

ПРОЯВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ОКЕАН-АТМОСФЕРА В ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Статистический анализ межгодовой изменчивости параметров циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе в связи с Североатлантическим колебанием и Эль-Ниньо – Южным колебанием показал, что их совместное влияние обуславливает более 50% дисперсии параметров циклонов в зимний и весенний сезоны. Методом композитов показано наличие климатического сдвига в середине 70-х годов XX века в изменчивости циклонической активности и, как следствие, стока черноморских рек, что объясняется сменой фаз Тихоокеанской декадной осцилляции.

Ключевые слова: циклоны, Черноморско-Средиземноморский регион, САК, ЭНЮК, ТДО.

Введение. Циклоны традиционно считают главным метеорологическим фактором, влияющим на погоду и климат Черноморско-Средиземноморского региона, часто приводя к формированию экстремальных погодных условий (наводнения, сильные ветры и т.д.) [1]. Кроме того, климатические аномалии всего Атлантико-Европейского региона формируются под действием изменения направления траекторий циклонов (штормтреков), обусловленного глобальными процессами взаимодействия атмосферы и океана низкочастотного масштаба.

Изменение погодно-климатических условий представляет все возрастающий интерес как на уровне правящих кругов государств, лидеров международных организаций, так и у экологически сознательной общественности. Трудно переоценить важность прогнозирования циклонической активности для агропромышленного комплекса, для проблем обеспеченности гидроресурсами [2], строительства, рекреации. Киотский протокол 1997 года, Всемирная конференция по изменению климата в Копенгагене 7 – 18 декабря 2009 года, на которой присутствовали лидеры более 110 стран и международных организаций, являются яркими примерами того, что вопрос о регулировании климата планеты является важным элементом политики правительств большинства стран мира. Международное научно-исследовательское сотрудничество в области изучения глобальных и региональных погодно-климатических аномалий осуществляется в рамках многочисленных проектов, таких как: CLIVAR, TOGA, РАЗРЕЗЫ, МОНИТОРИНГ, ОКЕАНОГРАФИЯ и др. Результаты этих исследований опубликованы в ряде работ, некоторые из которых признаны фундаментальными в климатологии и науке взаимодействия океана и атмосферы.

Как отмечалось выше, изменчивость погодно-климатических аномалий Черноморско-Средиземноморского региона в значительной мере определяется глобальными далекодействующими процессами взаимодействия в системе океан-атмосфера. Разложение глобальных полей или полей устойчивых аномалий в атмосфере или океане на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) подтверждает существование типичных масштабов глобальной изменчивости в системе океан-атмосфера [3]. С помощью такого подхода выделено несколько типов далекодействующих климатических сигналов межгодового-десятилетнего масштабов: Североатлантическое колебание (САК); сигнал Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК); Тихоокеанско-Североамериканское колебание (ТСК), которое с конца 1990-х годов чаще интерпретируют как Тихоокеанскую декадную осцилляцию (ТДО) и др.

САК и ЭНЮК действуют на межгодовом масштабе, периоды их изменчивости 2 – 8 и 2 – 7 лет, соответственно. ТДО является основным сигналом десятилетней изменчивости, его основной временной масштаб составляет 20 – 30 лет. В работах [4, 5] изме-

нения такого масштаба некоторых гидрометеохарактеристик и полей Европейского региона связывают с влиянием ТДО. Глобальный климатический сдвиг в середине 70-х гг. XX века связывают с переходом от отрицательной к положительной фазе ТДО [6].

Изменчивость погодно-климатических аномалий в Средиземноморском и Черноморском регионах, обусловленная влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера межгодового масштаба, анализировалась во многих работах, главным образом, на примере полей давления, температуры, осадков и стоков рек [2, 7]. В исследовании связи изменчивости циклонов, обусловленной межгодовыми колебаниями САК и ЭНЮК, основное внимание уделяется траекториям циклонов – штормтрекам [7, 8]. В отдельных работах показана связь флуктуации частоты и геострофической циркуляции циклонов с САК [1, 9]. Поэтому, безусловно, изучение проявлений САК и особенно ЭНЮК в циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе представляет все возрастающий интерес. Кроме того, работы, в которых показаны отклики на воздействие САК и ЭНЮК, часто проводятся для отдельных частей Средиземноморско-Черноморского бассейна [2], что оставляет необходимость обобщенной характеристики межгодовой изменчивости циклонической активности во всем бассейне. Следует подчеркнуть целесообразность сравнения изменчивости параметров циклонов и реакции циклонической активности на воздействие глобальных сигналов в разных регионах Черного и Средиземного морей.

Низкочастотные декадные колебания климатической системы в работах [2, 10] и некоторых других обнаружены в основном в резкой смене тесноты связи региональных гидрометеорологических условий с глобальными сигналами межгодового масштаба за счет изменения интенсивности их проявления в середине 70-х годов XX века, что может быть приурочено к смене фаз ТДО. Однако работы по описанию декадной изменчивости циклонической активности в Средиземноморско-Черноморском регионе, связанной с влиянием ТДО, до настоящего времени не проводились.

На основе анализа современного состояния проблемы, была сформулирована **цель** настоящей работы: изучить проявления низкочастотных сигналов системы океан-атмосфера в циклонической активности в Черноморском и Средиземноморском регионах. Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести контроль качества расчета параметров циклонов на основе данных реанализа NCEP/NCAR;
- провести расчеты и анализ статистических характеристик и трендов параметров циклонов для выделенных регионов;
- изучить квазипериодическую изменчивость межгодового и десятилетнего масштаба основных параметров циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе, стоков основных рек Черноморского бассейна и исследовать связь этих характеристик с крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера.

Выявление периодичности в изменчивости параметров циклонов в Средиземноморско-Черноморском регионе имеет непосредственное значение для методов долгосрочных прогнозов региональных погодно-климатических аномалий и для целей долгосрочного планирования и политики принятия решений. Таким образом, данное направление исследования является актуальным и востребованным.

Описание данных и процедура анализа. Параметры циклонической активности (частота, глубина, площадь и интенсивность) выделялись на основе ежедневных данных реанализа NCEP / NCAR о поле высоты геопотенциальной поверхности 1000 гПа на пространственной сетке $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ за период 1948–2006 гг. с помощью следующей процедуры, которая подробно описана в работе [9]. Пусть имеется область пониженного давления, ограниченная замкнутыми изобарами, с центром в точке, совпадающей с узлом регулярной сетки. Тогда **глубина** [gPa] циклонического вихря определяется как

модуль разности давления между его центром и последней замкнутой изобарой (анализировались изолинии с дискретностью 1 гПа). В случае несовпадения центра вихря с узлом сетки центр определяется как геометрический центр фигуры, расположенной внутри ближайшей от узла изобары, давление на которой отличается от давления в узле сетки на 1 гПа. Под **частотой** [приведенная величина] понимается отношение числа центров циклонов, обнаруженных в данном квадрате за сезон, к общему числу проанализированных случаев (т.е. к количеству суток для сезона каждого года). **Площадь** [млн кв. км] синоптического образования определяется по поверхности, ограниченной последней замкнутой изобарой. Под **интенсивностью** [гПа] понимается отношение объема циклона к его площади, т.е. «средняя глубина» циклона.

Рассчитывались характеристики циклонов, осредненные для всего региона. Черноморский регион ограничивался координатами $37.5^{\circ} - 50^{\circ}$ с.ш. и $27.5^{\circ} - 45^{\circ}$ в.д. Средиземноморский регион был разделен на две части: западную и восточную: $35^{\circ} - 47^{\circ}$ с.ш., 6° з.д. – 18° в.д.; $29^{\circ} - 41^{\circ}$ с.ш., $14^{\circ} - 38^{\circ}$ в.д., соответственно. Выбор таких границ часто используется в научной литературе [1, 8, 9]. На рис.1 представлены границы рассматриваемых регионов.

Изменчивость всех параметров циклонов анализировалась отдельно для каждого исследуемого района (одного черноморского и двух средиземноморских) по сезонам, построены линейные и полиномиальные тренды этих характеристик с использованием стандартных статистических пакетов и программ. Далее методом композитов изучалась десятилетняя изменчивость рассчитанных параметров циклонической активности в связи с влиянием крупномасштабных сигналов в системе океан-атмосфера. Также были изучены проявления низкочастотного влияния ТДО в стоках основных рек Черноморского бассейна (Днепра, Дуная и Южного Буга).



Рис. 1 – Границы изучаемых регионов.

Результаты и обсуждение. На предварительном этапе работы был проведен контроль качества выделения параметров циклонов, основанный на сравнении количества дней с циклонами, выбранных на основе реанализа NCEP / NCAR, и аналогичных значений, полученных по сборнокинematicким картам гидрометслужбы Украины. Коэффициент корреляции между проанализированными рядами составляет 0,91. Приведенные на рис. 2 графики иллюстрируют пример хорошего согласования рассчитанных параметров циклонов с данными гидрометслужбы Украины.

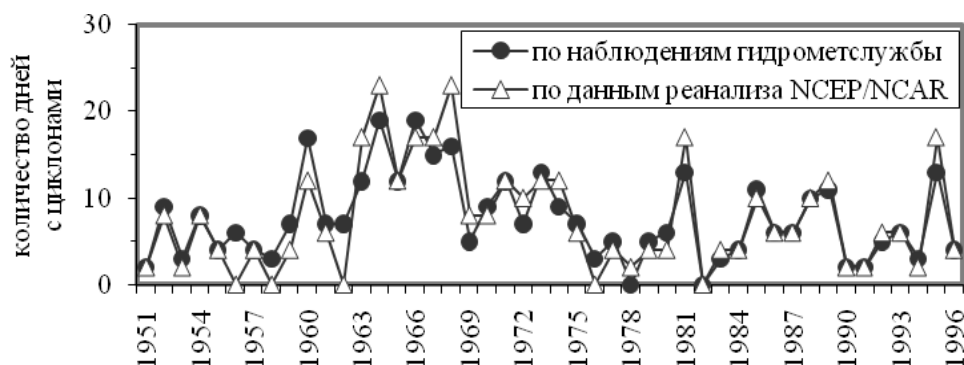


Рис.2 – Количество дней с циклонами в Черноморском регионе в ноябре.

Среднемноголетние величины количества дней с циклонами по сезонам для Черноморского региона составляют: 28,6 зимой, 34,6 весной, 14,9 летом и 17,9 осенью. В Средиземноморском регионе в западной и восточной частях, соответственно, – 42,6 и 55,3 зимой, 34,7 и 34,3 весной, 22,6 и 4,9 летом, 36,4 и 23,6 осенью.

Был проведен расчет коэффициентов линейных трендов параметров циклонов по сезонам в 1948–2006 гг., которые представлены в табл. 1. Коэффициенты трендов преимущественно невелики и отрицательны. Значимые на уровне 80 – 99% коэффициенты трендов наблюдаются только в зимне-весенний период в Черноморском регионе и в теплый период года в Средиземноморском регионе, когда велико влияние так называемых «термальных минимумов».

Таблица 1 – Коэффициенты линейных трендов параметров циклонов в Черноморском регионе (*а*), в западной части Средиземноморского региона (*б*) и восточной части Средиземноморского региона (*в*)

сезон	коэффициенты трендов частоты, *10 ³	коэффициенты трендов площади, *10 ³	коэффициенты трендов глубины, *10 ³	коэффициенты трендов интенсивности, *10 ³
<i>а</i>				
зима	-2****	-5,7**	-95,7	-33,9
весна	-1,5**	-0,08	-4	+0,1
лето	+0,2	+0,1	+19	+8,5
осень	-0,05	+1,7	-32,9	-6,4
<i>б</i>				
зима	-0,5	-1,6	-3,1	-6,1
весна	-0,8*	+4,3	+67,9	+17,2
лето	+0,6**	-2,1*	-67,5***	-27,9***
осень	+0,1	-2	-27,2	-21,4
<i>в</i>				
зима	+0,3	-1,6	+22,9	+5,6
весна	-0,3	+4***	+37,9	+14,5
лето	-0,5	+1,3	+18,6	+8,7
осень	-0,1	+2,3	+61,5	+20,2

Уровень значимости: 99% – ****; 95% – ***; 90% – **; 80% – *

В то же время рис.3 демонстрирует наличие квазипериодической изменчивости циклонической активности в регионах и Черного (рис.3а), и Средиземного морей (рис. 3б и 3в), что проявляется в расходах рек, например Дуная (рис.3г). Оценка полиномиальных трендов показывает, что периоды 1955 – 1979 гг. и 1980 – 2003 гг. могут быть охарактеризованы как положительная и отрицательная фазы квазидесятилетнего колебания. Эта периодичность может быть объяснена, главным образом, сменой фаз ТДО [4, 5]. Таким образом, при анализе трендов следует учитывать особенности масштабов низкочастотной квазипериодической изменчивости.

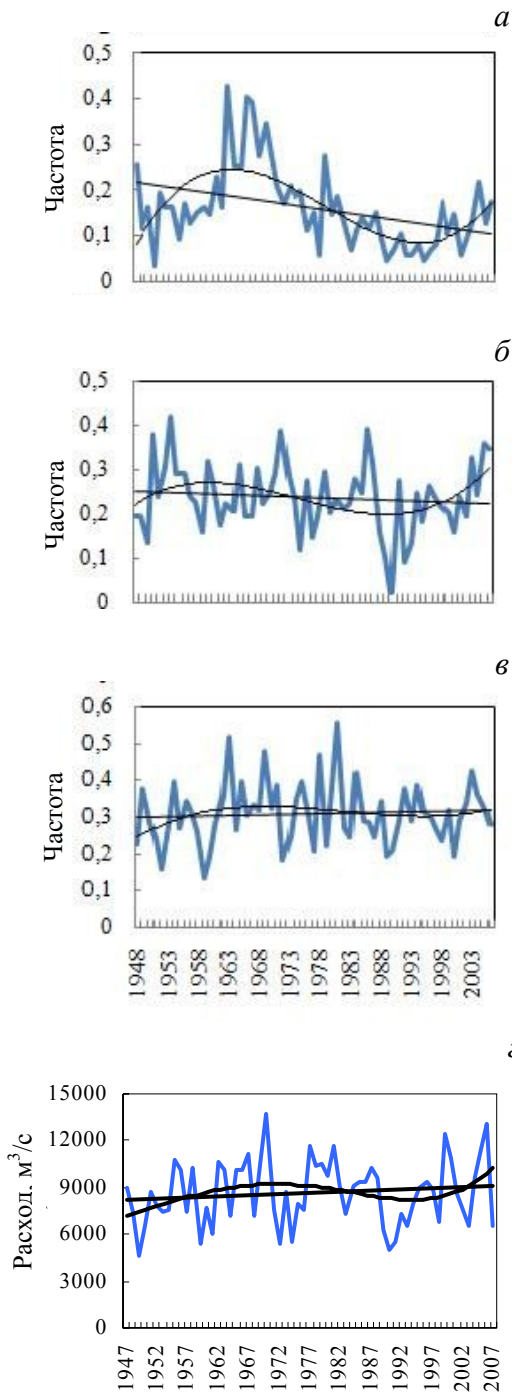
Спектральный анализ всех параметров циклонов в изучаемых регионах и стоков рек позволил выявить следующие типичные масштабы их изменчивости: ~2 года; 4,3 – 4,8 и 7 – 8 лет. Такие временные масштабы характерны САК (2 – 8 лет) и ЭНЮК (2 – 7 лет). В то же время, в полученных спектрах имеются и более низкочастотные спектральные максимумы на периодах 12 – 15 и 20 – 30 лет, однако при данной длине ряда их статистическая значимость невелика. Коэффициенты корреляции параметров черноморских циклонов с индексом САК максимальны в зимний и весенний сезоны и достигают величины -0,6, как и для средиземноморских циклонов, а с индексом Южного колебания (ЮК) до 0,4 со сдвигом 4 – 7 месяцев для всех районов. Таким образом, совместным влиянием САК и ЭНЮК можно объяснить более 50% межгодовой изменчивости циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе. Такого же порядка величины были получены при оценке связи САК и ЭНЮК с расходами рек Черноморского бассейна в весенний сезон, обусловленными преимущественно циклонической активностью над площадями водосборов.

На последнем этапе работы анализировалось низкочастотное воздействие ТДО на региональную квазидвадцатилетнюю изменчивость параметров циклонов и стока рек. Для периодов, соответствующих отрицательной (1948–1976 гг.) и положительной (1977 – 2001 гг.) фазам ТДО были получены композитные характеристики для всех анализируемых параметров. На рис.4 в качестве примера приведены композиты частоты циклонов (рис.4а–в) и расхода Южного Буга (рис.4г). Видно, что во время отрицательной фазы ТДО наблюдаются значимые повышенные относительно положительной фазы величины параметров циклонов в Черноморском (рис.4в) и Средиземноморском регионах (рис.4а и 4б) с января по март и, соответственно, стока рек во время весеннего сезона (рис.4г).

Анализируя полученные композиты, можно сделать вывод, что во время отрицательной фазы ТДО в Черноморском регионе наблюдалась повышенная в среднем в 2 раза по сравнению с положительной фазой частота циклонов с января по март (на 95% уровне значимости), в октябре (на 90% уровне значимости) и в мае (на 80% уровне), как видно на рис.4а. С декабря по апрель черноморские циклоны в 1948 – 1976 гг. превосходили по площади циклоны периода 1977 – 2001 гг. (на $\sim 500 \cdot 10^3 \text{ км}^2$), однако только по абсолютным величинам, значимым лишь в феврале на 90% уровне. Черноморские циклоны с декабря по апрель и с июля по сентябрь во время отрицательной фазы ТДО были глубже и интенсивнее ($\sim 5 \text{ гПа}$), чем во время положительной фазы (значимые на 95% уровне превышения наблюдаются в феврале; на 80% уровне – в январе и марте).

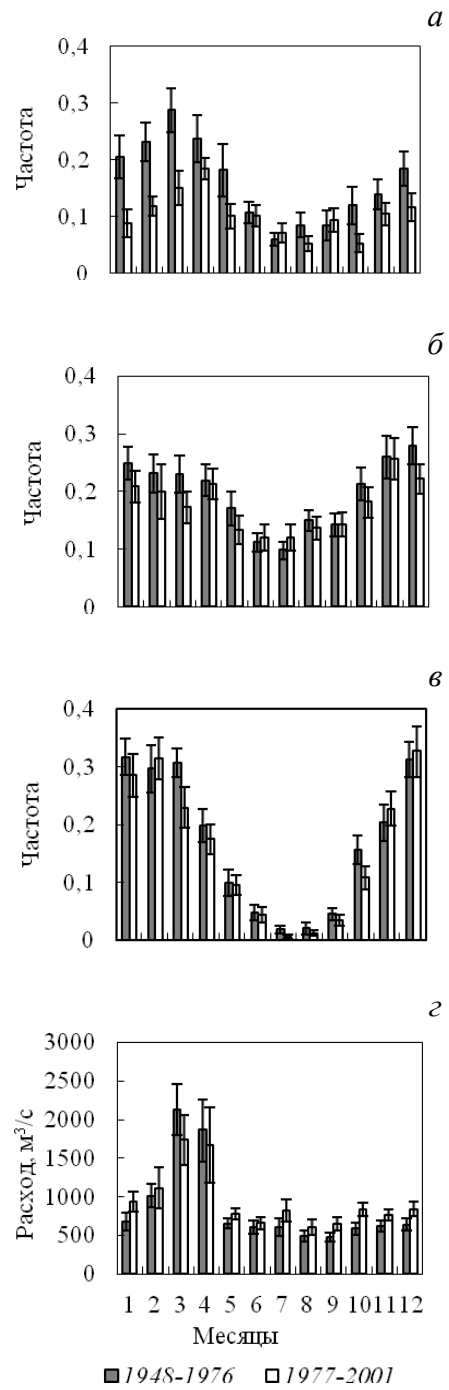
Характер распределения параметров средиземноморских циклонов, особенно в западной части, в зависимости от фазы ТДО напоминает характер изменчивости черноморских циклонов. Частота циклонов западной части Средиземного моря во время отрицательной фазы ТДО также превышала на 20% частоту во время отрицательной фазы в декабре и мае (с 80% уровнем значимости). В восточной части Средиземноморского региона – в марте и октябре (соответственно, на 90% и 80% уровне значимости). Величины композитных характеристик других параметров циклонов западной и восточной частей Средиземного моря (глубины, площади и интенсивности) выше в отрицательную фазу ТДО только по абсолютной величине и в основном в холодный период года.

Анализ композитов расходов основных рек Черноморского бассейна показал, что весенний сток выше по абсолютным величинам в отрицательную фазу ТДО, так: сток Южного Буга – в марте и апреле (рис. 4г), Днепра – в апреле и мае, Дуная – с июня по сентябрь.



прямая линия – линейный тренд; кривая – полиномиальный тренд

Рис.3 – Изменчивость частоты зимних циклонов в Черноморском регионе (а), в западной части Средиземноморского региона (б) и в его восточной части (в); расхода Дуная (г).



а – западная часть Средиземноморского региона; б – восточная часть Средиземноморского региона; в – Черноморский регион; г – расход Южного Буга

Рис.4 – Композиты частоты циклонов и расхода Южного Буга за периоды отрицательной (1948 – 1976 гг.) и положительной (1977 – 2001 гг.) фаз ТДО (интервал погрешностей соответствует уровню значимости 80%).

Висновки. В результаті проведеного дослідження можна заключити:

- контроль якості виділення циклонів по даним реаналіза показав значиме узгодження розрахованих параметрів циклонів з натурними даними Гідрометслужби України;
- при аналізі трендів циклонічної активності слід враховувати особливості масштабів низкочастотної квазіперіодическої змінливості;
- спільне вплив САК і ЕНЮК пояснює більше 50% міжрічної змінливості параметрів циклонів в досліджуваній області в зимній і весняній сезони;
- наявність кліматичного зсуву, пов'язаного зі зміною фаз ТДО, проявляється в значимій різниці величин відповідних композитів параметрів циклонів Чорноморсько-Середземноморського регіону, особливо зимою, і стоку основних річок Чорноморського басейну в весняний сезон.

Список літератури

1. *Guijarro J.A., Jansa A., Campins J.* Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean // *Adv. Geosci.* – 2006. – №7. – P.45-49.
2. *Trigo R.M., Pozo-Vazquez D., Castro-Diez Y., Osborn T., Gamis-Fortis S., Esteban-Parra M.J.* NAO influence on precipitation, river flow regimes and hydroelectric power generation in the Iberian peninsula // *GRA.* – 2003. – Vol. 5.
3. *Enfield D., Mestas-Nunez A.M.* Multiscale variability in global SST and their relationships with tropospheric climate patterns // *J. Climate.* – 1999. – Vol.12, №9. – P.2719-2733.
4. *Воскресенська Е.Н.* Особливості змінливості стоку європейських річок в зв'язку з глобальними кліматическими процесами / Страны и регионы на пути к устойчивому развитию. – К.: Академперіодика, 2003. – С.59-61.
5. *Bardin M.Yu., Voskresenskaya E.N.* Pacific Decadal Oscillation and European climatic anomalies // *Soviet Journal of Physical Oceanography.* – 2007. – Vol.17, №4. – P.200-208.
6. *Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C.* A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // *Bulletin of the American Meteorological Society.* – 1997. – Vol.78. – P. 1069-1079.
7. *Fraedrich K., Müller K.* Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes // *Int. J. Climatol.* – 1992. – №12. – P.25-31.
8. *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. – Vol.11, №2. – P.10-12.
9. *Polonskii 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. – Vol.17, №6. – P.348-359.
10. *Alpert P., Price C., Krichak S.O., Ziv B., Saaroni H., Osetinsky I., Barkan J., Kishcha P.* Tropical tele-connections to the Mediterranean climate and weather // *Adv. Geosci.* – 2005. – №2. – P.157-160.

Прояви глобальних процесів в системі океан-атмосфера в циклонічній активності в Чорноморсько-Середземноморському регіоні. Воскресенська О.М., Маслова В.М.

Статистичний аналіз міжрічної мінливості циклонів в Чорноморсько-Середземноморському регіоні у зв'язку з Північноатлантичним коливанням і Ель-Ніньо – Південним коливанням показав, що їх спільний вплив обумовлює більше 50% дисперсії параметрів циклонів взимку і навесні. Методом композитів показана наявність кліматичного зсуву в середині 70-х років ХХ століття у мінливості циклонічної активності і, як наслідок, стоку чорноморських річок, що пов'язано із зміною фаз Тихоокеанської декадної осциляції.

Ключові слова: циклони, Чорноморсько-Середземноморський регіон, ПАК, ЕНПК, ТДО.

Manifestations of the global processes in the ocean-atmosphere system in cyclonic variability in the Black Sea-Mediterranean region. Voskresenskaya E.N., Maslova V.N.

Statistical analysis of interannual variability of cyclones in the Black Sea-Mediterranean region associated with the North Atlantic Oscillation and El-Nino – Southern Oscillation showed that their joint influence is responsible for more than 50% of dispersion of parameters of cyclones in winter and spring. Using the method of composites, the climatic shift in the middle of 1970s resulting from the Pacific Decadal Oscillation phase change was shown in the variability of cyclonic activity and resulting Black Sea river flows.

Keywords: cyclones, Black Sea-Mediterranean region, NAO, ENSO, PDO.