

АНОМАЛИИ ЧАСТОТЫ АНТИЦИКЛОНОВ НАД ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКИМ РЕГИОНОМ

О.Ю. Коваленко, Е.Н. Воскресенская

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: kovalenko_olga89@mail.ru, elena_voskr@mail.ru

В статье анализируются особенности изменчивости частоты антициклонов над Черноморско-Средиземноморским регионом по сезонам за период 1951 – 2012 гг. Получены оценки линейных трендов аномалий частоты антициклонов, показан их вклад в общую изменчивость.

Ключевые слова: антициклон, аномалия частоты, линейный тренд, Черноморско-Средиземноморский регион.

Введение. Черноморско-Средиземноморский регион (ЧСР) располагается между субтропическими и умеренными широтами Северного полушария и имеет сложную топографию. Моря ЧСР со всех сторон окружены сушей, включая горы высотой до 6 км, которая оказывает большое влияние на атмосферную циркуляцию над исследуемым регионом [1]. В связи с особенностями рельефа Средиземноморского региона и наличием температурного градиента между сушей и морем, большинство синоптических систем зарождается над самим Средиземным морем. В зимний сезон над всем Средиземноморским регионом устанавливаются циклонические условия, которые летом ослабевают [2]. Летом северный сдвиг субтропического гребня Азорского антициклона приводит к установлению стабильных антициклонов над всем регионом.

Над акваторией Черного моря воздушные массы движутся почти со всех направлений. Перенос воздушных масс в этом районе определяется главным образом циклонической и антициклонической деятельностью, развивающейся над территорией Европы. Особенно велико влияние в течение всего года Азорского антициклона и Исландской области пониженного давления, а также зимой – Средиземноморского циклона и Восточно-Европейского антициклона [2].

Анализ современных публикаций об изменениях антициклонических условий над ЧСР за длительный период показал, что частота антициклонов в Европейском регионе, включая Черноморский, увеличивалась, начиная с конца 1960-х и

до конца 1980-х гг., во все сезоны, но особенно интенсивно зимой [3, 4]. Что касается Средиземноморского региона, то в последние десятилетия, особенно с 1970 г., в период с октября по март отмечается увеличение числа антициклонов в этом районе [5]. Однако полученные разными авторами результаты не в полной мере раскрывают особенности изменений антициклонических условий над всем ЧСР.

Целью настоящей работы является исследование аномалий частоты антициклонов и их изменений в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг.

Данные и методика. Для выделения антициклонических вихрей привлекались данные глобального атмосферного реанализа NCEP/NCAR Reanalysis 1 [6] о высоте изобарической поверхности 1000 гПа (в синоптические сроки: 0, 6, 12, 18 часов) за период 1951 – 2012 гг.

На основе выше приведенных данных и авторской методики, подробно описанной в [3], получена частота антициклонов для всех сезонов года.

Под частотой антициклонов понимается отношение числа центров синоптических образований, обнаруженных в данном квадрате за сезон, к общему числу проанализированных случаев

$$f_{Ry} = \sum_{t \in Sy} \sum_{t \in Ct} \delta_{iR} / N_{ty},$$

где t – время наблюдений; S_y – сезон в год y ; Ct – общее число вихрей в полосе $20^\circ - 80^\circ$ с.ш.; $\delta_{iR} = 1$ если i -й центр вихря находится в регионе, или 0 в другом случае (так сумма $\sum \delta_{iR}$ – число центров в

регионе за время t); N_{ty} – общее число наблюдений в сезон y .

Величины частоты антициклонов приводились к 1 км^2 . Это выполнено с целью сопоставления частоты антициклонов в разных по площади географических областях.

Значимость коэффициентов линейных трендов оценивалась по критерию Стьюдента.

Аномалии частоты антициклонов рассчитывались относительно полного периода, т.е., 1951 – 2012 гг.

Исследуемый ЧСР подразделяется на три региона (рис. 1): Черноморский регион ($37,5^\circ - 50^\circ$ с.ш., $27,5^\circ - 45^\circ$ в.д.); западная часть Средиземноморья ($35^\circ - 47^\circ$ с.ш., 6° з.д. – 8° в.д.); восточная часть Средиземноморья ($29^\circ - 41^\circ$ с.ш., $14^\circ - 38^\circ$ в.д.).

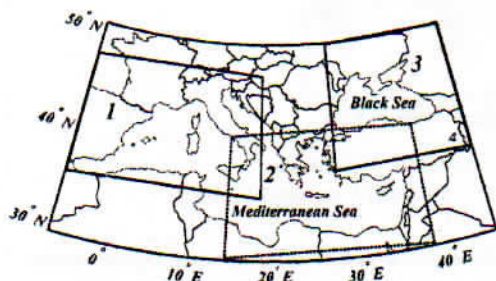


Рис. 1. Черноморско-Средиземноморский регион: (1) – западная часть Средиземноморья, (2) – восточная часть Средиземноморья, (3) – Черноморский регион

Результаты и их анализ. Исследование характера поведения частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе показало следующее.

В зимний сезон аномалии частоты в Черноморском регионе изменяются от $-0,7$ до $1,1 \times 10^{-7} \text{ км}^2$, в восточной части Средиземноморья – от $-0,2$ до $0,4 \times 10^{-7} \text{ км}^2$, а в западной части – от $-0,3$ до $0,4 \times 10^{-7} \text{ км}^2$. Из рис. 2 (левая колонка) видно, что зимние межгодовые аномалии частоты антициклонов в Черноморском регионе и в восточной части Средиземноморья накладываются на упорядоченную структуру междесятилетних колебаний, тогда как в западной части Средиземноморья обращают на себя внимание только межгодовые.

На рис. 2 в правой колонке представлены графики летних аномалий частоты

антициклонов для каждого района ЧСР в период 1951 – 2012 гг. Их величины в Черноморском регионе за 62-летний период колеблются от $-0,7$ до $0,9 \times 10^{-7} \text{ км}^2$, в восточной части Средиземноморья – от $-0,5$ до $0,5 \times 10^{-7} \text{ км}^2$, и в западной части – от $-0,4$ до $0,7 \times 10^{-7} \text{ км}^2$.

Весной исследуемая характеристика во всем ЧСР изменяется незначительно в пределах от $-0,3$ до $0,5 \times 10^{-7} \text{ км}^2$ во всех трех регионах, а осенью от $-0,4$ в обеих частях Средиземноморья до $0,9 \times 10^{-7} \text{ км}^2$ в Черноморском регионе (рисунки не приведены).

Таким образом, максимальные величины аномалий частоты антициклонов как положительных, так и отрицательных, обнаружены в зимний и летний сезоны в Черноморском регионе.

Линейные тренды аномалии частоты антициклонов в Черноморском регионе и западной части Средиземноморья в период 1951 – 2012 гг. в зимний сезон характеризуются статистически значимым увеличением, в то время как в летний сезон – уменьшением (табл. 1). Исследуемая характеристика в западной части Средиземноморья в осенний сезон значимо уменьшается на $0,04 \times 10^{-7} \text{ км}^2$ на 10 лет. В восточной части Средиземноморья аномалии частоты антициклонов значимо уменьшаются во все сезоны года. Величина тренда максимальна в летний сезон и составляет $-0,09 \times 10^{-7} \text{ км}^2$ на 10 лет.

На основе рассчитанных коэффициентов линейных трендов, приведенных в табл. 1, оценены вклады тренда в общую изменчивость аномалий частоты антициклонов.

Долгопериодный рост зимних аномалий частоты антициклонов в Черноморском регионе описывается около 31% общей изменчивости исследуемой характеристики, в восточной части Средиземноморья – 13% и в западной части – 7% (табл. 1).

Весной уменьшение аномалий частоты антициклонов в восточной части Средиземноморья на 29% описывается низкочастотной изменчивостью. В двух других анализируемых регионах вклад линейного тренда в общую изменчивость аномалии частоты антициклонов не превышает 3,5%.

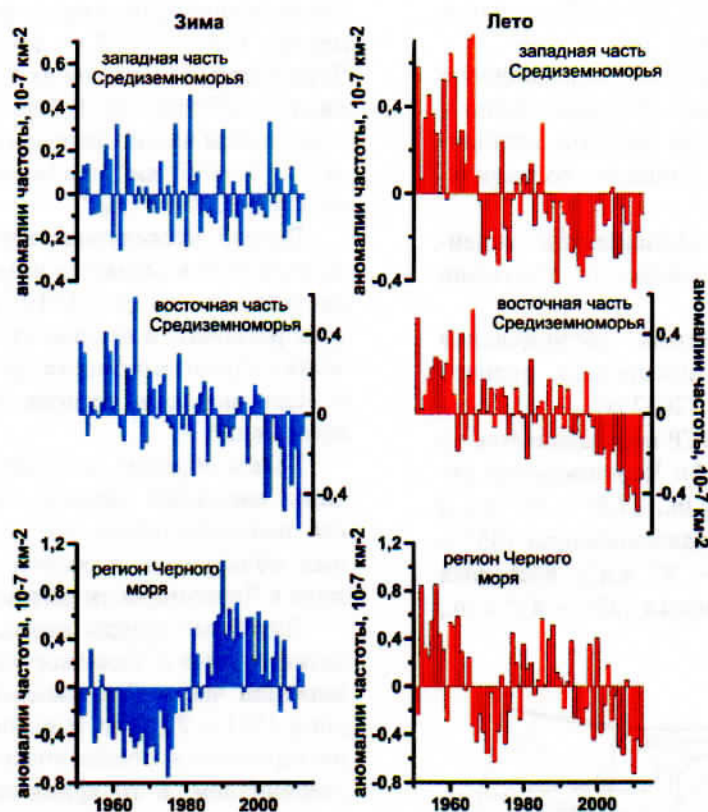


Рис. 2. Аномалии частоты антициклонов ($\times 10^{-7} \text{ км}^{-2}$) в Черноморско-Средиземноморском регионе в зимний и летний сезоны

Таблица 1. Результаты регрессионного анализа аномалий частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1951 – 2012 гг.

Регион	Сезон	Исходный уровень временного ряда в начальный момент времени ($\text{в } 10^{-7} \text{ км}^{-2}/10 \text{ лет}$)	Средний за период абсолютный прирост уровней ряда	Уровень значимости (в %)	Вклад тренда в общую изменчивость параметра (в %)
Черноморский регион	зима	0,125	-24,85	100	30,68
	весна	0,022	-4,45	83	3,16
	лето	-0,093	18,43	99	18,67
	осень	-0,004	0,89	16	0,07
Восточная часть Средиземноморья	зима	-0,029	5,69	99	12,84
	весна	-0,066	13,15	100	28,93
	лето	-0,090	17,91	100	53,35
	осень	-0,062	12,35	100	29,72
Западная часть Средиземноморья	зима	0,026	-5,11	96	6,78
	весна	-0,013	2,60	76	2,26
	лето	-0,101	19,95	100	40,04
	осень	-0,037	7,25	99	13,57

В летний сезон долгопериодное уменьшение аномалий частоты антициклонов во всем Черноморско-Средиземноморском регионе описывает до 54% общей изменчивости анализируемого параметра.

Вклад линейного тренда осенних аномалий частоты антициклонов в их общую изменчивость в Черноморском регионе не превышает 0,1%. При этом он в восточной части Средиземноморья составляет 30%, а в западной части – только 14%.

Таким образом, изменения аномалий частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе максимальны в зимний и летний сезоны.

Выводы. Анализ изменений аномалий частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе позволил сделать следующие выводы.

Среднегодовые величины аномалий частоты максимальны над всем исследуемым регионом в зимний и летний сезоны.

Значимые тенденции изменений аномалий частоты антициклонов в Черноморском регионе отмечаются в зимний и летний сезоны, в восточной части Средиземноморья – во все сезоны года, а в западной части – зимой, летом и осенью.

Изменчивость временных рядов аномалий частоты антициклонов в Черноморско-Средиземноморском регионе до 31% в зимний сезон и до 53% в летний сезон описывается долгопериодной изменчивостью.

ANOMALY OF ANTICYCLONE ACTIVITY OVER THE MEDITERRANEAN-BLACK SEA REGION

O.Yu. Kovalenko, E.N. Voskresenskaya

Institute of natural and technical systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

The seasonal changes of anticyclone anomaly frequencies over the Mediterranean-Black Sea region for 1951 – 2012 is analyzed in the paper. The typical values of interannual anomalies and their linear trends were estimated. The contribution of linear trends of anticyclone anomaly frequencies into their total variability is calculated.

Keywords: anticyclone, anomaly frequency, linear trend, the Mediterranean-Black Sea region.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00231 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R. Mediterranean climate variability // *Developments in Earth and Environmental Sciences*. 2006. Vol. 4, P. 1–421.
2. *Метеорология и климатология* / под ред. С.П. Хромова, М.А. Петросянца. М.: Наука. 2006. С. 367–427.
3. 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.
4. 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.
5. Maheras P. Synoptic situations causing drought in the Mediterranean Basin / ed. by J.V. Vogt, F. Somma. Netherlands: Springer. 2000. P. 91–102.
6. Trigo I.F., Davies T.D., Bigg G.R. Decline in Mediterranean rainfall caused by weakening of Mediterranean cyclones // *Geophysical Research Letter*. 2000. 27. P. 2913–2916.
7. Kalnay E. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project / E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler [et al.] // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1996. 77. P. 437–471.