КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОБЩЕЙ И ИНТЕНСИВНОЙ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ В 1951 – 2017 гг.

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

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: veronika_maslova@mail.ru

На основе ежедневных четырёхсрочных данных реанализа NCEP / NCAR и методики М.Ю. Бардина получены массивы данных параметров общей и интенсивной циклонической активности за 1951–2017 гг. в Черноморском регионе. Проанализирована их низкочастотная изменчивость с учетом и без учета линейного тренда. Проведен спектральный анализ годовых и сезонных параметров общей и интенсивной циклонической активности в Черноморском регионе.

Ключевые слова: межгодовая, десятилетняя-междесятилетняя изменчивость, циклоны, глубокие циклоны.

Поступила в редакцию: 19.05.2020. После доработки: 04.06.2020.

Введение. Циклоническая деятельность в Черноморском регионе (ЧР) является формой общей циркуляции атмосферы [1], а с наиболее интенсивными циклонами связаны гидрометеорологические аномалии, приводящие к экономическому ущербу и человеческим жертвам [2]. О том, что региональный климат характеризуется квазипериодической изменчивостью, можно судить косвенно из работ [3, 4], в которых показаны чередующиеся аномалии разных гидрометеорологических характеристик: скорости ветра и высоты волн, температуры и осадков. Кроме того, в изменчивости циклонов Атлантико-Европейского региона отмечаются квазипериодические масштабы от межгодового до междесятилетнего [5, 6]. Знания о периодах и закономерностях этой изменчивости важны для развития научных основ теории долгосрочных прогнозов погоды-климатических аномалий и для решения прикладных задач перспективного планирования экономического развития. В настоящее время в научной литературе признано, что глобальные процессы в системе океан – атмосфера в районах океанических круговоротов и энергоактивных зонах Мирового океана формируют основные масштабы изменчивости регионального климата [7, 8]. Они могут быть описаны простыми индексами, служащими предикторами для региональных климатических аномалий.

Ранее в работе [9] авторами данной статьи было показано, что для параметров циклонов в ЧР в 1948–2006 гг. наибольшая энергия сконцентрирована на низких частотах (более 30 лет), а после удаления периодичностей более 20 лет в изменчивости наблюдались спектральные пики на периодах около двух и четырех лет. При этом в круг задач не входил анализ периодичностей наиболее интенсивных циклонов, представляющих наибольший практический интерес, а также оценка вклада изменчивости указанных параметров в различные сезоны в годовые спектры параметров циклонов.

Цель настоящей работы состоит в выделении и анализе периодов изменчивости общей и интенсивной циклонической активности в ЧР в 1951–2017 гг.

Данные и методика. Для ЧР в границах: 37°–50° с.ш., 27°–45° в.д. были выделены циклоны и их основные параметры с использованием четырёхсрочных данных реанализа NCEP / NCAR за 1951–2017 гг. и методика, разработанная М.Ю. Бардиным [10], апробированной, например, в международном проекте IMPLAST [11]. Под циклоном понимается минимум в поле высоты геопотенциальной поверхности H1000 с шагом 10 гпм, окруженный замкнутыми изогипсами. Частота циклонов рассчитывалась как количество центров циклонических образований, обнаруженное в заданном регионе за определенный период, к об-

цему числу проанализированных случаев (количеству дней в периоде, умноженному на 4 срока). Для более наглядной характеристики повторяемости циклонов были посчитаны циклонодни – суммы дней с циклонами за определенный интервал времени. В работе также используется термин повторяемость в качестве обобщения параметров частоты и количества дней с циклонами. Также были получены характеристики «силы» циклона: площадь, глубина и интенсивность. Площадь определялась по фигуре, ограниченной последней замкнутой изогипсой. Под глубиной циклона понимается разность геопотенциальных высот между найденным минимумом в узле сетки и значением на внешней ограничивающей изогипсе. Для учета вклада площади циклона в его «силовые» характеристики была получена интенсивность (или средняя глубина) циклона, представляющая собой отношение интеграла глубины циклона к его площади.

Кроме того, в работе проанализирована частота интенсивной циклонической активности, под которой подразумеваются интенсивные и экстремальные циклоны в ЧР за период 1951–2017 гг. По аналогии с применяемой в научной литературе методикой вычисления экстремальных осадков, например в работе [12], порогами по интенсивности и экстремальности принималось превышение глубины или интенсивности циклонов 0,75 (4 квартиля) и 0,95 процентилей, соответственно. Частота интенсивных и экстремальных циклонов определялась так же, как и для общей циклонической активности.

Коэффициент корреляции между частотой интенсивных и экстремальных циклонов, выделенной по глубине и интенсивности циклонов, достигает 0,98–0,99 для годовых величин, от 0,9 до 0,99 – для сезонов. В связи с тем, что интенсивность является более комплексным параметром, учитывающим и глубину, и площадь циклонов, то далее под интенсивными и экстремальными понимаются циклоны, выделенные по пороговым значениям (0,75 и 0,95 процентилей) этого параметра.

Результаты. Анализ многолетней изменчивости начнем с рассмотрения представленной на рис. 1 изменчивости сезонной частоты общей и интенсивной

циклонической активности в ЧР за период 1951–2017 гг., а также годовых величин с добавлением экстремальной частоты циклонов для сравнения. В изменчивости частоты циклонов в основном заметны по два интервала положительных и отрицательных аномалий. Таким образом, период около 30 лет отмечается зимой, весной и летом для общей циклонической активности и зимой для интенсивной, а также для годовых величин. Более высокочастотный период около 25 лет заметен в частоте интенсивной циклонической активности весной и осенью. При этом к 2017 г. повсеместно наблюдается повышение частоты как общей, так и интенсивной активности циклонов. Годовая частота экстремальных циклонов будет приведена и рассмотрена ниже отдельно.

Изменчивость интенсивности общей циклонической активности по сезонам и за год приведена, соответственно, на рис. 2. Глубина и площадь циклонов характеризуется такой же изменчивостью как интенсивность циклонов, поэтому не приводится. Общий характер распределения низкочастотных аномалий этих параметров циклонов напоминает характер аномалий частоты циклонов. В начале рассматриваемого периода 1951–2017 гг. как для площади, так и для интенсивности (глубины) циклонов во все сезоны, кроме осеннего, и для годовых величин отмечаются отрицательные аномалии, затем следуют положительные аномалии в районе 60-х годов, сменяемые отрицательными в конце 80–90-х годах. В 2000-е годы наблюдаются положительные аномалии рассматриваемых параметров во все сезоны, кроме летнего, и в среднем за год.

С выделенными периодами согласуются результаты работ [13–16]. Так, в работе [13] показан период положительных стандартизованных аномалий частоты циклонов северного полушария в низких широтах с середины 60-х до середины 70-х годов и отрицательных аномалий – в 90-е годы. Наибольшее количество обусловленных циклонами штормов отмечалось на западе ЧР в 60-е годы и после 2000-го года [14], у побережья дельты Дуная – в конце 60-х, 70-е и 90-е годы [15, 16].

На рис. 1, 2 заметны значительные линейные тренды, оценки которых (ко-

эффиценты, уровень значимости и величина достоверности аппроксимации) приведены в табл. 1. Отмечается значимое (на уровне более 90–99%) снижение годовой повторяемости общей циклонической активности, выраженной через количество дней с циклонами – циклонодни (во все сезоны, кроме летнего) и

через частоту (за счет зимы и весны), а также частоты интенсивных (за счет зимы и весны) и экстремальных (за счет зимы) циклонов. Для годовых величин линейный тренд объясняет от примерно 5 до 13% дисперсии параметров циклонов, достигая 15–17% зимой и весной для циклонодней.

Рис. 1. Многолетняя изменчивость частоты общей и интенсивной циклонической активности в ЧР по сезонам и за год (с добавлением частоты экстремальной циклонической активности за год) за период 1951–2017 гг. Прямой обозначен линейный тренд, кривой – низкочастотная компонента изменчивости после фильтрации ≥ 14 лет

Fig. 1. Long-term variability of the frequency of total and intense cyclonic activity in the Black sea region by season and per year (with the addition of the frequency of extreme cyclonic activity per year) in 1951–2017. A straight line indicates a linear trend, and a curve indicates a low-frequency component of variability after 14 years filtration

Для площади, глубины и интенсивности циклонов следует отметить только положительные линейные тренды осенью, значимые на 99% уровне и объясняющие 11–12% дисперсии. Выявленные тенденции могут быть как индикатором

глобального потепления, так и частью более низкочастотной изменчивости в системе океан – атмосфера, определяемой с помощью климатических сигналов Атлантического и Тихого океанов [13, 17].

Рис. 2. Многолетняя изменчивость интенсивности общей циклонической активности в Черноморском регионе по сезонам и за год
Fig. 2. Long-term variability of total cyclonic activity intensity in the Black sea region by season and per year

Как видно из рис. 3, частота экстремальных циклонов максимальна зимой, весной она меньше, но немного больше чем осенью, летом выделяются единичные случаи экстремальных циклонов в 1969, 1971, 1982 и 1994 годах. В эти годы, за исключением 1994 г., согласно данным работы [3], на прибрежных станциях наблюдались летние штормы. В 1982 и 1994 гг. на некоторых гидрометеорологических станциях летние осадки были выше нормы [18]. В работе [19] указанные годы характеризуются средней (1969, 1971 гг.) и высокой (1982, 1994 гг.) частотой циклонов на поверхности 500 гПа в центре и на востоке Средиземноморского региона в теплое полугодие (с середины апреля до середины октября). Рис. 3 демонстрирует

периоды повышения и понижения частоты экстремальных циклонов: после низкой активности циклонов в начале периода максимум в конце 60-х – начале 70-х годов и минимум в 80–90-е годы, при этом осенью экстремальные циклоны практически отсутствовали в 80-е годы, а зимой минимум приходится на 90-е годы, после чего снова началось повышение частоты экстремальных циклонов. В годовой частоте экстремальных циклонов (рис. 3, б) заметны те же низкочастотные периоды аномалий: положительная в 1963–1982 гг. и в 2000-е годы и отрицательная до 1963 г. и в 80–90-е годы. Полученный результат согласуется с периодами повышения и понижения штормовой активности в ЧР из работы [3].

Рис. 3. Сезонная и годовая частота экстремальных циклонов в Черноморском регионе
Fig. 3. Seasonal and annual frequency of extreme cyclones in the Black Sea region

Оценки вклада в дисперсию рассматриваемых параметров высокочастотной (<14 лет) и низкочастотной (≥ 14 лет) изменчивости с учётом и без учёта линейного тренда приведены в табл. 1. Вклад линейных трендов – $R^2(\text{lin})$ – в дисперсию параметров циклонов не превышает 3% годовых и сезонных величин глубины, интенсивности и площади, за исключением осени, когда он достигает 11–13%. Вклад повторяемости общей циклонической активности достигает 11–13% для частоты и 15–17% для количества дней с циклонами зимой и весной, а за год – 9 и 12,8%, соответственно. Наибольшие оценки вклада линейных трендов в годовую частоту интенсивных и экстремальных циклонов равны 7,3 и 4,8%, за счёт зимы и весны, соответственно, 9,6 и 9%, для интенсивных циклонов и 5,8 и 1% для экстремальных. Коэффициенты линейных трендов и их значимость приведены в таблице и обозначены $k(\text{lin})$ и P -вероятность.

Вклад высокочастотной изменчивости – $R^2(\text{high})$ – в дисперсию параметров циклонов составляет для повторяемости циклонов за год 16,6–25,5% с летним максимумом 67–70%, для площади, глубины и интенсивности циклонов за год 77–81% с весенним и летним максимумом

более 83%, для частоты интенсивных и экстремальных циклонов отмечается летне-осенний максимум 81–96%, при этом за год вклад высокочастотной изменчивости достигает 39,4 и 61,5%, соответственно.

Вклад низкочастотной составляющей без учёта линейного тренда – $R^2(\geq 14)$ – в годовые величины параметров составляет для общей циклонической активности 18,5–19,5% дисперсии глубины, площади и интенсивности циклонов (в основном за счёт зимы и осени), 67–70,6% дисперсии повторяемости циклонов (за счёт периода с осени по весну), более 53% для частоты интенсивных циклонов (в основном за счёт зимы и весны) и более 33% для частоты экстремальных циклонов (за счёт зимы).

С учётом линейного тренда низкочастотная изменчивость – $R^2(\text{low})$ – объясняет более половины дисперсии параметров годовой повторяемости циклонов в ЧР за счёт зимы и весны и около пятой части дисперсии глубины, интенсивности и площади циклонов. Для годовой частоты интенсивных и экстремальных циклонов этот вклад составляет более 60 и 38% соответственно, за счёт зимнего сезона, а также и весеннего в случае интенсивных циклонов.

Таблица 1. Характеристики линейных трендов параметров сезонной и годовой общей и интенсивной циклонической активности: $k(\text{lin})$ – коэффициенты линейных трендов, Р-вероятность – уровень их значимости, $R^2(\text{lin})$ – коэффициент детерминации, %, (вклад в дисперсию) линейных трендов, – а также коэффициенты детерминации, %, компонент изменчивости: $R^2(\geq 14)$ – низкочастотной более или равной 14 лет, $R^2(\text{low})$ – низкочастотной с учетом вклада линейного тренда, $R^2(\text{high})$ – высокочастотной до 14 лет.

Параметр циклонов	$k(\text{lin})$	Р-вероятность	$R^2(\text{lin})$	$R^2(\geq 14)$	$R^2(\text{low}) = R^2(\geq 14) + R^2(\text{lin})$	$R^2(\text{high}) = 100 - R^2(\text{low})$
Циклоно-дни						
зима	-0,25	0,0004	17,44	49,00	66,44	33,56
весна	-0,27	0,0011	15,19	54,76	69,95	30,05
лето	+0,03	0,5356	0,59	29,10	29,69	70,31
осень	-0,13	0,0604	5,32	51,84	57,16	42,84
год	-0,63	0,0030	12,79	70,56	83,35	16,65
Частота						
зима	-19×10^{-4}	0,0024	13,34	57,76	71,10	28,90
весна	-18×10^{-4}	0,0045	11,77	51,84	63,61	36,39
лето	$+4 \times 10^{-4}$	0,1159	3,76	29,10	32,86	67,14
осень	-6×10^{-4}	0,1703	2,87	46,20	49,07	50,93
год	-9×10^{-4}	0,0123	9,25	67,20	76,45	23,55
Глубина						
зима	-0,02	0,6823	0,26	27,00	27,26	72,74
весна	-0,01	0,7054	0,22	16,00	16,22	83,78
лето	-0,03	0,3790	1,19	14,40	15,59	84,41
осень	+0,17	0,0056	11,22	23,00	34,22	65,78
год	+0,03	0,2422	2,10	18,49	20,59	79,41
Интенсивность						
зима	-0,007	0,7221	0,20	26,00	26,20	73,80
весна	-0,005	0,7001	0,23	15,20	15,43	84,57
лето	-0,009	0,5003	0,70	16,00	16,70	83,30
осень	+0,067	0,0028	12,95	25,00	37,95	62,05
год	+0,014	0,1713	2,86	19,36	22,22	77,78
Площадь						
зима	-27×10^{-4}	0,1453	3,23	22,10	25,33	74,67
весна	-12×10^{-4}	0,9184	0,02	15,20	15,22	84,78
лето	-5×10^{-4}	0,4982	0,71	14,40	15,11	84,89
осень	$+49 \times 10^{-4}$	0,0041	12,00	27,00	39,00	61,00
год	$+4 \times 10^{-4}$	0,6003	0,42	18,49	18,91	81,09
Частота интенсивных						
зима	$-6,783 \times 10^{-4}$	0,0105	9,61	51,84	61,45	38,55
весна	$-6,064 \times 10^{-4}$	0,0145	9,00	43,56	52,56	47,44
лето	$+7,591 \times 10^{-7}$	0,9903	0,00	15,21	15,21	84,79
осень	$+8,299 \times 10^{-5}$	0,5256	0,64	17,64	18,28	81,72
год	$-3,058 \times 10^{-4}$	0,0251	7,29	53,29	60,58	39,42
Частота экстремальных						
зима	$-1,990 \times 10^{-4}$	0,0535	5,76	42,25	48,01	51,99
весна	$-3,893 \times 10^{-5}$	0,4423	1,00	14,40	15,40	84,60
лето	$-1,627 \times 10^{-6}$	0,9158	0,01	12,96	12,97	87,03
осень	$-2,138 \times 10^{-5}$	0,6546	0,36	9,00	9,36	90,64
год	$-6,824 \times 10^{-5}$	0,0758	4,84	33,64	38,48	61,52

Для определения периодов изменчивости циклонической активности в ЧР в настоящей работе был проведен спектральный (Фурье) анализ сезонных и годовых параметров циклонов (частоты, суммы дней с циклонами, частоты интенсивных циклонов, глубины, интенсивности и площади). Для построения оценок спектров использовался метод осреднения периодограмм с помощью окна Парзена. Ширина окна принималась равной 20 при количестве частотных точек 100. Из рядов параметров циклонов за 1951–2017 гг. был предварительно удалён линейный тренд и проведена высокочастотная фильтрация остатков детрендирования с периодами до 14 лет, в связи с тем, что достоверность спектральных пиков на больших периодах определить не представляется возможным для 67-летнего временного интервала.

На рис. 4 представлены осредненные периодограммы годовых параметров циклонов

Рис. 4. Осредненные периодограммы годовых параметров циклонов в Черноморском регионе

Fig. 4. Averaged periodograms of annual cyclone parameters in the Black Sea region

Основной вклад в энергию годовых спектров повторяемости общей (частоты и циклонодней) и интенсивной циклонической активности (интенсивных и экстремальных циклонов) в ЧР вносят весенние и зимние пики, а в меньшей степени осенние (в качестве примера приведен рис. 5 с осредненными периодограммами частоты общей циклонической активности по сезонам). Периодограммы остальных параметров не приведены для сокращения объема статьи. Близкие спектральные пики повторяемости циклонов по сезонам выделяются в следующем диапазоне лет:

- для частоты общей циклонической активности от 5,7 зимой до 8,3 весной и

циклонов в Черноморском регионе. Выделены две группы подобных спектров: частотных параметров (общей частоты циклонов, суммы дней с циклонами, частоты интенсивных циклонов) и размерно-силовых параметров (глубины, интенсивности, площади). Спектры годовой повторяемости общей циклонической активности, выраженной через дни с циклонами и частоту, и частоты интенсивных циклонов характеризуются пиками, соответственно, на 8; 7,4; 7,7 годах, 3,2; 3,3; 3,4 годах и вторичными пиками на 2,3; 2,4; 2,5 годах. В то же время в годовом спектре частоты экстремальных циклонов пик на 2,4 годах является основным, за ним по мощности следуют пики на 3,4 и 5,6 годах. В спектрах годовой интенсивности, глубины и площади циклонов наблюдаются пики на 2,4–2,5 годах и на 3,7–3,9 годах. В спектре годовой площади циклонов отмечается также выраженный пик на 9,5 годах.

от 2,9 летом до 4,2 осенью (большей энергией обладает первый из указанных пиков весной и осенью и второй из них зимой и летом);

- для количества дней с циклонами от 6,2–6,7 летом и зимой до 7,4–8 весной и осенью, а также от 2,9 летом и осенью до 3,3–3,6 зимой и весной, при этом осенью выделяется дополнительный пик на 4,2 годах (большей энергией обладает первый из указанных пиков осенью и второй – весной и зимой);

- для частоты интенсивных циклонов (рис. 5) от 5,12–5,7 летом и зимой до 7,4–8,3 осенью и весной, а также от 2,7 летом до 3,8 осенью (при этом большей энергией обладают низкочастотные пики

в зимне-весенний период и более высокочастотные в летне-осенний);

– для частоты экстремальных циклонов (рис. 5) от 5,5 зимой до 7,6 осенью и от 2,5 весной до 3,4 зимой и осенью (наибольшей энергией обладают зимние пики, а весенние и осенние находятся примерно на одном уровне, летние – незначимы в связи с малым количеством экстремальных циклонов в этот сезон).

Рис. 5. Осредненные периодограммы частоты общей циклонической активности по сезонам

Fig. 5. Averaged seasonal periodograms of the frequency of total cyclonic activity

Основной вклад в энергию годовых спектров глубины и интенсивности циклонов (рис. 6) вносят осенние, а также зимние условия, годовой спектр площади циклонов формируется в основном за счет зимних, осенних, а также в меньшей степени весенних условий. Основные спектральные пики повторяемости циклонов по сезонам выделяются в следующем диапазоне лет:

Рис. 6. Осредненные периодограммы интенсивности циклонов по сезонам

Fig. 6. Averaged seasonal periodograms of cyclone intensity

– для глубины и интенсивности циклонов от 4,8 летом до 8 весной, от 2,5–2,7 зимой и летом до 3,6 весной и осе-

нью (большей энергией обладает первый из указанных пиков зимой и второй из них осенью);

– для площади циклонов от 5,7 летом до 6,7–8,7 осенью и весной, от 3,6 летом до 3,8 зимой и от 2,3 весной до 2,7 летом (при этом во все сезоны большей энергией обладает второй из указанных пиков).

Выявленные с помощью спектрального анализа периоды изменчивости параметров циклонов ЧР характерны для типичных временных масштабов глобальных процессов в системе океан – атмосфера, таких как Североатлантическое колебание (2,4; 4,8; 7,7 года для зимнего индекса) [20] и Эль-Ниньо – Южное колебание (3–4 и 7–8 лет) [17]. Таким образом, полученный результат подтверждает, что указанные климатические процессы являются основной причиной изменчивости циклонической активности межгодового масштаба в изучаемом регионе.

Выводы. Получено, что в течение рассматриваемого периода 1951–2017 гг. отмечаются интервалы сменяющих знак аномалий параметров общей и интенсивной (0,75 и 0,95 перцентилей) циклонической активности с периодом около 30 лет, среди которых наиболее заметны положительные аномалии в 60-е годы 20 века, отрицательные аномалии в 80–90-е годы и вновь положительные в начале 21 века.

Показаны значимые (на уровне более 90–99%), объясняющие примерно 5–13% дисперсии, отрицательные линейные тренды годовой повторяемости общей циклонической активности, а также частоты интенсивных (0,75 перцентилей) и экстремальных (0,95 перцентилей) циклонов. Для площади, глубины и интенсивности циклонов отмечаются положительные линейные тренды осенью, значимые на 99% уровне и объясняющие 11–12% дисперсии.

Вклад высокочастотной изменчивости в дисперсию параметров циклонов максимален летом, а за год достигает 77–81% для площади, глубины и интен-

сивности циклонов, 39,4 и 61,5% для частоты интенсивных и экстремальных циклонов и 16,6–25,5% для повторяемости общей циклонической активности.

Вклад низкочастотной составляющей (≥ 14 лет) без учёта линейного тренда в годовые величины параметров в основном максимален зимой и обуславливает 67–70,6% дисперсии повторяемости общей циклонической активности и 53% частоты интенсивных циклонов, (около трети (33%) дисперсии частоты экстремальных циклонов и менее пятой части (18,5–19,5%) дисперсии глубины, площади и интенсивности циклонов.

С учётом линейных трендов низкочастотная изменчивость объясняет более 50% дисперсии параметров годовой повторяемости циклонов в ЧР за счет зимы и весны и около 20% дисперсии глубины, интенсивности и площади циклонов. Для годовой частоты интенсивных и экстремальных циклонов этот вклад превышает 60 и 38%, соответственно.

Для всех параметров циклонов ЧР выявлена типичная периодичность 2,5–4 года и 6–8 лет. Основной вклад в энергию годовых спектров повторяемости общей и интенсивной циклонической активности в ЧР вносят весенние, а также зимние пики осенние. Основной вклад в энергию годовых спектров глубины и интенсивности циклонов вносят осенние, а также зимние спектры, годовой спектр площади циклонов формируется в основном за счет зимнего, осеннего спектров.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-45-920068.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь / под ред. В.И. Кузьменко. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
2. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в Атлантико-Европейском

регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018. 104 с.

3. Polonsky A.B., Voskresenskaya E.N., Naumova V.A. Climatic anomalies, Black Sea hurricanes and environmental conditions // Bulletin of Black Sea Commission. 2008. № 10. P. 3–5.

4. Baltaci H., Akkoyunlu B.O., Tayanc M. Relationships between teleconnection patterns and Turkish climatic extremes // Theoretical and applied climatology. 2018. 134, 3-4. P. 1365–1386. DOI: 10.1007/s00704-017-2350-z

5. Luksch U., Raible C.C., Blender R., Fraedrich K. Decadal cyclone variability in the North Atlantic // Meteorologische Zeitschrift. 2005. 14, 6. P. 747–753. DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0075

6. Geng Q.Z., Sugi M. Variability of the North Atlantic cyclone activity in winter analyzed from NCEP-NCAR reanalysis data // Journal of Climate. 2001. 14, 18. P.: 3863–3873. DOI: 10.1175/1520-0442(2001)014<3863:VOTNAC>2.0.CO;2

7. Barnston A.G., Livezey R.E. Classifications, Seasonality, and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns // Monthly Weather Review. 1987. 115. P. 1083–1126. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2

8. Enfield D., Mestas-Nunez A.M. Multiscale variability in global SST and their relationships with tropospheric climate patterns // Journal of Climate. 1999. Vol. 12(9). P. 2719–2733.

9. Maslova V., Voskresenskaya E., Bardin M. Variability of the cyclone activity in the Mediterranean and Black Sea region // Journal of Environmental Protection and Ecology. 2010. Vol. 11, № 4. P. 1366–1372.

10. Бардин М.Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 1995. № 11. С. 24–37.

11. Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N. et al. IMILAST: A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms // Bull.

Am. Meteorol. Soc. 2013. Vol. 94, № 4. P. 529–547.

12. *Haylock M.R., Goodess C.M.* Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation // *International Journal of Climatology*. 2004. 24, 6. P. 759–776. DOI: 10.1002/joc.1033

13. *McCabe G.J., Clark M.P., Serreze M.C.* Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity // *Journal of Climate*. 2001. Vol. 14, № 12. P. 2763–2768. DOI: 10.1175/1520-0442(2001)014<2763:TINHSC>2.0.CO;2.

14. *Galabov V., Chervenkov H.* Study of the Western Black Sea Storms with a Focus on the Storms Caused by Cyclones of North African Origin // *Pure and Applied Geophysics*. 2018. Vol. 175, № 11. P. 3779–3799. DOI: 10.1007/s00024-018-1844-7

15. *Zainescu F.I., Tatui F., Valchev N.N., Vespremeanu-Stroe A.* Storm climate on the Danube delta coast: evidence of recent storminess change and links with large-scale teleconnection patterns // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 87, № 2. P. 599–621. DOI: 10.1007/s11069-017-2783-9

16. *Zainescu F., Vespremeanu-Stroe A.* Storm Climate and Morphological Imprints on the Danube Delta Coast // *Landform*

Dynamics and Evolution in Romania / Radoane M., Vespremeanu-Stroe A. – Cham: Springer International Publishing Ag, 2017. P. 845-865. DOI: 10.1007/978-3-319-32589-7_34

17. *Seip K.L., Gron O.* On the statistical nature of distinct cycles in global warming variables // *Climate Dynamics*. 2019. Vol. 52, № 12. P. 7329–7337. DOI: 10.1007/s00382-016-3508-6

18. *Маслова В.Н., Вышкваркова Е.В., Коваленко О.Ю.* Климатические особенности на побережье Черного моря и их изменения в связи с событиями Эль-Ниньо // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. 2016. № 3(147). С. 67–72.

19. *Spanos S., Maheras P., Karacostas T., Pennas P.* Objective climatology of 500-hPa cyclones in central and east Mediterranean Region during warm-dry period of the year // *Theoretical and Applied Climatology*. 2003. Vol. 75, № 3-4. P. 167–178. DOI: 10.1007/s00704-003-0726-8

20. *Gamiz-Fortis S.R., Pozo-Vazquez D., Esteban-Parra M.J., Castro-Diez Y.* Spectral characteristics and predictability of the NAO assessed through Singular Spectral Analysis // *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. 2002. Vol. 107, № D23. 15 p. DOI: 10.1029/2001JD001436

QUASI-PERIODIC VARIABILITY OF TOTAL AND INTENSE CYCLONIC ACTIVITY IN THE BLACK SEA REGION IN 1951 – 2017

V.N. Maslova, E.N. Voskresenskaya, A.V. Yurovsky

Institute of Natural and Technical Systems,
RF, Sevastopol, Lenin St., 28

On the basis of daily four-times data from NCEP / NCAR reanalysis and M. Y. Bardin's method the data sets of parameters of total and intensive cyclonic activity for 1951-2017 in the Black sea region were obtained in the paper. Their low-frequency variability was analyzed (taking into account and not) a linear trend. A spectral analysis of the annual and seasonal parameters of the total and intense cyclonic activity in the Black Sea region was carried out.

Keywords: interannual, decadal-multidecadal variability, cyclones, deep cyclones.