.J.* Interdecadal variability of the thermohaline circulation in a coupled ocean-atmosphere model // *J. Climate.* – 1996. – 6, № 11. – P. 1993 – 2011.
6. *Delworth T., Greatbatch R.J.* Multidecadal thermohaline circulation variability driven by atmospheric surface flux // *Ibid.* – 2000. – 13, № 9. – P. 1489 – 1495.
7. *Eden C., Jung T.* North Atlantic Interdecadal variability: oceanic response to the North Atlantic Oscillation (1865 – 1997) // *Ibid.* – 2001. – 14, № 5. – P. 676 – 691.
8. *Enfield D., Mestas-Nunez A.M.* Multiscale variabilities in global SST and their relationships with tropospheric climate patterns // *Ibid.* – 1999. – 12, № 9. – P. 2719 – 2733.
9. *Hatun H., Drange H., Hansen B. et al.* Influence of the Atlantic Subpolar Gyre on the thermohaline circulation // *Science.* – 2005. – 309, № 5742. – P. 1841 – 1844.
10. *Knight J., Allan R., Folland C. et al.* The Atlantic Multidecadal Oscillation: A signature of thermohaline circulation cycles in observed climate // *CRCES Workshop on Decadal Climate Variability, 19 October 2005.* – 30 p.
11. *Kushnir Y.* Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions // *J. Climate.* – 1994. – 7, № 1. – P. 141 – 157.
12. *Raa L., Dijkstra H.A., Gerrits J.* Identification of the mechanism of interdecadal variability in the North Atlantic Ocean // *J. Phys. Oceanogr.* – 2004. – 34, №12. – P. 2792 – 2807.
13. *Schlesinger M.E., Ramankutty N.* An oscillation in the global climate system of period 65 – 70 years // *Nature.* – 1994. – 367, № 6465. – P. 161 – 164.
14. *Luterbacher J., Gyalistras D., Schmitz C. et al.* Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to AD 1675 // *Geophys. Res. Lett.* – 1999. – 26, № 17. – P. 2745 – 2748.
15. *Kerr R.A.* Atlantic Climate Pacemaker for Millennia Past, Decades Hence? // *Science.* – 2005. – 309, № 5731. – P. 41 – 42. – doi: 10.1126 / Science. 309.5731.41.
16. *Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н.* Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии // *Морской гидрофизический журнал.* – 2004. – №2. – С.42 – 59.
17. *Полонский А.Б., Бардин М.Ю, Воскресенская Е.Н.* Изменчивость черноморских циклонов во второй половине XX века // *Там же.* – 2007. – № 6. – С. 47 – 58.

18. Полонский А.Б., Семилетова Е.П. О статистических характеристиках Североатлантического колебания // Там же. – 2002. – №3. – С. 28 – 42.
19. Elsner J.B., Tsonis A.A. Low-frequency oscillation // Nature. – 1994. – № 372. – P. 507 – 508.
20. Mangini A., Spützl C., Verdes P. Reconstruction of temperature in the Central Alps during the past 2000 yrs from a $\delta^{18}O$ stalagmite record // Earth Planet Sci. Lett. – 2005. – 235, № 3 – 4. – P. 741 – 751. – doi: 10.1016/j.epsl.2005.05.010.
21. Griffies A., Bryan K. Decadal predictability of the North Atlantic variability // Science. – 1997. – 275, № 5695. – P. 181 – 184.
22. Manabe S., Stouffer R.J. Are two modes of thermohaline circulation stable? // Tellus. – 1999. – 51A, №3. – P. 400 – 411.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 03.04.07
После доработки 28.04.07

ABSTRACT The paper is a brief review of publications on the Atlantic Multidecadal oscillation (AMO) which represents a quasi-periodical variability of the sea surface temperature in the North Atlantic with a typical time scale 50 – 100 years. AMO is one of manifestations of natural variability in the ocean-atmosphere system. The typical scale of AMO is conditioned by the meridional ocean circulation rate in the North Atlantic. AMO impacts the various climate characteristics, namely, the air temperature and the rivers run-off in the European and the North American regions, quantity and intensity of tropical Atlantic cyclones, the parameters of mid-latitude cyclones and anticyclones in the Atlantic-European region. The principle mechanism of the AMO influence on climatic characteristics of the North Atlantic and the adjacent regions is the atmospheric response to the ocean temperature anomalies leading to a shift of the centers of the atmospheric action, change of intensity and trajectories of the atmospheric cyclones and anticyclones. Using the data both of long-term instrumental temperature observations in the Eastern Europe and the reconstructed temperature in the Alpine region, it is shown that AMO stipulates the essential portion of the temperature low-frequency variability in Europe. It confirms potential predictability of regional decadal-scale atmospheric manifestations of AMO.