ОКЕАНОЛОГИЯ, 2021, том 61, № 3, с. 350–352

ФИЗИКА МОРЯ

УДК 551.465.7

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ СУДОВОЙ НАВИГАЦИИ

© 2021 г. Д. В. Ивонин[1], А. В. Гавриков[1], В. Д. Шармар[1], Л. И. Салаватова[1], Н. Д. Тилинина[1, *], С. К. Гулев[1]

[1]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

**e-mail: tilinina@sail.msk.ru*

Поступила в редакцию 17.09.2020 г.
После доработки 12.10.2020 г.
Принята к публикации 19.11.2020 г.

В статье описаны экспедиционные работы в 50-м рейсе НИС “Академик Сергей Вавилов” по мониторингу поверхности моря с использованием судового навигационного радиолокатора. Рассматриваются пространственная схема исследований, разработка методологии оцифровки и анализа данных судового навигационного радиолокатора JRC JMA-9110-6XA X-диапазона для восстановления характеристик волн в открытом океане. Приводятся результаты сравнения характеристик волн, полученных по данным радиолокатора и синхронно измеренных волномерным буем “Spoondrift Spotter”. Продемонстрирована возможность массового использования судовых навигационных радиолокаторов для восстановления характеристик волн в открытом океане.

Ключевые слова: Северная Атлантика, судовой навигационный радар, ветровые волны

DOI: 10.31857/S0030157421030059

Северная Атлантика является регионом, в котором, помимо активного судоходства, происходят интенсивные процессы взаимодействия океана и атмосферы. Такие процессы, как теплообмен между океаном и атмосферой, ветровое взаимодействие океана и атмосферы, обмен аэрозолями, радиационные потоки и др., возможно качественно и количественно оценивать, имея современные методологии мониторинга состояния поверхности океана. В то время как разработка приборной и программной составляющих для мониторинга состояния поверхности океана активно ведется по всему миру, зачастую такие характеристики поверхности океана, как ветровые волны, течения, скорость ветра, поверхностные загрязнения и др., можно оценивать, используя имеющиеся средства судовой навигации, а именно судовой навигационный радар. В этой статье мы приводим пример использования судового навигационного радара X-диапазона для мониторинга ветровых волн в Северной Атлантике. В августе–сентябре 2020 г. в рамках работ Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на североатлантическом полигоне был проведен 50-й рейс НИС “Академик Сергей Вавилов”. В этой экспедиции впервые была выполнена методическая работа по изучению возможностей дистанционного измерения параметров волн в открытом океане с использованием оцифрованных данных судового навигационного радара одновременно с буем-волнографом “Spoondrift Spotter” (https://www.sofarocean.com/products/spotter). На рис. 1 приведена карта-схема маршрута экспедиции с разметкой, соответствующей точкам, в которых проводились радиолокационные измерения (треугольники) и радиолокационные наблюдения, дополненные волновыми наблюдениями (оранжевые точки).

Для радиолокационных (РЛ) наблюдений волнения использовался штатный радар X-диапазона (длина радиоволны 3 см, частота излучения 9 ГГц) JRC JMA-9110-6XA с мощностью излучения в импульсе 10 кВт, антенной 6 футов и частотой оборота антенны 27 об/мин. Для мониторинга поверхности океана использовался режим дальности 3 nm с длиной импульса 0.08 мкс (импульс SP1 – short pulse, эквивалентно разрешению по дальности 12 м). Данные радара оцифровывались радарным процессором IceVision (https://ice.vision/), который через сплиттер подключался к радару, не влияя на работу судового оборудования. На процессор IceVision также подавались данные судового гирокомпаса, судового GPS и лага. В результате на выходе процессора записывалось так называемое “азимутально стабилизированное” радиолокационное изображение, из

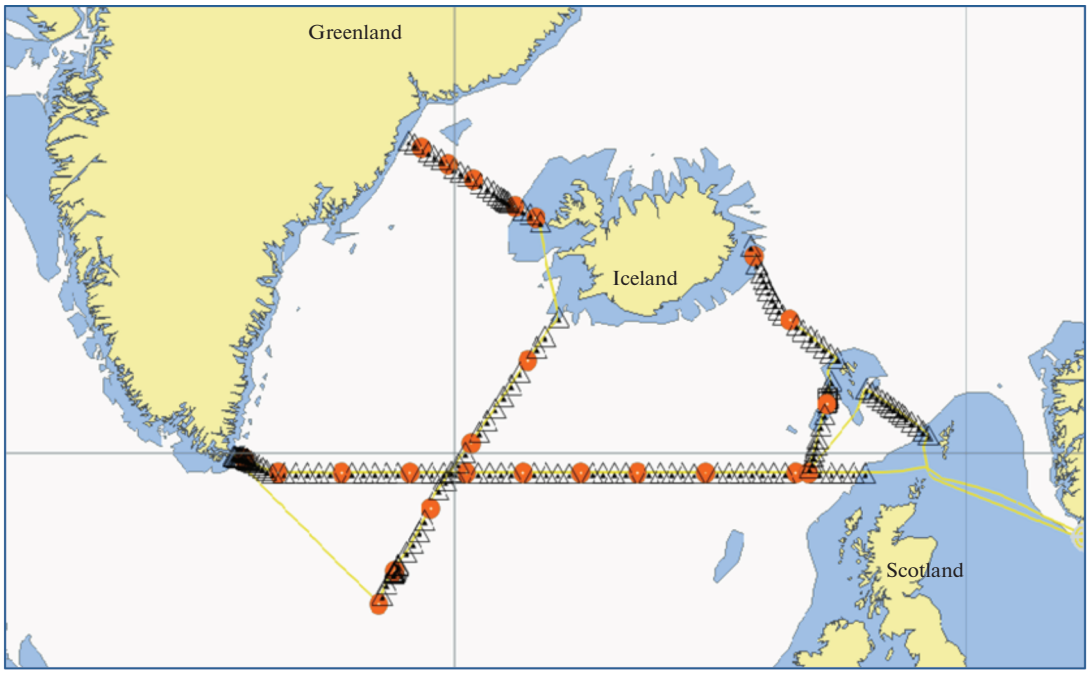

Рис. 1. Карта-схема станций, на которых выполнялись радиолокационные наблюдения за состоянием морской поверхности (треугольники), дополненные измерениями волномерным буем (оранжевые точки).

которого с помощью гирокомпаса убирались изменения курса НИС и получалось стабилизированное по направлению (привязанное на север) РЛ-изображение каждого оборота антенны.

Радарный сигнал оцифровывался с частотой 80 МГц (что эквивалентно пространственному разрешению 1.875 м), разрешением 8 бит и количеством отсчетов 4096 по дальности, а также с количеством 4096 линеек на оборот антенны. Каждый оборот сохранялся в виде отдельного файла размером около 16 МБ, в котором также в заголовке содержится текущая информация судовых гирокомпаса, GPS и лага. В этих данных содержится информация об отражающей способности морской поверхности, что можно сконвертировать в высоту поверхности. Наблюдения проводились на всех гидрологических станциях в светлое время суток (с 8:00 до 21:00 UTC), а также на некоторых переходах между станциями (рис. 1).

На рис. 2а для одной из станций в центральной части Северной Атлантики (22 августа 2020 г., 15:38 UTC, 55°48.0′ с.ш., 34°28.4′ з.д.) показан пример РЛ-изображения поверхности моря. В этот момент наблюдалось смешанное волнение с ветром и ветровой волной с направления 140° и зыбью с длиной волны около 220 м с направления 45°. Видно, что РЛ-сигнал отчетливо модулируется зыбью и ветровой волной. На рисунке показана ориентация НИС в момент получения РЛ-изображения. НИС лежит в дрейфе (дрейфует со скоростью около 1 м/с), расположен лагом к ветру и под углом к набегающей зыби. Буй находится с наветренной стороны, т.е. с правого борта НИС, на расстоянии около 150 м от НИС, соединен с НИС системой пропиленового плавучего троса, поплавка и грузов; буй дрейфует вместе с НИС.

Для получения информации о волнении использовалась оцифрованная информация из области обработки в виде квадрата со стороной 720 м, состоящая из 384 точек с дискретностью 1.875 м по каждому направлению. Область обработки располагалась в направлении наиболее сильной волны и на удалении 300 м от НИС, чтобы избежать эффектов засветки в ближней зоне от радара. Таким образом, центр квадрата располагался на расстоянии 660 м от НИС. В этой области за 30 мин накапливалось около 810 последовательных изображений (оборотов антенны), для которых далее в трехмерной спектральной области, образованной двумя пространственными координатами и одной временной, применялся метод разделения сигнала, модулированного крупной волной (имеется в виду волна длиной от метра), от спекл-шума, вызванного интерференцией мелких гравитационно-каппилярной волн с длиной около 1.5 см [2]. Метод фильтрации сигнала, модулированного крупной волной, основывается на использовании дисперсионного соотношения для поверхностных гравитационных волн. Основные положения метода изложены в работах [1, 3, 4] и других, ссылки на которые приводятся в работе [1].

На рис. 2б для станции № 2833 приведено сравнение радарных и буйковых данных для

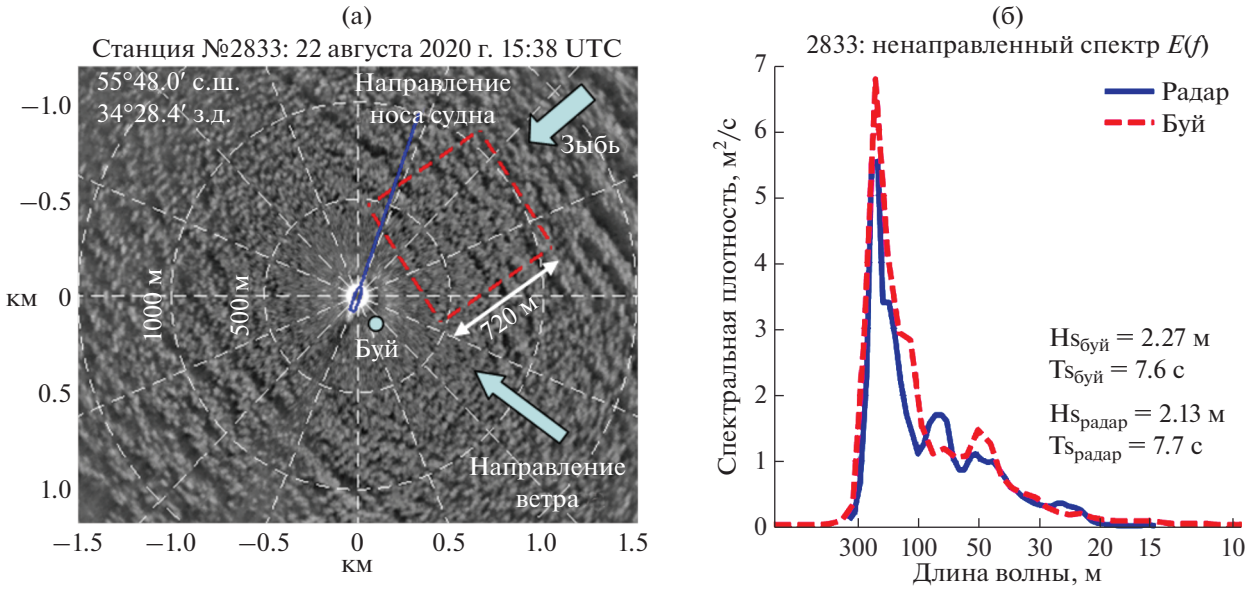

Рис. 2. (а) – Фрагмент радиолокационного (РЛ) изображения на станции № 2833, север находится сверху, контуром в центре и линией показаны текущая ориентация судна, квадратом обозначена область обработки РЛ-сигнала. (б) – Сравнение частотного ненаправленного спектра $E(f)$ по данным радара и буя для станции № 2833.

спектра волнения (приведен частотный ненаправленный спектр). Радарные и буйковые данные с высокой точностью согласованы для этого случая. Совпадают как интегральные характеристики волнения (значимая высота волн и период энергонесущих волн), так и сама форма спектра.

Таким образом, мы показали, что имеющиеся навигационные средства (навигационные радиолокаторы), которыми оснащены все суда, могут быть применены не только для навигационных целей, но и для мониторинга состояния поверхности океана.

Источник финансирования. Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 05.604.21.0210, уникальный идентификатор RFMEFI60419X0210).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивонин Д.В., Телегин В.А., Чернышов П.В. и др.* Возможности радиолокационных навигационных систем X-диапазона для мониторинга прибрежного ветрового волнения // Океанология. 2016. Т. 56. № 4. С. 647–658.
2. *Kanevsky M.B.* Radar imaging of the ocean waves. Oxford: Elsevier, 2008. 207 p.
3. *Nieto Borge J.C., Guedes C.* Analysis of Directional Wave Fields Using X-Band Navigation Radar // Coastal Engineering. 2000. V. 40. P. 375–391.
4. *Young I., Rosenthal W., Ziemer F.* A three–dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. № C1. P. 1049–1059.

Sea Surface Monitoring in the North Atlantic Using Ship Navigational Facilities

D. V. Ivonin[a], A. V. Gavrikov[a], V. D. Sharmar[a], L. I. Salavatova[a], N. D. Tilinina[a, #], S. K. Gulev[a]

[a]*Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: tilinina@sail.msk.ru*

This article describes expeditionary work on the 50 m cruise of the R/V “Akademik Sergei Vavilov” to monitor the sea surface using a shipborne navigation radar. The spatial scheme of research, the development of a methodology for digitizing and analyzing data from the ship navigation radar JRC JMA-9110-6XA X-band for reconstructing the characteristics of waves in the open ocean, the results of comparing the characteristics of waves obtained from the radar data and synchronously measured by the wave buoy “Spoondrift Spotter” are described. The possibility of mass use of ship navigation radars for reconstructing wave characteristics in the open ocean has been demonstrated.

Keywords: North Atlantic, ship navigational radar, wind waves