

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ВОЛНЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ МОРСКОЙ БЕРЕГОВОЙ СЕТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ УКРАИНЫ

© В.П. Евстигнеев¹, В.А. Наумова¹, М.П. Евстигнеев², 2011

¹Севастопольская гидрометеорологическая обсерватория, Севастополь, Украина

²Севастопольский национальный технический университет, Севастополь, Украина

In this publication a statistical characteristics of extremal wave heights on the Ukrainian coast of the Black sea have been studied, using the data of standard observations performed on marine network stations of the State hydrometeorological service of Ukraine. It is shown for the first time that distribution of maximal wave heights corresponds to Gumbel distribution; statistical distribution of storm occurrence (to be accompanied with wave heights more than 3m) in the period of the most intensive storm activity corresponds to Poisson distribution. Corresponding numerical parameters of distributions has been obtained.

Keywords: wind-wave anomalies, storms, Azov-Black Sea region, Gumbel distribution, Poisson distribution.

Введение. Одна из наиболее обсуждаемых в настоящее время проблем в контексте устойчивого развития регионов – вероятность угрозы учащения и усиления экстремальных гидрометеорологических явлений [1–4]. В Государственной гидрометеорологической службе (Госгидромете) Украины такие явления принято относить к стихийным гидрометеорологическим явлениям (СГЯ) – событиям редкой повторяемости (по интенсивности, продолжительности, времени возникновения или другим характеристикам) [5]. Из восьми видов морских СГЯ [5] к одному из наиболее важных относят ветровое волнение (шторм), которое входит в группу основных гидрометеорологических факторов, определяющих безопасность и экономическую эффективность мореплавания [6, 7]. Наблюдаемые на украинском побережье Черного моря штормы последнего десятилетия, например, катастрофический шторм 11 ноября 2007 г., приведший к значительному экономическому ущербу и человеческим жертвам, свидетельствуют о необходимости изучения условий и закономерностей их возникновения. Более того, некоторые авторы считают, что в ближайшие два десятилетия следует ожидать учащения экстремальных ветро-волновых событий на Черном море [8, 9].

При решении многих задач, связанных с выявлением причин и условий возникновения экстремальных высот волн, необходимо знание их статистических характеристик. В научной литературе известно достаточно много работ по изучению экстремальных ветро-волновых условий в открытой части Черного моря (см., например: [9–12]), однако данные о прибрежной части чрезвычайно скудны. Как правило, в таких исследованиях используют

данные ре-анализа, результаты косвенного определения полей давления либо нерегулярные попутные судовые наблюдения. Перенесение получаемых таким образом результатов на прибрежную часть проблематично в связи, как правило, с недостаточным пространственным либо временным разрешением используемых полей данных и зависимостью условий возникновения или деформации волн в прибрежной зоне от локальных условий, например морфометрических характеристик акватории, и др. В 1960–1970-х годах отдельное развитие получили полуэмпирические методы определения параметров волнения шельфовых акваторий, исходя из знаний о волноопределяющих факторах: скорости и направлении ветра, глубине, рельефе дна, конфигурации береговой черты [13]. На основании разработанных методик были составлены руководства [14], по сей день используемые в Госгидромете Украины для получения расчетных параметров ветро-волнового режима. Известны также работы, в которых оценка элементов ветро-волнового режима прибрежной зоны Украины произведена на основе данных наблюдений за волнением, проводимых на станциях и постах морской береговой сети Госгидромета Украины [15,16]. Однако анализ экстремальных ветро-волновых событий в этих публикациях ограничен выборкой отдельно по пунктам высот волн редкой повторяемости, снятых с эмпирических кривых обеспеченности.

Цель настоящей работы – анализ статистической структуры экстремальных событий волнения в прибрежных областях Черного моря по данным наблюдений морской береговой сети Госгидромета Украины. Термин “экстремальное” использован в контексте принятого в современ-

ных климатологических исследованиях понятия “экстремальное явление”, выборка которого осуществляется на основании знания режимных функций распределения элементов наблюдаемых параметров. Параметры, характеризующие такие явления, должны относиться к “хвостам” соответствующих распределений, которые, в свою очередь, ограничиваются либо процентилями (95, 99 %), либо выбранным периодом редкой повторяемости события [17]. Безусловно, выборку случаев экстремального волнения можно вести по событиям, сопровождающимся только конкретными разрушениями береговой инфраструктуры, нанесением материального ущерба и т. д. Однако в таком случае статистический анализ будет осложнен тем, что ущерб может во многом определяться и другими факторами (не ветро-волнового характера), а объем выборки таких событий будет, скорее всего, ограничен, что существенно снизит объективность анализа [18].

Использованные данные. В настоящей работе использовались данные ежедневных 2- и 3-срочных наблюдений за волнением по трем станциям Госгидромета Украины на Черноморском побережье: МГ “Херсонесский маяк”, МГ “Ялта”, МГ “Одесса-порт” за период 1954–2008 гг. В работе [19] нами показано, что эти станции наиболее полно отражают режим волнения отдельных районов украинского побережья Черного моря как по благоприятности условий наблюдения за волнением (объект наблюдения, сектор обзора, глубина), так и по качеству ряда наблюдений. Наблюдения за волнением на указанных пунктах ведутся преимущественно полуинструментально с использованием волномера-перспектометра ГМ-12, за исключением станции МГ “Одесса-порт”, на которой полуинструментальные наблюдения велись с 1950 по 1996 г., а с 1997 г. и по настоящее время элементы волнения определяются визуально. Вопрос о применимости данных полуинструментальных и визуальных наблюдениях для получения режимных характеристик уже поднимался ранее. Например, в работе [15, с. 13] отмечалось, что, несмотря на “...недостаточную точность визуальных и полуинструментальных измерений высот волн и неопределенности обеспеченности значения высоты волн в наблюдаемой квазистационарной системе волнения”, длительность и регулярность наблюдений, производимых на пунктах береговой сети Госгидромета Украины, “...существенно сглаживают недостатки рядов наблюдения и повышают достоверность режимных статистических характеристик волнения”. В подтверждение этого авторы работы сослались на проведенный ГОИНОм в 1972–1974 гг. эксперимент, целью которого было сравнение режимных кривых распределения высот и периодов волн, полученных расчетным путем и по данным фактиче-

ских наблюдений с помощью волномера-перспектометра ГМ-12 и волнографа ГМ-61. Результаты эксперимента подтвердили “...целесообразность использования данных наблюдений за волнением на береговых пунктах для построения режимных функций распределения высот волн и использования их для определения высот волн заданной обеспеченности” [15, с. 27].

Высокое качество морских гидрометеорологических наблюдений, в том числе за волнением, обеспечивается строгим соблюдением требований наставления по производству гидрометеорологических наблюдений, их обработке и анализу [20]. Единство методик наблюдения и обработки, критериев и форматов хранения обеспечивает сопоставимость данных за различные периоды времени в общем историческом ряду. В настоящее время полный цикл сбора, автоматизированной обработки и хранения режимных данных гидрометеорологических наблюдений реализован в программном комплексе АССОКА (Автоматизированная система сбора обработки контроля и анализа), рекомендованном для обработки результатов наблюдений на морской береговой сети Госгидромета Украины (Решение научно-технического совета № 11 от 20.10.98). Выборка, контроль качества, обработка и анализ данных наблюдений за волнением производились из библиотеки электронных таблиц Севастопольской гидрометобсерватории в указанном программном комплексе [21].

Статистическое распределение максимальных высот волн в прибрежной части Черного моря. В настоящей работе проанализировано распределение максимальных высот волн с использованием стандартного обобщенного распределения экстремальных величин (GEV-Generalized extreme values distribution), широко применяемого в гидрометеорологической практике [22]. На начальном этапе в качестве экстремальных величин использовался совместный ряд максимальных месячных значений высот волн по станциям МГ “Херсонесский маяк”, МГ “Одесса-порт”, МГ “Ялта”. Диапазон максимальных высот волн 0,6–7 м был разбит на 24 градации по 0,3 м каждая, далее рассчитывались частоты появления высот волн в пределах каждой градации. Соответствующее интегральное распределение $P_{\text{расч}}(h \leq h_i)$, т. е. вероятность возникновения волны высотой не более чем h_i , где i – номер градации, показано на рис. 1.

Ряд расчетных вероятностей по методу наименьших квадратов (минимизация суммы квадратов отклонений теоретических от расчетных вероятностей Δ^2) аппроксимирован для GEV-распределения [22] по высотам волн h :

$$P_{\text{теор}}(h) = \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi}} \right], \quad (1)$$

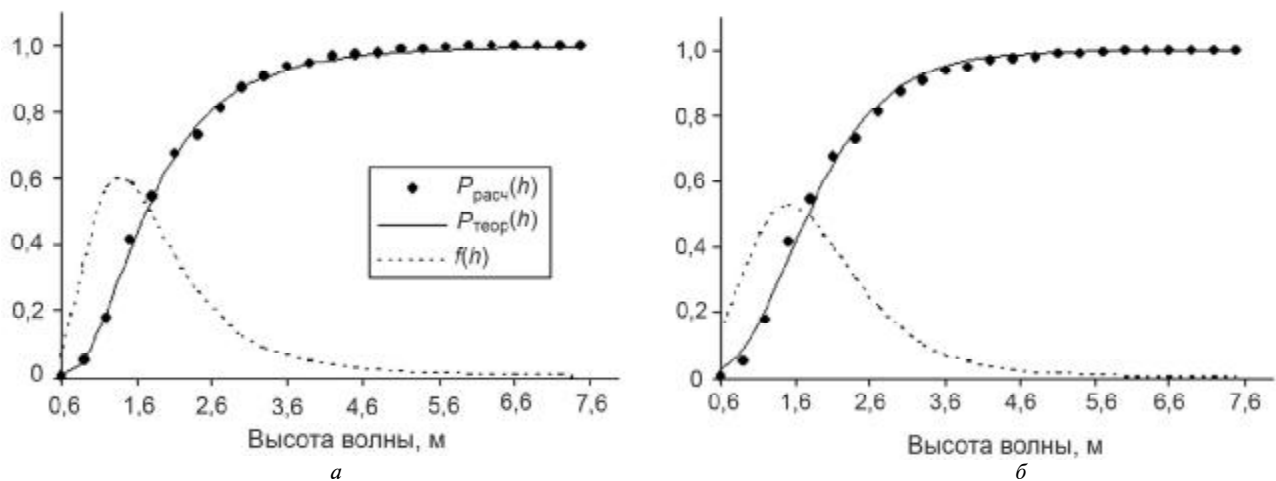


Рис. 1. Функции распределения и плотности распределения максимальных высот волн: а – GEV-распределение; б – распределение Гумбела

где ξ – параметр формы распределения; μ – локализация экстремума; σ – масштабирующий параметр.

В результате аппроксимации получены следующие значения параметров распределения: $\xi = 0,2$; $\mu = 1,48$; $\sigma = 0,62$; $\Delta^2 = 0,0039$.

На рис. 1, а теоретическая кривая $P_{\text{теор}}(h)$ соответствует оптимальным значениям параметров распределения, плотность вероятности GEV-распределения $f(h)$ имеет вид [22]

$$f(h) = \frac{1}{\sigma} \left(1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi}} \right]. \quad (2)$$

Близость параметра ξ к нулю дает основание предполагать, что для описания вида распределения максимальных высот волн наиболее оптимальным является более простое, чем GEV, распределение Гумбела (Gumbel), определяемое из (1) при условии $\xi = 0$ и часто используемое в гидрометеорологической практике для характеристики распределения экстремальных значений гидрометеорологических параметров [22]:

$$P_{\text{теор}}(h) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{h - \mu}{\sigma} \right) \right],$$

$$f(h) = \frac{1}{\sigma} \exp \left(- \frac{h - \mu}{\sigma} \right) \exp \left[- \exp \left(- \frac{h - \mu}{\sigma} \right) \right]. \quad (3)$$

Аналогичная описанной выше процедура аппроксимации ряда вероятностей $P_{\text{расч}}(h \leq h_i)$ выражением (3) привела к следующим параметрам распределения (рис. 1, б): $\mu = 1,51$; $\sigma = 0,7$; $\Delta^2 = 0,01$.

Некоторое ухудшение функции невязки Δ^2 вполне закономерно с учетом уменьшения общего числа оптимизируемых параметров с 3 до 2. Полученный результат свидетельствует о том, что положение максимума плотности вероятности распределения Гумбела μ практически не изменилось

по сравнению с таковым GEV-распределения и параметр σ приблизился по своему значению к среднеквадратичному отклонению использованного ряда максимальных высот волн ($\sigma = 0,96$).

Для подтверждения вывода о возможности использования распределения Гумбела для описания максимальных высот волн представленный выше анализ был также проведен на совместном ряде максимальных годовых значений высоты волны по трем рассматриваемым станциям. Получены следующие результаты:

- распределение GEV: $\xi = 0,076$; $\mu = 2,75$; $\sigma = 0,97$; $\Delta^2 = 0,011$;
- распределение Гумбела: $\mu = 2,77$; $\sigma = 1,02$; $\Delta^2 = 0,013$.

Параметр ξ еще более приблизился к нулю по сравнению с использованным выше рядом месячных экстремумов, что свидетельствует о большем подобии распределения максимальных за год высот волн распределению Гумбела. Как и следовало ожидать, параметр μ увеличился, что является результатом “большей экстремальности” годовых экстремумов по сравнению с месячными.

Таким образом, проведенный анализ указывает на то, что для описания распределения максимальных высот волн в прибрежной части Черноморского региона Украины в гидрометеорологической практике целесообразно использовать распределение Гумбела (3) на уровне как месячных, так и годовых экстремумов высот волн. Следует, однако, отметить, что значения параметров этого распределения μ и σ зависят от вида использованного ряда максимальных значений высот волн и потому могут применяться лишь при сравнительном анализе интенсивности штормовой деятельности в различных регионах/станциях по качественно одинаковым наборам данных. Как пример в табл. 1 приведены результаты расчета параметров распределения Гумбела по ряду максимальных за месяц высот волн.

Таблица 1. Параметры распределения Гумбеля максимальных за месяц высот волн на наиболее показательных станциях украинского побережья Черного моря за период 1954–2008 гг.

Станция	μ	σ	Δ^2
МГ “Херсонесский маяк”	1,96	0,92	0,0074
МГ “Одесса-порт”	1,22	0,43	0,0035
МГ “Ялта”	1,51	0,61	0,0087

Сравнение интенсивности штормов может быть проведено по параметру μ , представляющему собой наиболее вероятное значение максимальной за месяц высоты волны. На основании данных табл. 1, можно сделать вывод о том, что наиболее интенсивная штормовая деятельность наблюдается на МГ “Херсонесский маяк” ($\mu = 1,96$), наименее интенсивная – на МГ “Одесса-порт” ($\mu = 1,22$). Отметим, что этот вывод находится в полном согласии с качественным анализом активности штормов на указанных станциях [8]. По описанной методике может проводиться сравнительный анализ интенсивности штормовой деятельности для различных регионов/станций Черного моря.

Статистическое распределение числа штормов в украинской прибрежной части Черного моря. Согласно [23], шторм – это длительный, очень сильный ветер, сопровождающийся разрушениями на суше и сильным волнением на море. Такое определение является качественным и не дает способа отбора штормового события. При отборе штормовых событий обычно руководствуются либо признаками наносимого ущерба (волновые нагоны, затопление и эрозия береговой линии, ущерб, наносимый гидротехническим сооружениям и флоту, и др.) [9, 24], либо превышением порога параметром шторма (скоростью ветра [25, 26], высотой волны [10, 27–30]).

В контексте основной темы исследования под штормом будем понимать наблюдаемое волнение с высотами волн, превышающими заданный порог. Однако процедура выборки штормовых событий сталкивается со сложностью методического характера. Принятый в Госгидромете Украины для обеспечения безопасности мореплавания критерий опасного явления (ОЯ) – высота волн 1,5 м и более [5] – не может быть использован в качестве порога шторма в связи с тем, что общее количество случаев такой высоты будет ежегодно в среднем достигать 100 по каждой станции морской береговой сети наблюдений. Такой объем данных едва ли может быть детально проанализирован на десятилетнем масштабе, при этом большинство случаев высот волн более 1,5 м не сопровождалось разрушениями береговой инфраструктуры или значительным ущербом. В то же время использование в качестве порога шторма значения стихийного явления (СГЯ) на Черном море, равного 6,0 м [5], также нецелесообразно, поскольку известны случаи штормов с меньшей

высотой волн, принесших, тем не менее, значительные разрушения и экономический ущерб (например, штормы 11 ноября 2007 г. и 14–15 ноября 1992 г. с высотой волны 5,0 и 4,0 м соответственно [31]). Кроме того, за период с 1954 по 2008 г. на побережье Черного моря наблюдалось лишь 8 случаев СГЯ и лишь на двух пунктах наблюдения: МГ “Херсонесский маяк” – 6 случаев; МГ “Ялта” – 2 случая [31]. По другим пунктам наблюдения и для Азовского моря высота волн за указанный период не достигала критерия СГЯ.

Ниже предложен способ оценки порога высоты волны, соответствующего штормовому волнению, по данным наблюдений за волнением морской береговой сети Госгидромета Украины. Согласно рекомендациям работы [27], выбор порогового уровня высоты волны определяется соблюдением следующих требований: 1) суммарное количество штормов должно быть статистически значимым; 2) штормы должны удовлетворять условию их статистической независимости; 3) высоты волн должны принадлежать верхней части функции распределения (например, соответствовать 99%- или 95%-му процентилю из общей наблюдаемой выборки высот волн [29, 30]).

Определение порога шторма. Будем считать экстремальными (штормовыми) высоты волн, обеспеченность которых не превышает 5%. Согласно данным работы [31], наибольшее количество СГЯ на всем Азово-Черноморском побережье наблюдается на МГ “Херсонесский маяк”, причем расчет показывает (рис. 2), что 5%-я обеспеченность соответствует высоте волны примерно 3 м. Выберем в качестве порога высоты штормовой волны значение 3 м, что будет соответствовать не более чем 5%-й обеспеченности по отдельно взятой станции Азово-Черноморского региона. Следовательно, каждое событие с высотой волны 3 м или более, зафиксированное на любом пункте наблюдения, является экстремальным и в контексте настоящей работы будет считаться штормом.

За исследуемый период наибольшее количество случаев высоты волн 3 м и более было отмечено на МГ “Херсонесский маяк” – 341, меньше на МГ “Ялта” – 115, а по данным МГ “Одесса-порт” – 22. На Азовском море такая высота волн до сих пор не наблюдалась.

Повторяемость случаев штормов за период 1954–2008 гг. В табл. 2, 3 представлены расчетные значения повторяемости высоты волн 3 м и

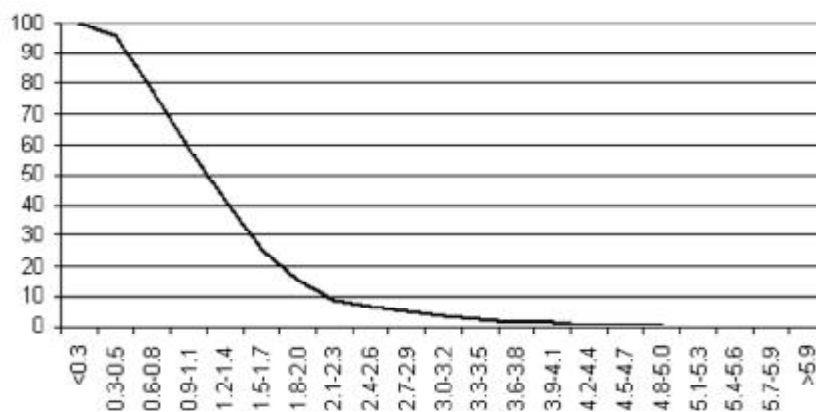


Рис. 2. Обеспеченность высоты волны на МГ “Херсонесский маяк” за период 1954–2008 гг.

Таблица 2. Повторяемость (%) высоты волн 3 м и более по месяцам, согласно данным пунктов наблюдения на Черном море за период 1954–2008 гг.

№ п/п	Пункт наблюдения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	МГ “Херсонесский маяк”	21,7	15,5	9,1	2,6	2,6	2,1	2,7	2,9	6,5	7,6	10,3	16,4	100
2	МГ “Ялта”	30,4	18,3	13,9	1,7	1,7	–	1,7	0,9	4,3	7,0	8,7	11,4	100
3	МГ “Одесса-порт”	27,3	9,1	9,1	–	–	–	–	–	4,5	9,1	22,7	18,2	100

Таблица 3. Количество случаев высоты волн 3–6 м и более по отдельным пунктам наблюдения за период 1954–2008 гг.

Высота волн, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	%
МГ “Херсонесский маяк”														
6 и более	2	–	1	–	–	–	–	–	–	–	3	–	6	1,8
5–5,9	10	6	–	1	1	–	1	1	2	3	3	4	32	9,4
4–4,9	14	12	5	3	1	1	2	1	4	4	6	10	63	18,4
3–3,9	48	35	25	5	7	6	6	8	16	19	23	42	240	70,4
Всего	74	53	31	9	9	7	9	10	22	26	35	56	341	100
МГ “Ялта”														
6 и более	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1,7
5–5,9	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3	2,6
4–4,9	5	3	3	–	–	–	–	–	1	2	0	2	16	13,9
3–3,9	28	16	12	2	2	0	2	1	4	6	10	11	94	81,7
Всего	35	21	16	2	2	0	2	1	5	8	10	13	115	100
МГ “Одесса-порт”														
6 и более	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5–5,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	1	4,5
4–4,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3–3,9	6	2	2	–	–	–	–	–	1	2	4	4	21	95,5
Всего	6	2	2	–	–	–	–	–	1	2	5	4	22	100

более и количество случаев таких высот волн по градациям на трех рассматриваемых пунктах наблюдения за волнением.

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать вывод, что в течение года высота волн более 3 м чаще наблюдается в январе по всем трем пунктам наблюдения. В холодный период года повторяемость штормов 80,6 % случаев на МГ “Херсонесский маяк”, 89,6 % – на МГ “Ялта”, 95,5 % – на МГ “Одесса-порт”, что значительно больше, чем в теплый период года. Исключением является сентябрь, когда повторяемость высоты волн 3 м и более оказывается самой высокой для теплого периода и составляет 4,5–6,5 %.

Согласно данным табл. 3, значительное количество случаев приходится на высоту волн от 3 до 3,9 м и составляет по данным МГ “Херсо-

неский маяк” – 70,4 %, МГ “Ялта” – 81,2 %, МГ “Одесса-порт” – более 95,5 %. Также следует отметить, что на МГ “Херсонесский маяк” достаточно часто (32 случая) наблюдается высота волны 5,0 м и более.

Статистическое распределение числа штормов.

В первом приближении процесс реализации штормов во времени можно рассматривать как поток случайных событий, в котором каждый последующий временной интервал не зависит от предыдущего. Тогда распределение числа штормов должно быть приближено к распределению Пуассона. Положим это допущение в качестве нулевой гипотезы H_0 . Дальнейшее исследование справедливости гипотезы H_0 требует построения распределения числа штормов, причем наименьшим временным интервалом, в пределах которого мо-

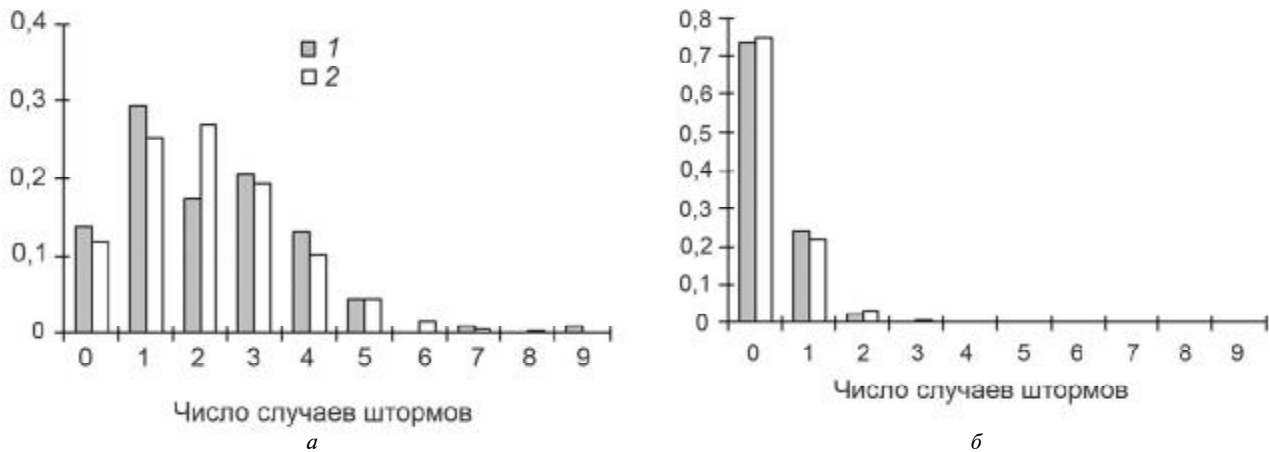


Рис. 3. Гистограмма распределения числа случаев штормов (1) и распределения Пуассона (2) за период 1954–1983 гг.: а – ноябрь–декабрь–январь–февраль; б – май–июнь–июль–август

жет определяться число таких событий, является один месяц.

Выше показано, что повторяемость штормов в холодный период года значительно выше, чем в теплый. Кроме того, в работе [8] отмечено, что повторяемость максимальных высот волн в прибрежной части Черного моря также зависит от периода наблюдения: с 1954 по 1983 г. число максимальных высот значительно превышает их число в период 1984–2008 гг. Это означает, что форма статистического распределения (возможно, и вид) будет зависеть от выбранного периода. Следовательно, корректное определение статистического распределения возможно только для конкретных месяцев периода 1954–1983 либо периода 1984–2008. Однако количество месяцев в рассматриваемые периоды (например январей) не превышает 30, чего недостаточно для надежного определения вида распределения.

Для устранения описанной выше неоднозначности из каждого года периода 1954–1983 гг. было выбрано по 4 месяца наиболее интенсивной штормовой деятельности: ноябрь–декабрь–январь–февраль, и построена гистограмма распределения. Она сравнивалась по критерию Колмогорова–Смирнова с теоретическим распределением Пуассона, соответствующим редким событиям (рис. 3, а). С достоверностью 95 % экспериментальное распределение совпало с теоретическим, что свидетельствует о справедливости исходной гипотезы H_0 . Аналогичное распределение было построено и за весенне-летний период 1954–1983 гг. (рис. 3). Как видно из рис. 3, б, форма полученного распределения формально близка к распределению Пуассона, однако надежное определение достоверности совпадения для данного периода не представляется возможным в связи малым числом категорий и малым общим числом особо интенсивных штормов. По этой же причине распределение за период пассивной штормовой деятельности 1984–2008 гг. нами не рассматривалось.

Ключевым параметром распределения Пуассона является среднее значение распределения $n = 2,12$, имеющее смысл среднего числа штормов за любой месяц осенне-зимнего периода, или интенсивность штормовой деятельности за один месяц указанного периода: $\lambda = 2,12$. Знание λ позволяет оценить вероятность возникновения заданного числа штормов k за время t , выраженного в месяцах:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Заключение. Рассмотрен вопрос о статистических характеристиках экстремальных высот волн на украинском побережье Черного моря согласно данным наблюдения за волнением морской береговой сети Госгидромета Украины. Впервые установлено, что распределение максимальных высот волн соответствует распределению Гумбела. Предложено в качестве критерия шторма в украинской прибрежной зоне Черного моря использовать высоту волны 3 м, соответствующую не более чем 5%-й обеспеченности высоты волны на наиболее показательных (с точки зрения ветро-волнового режима) станциях исследуемого региона. Выявлено, что статистическое распределение штормов во времени и в период наиболее интенсивной штормовой деятельности соответствует распределению Пуассона с параметром $\lambda = 2,12$ (интенсивность штормовой деятельности за 1 мес).

1. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А.* Глобальные процессы в системе океан–атмосфера и экстремальные погодно-климатические аномалии в Черноморско-Азовском регионе // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 319–323.
2. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Техническое резюме – М.: ВНИИГМИ–МЦД, 2008. – 90 с.*

3. *Роджерса Д.П., Кларк С., Коннор С.Дж. и др.* Получение социальных и экономических выгод от метеорологического и гидрологического обслуживания // Бюл. ВМО. – 2007. – 56, № 1. – С. 15–22.
4. *Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.)* / За ред. В.І. Ліпінського, В.М. Осадчого, В.Н. Бабіченко. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 311 с.
5. *Положення про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різких змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків екстремально високого забруднення природного середовища.* – К.: ДОД Держкомгідромет, 1994. – 32 с.
6. *Корнфорд С.Г.* Социально-экономические последствия явлений погоды в 2001 г. // Бюл. ВМО. – 2002. – 51, № 3. – С. 313–333.
7. *Васильев К.П.* Что должен знать судоводитель о картах погоды и состояния моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 40 с.
8. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П.* Низкочастотная изменчивость повторяемости экстремальных штормов в Азово-Черноморском бассейне // Экол. безопасность прибреж. и шельф. зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2009. – Вып.19. – С. 386–394.
9. *Valchev N., Trifonova E.* Wave climate clustering to define threshold values with respect to the expected morphological response // J. Coastal Res. – 2009. – 56. – P. 1666–1670.
10. *Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В., Косьян Р.Д., Пушкарев О.В.* Механизм формирования экстремальных штормовых волн в Черном море // Докл. РАН. – 2006. – 408, № 4. – С. 570–574.
11. *Кабатченко И.М.* Исследование режима штормовых ветров и волн на примере Черного моря: Дис. ... канд. геогр. наук. – М., 1984.
12. *Ефимов В.В., Комаровская О.И.* Атлас экстремального ветрового волнения Черного моря. – Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2009. – 60 с.
13. *Ржеплинский Г.В.* Расчет режима волнения шельфовых акваторий на примере Черного моря // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 1. – С. 63–68.
14. *Руководство по расчету параметров ветровых волн.* – М.: Гидрометеиздат, 1969. – 138 с.
15. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экол. безопасность прибреж. и шельф. зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2003. – Вып. 9. – С. 13–28.
16. *Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н.* Штормовой ветро-волновой режим у Черноморского побережья Крыма // Там же. – 2009. – Вып. 19. – С. 56–69.
17. *IPCC: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* – Cambridge; New York: Cambridge Univ. Press, United Kingdom, 2007. – 996 p.
18. *Lionello P.* Introduction to extremes and to indicators for their analysis // Proceed. of the 1st Int. Summer School “Environment: Climate, Climate change, Imacts” 8–15 July 2009. – Athens, Greece, 2009.
19. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П.* Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне // Сб. науч. тр. УкрНИГМИ. – 2009. – Вып. 258. – С. 189–200.
20. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам.* – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 9, ч.1. – 312 с.
21. *Евстигнеев В.П., Наумова В.А., Евстигнеев М.П.* Комплекс автоматизированных систем сбора, обработки, контроля, анализа и хранения данных гидрометеорологических наблюдений – АССОКА // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 157–162.
22. *Coles S.* An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. – Springer-Verlag, 2001. – 211 p.
23. *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 599 с.
24. *Mather J.R., Henry A., Yoshioka G.A.* Coastal Storms of the Eastern United States // J. Appl. Meteorol. – 1964. – 3. – P. 693–706.
25. *Weisse R., Storch H., Frauke F.* Northeast Atlantic and North Sea Storminess as Simulated by a Regional Climate Model during 1958–2001 and Comparison with Observations // J. Clim. – 2005. – 18. – P. 465–479.
26. *WASA (The European project WASA): Changing waves and storms in the northeast Atlantic?* // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1998. – 79. – P. 741–760.
27. *Матушевский Г.В., Кабатченко И.М.* Современная концепция определения экстремальных характеристик ветровых волн и связанных с ним процессов (ветер, течения, уровень) путем анализа штормовых выборок // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 64–72.
28. *Рожков В.А., Лопатухин Л.И., Лавренов И.В. и др.* Моделирование штормового волнения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2000. – 5, вып. 36. – С. 689–699.
29. *Weisse R., Gunther H.* Wave climate and long-term changes for the Southern North Sea obtained from a high-resolution hindcast 1958–2002 // Ocean Dynamics, 2006. – 57, N 3. – P. 161–172.
30. *Wang X. L., Swail V.R.* Changes of Extreme Wave Heights in Northern Hemisphere Oceans and Related Atmospheric Circulation Regimes // J. Clim. – 2001. – 14. – P. 2204–2221.
31. *Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П., Любарец Е.П.* Ветро-волновые условия Азово-Черноморского побережья Украины // Сб. науч. тр. УкрНИГМИ. – 2010. – Вып. 259. – С. 263–283.

Поступила в редакцию 28.03.2011 г.

В.П. Евстигнеев, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ВОЛНЕНИЯ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ МОРСКОЙ БЕРЕГОВОЙ СЕТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ УКРАИНЫ**

Рассмотрен вопрос о статистических характеристиках экстремальных высот волн на украинском побережье Черного моря на основании данных наблюдения за волнением морской береговой сети Гидрометслужбы Украины. Впервые установлено, что распределение максимальных высот волн соответствует распределению Гумбела, а статистическое распределение штормов (с развитием волн высотой более 3 м) во времени и в период наиболее интенсивной штормовой деятельности – распределению Пуассона. Получены параметры соответствующих распределений.

Ключевые слова: ветро-волновые аномалии, штормы, Азово-Черноморский регион, распределение Гумбела, распределение Пуассона.

В.П. Євстигнєєв, В.А. Наумова, М.П. Євстигнєєв

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ХВИЛЮВАННЯ
В ПРИБЕРЕЖНІЙ ЗОНІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МОРСЬКОЇ БЕРЕГОВОЇ МЕРЕЖІ
ДЕРЖАВНОЇ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ**

Розглянуто питання про статистичні характеристики екстремальних висот хвиль на українському узбережжі Чорного моря на підставі даних спостережень за хвилюванням морської берегової мережі Гідрометслужби України. Вперше встановлено, що розподіл максимальних висот хвиль відповідає розподілу Гумбела, а статистичний розподіл штормів (з формуванням хвиль висотою понад 3 м) у часі і в період найінтенсивнішої штормової діяльності – розподілу Пуассона. Отримано параметри відповідних розподілів.

Ключові слова: вітро-хвильові аномалії, шторми, Азово-Чорноморський регіон, розподіл Гумбела, розподіл Пуассона.