

АНТИЦИКЛОНЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА NCEP/NCAR

Е.Н. Воскресенская, М.Ю. Бардин*,
О.Ю. Коваленко

Морской гидрофизический институт
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: kovalenko_olga89@mail.ru

*Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН
г. Москва, ул. Глебовская, 20-б

В статье рассмотрены изменения антициклической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг. Приведены спектральные оценки параметров антициклонов и их вклад в общую изменчивость.

Введение. Антициклическая активность является одним из главных факторов, обуславливающих изменения климата. Напомним, что под антициклоном понимается система высокого давления, сопровождающаяся аномальными условиями погоды, находящими определенный отклик в социально-экономической сфере жизни человека.

В отличие от циклонов, которым посвящено множество работ из-за их прямой связи с краткосрочными изменениями погоды, климатологических исследований антициклонов проведено недостаточно много. В работах по исследованию антициклической активности зачастую рассматриваются изменения синоптических вихрей и их закономерности как для полушария в целом [1, 2], так и для отдельных регионов [3, 4]. Например, в [3] представлена климатология антициклонов для Северной Америки за период 1950 – 1977 гг., а авторы статьи [4] изучали динамику повторяемости антициклонов по 29-летним (1976 – 2004 гг.) данным для Сибири. Что касается климатических исследований антициклонов в Черноморском и Средиземноморском регионе, то они представлены немногочисленными работами [5, 6]. В [5] отмечено, что повторяемость антициклонов в Черноморском регионе увеличивалась

во все сезоны года с конца 1960-ых и до конца 1980-ых годов, при этом значимые тенденции изменений характерны для осенне-зимнего периода. В Европейском регионе, включая Средиземное море, активность антициклических вихрей увеличивалась с середины 1990-х годов [6]. При этом возникает сложность при сравнении и обобщении полученных авторами результатов в связи с использованием разных временных масштабов и методик. Таким образом, изучение климатологии антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе приобретает особую актуальность.

Целью настоящей работы является исследование климатических характеристик антициклонов, их изменений и изменчивости в Черноморско-Средиземноморском регионе по данным реанализа NCEP/NCAR за период 1951 – 2012 гг.

Данные и методика. По данным глобального реанализа NCEP/NCAR о высоте изобарической поверхности 1000 гПа (в синоптические сроки: 0, 6, 12, 18 часов) за период 1951 – 2012 гг. и авторской методики Бардина М.Ю. [7] получены следующие параметры антициклонов: частота, глубина, площадь и интенсивность. Для того, чтобы сравнить частоты антициклонов в разных по площади квадратах, рассчитанная величина приводилась к 10^6 км^2 .

Черноморско-Средиземноморский регион в настоящей работе включает в себя Черноморский регион ($37,5^\circ - 50^\circ \text{ с.ш.}$, $27,5^\circ - 45^\circ \text{ в.д.}$), западную ($35^\circ - 47^\circ \text{ с.ш.}$, $6^\circ \text{ з.д.} - 8^\circ \text{ в.д.}$) и восточную ($29^\circ - 41^\circ \text{ с.ш.}$ и $14^\circ - 38^\circ \text{ в.д.}$) части Средиземноморского региона.

Используя стандартные статистические методики, получены среднемноголетние статистические характеристики (среднее, среднеквадратическое отклонение (СКО)) и линейные тренды всех параметров антициклонов для каждого рассматриваемого региона. Далее из временных рядов был удален линейный тренд и вычислялись периодограммы и интегрированные периодограммы. Периодограммы были сглажены с помощью окна Парзена. После этого оценивались доверительные интервалы пиков сглаженной периодограммы. Кроме этого, для временных рядов были вычислены дисперсии и опреде-

лен вклад изменчивости значимых периодичностей в общую изменчивость.

Значимость коэффициентов линейных трендов оценивалась по критерию Стьюдента.

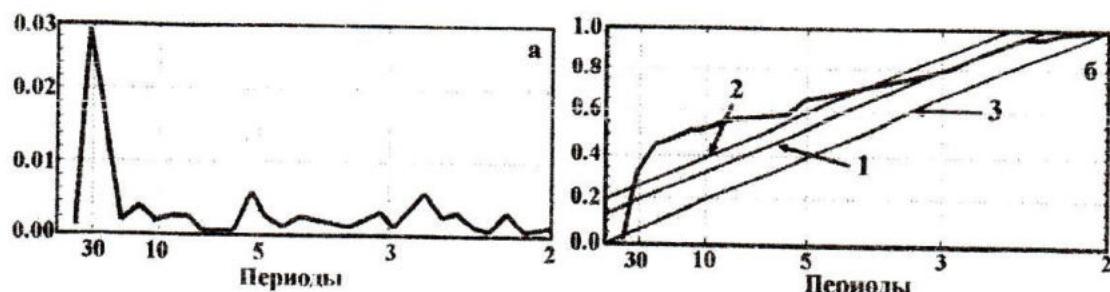


Рис. 1. Периодограмма (а) и интегрированная периодограмма (б) частоты антициклонов в Черноморском регионе за 1951 – 2012 гг. после удаления линейного тренда для летнего сезона, где 1 и 2 – это 75% и 95% пороги для теста на белый шум, 3 – спектральная мера белого шума

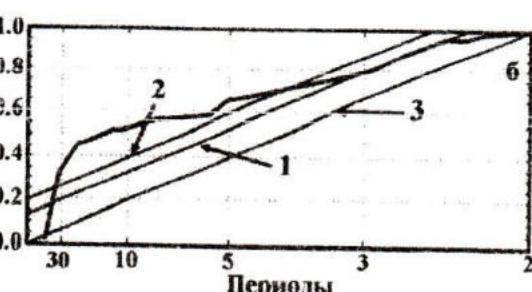
Результаты и их анализ. Исследование частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе показало, что она характеризуется максимальными величинами в весенне-летний период. Абсолютный максимум частоты за исследуемый период отмечается летом в Черноморском регионе и весной в восточной части Средиземноморья, достигая $1,11 \cdot 10^{-7} \text{ км}^2$. При этом наибольшие СКО ($0,41 \cdot 10^{-7} \text{ км}^2$) частоты антициклонов характерны для зимнего сезона в Черноморском регионе.

Максимумы глубины, площади и интенсивности антициклонов отмечаются зимой в западной части Средиземноморья и весной в его восточной части, в Черноморском регионе – осенью. Наибольшие величины СКО этих параметров характерны для осенне-зимнего периода во всем Черноморско-Средиземноморском регионе, что видно из табл. 1.

Анализ коэффициентов линейных трендов параметров антициклонов в исследуемом регионе, приведенных в табл. 2, показал отсутствие значимых тенденций изменений площади антициклонов во все сезоны в Черноморском регионе и в восточной части Средиземноморья.

Исключением является зимний и летний сезоны в западной части Средиземноморья, где наблюдается значимое увеличение площади антициклонов на $14,8 \cdot 10^{-4} \text{ км}^2/10 \text{ лет}$ и $4,1 \cdot 10^{-4} \text{ км}^2/10 \text{ лет}$,

В качестве примера на рис. 1 приведена периодограмма и интегрированная периодограмма частоты антициклонов в летний сезон в Черноморском регионе.



соответственно. При этом зимой в этом же регионе отмечаются значимые положительные коэффициенты линейных трендов частоты, глубины и интенсивности антициклонов, однако летом – частота и глубина значительно уменьшаются. Таким образом, на западе Средиземноморья отмечается тенденция к увеличению всех параметров антициклонов зимой, а летом увеличивается площадь антициклонов, при этом их частота и глубина значительно уменьшаются.

Что касается восточной части Средиземноморья, то частота антициклонов в этом регионе значительно уменьшается во все сезоны, достигая наибольших изменений (на $0,9 \cdot 10^{-9} \text{ км}^2/10 \text{ лет}$) летом. Отрицательные коэффициенты линейных трендов также характерны для глубины и интенсивности антициклонов в весенне-летний период.

В Черноморском регионе за исследуемый период отмечаются значимые тенденции увеличения частоты антициклонов на $12,5 \cdot 10^{-9} \text{ км}^2/10 \text{ лет}$ зимой и уменьшения на $9,3 \cdot 10^{-9} \text{ км}^2/10 \text{ лет}$ летом. Для площади антициклонов в летне-осенний период и интенсивности в осенний сезон характерны значимые отрицательные линейные тренды. Полученные результаты по среднемноголетним величинам параметров антициклонов и их линейных трендов для Черноморского региона не противоречат результатам работы [5], но есть расхождения, которые, вероятно, связаны с длиной временных рядов.

Таким образом, антициклоническая активность в Черноморско-Средиземноморском регионе в течение 1951 –

2012 гг. заметно усиливалась в зимний сезон, но ослабевала в летний.

Таблица 1

Среднемноголетние величины / среднеквадратическое отклонение параметров антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг.

Регион	Сезон	Частота, $1 \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-2}$	Глубина, гПа	Площадь, $1 \cdot 10^6 \text{ км}^2$	Интенсивность
Черноморский регион	зима	0,88 / 0,41	3,31 / 0,67	1,3 / 0,36	10,19 / 2,17
	весна	0,87 / 0,23	3,02 / 0,61	1,23 / 0,44	9,4 / 1,87
	лето	1,11 / 0,39	2,48 / 0,37	0,94 / 0,23	7,81 / 1,26
	осень	0,96 / 0,3	3,88 / 0,87	1,9 / 0,61	12,11 / 2,81
Восточная часть Средиземноморья	зима	0,38 / 0,14	2,22 / 0,4	1,32 / 0,41	7,12 / 1,34
	весна	1,11 / 0,22	2,36 / 0,28	1,17 / 0,21	7,53 / 0,93
	лето	0,84 / 0,22	1,92 / 0,25	0,78 / 0,13	5,87 / 0,76
	осень	0,6 / 0,21	1,89 / 0,33	1,08 / 0,33	6,03 / 1,05
Западная часть Средиземноморья	зима	0,4 / 0,18	4,12 / 1,31	2,98 / 1,22	13,27 / 4,33
	весна	0,54 / 0,16	2,61 / 0,65	1,47 / 0,55	8,26 / 2,13
	лето	0,78 / 0,29	1,84 / 0,23	0,85 / 0,19	5,69 / 0,77
	осень	0,52 / 0,18	2,99 / 1,01	2,16 / 1,15	9,55 / 3,32

Таблица 2

Коэффициенты линейных трендов параметров антициклонов и их значимость в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг.

Регион	Сезон	Частота, $1 \cdot 10^{-9} \text{ км}^{-2}/\text{год}$	Глубина $1 \cdot 10^{-3} \text{ гПа}/\text{год}$	Площадь, $1 \cdot 10^{-3} \text{ км}^2/\text{год}$	Интенсивность, $1 \cdot 10^{-3}/\text{год}$
Черноморский регион	зима	1,3****	7,1*	0,2	14,8
	весна	0,2*	1,8	3,4	0,8
	лето	-0,9****	-4,5**	10	-14,6*
	осень	0	-10,2**	-2,7	-35,4**
Восточная часть Средиземноморья	зима	-0,3****	-0,3	-3,2	-4,4
	весна	-0,7****	-4,7***	1,3	-15,7***
	лето	-0,9****	-7,9****	-0,2	-24,7****
	осень	-0,6****	0,4	3,6*	-0,8
Западная часть Средиземноморья	зима	0,3***	18,1***	14,8**	51,7**
	весна	0	1,2	4,9	2,7
	лето	-1****	-3,2***	4,1****	-8,6*
	осень	-0,4****	8,1	10,5	24,2

*Значимые на 80%, 90%, 95% и 99% уровне тренды помечены одной, двумя, тремя и четырьмя звездочками, соответственно.

Спектральный анализ параметров антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг. показал следующее.

Периоды спектральных пиков параметров антициклонов в исследуемом регионе представлены в табл. 3. Для всех параметров антициклонов в исследуемом регионе максимальный вклад дисперсий в общую изменчивость характерен для периодов более 30 лет, однако достоверность этого спектрального пика для используемого 62-летнего ряда нельзя определить. После удаления периодичностей более 30 лет из временного ряда обнаружено, что в изменчивости параметров анти-

циклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе наблюдаются спектральные пики с периодами от 2 до 7 лет, а также 8 и 12 лет.

В спектрах частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе выделяются пики с периодами от 2 до 7 лет. Максимальный вклад изменчивости частоты для этих спектральных пиков типичен для весеннего сезона в Черноморском регионе и восточной части Средиземноморья, и составляет 21% и 32%, соответственно. Отметим, что осенью в западной части Средиземноморья отмечается значимый пик частоты антициклонов с периодом 12 лет, но вклад его дисперсии невелик и составляет 7%.

Таблица 3

Периоды спектральных пиков параметров антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг. В скобках дан вклад (%) изменчивости соответствующего временного масштаба в общую дисперсию для значимых на уровне 95% пиков в спектрах, рассчитанных после удаления линейных трендов и помеченных звездочкой

Регион	Сезон	Частота	Глубина	Площадь	Интенсивность
Черноморский регион	зима	>30, 4 (5)*	>30, 6 (6)*, 3 (22)*	>30, 6 (6)*, 2	>30, 6 (5)*, 3 (26)*
	весна	>30, 3 (21)*	12	6, 3, 2	6, 3, 2
	лето	>30, 5 (4)*, 3	12, 4, 3	12, 4, 3	12, 4, 3
	осень	>30, 4 (6)*, 3 (10)*	8, 3, 2	9, 2	6
Восточная часть Средиземноморья	зима	>30, 7 (1)*, 2	8, 3, 2	2	8, 2
	весна	>30, 7 (32)*, 2	>30, 4 (16)*	>30, 4 (11)*	>30, 4 (13)*
	лето	>30, 2	>30, 4 (10)*	4, 3	>30, 4 (9)*
	осень	>30, 6 (3)*, 3 (13)*	6, 2	12, 3	12, 2
Западная часть Средиземноморья	зима	>30, 4	>30, 7, 3	>30, 7, 2	>30, 7, 3
	весна	4 (16)*	>30, 6, 2 (38)*	>30, 4, 2 (43)*	>30, 6, 2
	лето	>30, 2 (11)*	>30, 6, 3	21, 6, 3	>30, 6
	осень	12 (7)*, 3	8 (4)*, 3 (18)*	8 (4)*, 3 (17)*, 2	8 (4)*, 3 (17)*

В спектрах глубины, площади и интенсивности антициклонов в Черноморском регионе наблюдаются значимые пики с периодами 3 и 6 лет в зимний сезон, в восточной части Средиземноморья – с периодом 4 года в ве-

сенне-летний период, и в его западной части – от 2 лет весной до 3 и 8 лет осенью. Вклад дисперсий глубины и площади антициклонов в общую изменчивость максимальен весной в западной части Средиземноморья и составляет 38% и 43%, соот-

ветственно; при этом наибольший вклад изменчивости интенсивности антициклонов типичен для зимнего сезона в Черноморском регионе.

Подобный спектральный анализ параметров антициклонов приведен в [5], но только для Черноморского региона. Показано, что значимые на 80% уровне пики в спектрах глубины и площади характерны для периодов от 2 до 7 лет, при этом вклад их дисперсии в общую изменчивость временных рядов достигает 30%.

Таким образом, наибольшие значимые спектральные пики в изменчивости параметров антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе в основном сконцентрированы на периодах от 2 до 7 лет. В спектрах частоты антициклонов выделенные периоды отмечаются практически во все сезоны в рассматриваемом регионе, а в спектрах глубины, площади и интенсивности только зимой – весной и осенью.

Выводы. В ходе проведенного анализа климатологии антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе можно сделать следующие выводы.

Наибольшие величины частоты, площади и глубины антициклонов характерны для летне-осеннего периода в Черноморском регионе, для зимы – весны в восточной части Средиземноморья, а также для зимы и лета в его западной части.

Оценки линейных трендов для периода 1951 – 2012 гг. показали усиление антициклонической активности в исследуемом регионе зимой и ее ослабление в летний сезон.

Оценки спектрального анализа параметров антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе показали

наличие значимых на 95% уровне пиков с периодами от 2 до 7 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ioannidou L., Yau M.K. A climatology of the northern hemisphere winter anticyclones // Journal of geophysical research. – 2008. – 113. – D08119.
2. Parker S.S., Hawes J.T., Colucci S.J., Hayden B.P. Climatology of 500 mb cyclones and anticyclones 1950 – 85 // Mon. Weather Rev. – 1989. – 117. – P. 558– 570.
3. Zishka K.M., Smith P.J. The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surrounding ocean environs for January and July 1950 – 77 // Mon. Weather Rev. – 1980. – 108. – P. 387 – 401.
4. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Поднебесных И.В. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реаниализа NCEP/DOE AMIP-II и синоптических карт // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – 1. – С. 38 – 41.
5. Бардин М.Ю., Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н. Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – 6. – С. 47 – 58.
6. Xiangdong Z., Chuhan L., Zhaoyong G. Weakened cyclones, intensified anticyclones and recent extreme cold winter weather events in Eurasia // Environmental Research Letters. – 2012. – 7. – 044044.
7. Бардин М.Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. – 1995. – 11. – С. 24 – 37.