

# **О СВЯЗИ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛН МОРСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ СТАНЦИИ БРИЗ-1 С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКОЙ В РАЙОНЕ ПОСТАНОВКИ**

**П.В. Гайский, В.И. Забурдаев,  
М.В. Косник, А.К. Куклин,  
К.А. Кузьмин, Д.Е. Кузьменко,  
О.А. Шабалина**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net*

*Приводятся данные о поверхностном волнении, зафиксированные измерителем параметров волн морской прибрежной станции, и оценивается их адекватность метеорологической обстановке (скорости и направлению ветра) в районе постановки вблизи от океанографической платформы (поселок Кацивели, Крым) в период с 14.08 по 26.08.2009 г.*

**Введение.** В работах [1–3] подробно описан способ и устройство измерения параметров поверхностных волн (ИПВ) с помощью гидроакустического обращенного эхолота, входящего в состав морской прибрежной станции (МПС), а также представлены в графической форме результаты натурных наблюдений параметров волн в период опытной эксплуатации станции БРИЗ-1 на океанографической платформе экспериментального отделения Морского гидрофизического института (ЭО МГИ НАН Украины) в период с 14.08 по 26.08.2009 г. В связи с отсутствием на платформе в данный период времени каких-либо других средств непосредственного измерения параметров поверхностного волнения, авторам настоящей статьи не удалось произвести непосредственное сличение показаний ИПВ с показаниями других измерительных средств, вследствие чего был выбран способ качествен-

ной оценки адекватности показаний ИПВ особенностям метеорологической обстановки вблизи океанографической платформы. Информация о метеорологических условиях, позволявшая оценить результаты измерений ИПВ в указанный период времени, была получена штатными сотрудниками ЭО МГИ НАН Украины.

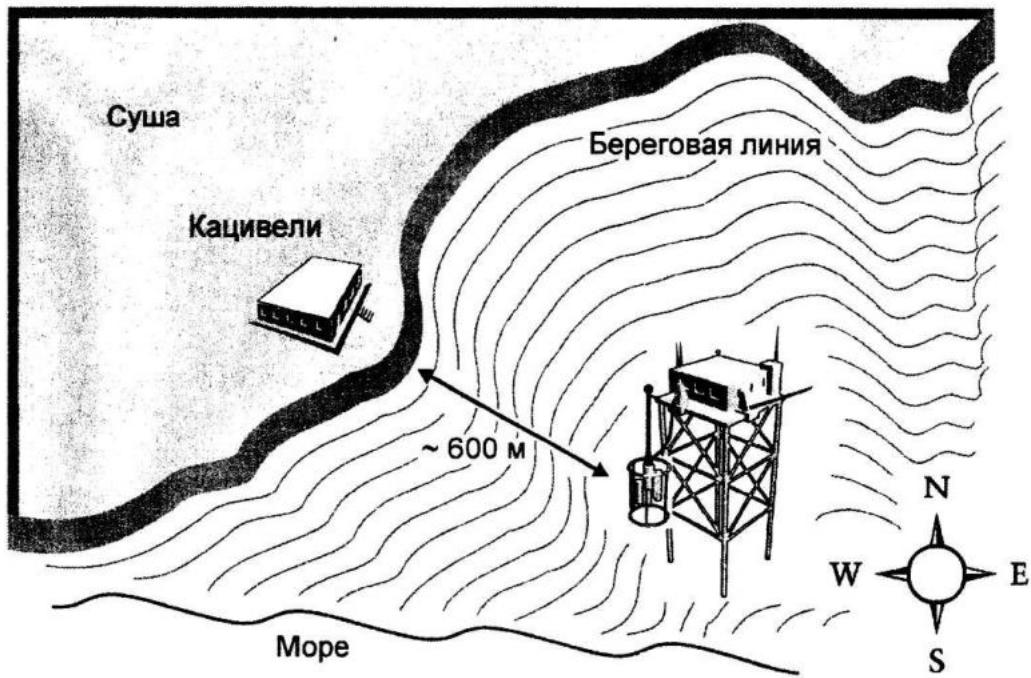
В основу анализа работоспособности ИПВ была положена зависимость высоты и периода поверхностных волн от скорости, направления ветра и времени. На рис. 1 схематически изображена береговая линия и океанографическая платформа, на которой размещалась МПС. Как видно из рис. 1, при северо-западном направлении ветра в месте расположения платформы можно наблюдать лишь молодое развивающееся волнение, разгон которого ограничен расстоянием между береговой линией и платформой. При западном, восточном, северном и южном направлениях ветра, когда волны приходят со стороны моря, возможно наблюдение развитого волнения.

В качестве критериев оценки работоспособности ИПВ выбраны взаимосвязь высоты и периода зарегистрированных волн со скоростью ветра, а также соответствие полученного энергетического спектра волнения общепринятым научным представлениям.

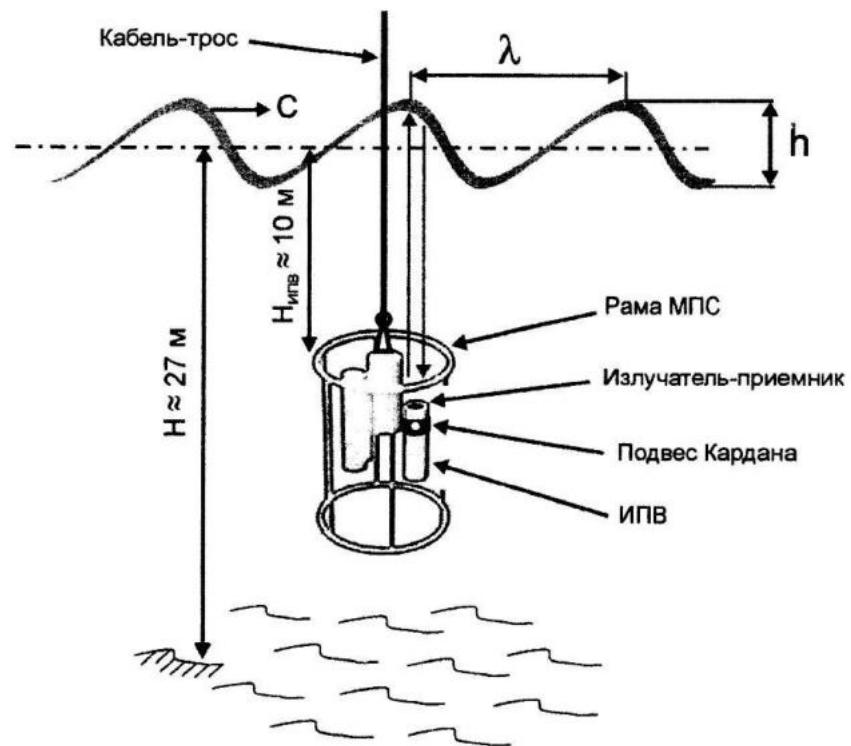
**Схема постановки МПС и результаты измерений.** На рис. 2 показана упрощенная схема постановки МПС, на которой приведены основные параметры (глубина места, глубина погружения МПС), а также указаны основные элементы поверхностного волнения.

Результаты измерений в графической форме представлены на рис. 3 в зависимости от времени с 14.08.2009 г. по 26.08.2009 г.

В связи со сбоями в работе измерителя направления ветра на океанографической платформе, для уточнения его показаний были взяты данные берегового метеопоста.



Р и с. 1. Схематическое расположение береговой линии и местоположения океанографической платформы



( $h$  – высота волн, м;  $\lambda$  – длина волны, м;  $C$  – фазовая скорость волны, м/с;  
 $\tau = \frac{\lambda}{C}$  – период волны, с)

Р и с. 2. Упрощенная схема постановки и основные параметры ветрового волнения

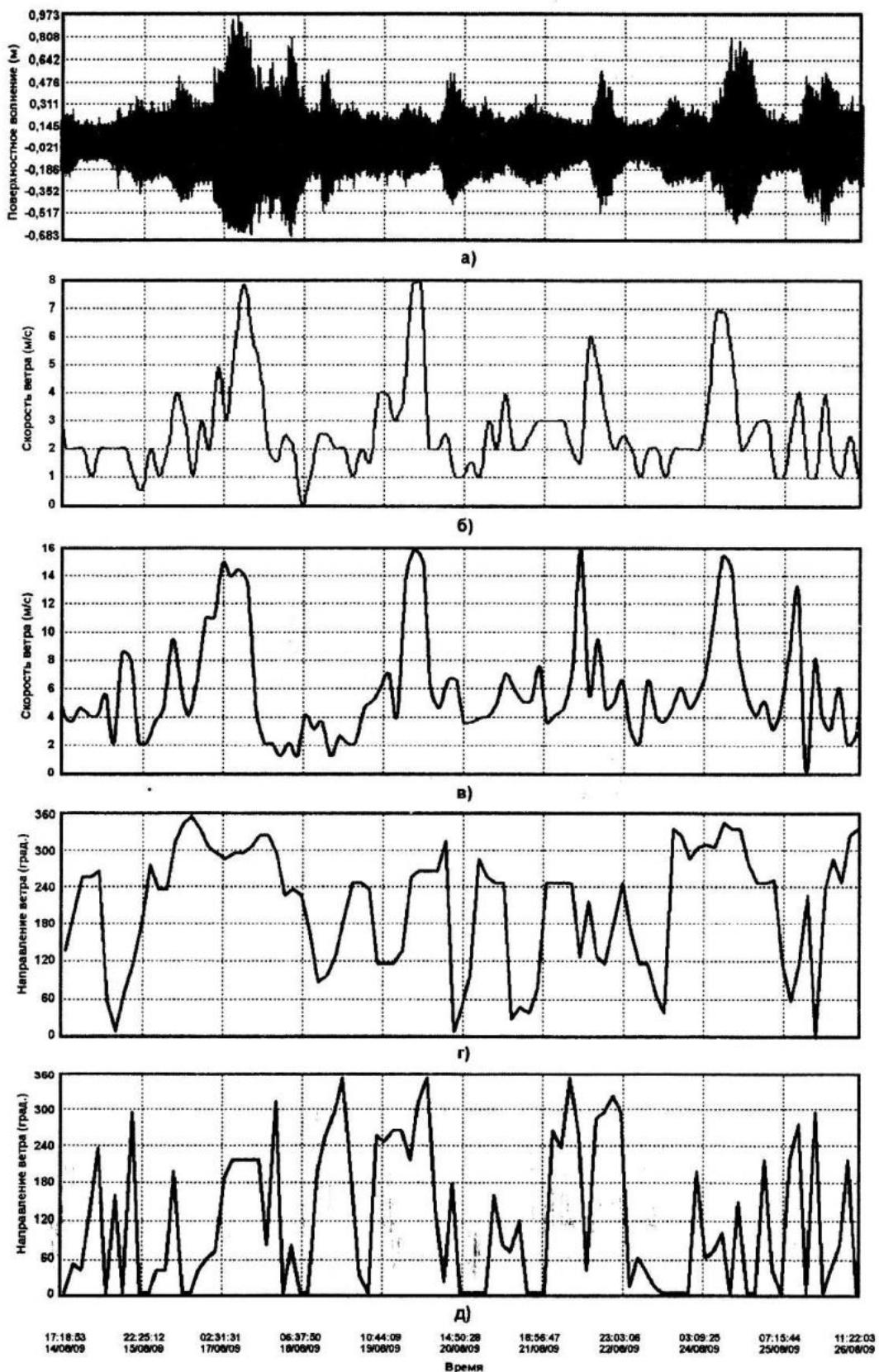


Рис. 3. Результаты регистрации поверхностного волнения, скорости и направления ветра в период с 14.08 по 26.08.2009 г. а) поверхность волнение по данным ИПВ с частотой 5 Гц; б) скорость ветра по данным берегового метеопоста; в) скорость ветра по данным метеопоста на океанографической платформе; г) направление ветра по данным берегового метеопоста; д) направление ветра по данным метеопоста на океанографической платформе. Дискретность съема показаний скорости и направления ветра на обоих метеопостах – 3 часа

Нетрудно заметить, что скорость ветра на океанографической платформе порой превышает скорость ветра на берегу в полтора раза и более. Также отличается и направление ветра. В большинстве случаев при усилении ветра, как на берегу, так и на платформе, с небольшим запозданием растет и волнение. Вместе с тем в отдельных случаях, как, например, в период с 19 по 20 августа 2009 года, усиление ветра не привело к росту волнения из-за резкой смены направления ветра на противоположное, но позже волнение возросло, и было вызвано, вероятно, появлением зыби.

Для более подробного анализа параметров волнения рассмотрим запись волнения в течение суток с 00.00.00 по 24.00.00 17.08.2009 г, представленную на рис. 4 при частоте съема информации 5 Гц. За этот промежуток времени скорость и направление ветра на океанографической платформе оказались наиболее стабильными, и менялись в пределах от 11 до 14,5 м/с и от 220 до 260 градусов соответственно. Более подробная запись волнения в интервале времени, равном трем минутам, показана на рис. 5.

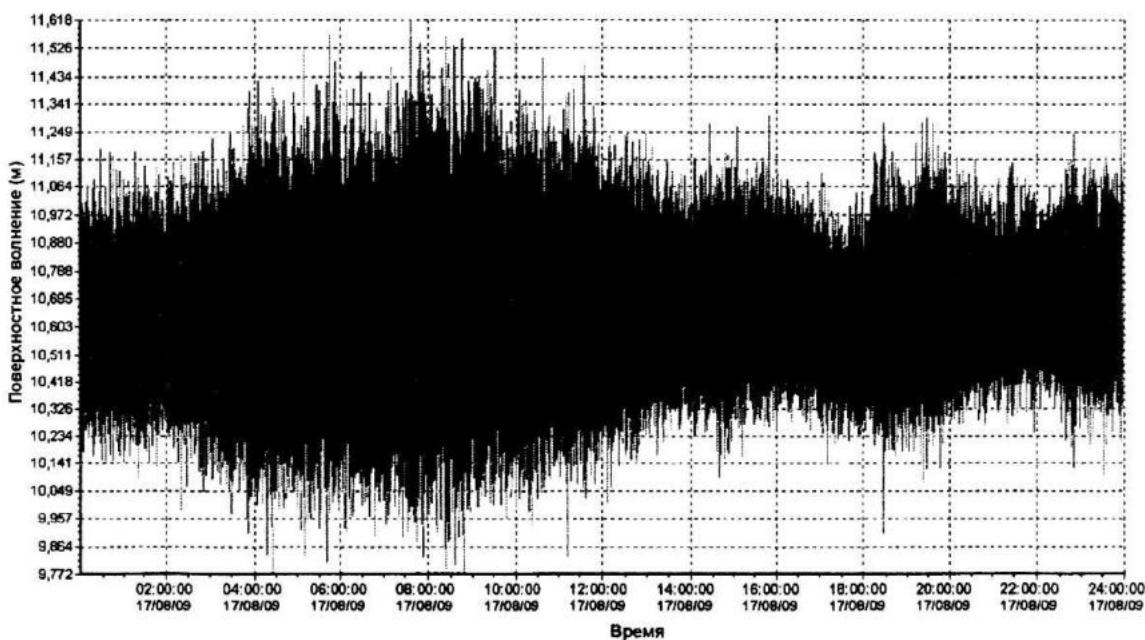


Рис. 4. График суточных (17/08/2009) измерений поверхностного волнения ИПВ МПС

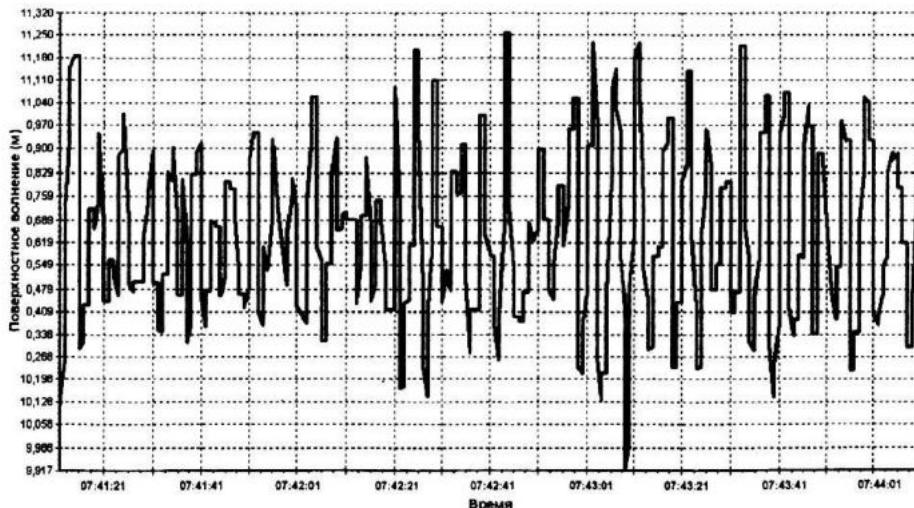


Рис. 5. График трехминутных измерений (17/08/2009) поверхностного волнения ИПВ МПС

На рис. 6 представлен результат спектральной обработки суточных данных поверхностного волнения различными методами на основе Фурье-преобразования. Методы оптимальных и минимальных рядов [4] являются в данном случае предпочтительными, поскольку имеют следующие преимущества:

- равномерная интерполяция на весь диапазон периодно-временной сетки;
- экономия вычислительных ресурсов, позволяющая производить обработку в реальном времени измерений;
- возможность обнаружения истинных амплитуд единичных (двукратно повторяющихся) периодических составляющих.

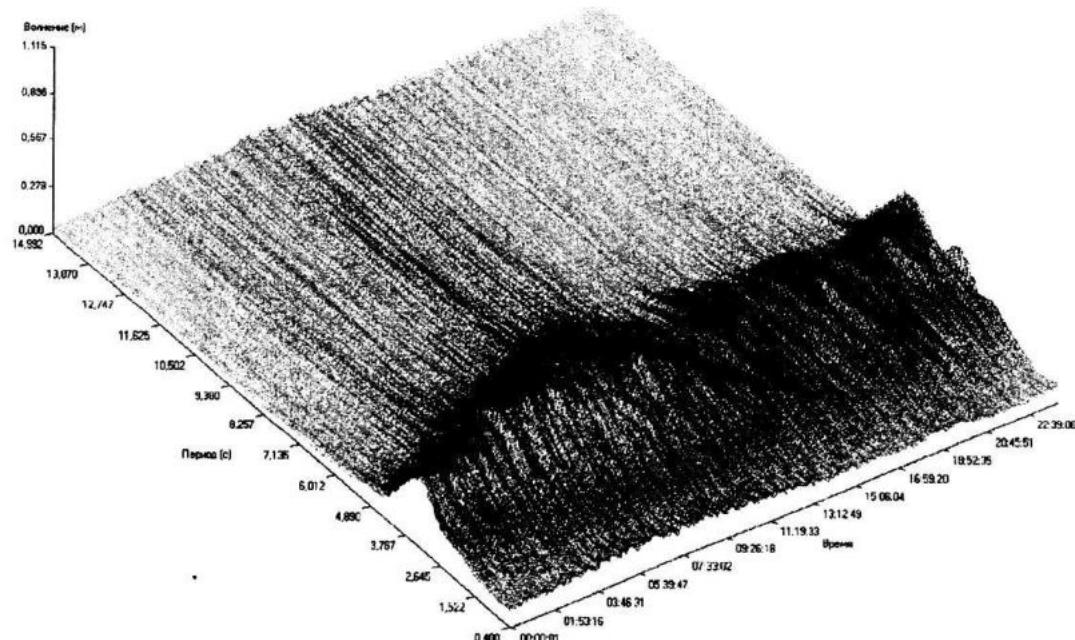


Рис. 6. Трехмерное изображение амплитудно-частотного спектра волнения в течение суток по данным 17/08/2009

Из рис. 6 отчетливо видно, что изменчивость амплитудно-частотного спектра поверхностного волнения во времени весьма велика, что вызвано, вероятно, изменчивостью скорости и направления ветра.

Оценка ожидаемых параметров волнения по данным скорости ветра производилась в соответствии с рекомендациями литературных источников [5 – 7]. По океанографическим таблицам [7], для случая установившегося волнения при времени действия ветра около 3 часов со скоростью  $V = 14$  м/с, при глубине места  $H = 30$  м, были получены такие оценки: средняя высота волн  $\bar{h} = 1,1$  м; средний период  $\bar{T} = 4,7$  с.

Распределение спектральной плотности, построенное по данным обработки показаний ИПВ при частоте съема информации 5 Гц в период от 07.40 до 08.40 17.08.2009 г. показано на рис. 7. Для этого случая высота волн 33 % обеспеченности составляет  $\bar{h} = 4\sigma(h) = 1,0$  м, а частота спектрально-го пика соответствует периоду 4,4 с. Таким образом, экспериментально полученная с помощью ИПВ средняя высота и период волнения при глубине моря 27 м всего на 10 % расходятся с классическими данными для развитого волнения при глубине места 30 м [7].

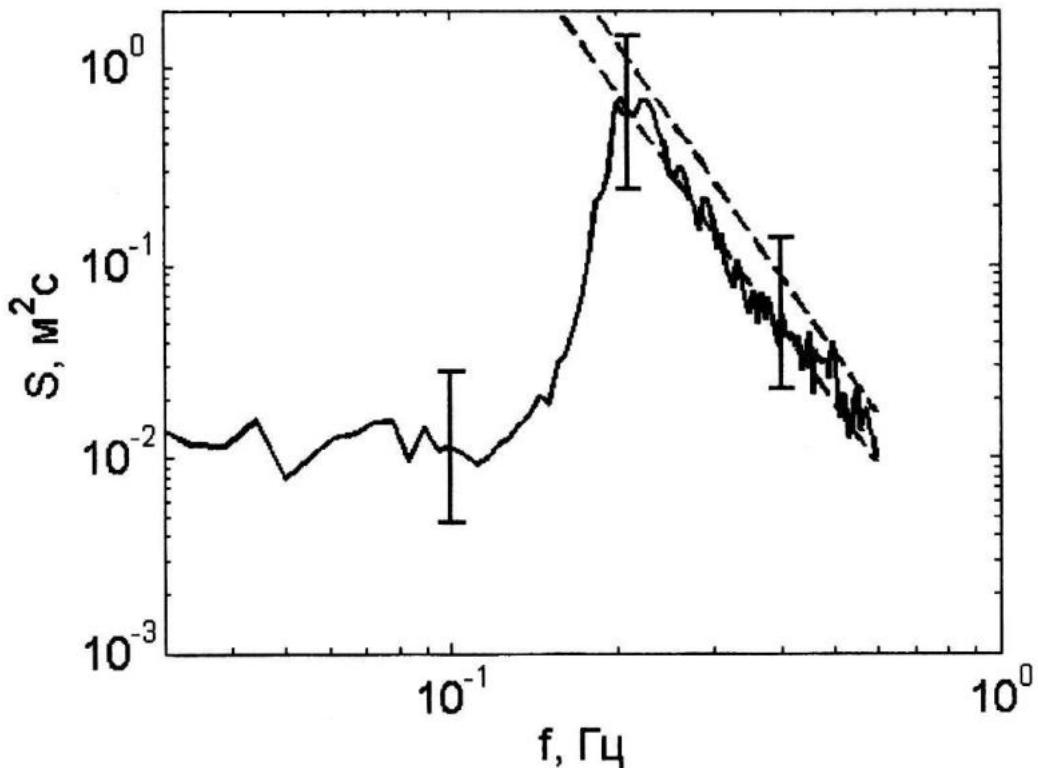


Рис. 7. Спектр волнения с доверительными интервалами для данных волномера с частотой 5 Гц (сплошная линия). Штриховые линии – зависимости Тоба при  $\alpha_T = 0,06$  (снизу) и  $\alpha_T = 0,11$  (сверху) для скорости ветра 14 м/с

Отметим, что эти результаты также согласуются с методом оценки среднего периода волн [5, 6]

$$\bar{\tau} = \frac{V}{g} 18,7 \left( \frac{9,8 \bar{h}}{V^2} \right)^{\frac{3}{5}} = 4,43 \text{ с},$$

если в качестве  $\bar{h}$  принять 1 м.

Проверка соответствия экспериментально полученного спектра общепринятым представлениям была проведена с помощью критерия разделения волн зыби и ветровых волн, предложенного Хансоном и Филлипсом [8] на основе теории Филлипса [9]. Методика состоит в том, что частотный спектр ветрового волнения лежит справа от спектрального пика в области, ограниченной линиями, соответствующими спектру Тоба [10]

$$S(\omega) = \alpha_T u_* \omega^{-4} g, \quad (1)$$

где  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота;  $u_*$  – динамическая скорость в воздухе;

коэффициент  $\alpha_T$  для двух линий равен 0,06 и 0,11. В нашем анализе величина динамической скорости оценивалась по формуле  $u_* = \sqrt{C_D} V$  с коэффициентом сопротивления  $C_D = 1,5 \cdot 10^{-3}$ . Описанная методика неоднократно применялась для анализа волнографических измерений с платформы [11].

Из рис. 7 видно, что уровень полученных спектров соответствует зависимостям, обобщающей множество эмпирических [12 – 16] исследований.

Средняя высота и средние периоды волн при скорости ветра 2 – 14 м/с в течение суток 17.08.2009 г., достигали от 0,1 до 1,0 м и от 3,3 до 4,4 с. Максимальная высота волны достигала значений 1,3 – 1,4 м, период волн спектрального пика, как правило, находился в пределах от 2,25 до 6 с, увеличиваясь со скоростью ветра. Такие характеристики волнения типичны для измерений, ранее проводившихся с океанографической платформы в п. Каивели [11, 17 – 19].

**Заключение.** В результате обработки и анализа информации установлено, что характеристики волнения, полученные с помощью измерителя параметров волн морской прибрежной станции Бриз-1 в период опытной эксплуатации летом 2009 г., адекватны параметрам метеорологической обстановки, конкретно – скорости ветра.

В целом опытный образец ИПВ показал нормальную работоспособность, соответствующую требованиям технического задания при заглублении до 10 – 15 м. Однако при больших глубинах наблюдались сбои, причина которых может быть устранена при организации доработок перед выпуском серийных образцов.

*Авторы статьи выражают искреннюю благодарность Кузнецовой А.С. за оперативное представление информации по метеорологической обстановке и Дулову В.А. за ценные замечания по обработке и анализу полученной информации.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В. и др. Морская прибрежная станция Бриз-1 // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 9 – 23.
- Греков А.Н., Васильев Д.М., Котов М.Н. Акустический измеритель параметров волн // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – С. 51 – 56.
- Васильев Д.М., Баранов А.В. Методика и результаты испытаний измерителя параметров волн // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2007. – С. 51 – 53.
- Гайский П.В. Методы и программное обеспечение обработки измерений поверхностного волнения акустического волномера морской прибрежной станции Бриз-1 // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2009. – С. 107 – 117.
- Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. Гидрометеорологическое издательство / Ленинград, 1966. – 255 с.
- Руководство по расчету параметров ветровых волн. Гидрометеорологическое издательство / Ленинград, 1969. – 135 с.
- Океанографические таблицы. Гидрометеорологическое издательство / Ленинград, 1975. – с. 235.
- Hanson J.I., Phillips O.M. Wind Sea Growth and Dissipation in the Open Ocean // J. Phys. Oceanogr. – 1999. – 29. – P. 1633 – 1647.
- Phillips, O.M., 1985. Spectral and statistical properties of the equilibrium range in wind generated gravity waves. J. Fluid Mech. 156, 505–531.
- Toba, Y., 1973. Local balance in the air-sea boundary process, 3. On the spectrum of wind waves. J. Oceanogr. Soc., Japan 29, 209–220.
- Сапрыкина Я.В., Дулов В.А., Кузнецов С.Ю., Смолов В.Е. Аномально высокие волны в черном море: механизм и условия возникновения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. «К 30-летию океанографической платформы в Кацивели» / НАН Украины: МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. – Севастополь, 2010. – Вып. 21.
- Kawai, S. K. Okuda and Y. Toba, 1977. Field data support of three-seconds power law and  $gu\sigma^{-4}$  spectral form for growing wind waves. J. Oceanogr. Soc. Japan. 33, 137–150.
- Mitsuyasu, H., F. Tasai, T. Suhara, S. Mizuno, M. Ohkusu, T. Honda and K. Rikiishi, 1980. Observations of the power spectrum of waves using a cloverleaf buoy. J. Phys. Oceanogr. 10, 286–296.

14. Kahma, K.K., 1981a. A study of the growth of the wave spectrum with fetch. *J. Phys. Oceanogr.* 11, 1503 – 1515.
15. Forristall, G.Z., 1981. Measurements of saturated range in ocean wave spectra. *J. Geophys. Res.* 86, 8075 – 8089.
16. Donelan, M.A., J. Hamilton and W.H. Hui, 1985. Directional spectra of wind generated waves. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* A315, 509 – 562.
17. Миронов А.С., Дулов В.А. Статистические характеристики событий и диссипация энергии при обрушении ветровых волн // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2008. – Вып. 16. – С. 97 – 115.
18. Babanin, A.V. & Soloviev, Y.P. Field investigation of transformation of the wind wave frequency spectrum with fetch and the stage of development // *J. Phys. Oceanogr.* – 1998. – 28. – P. 563 – 576.
19. Babanin, A.V. & Soloviev Y.P. Variability of directional spectra of wind-generated waves, studied by means of wave staff arrays // *Marine & Freshwater Res.* – 1998. – 49. – P. 89 – 101.