

УДК 551.581

ИСТОРИЧЕСКИЙ АРХИВ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2017 г. В. Г. Григорьева, С. К. Гулев, А. В. Гавриков

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

e-mail: vika@sail.msk.ru, gul@saik.msk.ru, gavr@saik.msk.ru

Поступила в редакцию 19.09.2016 г.

После доработки 05.10.2016 г.

Создан глобальный исторический архив характеристик ветрового волнения по данным попутных судовых наблюдений за 1888–2015 гг. (<http://www.sail.msk.ru/wow>). Архив содержит как традиционные визуальные оценки высот, периодов и направлений распространения ветровых волн и волн зыби, так и сопутствующие метеорологические характеристики, а также дополнительно рассчитанные значимые высоты волн, доминантные периоды, длину, крутизну и возраст волны. Данные представлены как в виде индивидуальных записей наблюдений для каждого месяца, так и в виде матриц среднемесячных полей всех характеристик волнения. Архив содержит только достоверные параметры ветрового волнения, прошедшие многоступенчатый контроль качества; просто организован и легко доступен любому пользователю. Данные попутных судовых наблюдений, собранные в единый исторический архив, могут служить для создания глобальных и региональных климатологий, оценок экстремальных волновых характеристик и долгопериодных тенденций волнового климата, верификации спутниковых измерений и модельных расчетов, а также для тестирования теоретических законов развития и распространения волн в океане.

DOI: 10.7868/S003015741702006X

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования ветрового волнения как с точки зрения развития и тестирования теоретических законов, так и в области практического анализа волнового режима основаны на различных источниках информации: численном моделировании с использованием современных моделей ветрового волнения и граничных условий из реанализов [5], измерениях метеорологических буев [6, 11], данных спутниковой альтиметрии [1, 3, 13] и натурных экспериментов. Однако именно данные попутных судовых наблюдений [12] на сегодняшний день являются самыми продолжительными во времени (1870 г.—настоящее время), охватывают весь Мировой океан и, что наиболее важно, обеспечивают независимые оценки ветровых волн и волн зыби.

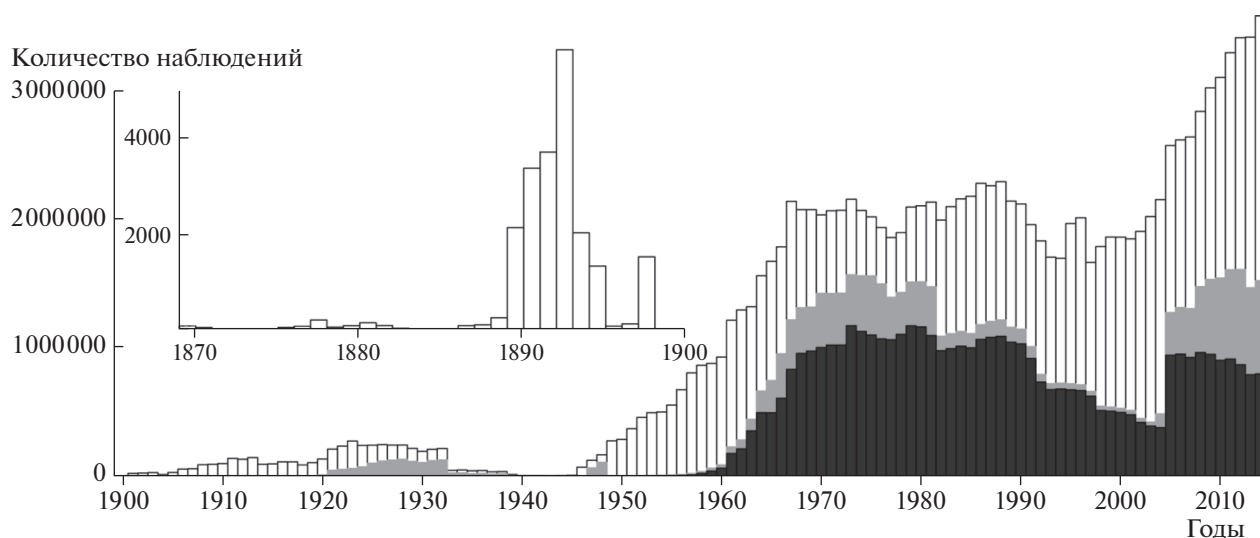
Все визуальные наблюдения (Voluntary Observing Ship, далее VOS) над волнами ассимилированы в архиве ICOADS (<http://icoads.noaa.gov/>), постоянно пополняющемся как новыми данными о волнении, так и историческими записями судовых журналов [12]. Помимо параметров ветрового волнения, архив ICOADS содержит информацию о более чем ста характеристиках приводного слоя атмосферы и поверхности океана. При формировании архива ICOADS используются только базовые критерии контроля качества данных, основанные на присвоении флагов качества тем или иным измерениям. Поэтому на сегодняшний день в ICOADS можно обнаружить ошибочные данные в датах и координатах записей, неправдоподобные высоты волн (например, 33.5 м и выше), отрицательные значения периодов волн, а также сомнительные значения сопутствующих метеорологических параметров (например, скорость ветра 20 м/с при нулевой высоте волны).

Главная задача нашей работы состояла в создании специализированного архива данных, сосредоточенного на параметрах ветрового волнения, прошедших строгий контроль качества, и охватывающего весь период наблюдений. Новый архив является уникальной коллекцией данных, предоставляет пользователям непрерывные ряды наблюдений над характеристиками ветровых волн в Мировом океане и может быть использован без дополнительного контроля для любых научных и практических целей.

СТАТИСТИКА ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ВЕТРОВОМ ВОЛНЕНИИ

СТАТИСТИКА ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ О ВЕТРОВОМ ВОЛНЕНИИ

Говоря о визуальных данных о волнении, в первую очередь отметим, что наблюдательная практика никогда не менялась с 1853 г., в отличие



Временное распределение количества наблюдений над волнением в архиве ICOADS за 1870–2015 гг. Белым цветом показаны записи, содержащие высоту ветровой волны; серым цветом – записи, содержащие высоты ветровых волн и волн зыби; черным цветом обозначены записи, в которых присутствуют все волновые параметры.

от системы кодирования информации. Самые важные перемены произошли в середине XX столетия. До 1950 г. штурманский состав включал в телеграммы максимальную из высот двух компонентов волнения: ветровых волн и волн зыби, а используемые системы кодирования ограничивали предельную высоту 16-ю метрами. С 1950 г. параметры ветровых волн и волн зыби оцениваются наблюдателями отдельно, а возможный максимум высот был увеличен до 25 м. Этот эффект был частично учтен в оценках долговременных трендов в высотах ветровых волн [7]. С 2006 г. все ограничения на высоты волн в коллекции VOS сняты. Точности кодирования индивидуальных визуальных наблюдений составляют: 0.5 м для высот волн, 1 с для периодов и 10° для направлений.

Данные о ветровом волнении в архиве ICOADS появляются в конце XIX столетия (с 1870 г.) и носят крайне нерегулярный характер, так что непрерывные ряды наблюдений можно формировать с 1888 г., преимущественно вдоль основных морских трасс судов. Резкое увеличение количества визуальных наблюдений происходит с середины XX столетия, когда плотность данных позволяет воспроизводить достоверные поля основных характеристик ветрового волнения в глобальном масштабе, с последующим использованием получаемой информации для нужд потребителя. Именно этот период был использован для построения региональных [9] и глобальных [8] климатологий ветрового волнения. На рисунке приведено временное распределение количества наблюдений за весь период с 1870 до 2015 гг. Следует отметить, что высота ветровых волн – наиболее часто наблюдаемый параметр по отношению к

остальным характеристикам ветрового волнения (от 30 до 80% от общего количества записей). При этом меньше всего наблюдений за периодами зыби (от 10 до 40%), которые ограничивают общее число записей, содержащих все волновые характеристики (рисунок, черный цвет), и, соответственно, сокращают объем информации, использовавшейся ранее для построения климатологии ветрового волнения [8]. Некоторое уменьшение общего количества наблюдений отмечается в период с начала 1990-х до середины 2000-х годов, что также типично для многих других параметров и связано с увеличением роли спутниковых наблюдений.

Учитывая различия в специфике визуальных наблюдений до и после 1950 г., а также существенные различия в количестве данных для каждого параметра, было принято решение создать новый архив характеристик ветрового волнения в виде трех сегментов:

Столетний (1888+) – содержит только значимую высоту волны, определяемую как максимум из двух наблюдаемых компонентов (ветровых волн и волн зыби) [8, 9], доминантный период, направление распространения, длину, крутизну и возраст волны.

Междекадный-1 (1950+) – сегмент, содержащий только параметры ветровых волн, такие как высоту, период, направление распространения, длину, крутизну, возраст волны.

Междекадный-2 (1970+) – сегмент, включающий все доступные параметры ветрового волнения: ветровые волны и волны зыби отдельно (высоты, периоды, направления, крутизну, длину, возраст волны), значимые высоты волн, рас-

считанные 3 способами [2, 8], доминантные периоды, крутизны, длины волн.

Дополнительные параметры всех сегментов архива включают дату и координаты точки наблюдения, направление и скорость ветра, давление на уровне моря, тип, скорость и курс судна, температуру поверхности океана и температуру воздуха.

ОБРАБОТКА, КОНТРОЛЬ И ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ АРХИВА

При больших объемах информации, содержащейся в архиве ICOADS, неизбежны ошибки в характеристиках волнения, обусловленные самыми различными причинами: от неверно записанных и непрофессионально наблюденных натуральных данных до ошибок при оцифровке старых судовых журналов. Часть из них поддается корректировке и исправлению, а некоторые записи подлежат удалению.

Начальному этапу работы предшествовало построение реальных распределений исследуемых параметров в заданных дискретных единицах измерений — в секундах для периодов, в полуметрах для высот волн и т.д. для объективной оценки всех присутствующих в ICOADS значений. Основной акцент при оценке качества данных делался на использование комбинированных критериев контроля, включающих несколько взаимовлияющих параметров для более эффективной проверки.

На первом этапе контроля были скорректированы ошибки, связанные с неправильными датами и координатами, удалены телеграммы с несоответствиями в параметрах волнения (например, нулевые высоты при ненулевых периодах и наоборот). Далее мы исключили все записи, высоты волн в которых превышают 25 м, скорректировали малые высоты волн, проверили правильность разделения ветровых волн и волн зыби и детально исследовали случаи нулевых высот волн, анализируя, является ли данная ситуация штилем или ошибочно записанным отсутствием наблюдений. В заключение был проведен контроль по крутизне и возрасту волны (комбинированные критерии). После всех этапов у нас осталось не более 30% от записей, первоначально содержащихся в архиве ICOADS. Все стадии контроля данных детально описаны в работах [2, 4, 8].

АРХИВ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Архив характеристик ветрового волнения покрывает Мировой океан от 80° с.ш. до 80° ю.ш. и находится в открытом доступе по адресу <http://www.sail.msk.ru/wow>. Массив разделен на 3 сегмента, каждый из которых включает индиви-

дуальные записи наблюдений за каждый месяц, а также среднемесячные поля всех волновых характеристик для данного сегмента, рассчитанные для двухградусных квадратов и представленные в виде матриц 80 × 180 с начальными координатами 79° с.ш. и 1° в.д. Дополнительно представлены карты распределений количества наблюдений по двухградусным квадратам за каждый месяц и среднемесячные поля скорости ветра. Осреднение с разрешением 2° является оптимальным для визуальных наблюдений в силу их пространственной неоднородности [10]; индивидуальные записи, сгруппированные по месяцам, предоставляют возможность пользователю максимально оперативно получить информацию за интересующий период наблюдений без скачивания всего архива целиком.

Архив содержит только достоверные характеристики ветрового волнения, прошедшие многоступенчатый контроль качества, что делает его уникальным среди подобных коллекций, поскольку позволяет использовать данные без дополнительных проверок и объединяет все существующие на сегодняшний день записи судовых наблюдений за более чем столетний период. Данные попутных судовых наблюдений, собранные в единый информационный архив, могут служить основой для решения самых разнообразных задач в океанологии, физике моря и в обеспечении безопасности морской деятельности человека. На их основе созданы и развиваются глобальные и региональные климатологии ветрового волнения, получены оценки экстремальных волновых характеристик и долгопериодных тенденций волнового климата. Относительно равномерная пространственно-временная плотность визуальных наблюдений в последние десятилетия делает их незаменимыми для верификации и сравнения со спутниковыми измерениями, для оценки точности работы математических моделей океана, а также для тестирования теоретических законов развития и распространения волн в океане. Следует особо отметить предусмотренную авторами возможность оперативного расширения и дополнения существующего архива по мере поступления новой информации о ветровом волнении.

Подготовка и обработка экспериментальных данных осуществлена в рамках проекта РФФИ (грант № 14-05-00479). Проведение вычислительной части исследований, а также анализ результатов выполнены за счет гранта РНФ (проект № 14-50-00095).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриков А.В., Криницкий М.А., Григорьева В.Г. Модификация базы данных спутниковой альтиметрии GlobWave для решения задач диагностики по-

- ля морского волнения // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 2. С. 322–327.
2. Григорьева В.Г. Глобальный анализ ветрового волнения по данным попутных судовых наблюдений. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук 25.00.28, Москва, 2006. 181 с.
 3. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А. и др. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с. табл., ил, цв. Ил. ISBN 978-5-9903101-1-7.
 4. Badulin S.I., Grigorieva V.G. On discriminating swell and wind-driven seas in Voluntary Observing Ship data // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. № C00J29. P. 1–13, doi 10.1029/2012JC007937
 5. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 2011. V. 137. P. 553–597, doi 10.1002/qj.828
 6. Gilhousen D. Improvement in National Buoy Center measurements, in *Achievements in Marine Climatology* / Ed. Swail V. Toronto: Environ. Can., 1999. P. 79–89.
 7. Gulev S.K., Grigorieva V. Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V. 31. L24302. doi 10.1029/2004GL021040
 8. Gulev S.K., Grigorieva V., Sterl A., Woolf D. Assessment of the reliability of wave observations from voluntary observing ships: Insights from the validation of a global wind wave climatology based on voluntary observing ship data // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108. № C7. P. 3236–3257, doi 10.1029/2002JC001437
 9. Gulev S.K., Hasse L. North Atlantic wind waves and wind stress fields from voluntary observing data // *J. Phys. Oceanogr.* 1998. V. 28. № 6. P. 1107–1130.
 10. Gulev S.K., Jung T., Ruprecht E. Estimation of the impact of sampling errors in the VOS observations on air-sea fluxes. Part I. Uncertainties in climate means // *J. Climate.* 2007. V. 20. P. 279–301, doi 10.1175/JCLI4010.1
 11. Wilkerson J.C., Earle M.D. A study of differences between environmental reports by ships in the voluntary observing program and measurements from NOAA buoys // *J. Geophys. Res.* 1990. V. 95. № C3. P. 3373–3385.
 12. Woodruff S.D., Worley S.J., Lubker S.J. et al. ICOADS Release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive // *Int. J. Climatol.* 2011. V. 31. № 7. P. 951–967, doi 10.1002/joc.2103
 13. Zieger S., Vinoth J., Young I.R. Joint calibration of multiplatform altimeter measurements of wind speed and wave height over the past 20 years // *J. Atmospheric and Oceanic Technology.* 2009. V. 26. P. 2549–2564, doi 10.1175/2009JTECHA1303.1

Global Historical Archive of Wind Waves based on Voluntary Observing Ship Data

V. G. Grigorieva, S. K. Gulev, A. V. Gavrikov

New global archive of wind wave characteristics has been developed based on Voluntary Observing Ship (VOS) data for the period 1888–2015. Beside the basic meteorological variables we derived the records of visually observed heights, periods and wind sea and swell directions. The main parameters have been supplemented by significant wave height and dominant period estimates as well as wave geometry characteristics: steepness, wave age and wave length. Multistage quality control has been applied in order to correct or eliminate spurious values. Data are presented as individual records for every month and as original monthly means fields for every parameter. Easy access and easy use along with representative data make the new archive really special and applicable in different ways without any additional preprocessing procedures. Visual wave observations assimilated in the new archive can be used for the development of global and regional climatologies, estimates of extreme wave characteristics and long period tendencies in wave climate, verification and comparison with satellite measurements and model analysis as well as for testing the theoretical laws of the development and propagation of ocean waves.