

А.В.Гармашов

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ В КАРКИНИТСКОМ ЗАЛИВЕ

Приводятся результаты мониторинга ветрового волнения, проводимого в 2000 – 2002 гг. на морской стационарной газодобывающей платформе, расположенной в северо-западной части Черного моря. В результате анализа 9800 волнограмм получены основные статистические характеристики высот волн, описывающие волновой режим в этом районе в 2000 – 2002 гг. В частности, максимальные высоты волн летом достигали высоты 4,3 м, зимой 6,3 м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ветровое волнение, высоты волн, Каркинитский залив, Черное море*

Введение. Гидрометеорологические наблюдения всегда играли важную роль в народном хозяйстве, обеспечивая безопасность мореплавания и прибрежной инфраструктуры, а также являясь важным элементом поддержания обороноспособности страны [1 – 4]. Начиная с 90-х гг. XX ст., отмечается резкое сокращение гидрометеорологических наблюдений в прибрежных районах Черного моря. Поэтому любые измерения гидрометеорологических параметров имеют большую научную и практическую ценность.

Цель настоящей работы состояла в следующем:

- создать базу данных измерений ветрового волнения на морской стационарной газодобывающей платформе (МСП) «Голицыно-4» в 2000 – 2002 гг.;
- провести анализ измеренных ветровых характеристик на МСП в 2000 – 2002 гг.

С 1996 по 2002 гг. на МСП «Голицыно-4», расположенной на северо-западном шельфе Черного моря в точке с координатами 45°42,5' с.ш., 31°52,5' в.д. (расстояние до берега примерно 50 км), было установлено оборудование для гидрометеорологического мониторинга. Для измерения высот волн использовался витой волнограф. Ошибка измерения уровня не превышала 1 см. Дискретность опроса составляла 4 Гц. Запись ветрового волнения после 26 сентября 2000 г. проводилась 1 раз в час. Длина одной записи составляла 12288 измерений или 3072 с (51,2 мин). Более подробная информация о погрешности измерений, разрешающей способности используемых датчиков, входящих в состав метеокомплекса, приведена в [5].

В данной работе приводится анализ ветрового волнения за период с 26 сентября 2000 г. по 19 ноября 2002 г. За данный период анализируется около 9800 волнограмм. Распределение измерений по месяцам не равномерно. Наилучшим образом обеспечены летние месяцы и ноябрь (по 14 – 15 % от общего числа измерений для каждого месяца). В феврале, марте и апреле в 2000 – 2002 гг. измерений практически не было (около 0,1 %). На май и сентябрь приходится по 9 %. В декабре и январе было проведено 11,2 и 5,2 % измерений соответственно.

Обработка данных. Распределение высот (удвоенных амплитуд) волн

подчиняется закону Рэля. Справедливость распределения Рэля проверялась многими исследователями. В большинстве работ показано достаточно хорошее согласие между теоретическим законом и эмпирическими распределениями. В работах [6 – 10] также показано, что распределения, рассчитанные для океанов, морей и озер, подчиняются закону Рэля. При этом использовались достаточно длинные реализации волн, полученные в квазистационарных условиях. Это позволило проверить соответствие эмпирических распределений теоретическому до уровня обеспеченности в сотые доли процента.

Из распределения Рэля следуют важные для практических расчетов соотношения. В частности, средняя высота $1/N$ наибольших волн для больших N равна:

$$h_{1/N} = 2\sqrt{2m_0 \ln N} = h_{1/3}\sqrt{(\ln N)/2}, \quad (1)$$

где $h_{1/3}$ – средняя высота соответствующая $1/3$ наибольших волн (высота значительных волн), m_0 – нулевой момент функции спектральной плотности (среднеквадратическое отклонение).

$$H_s = h_{1/3} \approx 4\sqrt{m_0} \approx 0,79h_{3\%} \approx 1,58\bar{h}, \quad (2)$$

где $h_{3\%}$ – высота волны 3 %-ой обеспеченности; h – высота волнового колебания; \bar{h} – средняя высота волнового колебания.

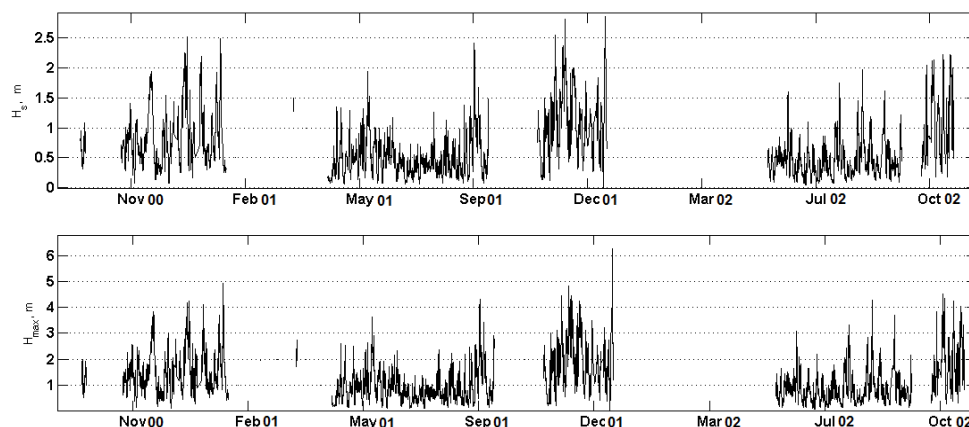
Наибольшая из тысячи волн, принимаемая часто за максимальную волну, равна:

$$h_{1/1000} \approx 1,9h_{1/3} \approx 1,5h_{3\%} \approx 3\bar{h}. \quad (3)$$

На практике для расчета H_s по непрерывной реализации волнения используется формула (2).

Для каждой волнограммы был получен частотный спектр, из которого определялся пиковый период волнения. Двумерный спектр рассчитывался преобразованием Фурье корреляционной функции с использованием окна Тьюки, число степеней свободы варьировалось от 21 до 77.

Характеристики ветрового волнения, измеренного на МСП в 2000 – 2002 гг., показаны в табл.1 и на рис.1. В табл.1 для каждого месяца показана средняя высота значительных волн ($H_{s\ av}$), максимальная высота значительных волн ($H_{s\ max}$), максимальная измеренная высота волн (H_{max}), средняя высота волн (\bar{h}), средняя высота волн 3%-ой обеспеченности ($H_{3\%}$), наибольшая из тысячи волн ($H_{1/1000}$), рассчитанная по (3), средний пиковый период волн (T_{av}). В табл.1 не приведены результаты для февраля, марта и апреля, поскольку они не обеспечены данными измерений. Наименьшие средние высоты волн наблюдались летом, в это время средние высоты волн составляли 0,24 – 0,33 м. В летние месяцы максимальные высоты значительных волн ($H_{s\ max}$) могли достигать 2 м. А одиночные волны достигали высоты 4,3 м (август). В зимние месяцы происходит значительное усиление волновой активности. Зимой средние высоты волн составляли 0,8 – 0,9 м, что примерно в 3 раза больше, чем летом. Различия в максимальных высотах волн (H_{max}) между летним и зимним периодом может достигать 3 раз. 30 декабря 2001 г. была зарегистрирована волна высотой 6,3 м. Осенью средние



Р и с . 1 . Высоты значительных и максимальных волн с сентября 2000 г. по ноябрь 2002 г.

Т а б л и ц а 1 . Характеристики ветрового волнения.

хар-ки месяц	$H_{s\ av}$, м	$H_{s\ max}$, м	H_{max} , м	\bar{h} , м	$H_{3\%}$, м	$H_{1/1000}$, м	T_{av} , с
январь	0,84	2,49	4,92	0,53	1,06	4,73	5,32
май	0,46	1,35	2,59	0,29	0,59	2,57	4,45
июнь	0,52	1,94	3,63	0,33	0,66	3,68	4,44
июль	0,38	1,75	3,33	0,24	0,48	3,32	4,16
август	0,49	1,97	4,29	0,31	0,61	3,75	4,12
сентябрь	0,62	2,42	4,31	0,39	0,78	4,59	4,75
октябрь	1,01	2,23	4,52	0,64	1,28	4,23	5,25
ноябрь	0,95	2,82	4,84	0,60	1,20	5,35	5,58
декабрь	0,94	2,86	6,28	0,59	1,19	5,42	5,60

высоты волн составляли 0,4 – 0,6 м, а максимальные высоты волн достигали 4,8 м. Различия в средних периодах волн между летними (4,2 с) и зимними (5,5 с) месяцами составляли примерно 1 с. Максимальные пиковые периоды волнения для всех месяцев года были примерно одинаковыми (~10 с).

В табл.2 и 3 показаны повторяемости средних высот волн, измеренных на МСП. Штиль наблюдался примерно в 6,5 % случаев, причем летом штиль достигал 14 %, а зимой практически не наблюдался (до 2 %). Слабое волнение (0,1 – 0,25 м) составляло примерно 28 % всех случаев, причем (68 %) в летние месяцы оно составляло 28 – 45 %, в зимние – 17 – 19 %. Умеренное волнение (0,25 – 0,75 м) является доминирующим и составляет 52 %. Значительное волнение (0,75 – 1,25 м) практически не наблюдалось в летние месяцы (1,5 – 4 %), однако повторяемость данного волнения значительно увеличивается зимой (до 28 % в декабре). Волны со средними высота 1,25 – 2 м в летние месяцы не регистрировались, наиболее часто волнение данного типа наблюдалось в октябре и составляло 5,6 %. Сильное волнение ($\bar{h} > 2$ м) за весь период мониторинга зарегистрировано не было.

Т а б л и ц а 2. Повторяемость (%) средних высот волн (\bar{h} , м) для шести групп.

\bar{h} , м	0 – 0,1	0,1 – 0,25	0,25 – 0,75	0,75 – 1,25	1,25 – 2,0	> 2
повторяемость, %	6,56	27,85	52,34	11,56	1,69	0

Т а б л и ц а 3. Повторяемость (%) средних высот волн (\bar{h} , м) для каждого месяца по градациям.

\bar{h} , м месяц	0 – 0,1	0,1 – 0,25	0,25 – 0,75	0,75 – 1,25	1,25 – 2,0	> 2
январь	0	16,97	63	16,25	3,79	0
май	11,67	28,89	57,89	1,56	0	0
июнь	9,05	27,87	59,84	3,23	0	0
июль	14,36	45,32	38,85	1,48	0	0
август	5,37	44,71	46,03	3,90	0	0
сентябрь	7,65	27,35	55,27	9,04	0,70	0
октябрь	0	12,69	49,74	31,90	5,66	0
ноябрь	1,96	10,20	60,80	22,36	4,68	0
декабрь	2,07	18,89	47,27	28,20	3,57	0

По результатам проведенного гидрометеорологического мониторинга в 2000 – 2002 гг. на МСП «Голицыно-4» в Каркинитском заливе можно сформулировать следующие **выводы**:

- в летние месяцы средние высоты волн составляли значения 0,24 – 0,33 м; в зимние месяцы происходит значительное усиление волновой активности, зимой средние высоты волн составляли 0,8 – 0,9 м;
- максимальные высоты волн летом достигали высоты 4,3 м, зимой – 6,3 м;
- наибольшую повторяемость в 2000 – 2002 гг. имело умеренное волнение (0,75 – 1,25 м) 52 %;

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00067 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наумова В.А., Мытник Т.Г., Евстигнеев В.П., Любарец Е.П., Евстигнеев М.П.* Морская сеть наблюдений Украины: прошлое и настоящее // Наук. праці УкрНДГМІ.– 2011.– вып.261.– С.257-278.
2. *Проект «Моря СССР».* Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.4, вып.1. Черное море.– СПб: Гидрометеоиздат, 1991.– 430 с.
3. *Сорокина А.И.* Справочник по климату Черного моря.– М.: Гидрометеоиздат, 1974.– 406 с.
4. *Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей.*– СПб: Российский морской регистр судоходства, 2006.– 451 с.

5. Толочков Ю.Н., Коровушкин А.И., Козлов К.Г. Автоматизированный гидрометеорологический комплекс // Системы контроля окружающей среды.– 1998.– С.12-17.
6. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветер и волны в океанах: справочные данные.– Л.: Транспорт, 1974.– 359 с.
7. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение как вероятностный гидродинамический процесс.– Л.: Гидрометеоздат, 1978.– 287 с.
8. Лопатухин Л.И. Анализ распределения элементов волн // Труды ВНИИГМИ МЦД.– 1978.– вып.1.– С.116-142.
9. Bauer E., Staabs C. Statistical properties of global significant wave heights and their use for validation // J. Geophys. Res.– 1998.–№ 103 (C1).– P.1153-1166.
10. Forristall G.Z. On the statistical distribution of wave heights in a storm // J. Geophys. Res.– 1978.– № 83.– P.2353-2358.

Материал поступил в редакцию 12.02.2016 г.
После доработки 19.08.2016 г.

A. V. Garmashov

WIND WAVES IN KARKINITSKY BAY

This article is devoted to the results of the monitoring of wind waves, conducted in 2000 – 2002 on the fixed offshore gas production platform, located in the northwestern part of the Black Sea. The author gives a clearcut presentation of the basic statistical characteristics of the wave regime in 2000 – 2002, obtained by analysis of the 9800 wave records. In particular, measurements showed that the maximum wave height in summer was 4.3 m and in winter – 6.3 m.

KEYWORDS: *wind waves, wave height, the Karkinitsky Bay, the Black Sea*