ОКЕАНОЛОГИЯ, 2022, том 62, № 1, с. 14–19

ФИЗИКА МОРЯ

УДК 551.46

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2022 г. Б. В. Дивинский[1], *, С. Б. Куклев[1]

[1]Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия

*e-mail: divin@ocean.ru

Поступила в редакцию 22.10.2020 г.
После доработки 16.02.2021 г.
Принята к публикации 18.08.2021 г.

В статье представлена информация о текущем эксперименте по исследованию параметров ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря. Три волномерных устройства входят в состав измерительной аппаратуры гидрофизического полигона РАН в районе г. Геленджика. Накопленные и получаемые в режиме реального времени интегральные характеристики ветрового волнения могут быть востребованы специалистами в области оперативной и спутниковой океанографии.

DOI: 10.31857/S003015742201004X

Прямые инструментальные наблюдения за параметрами ветрового волнения незаменимы при решении широкого круга задач прикладной океанографии, в число которых входят, к примеру, настройка математических волновых моделей, а также оперативный анализ взволнованной поверхности моря, основанный на спутниковой информации.

На Черном море до недавнего времени единственным комплексным экспериментом по исследованию ветрового волнения был проект NATO TU-WAVES, в рамках которого с 1996 по 2003 гг. функционировали несколько волновых буев Datawell Waverider: в российских водах – на траверзе г. Геленджика [5], в турецких – г. Синоп и г. Хопа [9]. Можно также отметить нерегулярные измерения параметров ветровых волн, выполненные со стационарных морских платформ с помощью струнных волнографов [6, 8].

В этих условиях развертывание специализированного гидрофизического полигона на базе Южного отделения Института океанологии РАН (Черноморский полигон ИО РАН “Геленджик”) стало, во многом, знаковым событием. Полигон был создан в 2011–2013 гг. [1] и продолжает успешно функционировать. Измерительную основу полигона составляют автоматизированные приборные комплексы, позволяющие осуществлять круглогодичный мониторинг состояния водной среды и морской биоты.

В рамках полигона параметры ветрового волнения регистрируются с помощью трех устройств (рис. 1):

- датчика гидростатического давления, установленного на конце пирса в Голубой бухте на глубине 6.5 м [3];
- донной станции RDI ADCP WH 600, размещенной на глубине 26 м;
- поверхностного буя Spoondrifter Spotter [7], заякоренного на глубине 76 м.

Наиболее современными по полноте и качеству получаемой информации являются два прибора: ADCP и Spotter. Оба устройства передают данные в режиме реального времени. ADCP подсоединен подводным оптоволоконным кабелем к береговому электропитанию и центру сбора данных на пирсе ЮО ИО РАН. Spotter, оснащенный солнечными батареями, использует сотовую связь. Состав получаемой информации определяется процедурами обработки частотных и двумерных спектров поверхностного волнения. С дискретностью в полчаса пользователь получает величины:

- значительных и средних высот волн;
- средних периодов и периодов пика спектра;
- средних направлений распространения и углового рассеивания.

В режиме регистрации параметров волнения ADCP функционирует с 2017 г. Буй Spotter установлен в июле 2020 г.

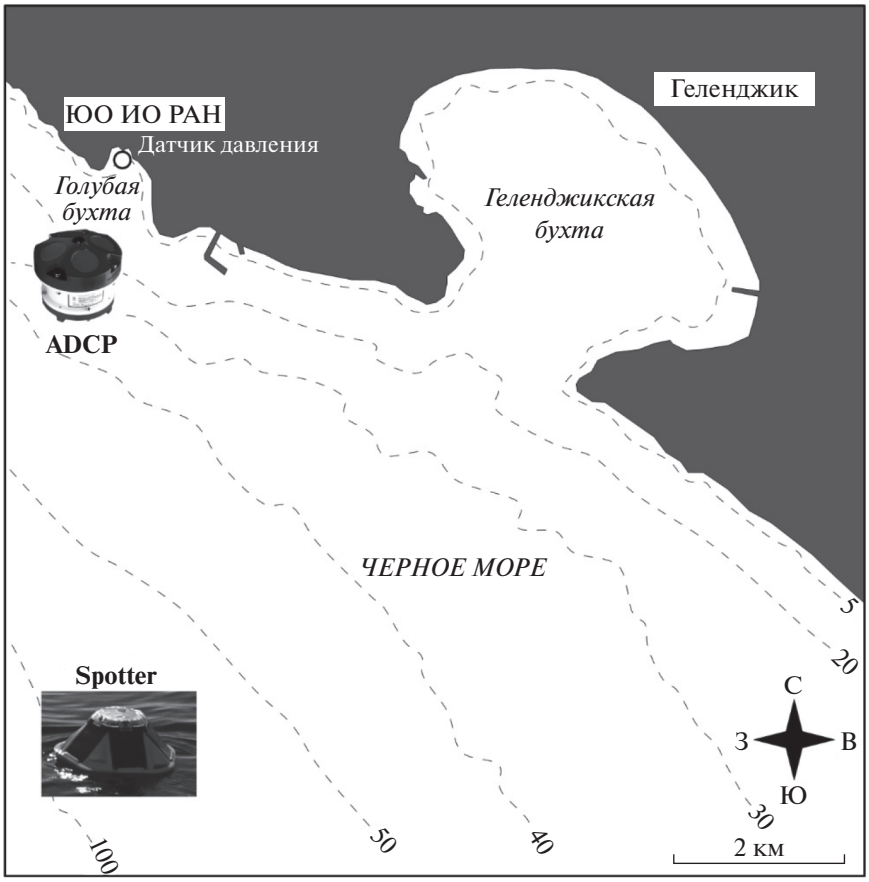

Рис. 1. Расположение волноизмерительных приборов в рамках гидрофизического полигона ИО РАН.

На рис. 2, 3 приведены примеры обработанных данных, полученных соответственно с ADCP и Spotter. Рис. 2а скорее иллюстративный и демонстрирует изменчивость значительных высот волн за отдельный 2019 г. На рис. 2б–2г приведены статистические характеристики распределений значительных высот волн и периодов пика спектра за весь период наблюдений с 2017 по 2020 гг. “Ящики с усами” на рис. 2б, отображают положения средних, минимальных и максимальных величин, а также 25 и 75% квартили распределений параметров волн. Естественно, трехлетний период наблюдений не позволяет обобщать материал в климатическом смысле, но основная ценность мониторинговых наблюдений как раз и состоит в непрерывности и продолжительности. Другими словами, ценность данных увеличивается с каждым годом.

Отличительной особенностью прибора Spotter является запись хронограмм трех компонент смещения буя с частотой 2.5 Гц, причем запись ведется непрерывно с момента начала регистрации (23 июля 2020 г. в нашем случае, рис. 3а). Это позволяет, при необходимости, реализовывать собственные алгоритмы обработки волновой информации. Основные параметры волнения, получаемые с буя Spotter, доступны по соответствующей ссылке, размещенной на главной странице Института океанологии (www.ocean.ru). Здесь представлена текущая (актуальная) информация по волнению (рис. 4а), также есть возможность просмотра архива накопленных данных (рис. 4б). Результаты измерений параметров поверхностного волнения, выполненные с помощью ADCP, активно используются для верификации спектральной волновой модели DHI MIKE SW [4], реализованной для всей акватории Черного моря. Полученные экспериментальные данные позволили корректно настроить модель в прибрежной зоне (рис. 5).

Как следует из рис. 5, в прибрежной зоне отлично воспроизводятся высоты волн, хуже – направления распространения (имеется в виду наш случай, т.е. для модели, охватывающей все море). Это связано, в первую очередь, с относительной грубостью представления батиметрических особенностей в шельфовой зоне. Модель, по сути, – компромисс между вычислительными возможно-

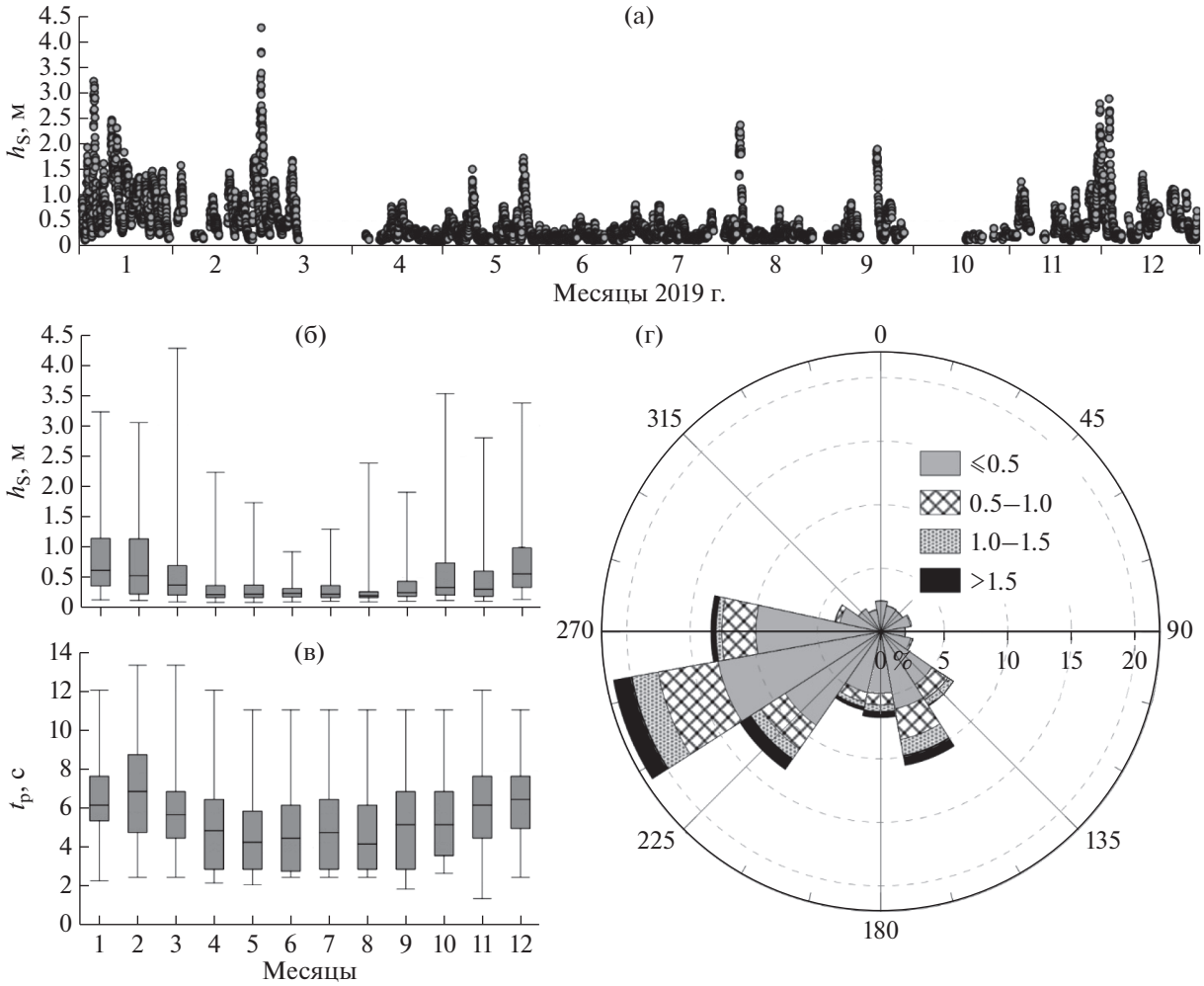

Рис. 2. Пример обработки волновых данных ADCP: а) временно́й ряд значительных высот волн за 2019 г.; б), в) статистические характеристики значительных высот волн (h_s) и периодов пика спектра (t_p) по месяцам; г) повторяемость волнения по направлениям.

стями, качеством исходных данных (поля ветра, донная топография) и ожидаемыми результатами. Кстати, возможным использованием результатов моделирования является заполнение пропусков в данных (рис. 2а, 3а), вызванных техническими моментами эксплуатации приборов. Естественно, в этом случае отдельного рассмотрения потребует вопрос о критичной длине пропусков, влияющей на общие статистические свойства ряда данных.

Подведем некоторые итоги.

1. В России прямые инструментальные наблюдения за параметрами ветрового волнения, попадающие в категорию продолжительных и непрерывных, выполняются только на Черноморском полигоне ИО РАН “Геленджик”. Можем, конечно, не умаляя важности, упомянуть 8-месячные экспериментальные исследования в Японском море, проведенные усилиями специалистов Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН [2], но они ограничены 2016-м годом.

2. Волноизмерительные установки ADCP и Spotter расположены в двух важных точках: зоне трансформации волнения и на мелководье.

3. С дискретностью в полчаса пользователю доступны основные интегральные характеристики волнения: значительные высоты волн, периоды пика спектра, генеральные направления волнения. Кроме этого, буем Spotter с дискретностью в 0.4 с производится непрерывная запись хронограмм трех компонент смещения буя (т.н. “сырые” данные). Заметим, что в планах развития полигона намечена установка морской метеостанции. Совместный анализ данных буя Spotter и характеристик приводного слоя атмосферы позволит

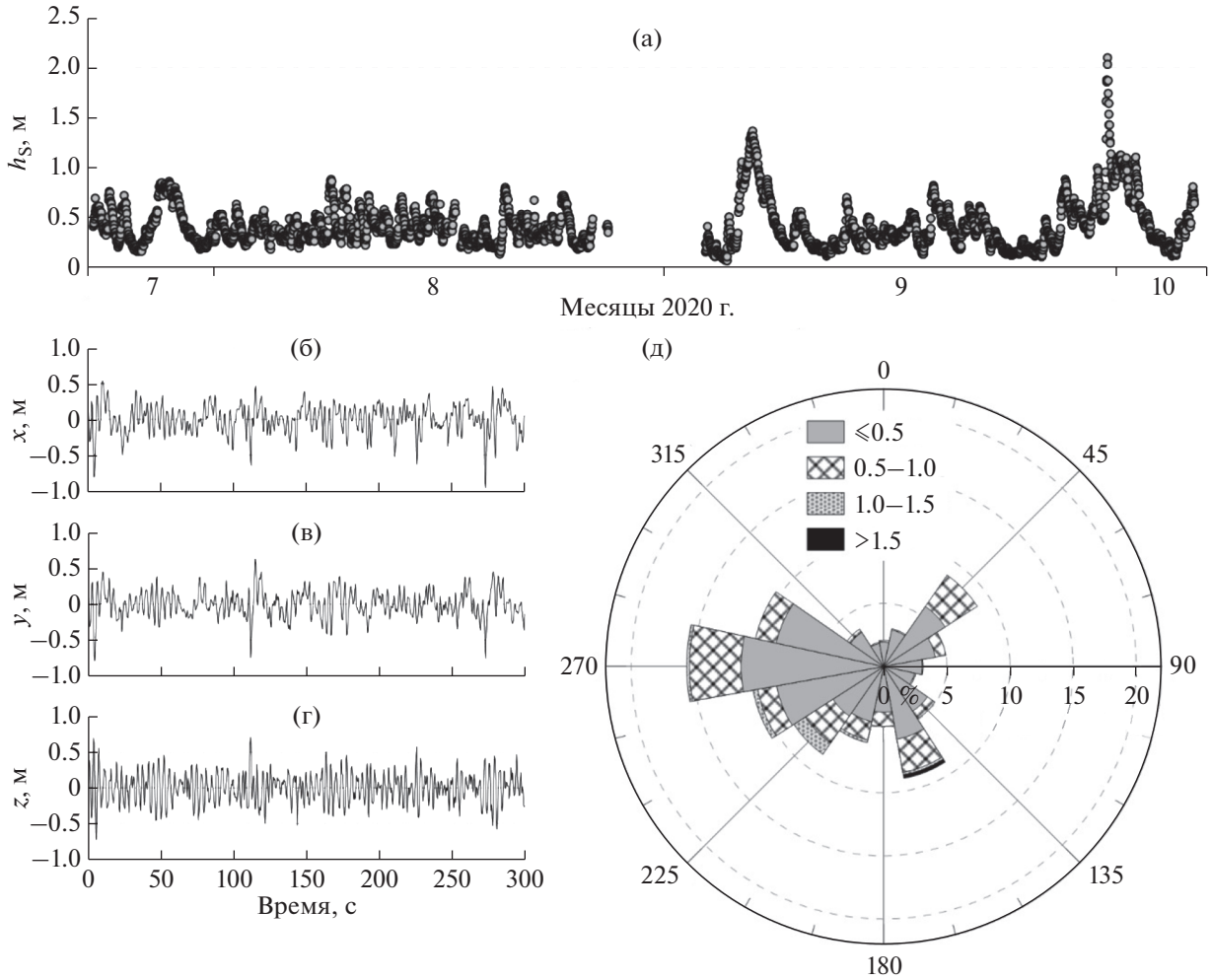

Рис. 3. Пример обработки волновых данных Spotter: а) временнóй ряд значительных высот волн за указанные месяцы 2020 г.; б), в), г) – хронограммы восточной, северной и вертикальной компонент смещения буя соответственно; д) повторяемость волнения по направлениям.

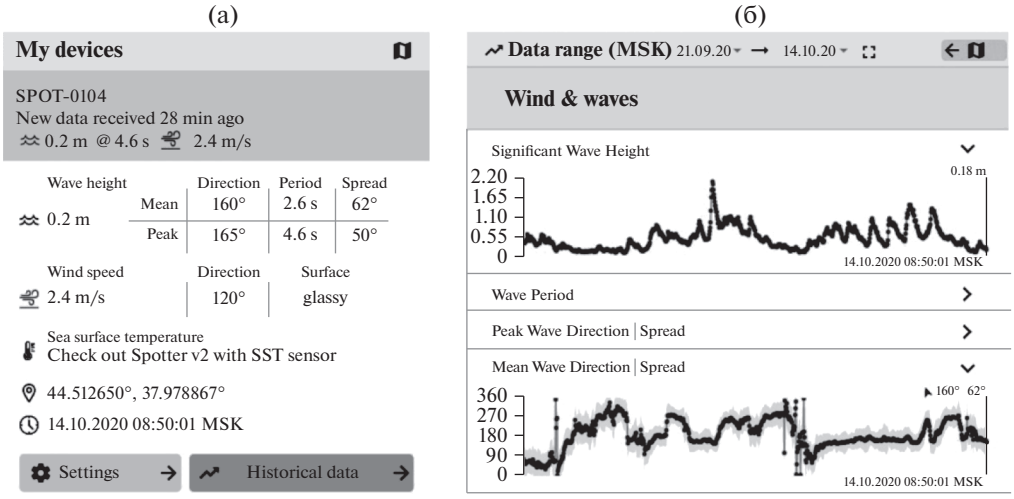

Рис. 4. Информация, получаемая в режиме реального времени с буя Spotter.

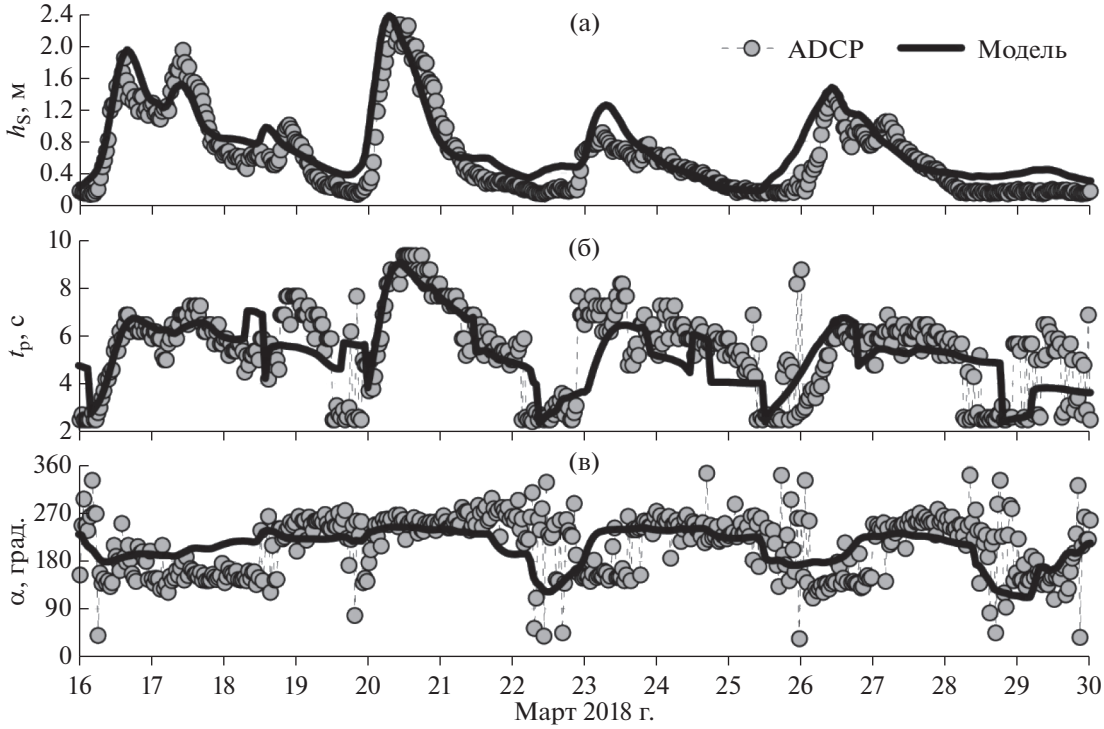

Рис. 5. Сопоставление данных моделирования с экспериментальными данными: а) значительные высоты волн, б) периоды пика спектра, в) направления распространения волн.

провести качественный анализ механизмов взаимодействия океана и атмосферы.

4. Полученные характеристики ветрового волнения могут быть востребованы в оперативной и спутниковой океанографии.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания 0128-2021-0013, а также при финансовой поддержке РНФ (проект 20-17-00060) и РФФИ (проекты 19-45-230002, 20-05-00009, 19-05-00041).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зацепин А.Г., Баранов В.И., Горбацкий В.В. и др.* Черноморский полигон ИО РАН и перспектива его использования для решения задач прибрежной оперативной океанографии // Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере МСП-2018. 2018. ISBN 978-5-9901449-4-1. С. 139–142.
2. *Лобанов В.Б., Лазарюк А.Ю., Пономарев В.И.* и др. Результаты гидрометеорологических измерений комплексом приборов буя WaveScan на юго-западном шельфе залива Петра Великого в 2016 г. // Океанологические исследования. 2020. Т. 48. № 3. https://doi.org/10.29006/1564–2291.JOR–2020.48(3).00
3. *Очередник В.В., Мысленков С.А.* Измерение и моделирование волнения в Голубой бухте (Геленджик) // Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции (МСОИ-2017). 2017. Т. 1. С. 39–43.
4. *Divinsky B., Kosyan R.* Parameters of wind seas and swell in the Black Sea based on numerical modeling // Oceanologia. 2018. V. 60. P. 277–287. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.11.006
5. *Kos'yan R.D., Divinsky B.V., Pushkarev O.V.* Measurements of parameters of wave processes in the open sea near Gelendzhik // The Eight Workshop of NATO TU-WAVES/Black Sea, METU, Ankara, Turkey. 1998. P. 5–6.
6. *Polonsky A.B., Fomin V.V., Garmashov A.V.* Characteristics of wind waves of the Black Sea // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2011. № 8. P. 108–112. ISSN 1025-6415.
7. *Saprykina Y., Kuznetsov S., Divinsky B.* Real time history of wave parameters in Black Sea based on wave buoy measurements. 2020. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12765407.v1
8. *Trusca C.V.* Reliability of SWAN model simulations for the Black Sea Romanian coast // Proc. of the 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM '05) Maritime transportation and exploitation of ocean and coastal resources. Guedes Soares, Garbatov & Fonseca (Eds). Taylor & Francis Group, London, 2005. P. 1159–1165. ISBN 0 415 39036 2.
9. Wave Climatology of the Turkish Coast: NATO TU-WAVES Project. http://www.medcoast.net/modul/index/menu/NATO-TU-WAVES/91#:~:text=A%2comprehensive%20project%2C%20called%20the,Programme%20(Phase%20III%20)%20of%20NATO.

The Experiment of Wind Waves Parameters Research in the Black Sea Shelf

B. V. Divinsky[a, #], S. B. Kuklev[a]

[a] *The Southern Branch of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, Russia*
[#] *e-mail: divin@ocean.ru*

The article presents information on the current experiment of the Black Sea coastal zone wind waves parameters research. Two wave-meter devices are the part of the measuring equipment of the Black Sea testing site "Gelendzhik" of the IO RAS. The wind waves integral characteristics accumulated and obtained in real time may be in demand by experts in operational and satellite oceanography.