

Е.Н. Воскресенская, В.Н. Маслова, А.В. Юровский

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ПАРАМЕТРОВ ЗИМНИХ ЦИКЛОНОВ
В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ**

Исследованы отклики в пространственном распределении повторяемости и траекторий зимних циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе на глобальные климатические сигналы межгодового-междесятилетнего масштабов. На межгодовом масштабе это Североатлантическое колебание (САК) и Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК), на десятилетнем-междесятилетнем масштабе – Тихоокеанская декадная осцилляция (ТДО) и Атлантическая мультидекадная осцилляция (АМО).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *траектории и повторяемость циклонов, Черноморско-Средиземноморский регион, САК, ЭНЮК, ТДО, АМО.*

Введение. Изменчивость циклонической активности межгодового-междесятилетнего масштаба является одним из главных метеорологических факторов, определяющих погодно-климатические аномалии в Атлантико-Европейском регионе в целом и в Средиземноморско-Черноморском регионе в частности. Особенно выражено это в холодный период года. В отличие от других гидрометеорологических характеристик, параметры циклонов, а именно их повторяемость и траектории, служат хорошим индикатором распространения погодно-климатических аномалий в изучаемом регионе, что важно для целей прогнозирования.

В региональной изменчивости траекторий и повторяемости циклонов отмечаются закономерности, обусловленные глобальными процессами в системе океан-атмосфера. Эти процессы представляют собой моды изменчивости глобальных полей приземного атмосферного давления (ПАД) и температуры поверхности океана (ТПО) [1]. Основные из указанных мод называют климатическими сигналами. На межгодовом масштабе это Североатлантическое колебание (САК) и Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), на десятилетнем-междесятилетнем – Тихоокеанская декадная осцилляция (ТДО) и Атлантическая мультидекадная осцилляция (АМО). Климатические сигналы позволяют выявлять периодичности в изменчивости региональных погодно-климатических аномалий, в том числе пространственных характеристик циклонической активности, что может быть использовано для определения долгосрочных тенденций изменения климата.

Исходя из важности этого направления исследований, в данной работе была поставлена цель: провести комплексный анализ проявлений климатических сигналов межгодового-междесятилетнего масштаба в пространственном распределении повторяемости и траекторий зимних циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Аналізу регіональних окликів на глобальні кліматическі сигнали в просторовому розподілі характеристик циклонів в різних частих Атлантико-Європейського і Середземноморсько-Чорноморського регіонів присвячені багато роботи. Так, наприклад, в роботах [2, 3] незалежно і з використанням різних даних був показаний механізм зміщення траєкторій атлантичеських циклонів в залежності від фази САК. Положительна фаза САК характеризується переважаючим переміщенням циклонів в северо-східному напрямку в Північній Атлантиці і через північ Європи, в отрицательную фазу северо-східний потік ослабевает і траєкторії атлантичеських циклонів проходять через центр і південь Європи, включаючи також Чорноморсько-Середземноморський регіон.

Однако, в отличие от континентальной Европы, Средиземноморский регион в холодный период года является местом расположения широтной фронтальной зоны с большими градиентами температуры, которая является сезонным центром действия атмосферы и называется «средиземноморским зимним циклоном». Таким образом, в зимний период в этом регионе всегда активно развит местный циклогенез, что усложняет задачу выявления здесь значимых региональных проявлений САК на коротких рядах данных, как, например, в работах [4, 5].

Циклогенез в Чорноморському регіоні навіть в зимній період виражений слабо. Циклонічеська активність визначається тут в основному виходом южних (середземноморських) циклонів. Это, в свою очередь, зависит от направления зонального потока в Атлантико-Європейському секторі, определяемого САК. Поэтому следует ожидать более интенсивные отклики на САК в Чорноморському, а не в Середземноморському регіоні.

Одна из задач настоящего исследования заключалась в оценке откликов на САК в повторяемости циклонів в Чорноморському і Середземноморському регіонах з використанням довгих рядів даних реаналіза за період 1948 – 2006 гг., так как данные о статистических характеристиках циклонів в Гідрометеослужбі України відсутні.

Регіональні проявлення ЕНЮК в Чорноморсько-Середземноморському регіоні показані, наприклад, для опадків в роботі [6], що підразумеває зв'язь ЕНЮК з просторовими характеристиками циклонів. Однак результати подібних досліджень являються переважно обмеженими і неокончательними, так як існують значительные внутрішні відміння між подіями Ель-Ніньо і їх регіональними проявленнями. Как показывают современные исследования (см., например, [7]), существует несколько типов Эль-Ниньо. Поэтому еще одна задача настоящего исследования заключалась в анализе региональных проявлений разных типов Эль-Ниньо в просторових характеристиках циклонів в Чорноморсько-Середземноморському регіоні.

Глобальное влияние ТДО проецируется на региональные особенности циклонической активности в Атлантико-Європейському регіоні через изменение САК на десятилетнем масштабе. В роботі [8] показано, що положительная фаза ТДО сопровождается усилением САК и, как следствие, интенсификацией зональной циркуляции в высоких широтах. Отрицательной фазе ТДО соответствуют аномалии противоположного характера, т.е. ослабле-

ние САК и зональной циркуляции. О том, что одновременно с ростом индекса ТДО происходит интенсификация САК, можно судить также по результатам работы [9], где показано, что с 1958 по 2001 гг. (в период положительного тренда индекса ТДО) в высоких широтах Северной Атлантики и на севере Европы наблюдался положительный тренд активности интенсивных циклонов с января по март, а в средних широтах – отрицательный. Авторы связывают это со смещением среднего положения атлантических шторм-треков (траекторий движения штормов – *Ред.*) приблизительно на 180 км к северу. Таким образом, проявления ТДО в положении атлантических шторм-треков хорошо описаны, но для циклонов Черноморско-Средиземноморского региона таких работ еще не проводилось. Исследования в этом направлении также были включены в задачи настоящей работы.

Из научной литературы (см., например, [10]) хорошо известно, что для АМО, так же как и для САК, характерно смещение атлантических шторм-треков, но только с обратным знаком. Это происходит из-за того, что наибольшее влияние на формирование погодно-климатических аномалий оказывает не разность давления между центрами действия атмосферы, а их положение [10]. Для положительной фазы САК характерно смещение Исландского минимума и Азорского максимума на северо-восток, а для АМО – на юго-запад. Это и объясняет различия в характере и знаке связи индексов АМО и САК с параметрами циклонов в Европе. Одна из задач настоящей работы заключалась в подтверждении описанной схемы для пространственного распределения циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Используемые данные. За повторяемость циклонов принималось количество центров циклонов за месяц или сезон, выделяемых по среднесуточным данным реанализа *NCEP/NCAR* о высоте геопотенциала изобарической поверхности 1 000 гПа на сетке $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ за период 1948 – 2006 гг. Методика выделения циклонов подробно изложена и апробирована в работе [4]. Траектории циклонов взяты из Атласа внетропических шторм-треков (1961 – 1998 гг.), рассчитанных по данным реанализа *NCEP/NCAR* [11].

В качестве характеристик сигналов межгодового-междесятилетнего масштаба использованы индексы САК [12], Южного колебания [13], ТДО [14] и АМО [15]. Из работы [7] взяты типы событий Эль-Ниньо, выделенные в результате объективной классификации, основанной на кластерном анализе поля аномалий ТПО в районе *Nino 3.4*.

Результаты и обсуждение.

1. Проявления Североатлантического колебания. Подтверждение схемы о влиянии САК на шторм-треки Европейского региона показано на примере соответствующих карт для января на рис. 1. Видно, что в положительную фазу САК атлантические циклоны движутся в северо-восточном направлении на север Европы (см. рис. 1, *а*), а в отрицательную – через Средиземноморский регион (см. рис. 1, *б*). Такая смена преобладающего направления перемещения атлантических циклонов в зависимости от фазы САК характерна для всех месяцев холодного сезона (с декабря по март).

Как уже отмечалось, в Средиземном море происходит активный циклогенез как в положительную, так в отрицательную фазы САК. Однако в работе [16] утверждается, что связь САК со шторм-треками в Северной

Атлантике подразумевает его связь с частотой орографического циклогенеза в Средиземном море, определяемого проходом атлантических циклонов. В других работах (см., например, [5]) показано, что корреляция САК с частотой средиземноморских циклонов невелика и незначима.

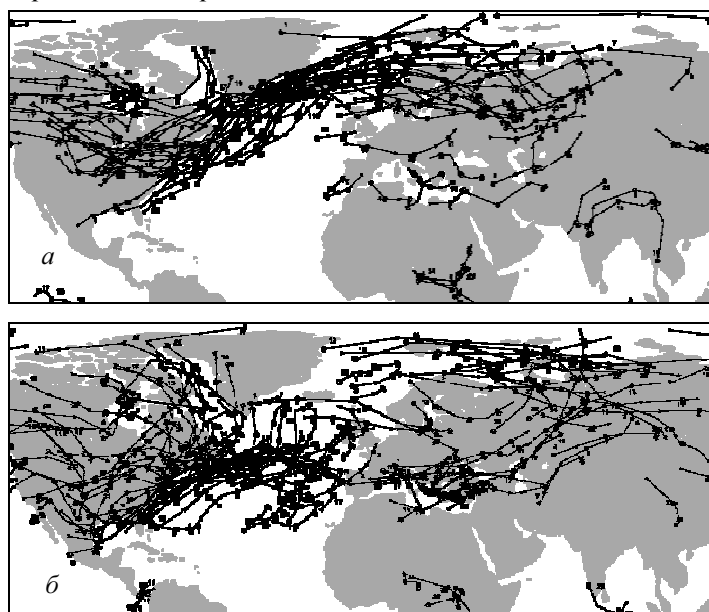


Рис. 1. Шторм-треки в годы положительного (1983, 1984, 1989, 1990 гг.) индекса САК в январе (а) и в годы отрицательного (1963, 1966, 1969, 1987 гг.) индекса САК в январе (б).

В настоящей работе с использованием композитного анализа мы показываем, что САК слабо проявляется в повторяемости циклонов в Средиземноморском регионе, но с 80 % вероятностью приводит к изменению глубины и площади циклонов на 0,8 – 1,2 с.к.о. с января по март. По причинам, объясненным во введении, проявления САК в повторяемости циклонов в Черноморском регионе сильнее: с 95 % вероятностью повторяемость циклонов разные фазы САК отличается на величину порядка 1 с.к.о.

2. Проявления разных типов Эль-Ниньо. Традиционно отклики на все отмечаемые в ходе мониторинга события ЭНЮК исследуют с использованием индекса Южного колебания или аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана в районе *Nino 3.4*. Но на современном этапе исследований все больше специалистов применяют другой подход, который учитывает различия между формально отмечаемыми событиями Эль-Ниньо и заключается в анализе проявлений разных типов этих событий. В данном исследовании мы использовали типы событий Эль-Ниньо, выделенные в работе [7] на основе объективного метода кластерного анализа. В зависимости от времени начала, продолжительности и величине аномалий ТПО авторы этой работы различают три типа Эль-Ниньо: весенний (ВЕС-), летне-осенний продолжительный (ЛОП-) и летне-осенний короткоживущий (ЛОК-) типы.

В работе [7] с использованием композитных карт аномалий ПАД в зимний период (январь-март) было показано, что «+1» год Эль-Ниньо типа ВЕС

характеризуется положительной фазой САК благодаря значимым положительным аномалиям ПАД в районе Азорского максимума и отрицательным в районе Исландского минимума, для ЛОП-типа характерно противоположное поле аномалий и отрицательная фаза САК, а ЛОК-тип сопровождается нейтральным индексом САК.

Для подтверждения справедливости этого результата для зимних (январь-март) шторм-треков были проанализированы траектории циклонов для отдельных лет с 1961 по 1998 гг. За этот период разных типов Эль-Ниньо наблюдалось: 2 события ЛОП-типа, 5 событий ЛОК-типа и 7 событий ВЕС-типа. Конечно, для получения значимых оценок этого недостаточно.

Отмеченные выше различия на качественном уровне демонстрирует рис. 2. На примере января видно, что во время ВЕС-типа Эль-Ниньо североатлантические шторм-треки проходят по северу Европы (это соответствует положительной фазе САК), в течение события ЛОП-типа – через Средиземноморско-Черноморский регион (индекс САК отрицателен), а при событиях ЛОК-типа траектории циклонов и индекс САК близки к среднеклиматическим. Такие же тенденции характерны для февраля и марта.

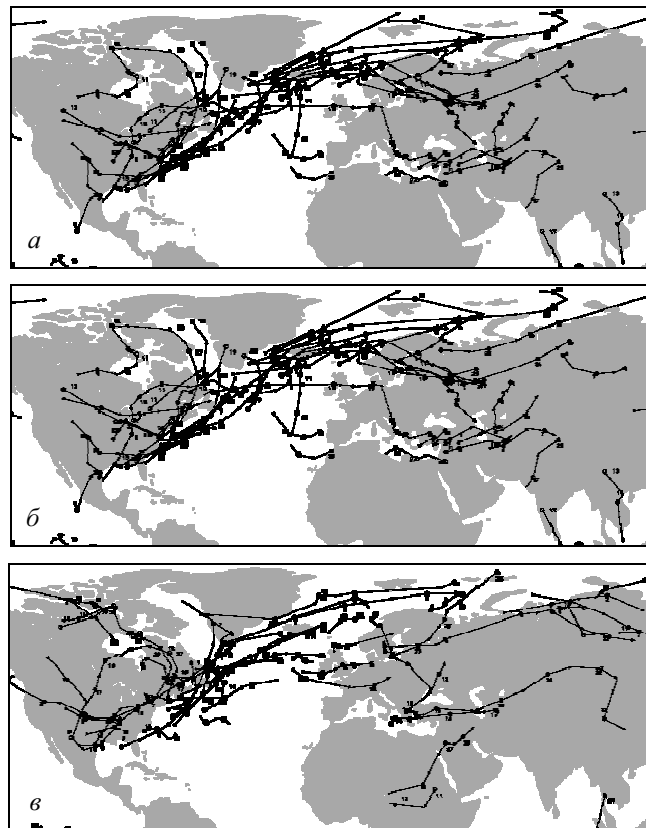


Рис. 2. Шторм-треки в январе «+1» года каждого типа Эль-Ниньо: *a* – ВЕС-тип (1977, 1995 гг.); *б* – ЛОП-тип (1969, 1987 гг.); *в* – ЛОК-тип (1983, 1998 гг.).

Этот результат подчеркивает необходимость учета разных типов Эль-Ниньо при анализе региональных проявлений основного глобального кли-

матического сигнала ЭНЮК. Конечно же, необходимо проводить дальнейшие исследования с привлечением более длинных рядов данных, чтобы описать вероятностные закономерности региональных проявлений с учетом разных типов Эль-Ниньо.

3. Проявления Тихоокеанской декадной осцилляции. Анализ пространственных особенностей распределения циклонов в разные фазы ТДО показал, что влияние ТДО на Атлантико-Европейский регион передается, по-видимому, опосредованно через САК. Траектории атлантических циклонов в положительную фазу ТДО проходят преимущественно через север Европы аналогично ситуации, когда индекс САК положителен. Для отрицательной фазы ТДО индекс САК преимущественно отрицателен и плотность шторм-треков увеличивается в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Чтобы наглядно показать, как изменяется пространственное распределение повторяемости циклонов в разные фазы ТДО, было оценено суммарное количество центров циклонов в квадратах $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, зафиксированное по ежедневным данным реанализа *NCEP/NCAR* за равное количество лет в отрицательную (1948 – 1976 гг.) и положительную (1977 – 2005 гг.) фазы ТДО, и нанесено на карты для каждого месяца с декабря по март. Пример таких карт для января приведен на рис. 3, а и 3, б. Видны заметные различия в пространственном распределении повторяемости циклонов. В отрицательную фазу ТДО область повышенной концентрации циклонов вытянута на $3 - 5^\circ$ в северо-восточном направлении от района Кипра к южному склону Понтийских гор. Это характерно для всех месяцев холодного сезона с декабря по март. Таким образом, исходя из среднего радиуса выделяемых по реанализу циклонов (> 500 км), Черноморский регион зимой в отрицательную фазу ТДО чаще находится в условиях холодного сектора циклонов.

Отличия в пространственном распределении повторяемости циклонов были определены по разности полученных полей повторяемости в отрицательную и положительную фазы ТДО, как показано, например, на рис. 3, в для января. Для оценки значимости рассчитанной разности повторяемости циклонов были получены среднемесячные временные ряды для районов максимальных отличий за период 1948 – 2006 гг. Проведенный анализ показал, что для всех зимних месяцев в отрицательную фазу ТДО характерно увеличение повторяемости циклонов в районе Тирренского моря (на 80 % уровне значимости в декабре), где, по-видимому, углубляются и концентрируются циклоны Генуэзской зоны циклогенеза, и на полуострове Малая Азия (~ в 2 раза на 95 % уровне значимости с января по март).

4. Проявления Атлантической мультидекадной осцилляции. Выше было отмечено, что для АМО характерно смещение атлантических шторм-треков в меридиональном направлении, как и в разные фазы САК, но с противоположным знаком [10]. В данной работе этот результат подтверждается для траекторий зимних циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе.

Анализ пространственного положения повторяемости циклонов, по аналогии с анализом для ТДО, был проведен и для АМО. На карты была нанесена повторяемость циклонов за равное количество лет в отрицательную (1966 – 1995 гг.) и положительную (1948 – 1965 и 1996 – 2005 гг.) фазы АМО и их разность, как показано на рис. 4 для января.

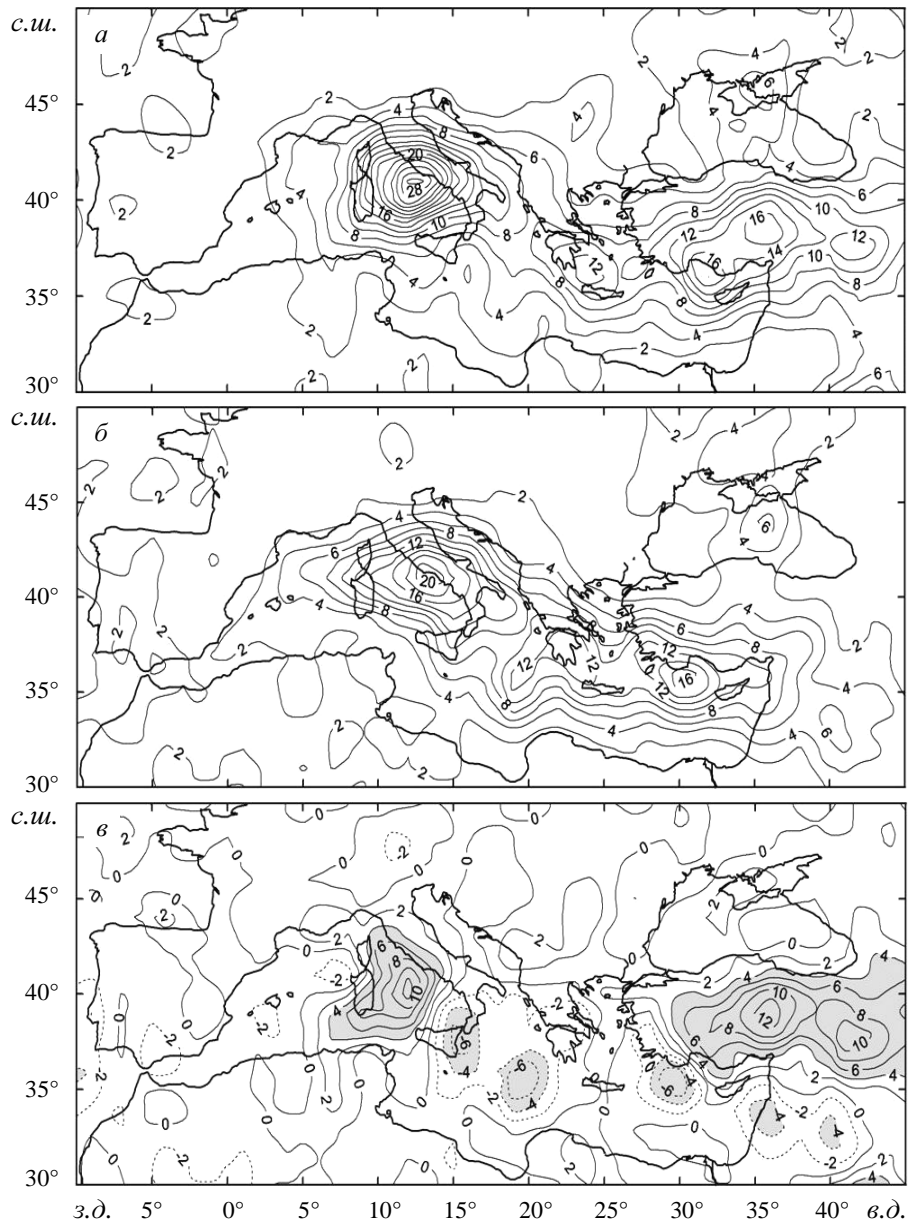


Рис. 3. Повторяемость циклонов в январе: *а* – за периоды отрицательной (1948 – 1976 гг.) фазы ТДО; *б* – положительной (1977 – 2005 гг.) фазы ТДО; *в* – разность: (*а*) - (*б*).

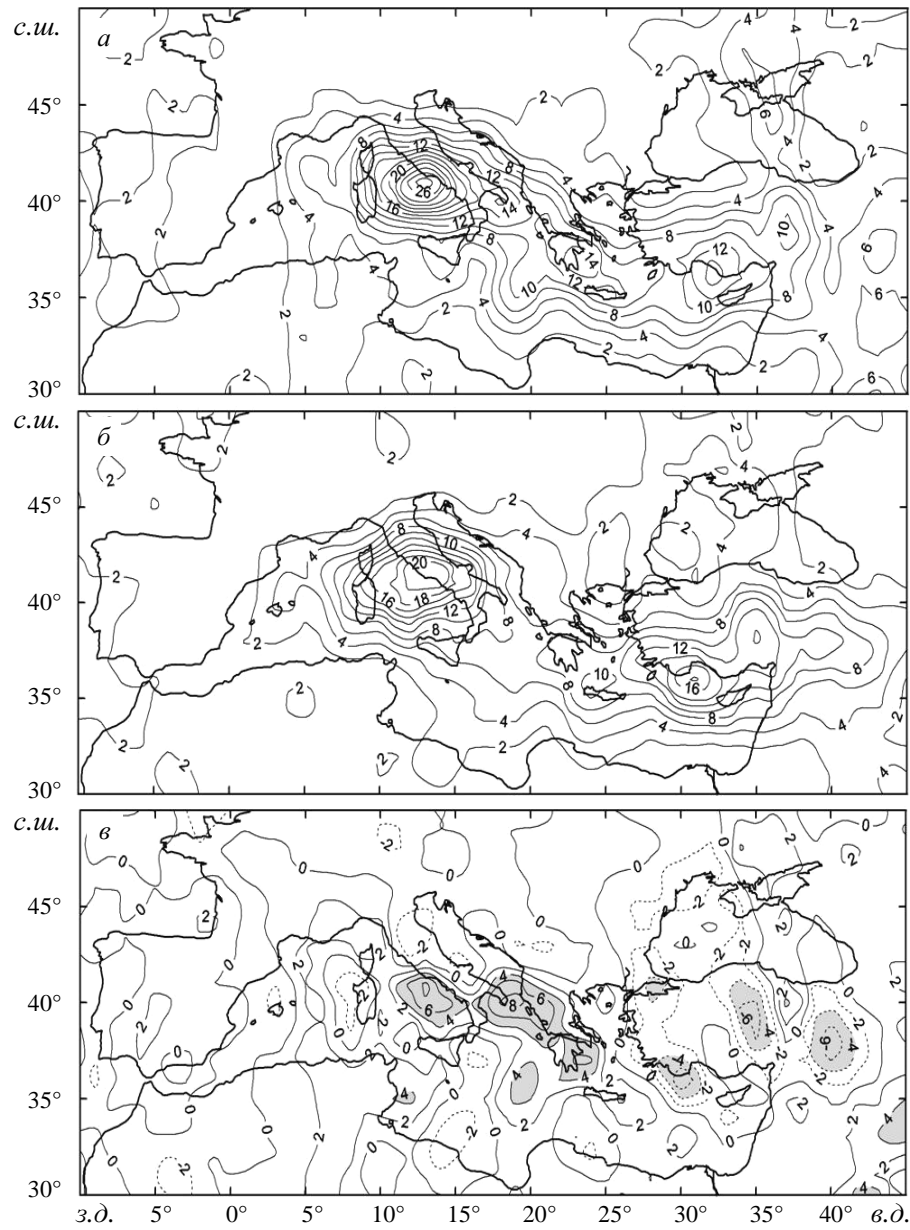


Рис. 4. Повторяемость циклонов в январе за периоды: *а* – положительной (1948 – 1965 и 1995 – 2005 гг.) фазы АМО; *б* – отрицательной (1966 – 1994 гг.) фазы АМО; *в* – разность: (*а*) - (*б*).

Проведенный анализ показал, что для АМО характерно меньше значимых региональных проявлений, чем для ТДО. Вероятно, это связано с тем, что в течение анализируемого периода четко выражена только отрицательная фаза АМО, а положительная фаза разорвана во времени. Кроме того, согласно работе [1], в разложении глобального поля ТПО на эмпирические ортогональные функции ТДО является более энергонесущей модой (третьей), чем АМО (четвертая). Это также может объяснить более сильные отклики на ТДО в повторяемости циклонов. Тем не менее, по абсолютным величинам в положительную фазу АМО повторяемость циклонов выше во все месяцы холодного сезона в районе Тирренского моря и на юго-востоке Италии (см. рис. 4, в), что также подтверждает схему, описанную в работе [10].

Выводы. Исследование откликов глобальных климатических сигналов межгодового масштаба в изменчивости пространственного распределения параметров зимних циклонов показало, что проявления САК более значимо выражены в повторяемости циклонов в Черноморском регионе и в глубине и площади циклонов в Средиземноморском регионе. При этом в разные фазы САК с января по март в Черноморском регионе повторяемость циклонов отличается на величину порядка 1 с.к.о. (на 95 % уровне значимости), а в Средиземноморском регионе глубина и площадь циклонов отличаются на 0,8 – 1,2 с.к.о. (на 80 % уровне значимости). Отмечено, что анализ межгодовой изменчивости траекторий циклонов необходимо проводить с учетом разных типов событий Эль-Ниньо.

Отрицательная фаза ТДО сопровождается смещением зон повышенной повторяемости зимних циклонов на северо-восток на 3 – 5° в восточной части Средиземноморья по сравнению с положительной фазой ТДО, при этом Черноморский регион чаще находится в условиях холодного сектора циклонов.

По данным за 59 лет (1948 – 2006 гг.) проявления АМО в пространственном распределении повторяемости циклонов в изучаемом регионе менее значимы по сравнению с ТДО. Это может быть объяснено, с одной стороны, недостаточной длиной данных для анализа 60 – 70-летних колебаний, как АМО, а с другой стороны тем, что Тихоокеанская декадная осцилляция является более энергонесущей модой, чем АМО, в разложении глобальных полей ТПО. Тем не менее, в положительную фазу АМО в отдельных областях Средиземного моря повторяемость циклонов по абсолютным величинам выше, чем в отрицательную фазу, во все месяцы холодного сезона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Enfield D., Mestas-Nunez A.M.* Multiscale variability in global SST and their relationships with tropospheric climate patterns // *J. Climate.* – 1999. – v. 12, № 9. – P. 2719-2733.
2. *Polonsky A., Voskresenskaya E.* Interannual variability in the Tropical and North Atlantic associated with the Pacific Ocean ENSO events // *Contemporary Climatology /Proc. of the meeting of the Commission on Climatology of the IGU.* – Brno, 1994. – P. 467-472.
3. *Hurrell J.W.* Decadal trends in the North Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Science.* – 1995. – v. 269, № 5224. – P. 676-679.

4. *Polonsky A.B., Bardin M.Yu., Voskresenskaya E.N.* Statistical characteristics of cyclones and anticyclones over the Black Sea in the second half of the 20th century // *Physical Oceanography*. – 2007. – № 6. – P. 348-359.
5. *Guijarro J.A., Jansa A., Campins J.* Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean // *Advances in Geosciences*. – 2006. – № 7. – P. 45-49.
6. *Mariotti F.E.-Z., Zeng N., Lau K.-M.* Euro-Mediterranean rainfall variability and ENSO // *CLIVAR Exchanges*. – 2002. – № 1. – P. 3-5.
7. *Воскресенская Е.Н., Михайлова Н.В.* Классификация событий Эль-Ниньо и погодно-климатические аномалии в Черноморском регионе // *Доповіді НАН України*. – 2010. – № 3. – С. 120-124.
8. *Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии // *Морской гидрофизический журнал*. – 2007. – № 4. – С. 13-23.
9. *Wang X.L., Swail V.R., Zwiers F.W.* Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP–NCAR reanalysis for 1958–2001 // *J. Climate*. – 2006. – № 19. – P. 3145-3166.
10. *Полонский А.Б.* Атлантическая мультидекадная осцилляция и ее проявления в Атлантико-Европейском регионе // *Морской гидрофизический журнал*. – 2008. – № 4. – С. 47-58.
11. *Atlas of Extratropical Storm Tracks (1961-1998)*. Сайт «National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies». [Электронный ресурс]. <http://data.giss.nasa.gov/stormtracks/> (Проверено 05.02.2011).
12. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naostatmon>
13. Сайт «National Weather Service. Climate Prediction Center». [Электронный ресурс]. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi> (Проверено 08.02.2011).
14. *PDO Index*. Сайт «College of the Environment University of Washington» [Электронный ресурс]. <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest> (Проверено 10.02.2011).
15. *Climate Timeseries. AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index*. Сайт «Earth System Research Laboratory». [Электронный ресурс]. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/> (Проверено 10.02.2011).
16. *Lionello P., Bhend J., Boldrin U., Trigo I.F., Ulbrich U.* Climatology of cyclones in the Mediterranean: present trends and future scenarios // *CLIVAR Exchanges*. – 2006. – v. 11, № 2. – P. 10-12.

Работа выполнена частично при поддержке гранта *FP7-ENV-2009-1 № 244104 (THESEUS)* и программы международного сотрудничества между Украиной и Литвой, договор МОН Украины № М/212-2009 от 27.04.2009 г.

Материал поступил в редакцию 14.02.2011 г.