

Анализ результатов наблюдений и методы расчета гидрофизических полей океана

УДК 551.465.7

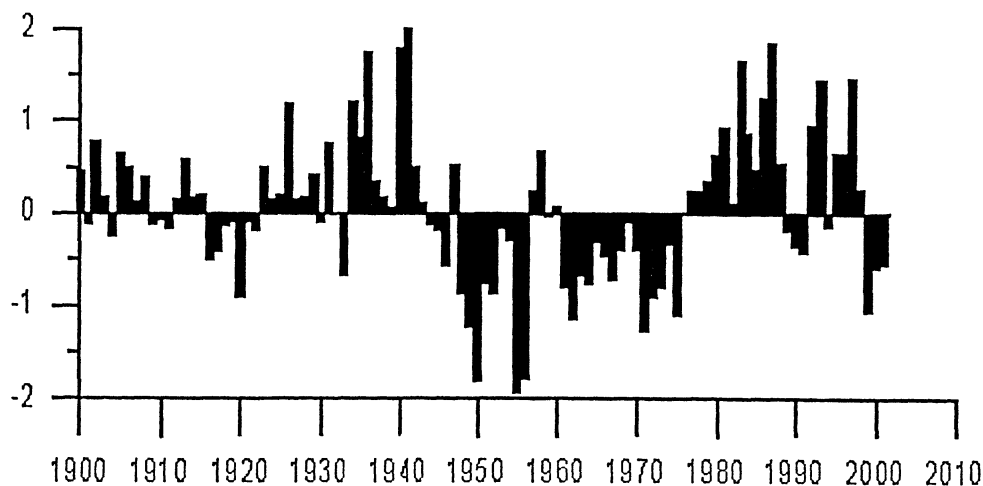
М.Ю. Бардин, Е.Н. Воскресенская

Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии

По данным реанализа *NCEP/NCAR* за 1951 – 2001 гг. проанализированы характеристики тихоокеанских циклонов. Показано, что приоритетным в смещении циклонов в северной части Тихого океана является направление северо-восток – юго-запад. Изучена изменчивость поля приземного атмосферного давления в разные фазы тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО), характеризующей температурные аномалии на поверхности Тихого океана в области между 20 и 60° с.ш. Показано, что наиболее весомой причиной естественных десятилетних колебаний в Европейском регионе является изменчивость Североатлантического колебания десятилетнего масштаба, поддерживаемая крупномасштабными аномалиями ТДО. Рассмотрен и оценен региональный отклик ТДО на примере изменчивости стоков европейских рек.

Введение. Исследования последнего десятилетия показывают, что одним из индикаторов глобальных изменений климата является тихоокеанская декадная осцилляция, впервые описанная в конце 1990-х годов [1, 2]. Коротко этот климатический сигнал можно охарактеризовать как периодические вариации в системе океан – атмосфера в северной части Тихого океана. В качестве меры его изменчивости часто используют индекс ТДО, представляющий собой среднюю аномалию тихоокеанской температуры поверхности океана (ТПО) между 20 и 60° с.ш. В качестве иллюстрации масштабов изменчивости ТДО на рис. 1 приведен временной ход его индекса в XX в., откуда видно, что квазидвадцатилетние отрезки существования положительной и отрицательной аномалий ТПО в общей 50 – 60-летней периодичности сопровождаются заметными более высокочастотными колебаниями в системе океан – атмосфера, в частности, с периодом 8 – 10 лет. Они характеризуются соответствующими изменениями составляющих этой связанной системы. Одним из наиболее важных ее элементов являются атмосферные циклоны, зарождающиеся над акваторией океана, поскольку они, перемещаясь затем на континенты, в значительной мере обеспечивают дальнейшее формирование там погодно-климатических аномалий. К настоящему времени имеется несколько гипотез о причинах изменений декадных масштабов в разных географических районах и одной из них является ТДО [3, 4, 5].

© М.Ю. Бардин, Е.Н. Воскресенская, 2007



Р и с. 1. Временной ход индекса ТДО за 1900 – 2000 гг.

Публикации последних лет (например, [6, 7]) показывают, что учет ТДО исключительно важен для оценки климатических тенденций на территории Северной Америки. Так, обнаружено, что в период положительной фазы ТДО в северо-западной части Северной Америки отмечается тенденция к засухе, а на северо-востоке – к увлажнению. Противоположный характер климатических изменений соответствует отрицательной фазе этого колебания. К сожалению, отсутствие длительных массивов гидрометеорологических данных с хорошим пространственным разрешением долгое время затрудняло изучение географических особенностей формирования двадцатилетних колебаний климата. Отметим, что авторы работы [7] на основании анализа восстановленных за длительный период глобальных приземных данных изучали связанность с ТДО декадных климатических изменений в разных регионах, в том числе и в Европе. Однако такие ряды были получены с использованием предположения о стационарности статистической структуры исследуемых характеристик в течение как минимум столетнего периода и восстанавливались по коротким исходным рядам продолжительностью около 30 лет. Поэтому достоверность полученных с использованием такой методики результатов вызывает некоторые сомнения.

Целью настоящей работы является изучение особенностей изменчивости характеристик тихоокеанских циклонов и формирования региональных десятилетних колебаний как проявления ТДО в полях атмосферного давления, в том числе и над Атлантико-Европейским регионом, с применением современных, более качественных глобальных данных.

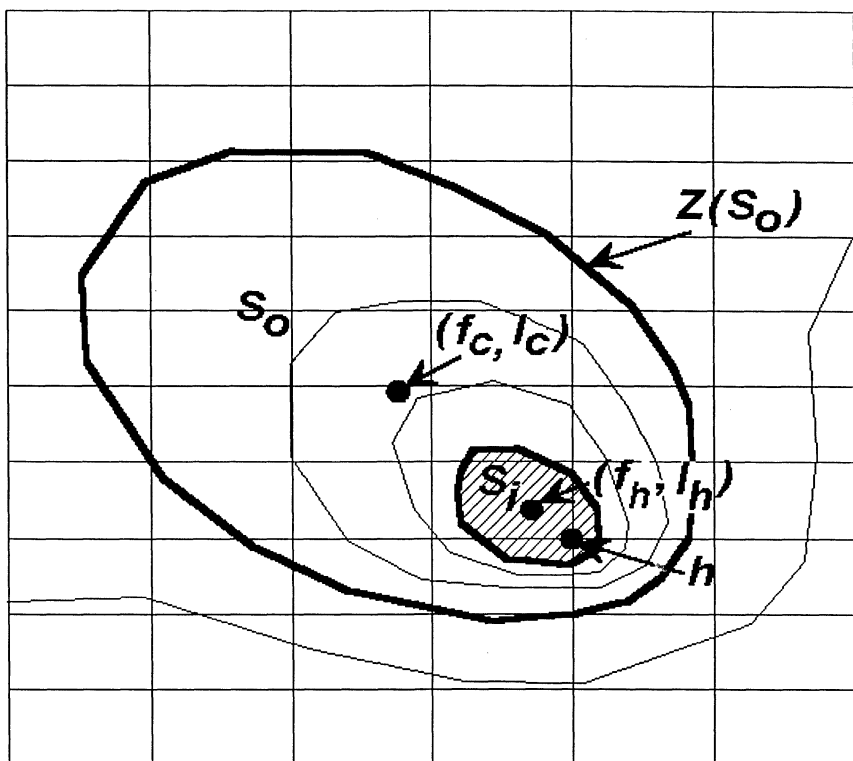
Характеристика использованного материала и методика анализа. В настоящей работе использовались данные из глобального массива реанализа *NCEP/NCAR*. Качество данных реанализа и их пригодность для изучения климатических процессов разных масштабов подробно рассматривались на

посвященных этим вопросам двух специализированных конференциях [8, 9], в ходе которых было показано, что такие данные вполне пригодны для надежного анализа синоптических процессов с характерными горизонтальными масштабами порядка 1000 км. Атмосферные циклоны, формирующиеся в северных частях Атлантического и Тихого океанов, как раз удовлетворяют этому условию.

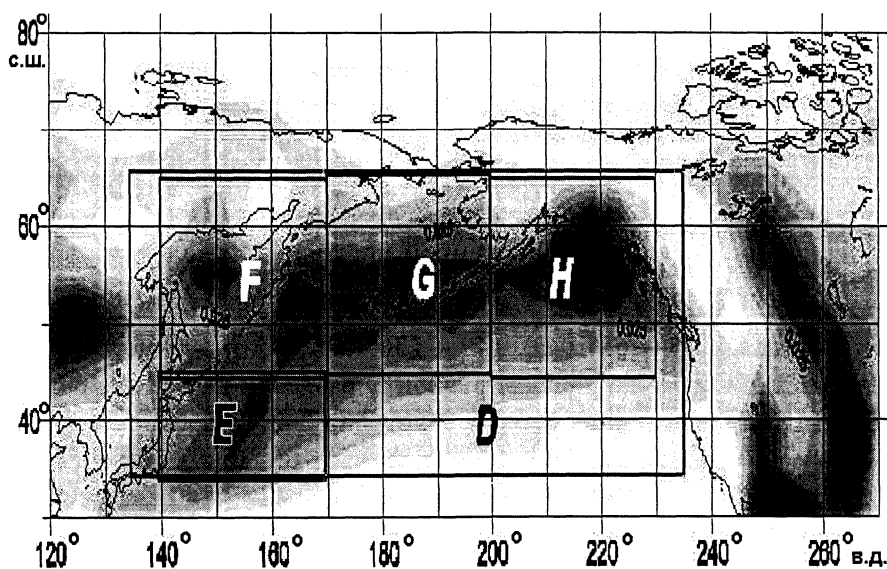
Характеристики циклонической активности у поверхности Земли оценивались по двухсрочным ежедневным (в синоптические сроки 00 и 12 ч *GMT*) данным о геопотенциале изобарической поверхности 1000 гПа в северной части Тихого океана за 1952 – 2000 гг. на пространственной сетке $2,5 \times 2,5^\circ$. Исследование изменчивости параметров циклонов основывалось на использовании следующего подхода, подробно изложенного в [10]. Пусть имеется область повышенного или пониженного давления, ограниченная замкнутыми изобарами с центром в точке h , координаты которой f_h и l_h рассчитываются как

$$f_h = \int x \in S_i f(x) ds, \quad l_h = \int x \in S_i l(x) ds.$$

Тогда глубина синоптического вихря $|h - Z(S_0)|$ вычисляется как абсолютная величина разности давления между его центром h и последней замкнутой изобарой $Z(S_0)$ (в данной работе анализировались изолинии с шагом 1 гПа). В случае несовпадения центра вихря с узлом сетки центр определяется как геометрическое место точек фигуры, расположенной внутри ближайшей от узла изобары, геопотенциал давления на которой отличается от геопотенциала давления в узле сетки на 1 гПа (рис. 2). Под относительной частотой понимается отношение числа центров синоптических образований, обнаруженных в данном квадрате за сезон, к общему числу проанализированных случаев (т.е. к удвоенному количеству суток для всех сезонов каждого года, так как анализировались данные за 2 синоптических срока). Площадь синоптического образования определялась как площадь поверхности, ограниченной последней замкнутой изобарой: $\int x \in S_0 ds$. Рассчитывались характеристики циклонов для региона Тихого океана в пределах $35 - 65^\circ$ с.ш., $140 - 230^\circ$ в.д., обозначенного на рис. 3 как регион D . На этом же рисунке регион D разделен на более мелкие области прямоугольной формы E, F, G, H , ограниченные соответственно координатами $35 - 45^\circ$ с.ш., $140 - 170^\circ$ в.д.; $45 - 65^\circ$ с.ш., $140 - 170^\circ$ в.д.; $45 - 65^\circ$ с.ш., $170 - 200^\circ$ в.д.; $45 - 65^\circ$ с.ш., $200 - 230^\circ$ в.д. Для каждой отмеченной на рисунке области были оценены величины среднемесячной повторяемости циклонов после скользящего осреднения данных за 37 и 85 мес. Активность циклогенеза в отмеченных областях анализировалась для выявления механизма распространения тихоокеанских аномалий в другие регионы.



Р и с. 2. Иллюстрация методики получения характеристик циклонов



Р и с. 3. Пространственное распределение среднегодовой повторяемости циклонов в Тихом океане (шаг изолиний – 0,5 %; прямоугольниками выделены области, для которых оценивалась временная изменчивость)

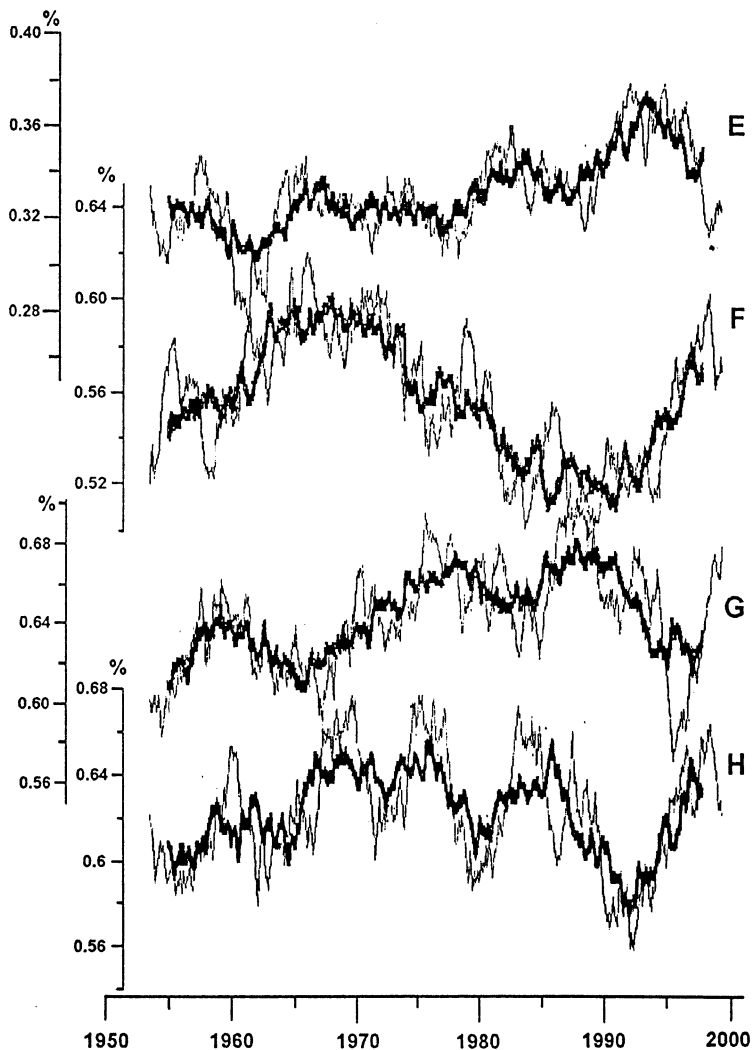
Изменчивость глобального поля приземного давления на декадном масштабе анализировалась по среднемесячным величинам за 1950 – 2001 гг. для зимы и весны для 2,5-градусных квадратов с использованием метода композитов. Эти сезоны характеризуются наиболее выраженной циклонической активностью, формируемой над акваториями Атлантического и Тихого океанов [5]. За зимние месяцы принимались декабрь, январь, февраль, а за весенние – март, апрель, май. По указанным данным были построены композитные карты, соответствующие положительной и отрицательной фазам ТДО, а также разности полученных композитов. Отрицательной фазе ТДО для анализируемого массива данных соответствует период с 1947 по 1976 гг., а положительной фазе – с 1977 по 2000 гг., что видно и из рис. 1. В качестве характеристик декадной изменчивости центров действия атмосферы в северных частях Тихого океана и Атлантики использовались индексы ТДО и САК (Североатлантического колебания) за 1900 – 2001 гг. после полосовой фильтрации колебаний с периодом 8 – 25 лет. Для анализа региональных проявлений указанных глобальных климатических процессов привлекались данные по изменениям среднемесячных стоков европейских рек: Дуная, Днепра, Днестра, Южного Буга за 1921 – 2001 гг., Рейна за 1936 – 1994 гг., Гароны за 1921 – 1994 гг., Луары за 1891 – 1994 гг.

Результаты и их анализ. Глобальность ТДО подразумевает, что существует определенный механизм, формирующий соответствующие проявления десятилетнего масштаба в различных географических регионах. Вопрос о механизме распространения тихоокеанских аномалий ТПО чрезвычайно актуален и очень сложен. Безусловно, основную роль в этом механизме играют процессы атмосферной циркуляции, и прежде всего циклоническая активность. Поэтому мы подробно изучали вариации частоты повторяемости циклонов в северной части Тихого океана на разных масштабах [5]. В настоящей работе акцент в анализе изменчивости характеристик циклонов был сделан на процессах декадного масштаба для последующего выявления их региональных проявлений.

На рис. 3 приведено пространственное распределение среднегодовой относительной повторяемости циклонов в изучаемом регионе с шагом изолиний, составляющим 0,5 % максимального числа повторений циклонов. Явно видно, что зона активности циклонов, характеризующая местоположение штормтреков, расположена в умеренных широтах Тихоокеанского региона. Следует отметить, что области, в которых наблюдается наибольшее число циклонов, примыкают к северной ветви субтропического океанического круговорота и южной границе субполярного круговорота, что указывает на важную роль океана в формировании погодно-климатических аномалий. Однако абсолютный максимум в активности циклогенеза замечен на границе Тихого океана и высоких Скалистых гор, создающих резкий температурный контраст океан – материк, благоприятствующий зарождению циклонов.

Анализ временной изменчивости межгодового – декадного масштабов для четырех областей анализируемого региона *E, F, G, H*, выделенных прямоугольниками на рис. 3, показал следующее. В изменчивости характеристик циклонов в выделенных областях проявляются квазипериодические колебания двух масштабов: 10 – 20-летнего и 50 – 60-летнего (рис. 4). Масштабы отмеченных колебаний совпадают с типичными масштабами ТДО,

что видно при их сопоставлении с временным ходом индекса ТДО на рис. 1. В то же время можно отметить более выраженную низкочастотную периодичность ~ 50 лет в восточной и центральной частях границы субтропического и полярного круговоротов (области *F* и *G*), что соответствует характерному масштабу изменчивости тихоокеанской ветви глобальной термохалинной циркуляции. Сравнение временного хода повторяемости циклонов в различных районах северной части Тихого океана и индекса ТДО подтверждает, что при положительной фазе ТДО происходит интенсификация циклогенеза и смещение траекторий циклонов к северо-востоку. Относительная повторяемость циклонов в умеренных широтах достигает максимума над акваторией Тихого океана, что еще раз указывает на важную роль океана в колебаниях климата.



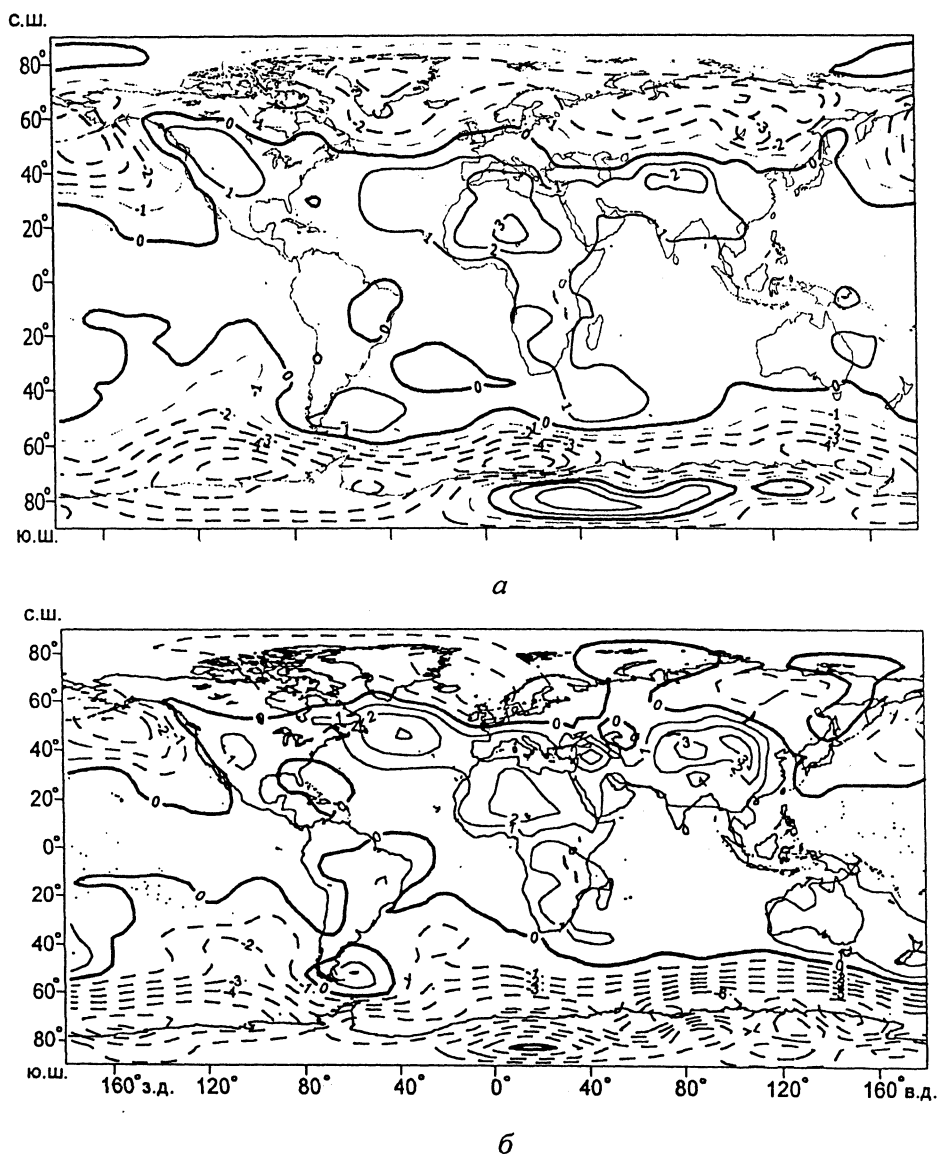
Р и с. 4. Временная изменчивость среднемесячной повторяемости циклонов в выделенных районах (рис. 3), полученная после скользящего осреднения данных за 37 мес (тонкие линии) и 85 мес (жирные линии)

Полученное пространственно-временное распределение демонстрирует преимущественное направление перемещений атмосферных образований на северо-восток – юго-запад, максимальная повторяемость которых отмечается в крайней северо-восточной области *H*. Это свидетельствует о том, что атмосферный отклик проявляется в интенсификации циклогенеза и смещении траекторий циклонов к северо-востоку Тихого океана при повышении температуры поверхности, т.е. в период положительной фазы ТДО, и к юго-западу – при отрицательной аномалии ТПО, т.е. в противоположную фазу этого колебания. Полученная схема оказывается аналогичной схеме, действующей на акватории Северной Атлантики в разные фазы САК (см., например, [5, 11 – 13]). Климатические аномалии взаимодействия атмосферы и океана распространяются из Тихого океана на прилегающие континенты и в другие океаны с помощью стационарных волн Россби и синоптических атмосферных образований [14]. Траектории последних обусловлены интенсивностью и положением центров действия атмосферы на соответствующих масштабах. Отметим, что особенностью положительной фазы ТДО является углубление Алеутского минимума, сопровождающееся аномальным потеплением в прилегающих южных областях [4]. В результате интенсифицируется атмосферная циркуляция в Северотихоокеанском регионе.

Подобная картина была получена в ходе композитного анализа поля приземного атмосферного давления (ПАД) в связи с изменениями фазы ТДО. Для этого были построены композитные карты ПАД для каждого сезона года отдельно для периода с 1947 по 1976 гг., а затем для периода с 1977 по 2000 гг. После этого выполнялось сравнение условий, сопровождавших периоды положительной и отрицательной фаз ТДО. Такое сравнение показало, что десятилетним аномалиям ТПО в Тихом океане соответствует атмосферный отклик в Атлантико-Европейском регионе такого же масштаба.

На рис. 5 для зимы и весны приведены карты аномалий глобального ПАД, представляющие разность композитов ПАД в положительную и отрицательную фазы ТДО. Наглядно видно, как различаются пространственные распределения климатических аномалий в указанные периоды. Для региона Северной Атлантики и Европы это различие в аномалиях приземного давления можно охарактеризовать следующим образом. Во второй половине XX в. положительная аномалия ТПО северной части Тихого океана в зимне-весенний период сопровождалась положительной аномалией ПАД над тропической и субтропической частью Северной Атлантики и над юго-западной частью Европы, включая Средиземное море. Над остальной территорией Европы и большей частью Азии в это время располагалась отрицательная аномалия ПАД. Описанные условия в аномалиях приземного давления в Северной Атлантике указывают на то, что на декадном масштабе тихоокеанские аномалии ТПО проявляются в соответствующих изменениях Североатлантического колебания. Положительная фаза ТДО сопровождается усилением САК и, как следствие, интенсификацией зональной циркуляции в высоких широтах, наличие которой в последние 20 – 30 лет отмечалось в литературе [5, 11, 12]. Отрицательной фазе ТДО соответствуют аномалии противоположного характера, т.е. ослабление САК и зональной циркуляции. Получен-

ный результат, указывающий на связь САК и ТДО, позволяет оценивать тенденцию изменчивости САК на десятилетнем временном масштабе. Это соотношение подтверждается и в работе [15]. В свою очередь, из многих работ известно (в частности, из [5, 13, 16, 17]), что изменения интенсивности САК, сопровождаемые смещением преимущественных траекторий североатлантических циклонов в северо-восточном – юго-западном направлениях, обуславливают формирование климатических аномалий в Европейском регионе.



Р и с. 5. Композитные карты аномалий приземного атмосферного давления (гПа) для зимы (а) и весны (б), полученные как разность композитов ПАД в положительную и отрицательную фазы ТДО (сплошными линиями выделены положительные аномалии, штриховыми – отрицательные)

Реакция европейских гидрометеорологических условий на ТДО была обнаружена в изменчивости декадного масштаба разных характеристик. В частности, с учетом описанной связи САК и ТДО анализировалась корреляция декадной изменчивости индексов этих колебаний в зимний период с вариациями стоков рек и других характеристик, например, майских стоков Днепра и Дуная и вертикальной стратификации солености в районах, примыкающих к дельтам указанных рек. Отдельно (например, в работе [5]) исследовалась изменчивость десятилетнего масштаба. При этом для индекса ТДО получены значимые на 95%-ном уровне величины коэффициентов корреляции со стоками Днепра и Дуная (до 0,7). В свою очередь, стоки этих рек оказались тесно связанными отрицательной корреляционной связью с изменчивостью солености. Таким образом, понятно, что наиболее важной причиной естественных десятилетних колебаний гидрометеорологических характеристик в Атлантико-Европейском регионе является изменчивость САК десятилетнего масштаба, но не изолированно: она поддерживается крупномасштабной аномалией ТДО.

Анализ влияния тихоокеанских квазидесятилетних аномалий на изменчивость водности европейских рек декадного масштаба при разных запаздываниях стоков позволил оценить корреляционные связи стоков рек с индексом ТДО на десятилетнем масштабе (таблица) и показал, что вклад ТДО в общую изменчивость стоков рек ранней весной находится в пределах примерно 50%.

Максимальные коэффициенты корреляции стоков европейских рек ранней и поздней весной с индексом ТДО при разных запаздываниях речных стоков

Река	Коэффициент корреляции	
	Ранняя весна	Поздняя весна
Днепр	-0,66	-0,42
Днестр	-0,71	-0,61
Южный Буг	-0,58	-0,43
Дунай	-0,68	-0,48
Рейн	-0,69	-0,59
Гарона	-0,58	-0,65
Луара	-0,56	-0,62

Примечание. Жирным шрифтом отмечены значимые на 95%-ном уровне величины.

Заметим, что в течение года максимальные величины коэффициентов корреляции наблюдаются ранней весной (февраль – апрель) и поздней весной (май – июнь). Поскольку величина стоков в этот период определяется главным образом объемом таяния зимнего снеготалопа, это означает, что аномалии в атмосферных полях опережают весенние половодья на 1 – 3 мес. Это

обнадеживающий результат с точки зрения возможности заблаговременного прогнозирования величин среднемесячных стоков на десятилетнем масштабе.

Заключение. Региональные проявления десятилетних аномалий ТПО в Тихом океане обусловлены наличием атмосферных процессов соответствующего масштаба. Это проявляется в интенсификации циклонов и смещении их траекторий к северо-востоку Тихого океана в положительную фазу ТДО, а в ее отрицательную фазу – в ослаблении циклогенеза и смещении траекторий циклонов к юго-западу.

Положительной фазе ТДО соответствует усиление САК. Это сопровождается положительными аномалиями ПАД в Тропической и Субтропической Атлантике, над Центральной и Южной Европой, а также над Средиземным морем. При этом отрицательная аномалия ПАД располагается на севере Атлантики и Евразийского региона. Отрицательной фазе ТДО соответствуют условия противоположного характера.

Изменчивость климатических характеристик Атлантико-Европейского региона декадного масштаба формируется в результате совместного действия процессов в системе океан – атмосфера Атлантического и Тихого океанов. Наиболее весомой причиной естественных десятилетних колебаний в Европейском регионе является изменчивость САК десятилетнего масштаба, поддерживаемая крупномасштабными аномалиями ТДО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Minobe S.* Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts // *Geophys. Res. Lett.* – 1999. – 26, № 7. – P. 855 – 858.
2. *Zhang Y., Wallace J.M., Battisti D.S.* ENSO-like interdecadal variability: 1900 – 93's // *J. Climate.* – 1997. – 10, № 218. – P. 1004 – 1020.
3. *Baik J.-J., Paek J.-S.* A climatology of sea surface temperature and the maximum intensity of western North Pacific tropical cyclones // *J. Meteorol. Soc.* – 1998. – 76, № 1. – C. 129 – 137.
4. *Tomita T., Wang B., Yasunari T. et al.* Global patterns of decadal-scale variability observed in sea surface temperature and lower-tropospheric circulation fields // *J. Geophys. Res.* – 2001. – 106, № C11. – P. 26805 – 26815.
5. *Воскресенская Е.Н.* Глобальные процессы в системе океан – атмосфера и их влияние на природные аномалии Атлантико-Европейского региона // Дис. ... д-ра геогр. наук. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2005. – 408 с.
6. *Gershunov A., Barnett T.* Interdecadal modulation of ENSO teleconnections // *Bull. AMS.* – 1999. – 79, № 12. – P. 2715 – 2725.
7. *Enfield D., Mestas-Nunez A.M.* Multiscale variability in global SST and their relationships with tropospheric climate patterns // *J. Climate.* – 1999. – 12, № 9. – P. 2719 – 2733.
8. *Proceedings of the first WCRP International Conference on Reanalyses/WCRP-WMO.* – 1998. – № 876 – 481p.
9. *Proceedings of the second WCRP International Conference on Re-analyses (Reading, 23 – 27 Aug. 1999)* // *Ibid.* – 2000. – № 1. – 452 p.
10. *Бардин М.Ю.* Региональные квазистационарные режимы зимней циркуляции в умеренных широтах Северного полушария. Часть I. Географическое распределение. Аномалии геопотенциала, связанные с режимами // *Метеорология и гидрология.* – 1999. – № 1. – С. 5 – 19.
11. *Yashayev Igor M., Zveryaev Igor I.* Climate of the seasonal cycle in the North Pacific and the North Atlantic Oceans (Ocean Sciences Division, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, Nova Scotia, Canada) // *Int. J. Climatol. / J. Roy. Meteorol. Soc.* – 2001. – 21, № 4. – P. 401 – 417.

12. *Polonsky A., Voskresenskaya E., Basharin D.* Coupled ocean – atmosphere system and its impacts on European climate // *Climates in Transition* / Ed. L.C. Nkemdirim. – Minuteman Press, 2003. – P. 15 – 28.
13. *Kadeev A.A., Kolinko A.V., Polonsky A.B., Voskresenskaya E.N.* Low-frequency change of the Black Sea river discharges associated with the coupled ocean – atmosphere variability in the North Atlantic // *Workshop Report*. – № 105 / Supplement. Proc. Int. Conf. «Coastal Change 95». – Bordomer-IOC, UNESCO, 1995. – P. 686 – 696.
14. *Ambrizzi T., Hoskins B.* Stationary Rossby-wave propagation in a baroclinic atmosphere // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* – 1997. – 123, № 540, Pt B. – P 919 – 928.
15. *Machel H., Kapala A., Flohn H.* Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part 1: Characteristics of seasonal and interannual variability // *Int. J. Climatol.* – 1998. – 18, № 7. – P. 1 – 22.
16. *Hurrell J.W., Loon H.* Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation // *Climate Change*. – 1997. – № 36. – P. 301 – 326.
17. *Eshel G.* Forecasting the North Atlantic Oscillation using North Pacific Surface Pressure // *Mon. Wea. Rev.* – 2003. – 131, № 5. – P. 1018 – 1025.

Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН,
Москва
Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 29.11.05
После доработки 10.03.06

ABSTRACT Characteristics of the North Pacific cyclones are analyzed using re-analysis of NCEP/NCAP data for 1951 – 2001. It is shown that the priority direction of the cyclone displacement in the North Pacific is the north-east – south-west. Studied is the variability of the sea level pressure fields during negative and positive phases of the Pacific decadal oscillation (PDO) characterizing temperature anomalies on the Pacific Ocean surface between 20 and 60° N. It is shown that the most significant cause of natural decadal fluctuations in the European region is the decadal North Atlantic oscillations supported by large-scale PDO anomalies. PDO regional response is studied and estimated using the discharge variability of the European rivers.