УДК 551.465

С.А. Мысленков¹, П.А. Голубкин², Е.В. Заболотских³

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНЕНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЗИМНЕГО ЦИКЛОНА

Изучен циклон, проходивший через Баренцево море 10–13 февраля 2015 г. Скорость ветра в циклоне по спутниковым данным достигала 30 м/с, а высота значительных волн превышала 12 м. На основе данных о ветре из реанализа NCEP/CFSR и волновой модели SWAN выполнены расчеты высоты ветровых волн, генерируемых ветром при прохождении циклона. По данным со спутникового микроволнового радиометра AMSR2 проведена оценка качества скорости ветра реанализа. Данные, полученные спутниковым альтиметром AltiKa, использованы для оценки качества моделирования высоты значительных волн. В целом ветровое волнение воспроизводится хорошо, ошибки не превышают 1 м, а корреляция – около 0,9. Скорость ветра в реанализе занижена в среднем на 0,63 м/с.

Ключевые слова: Баренцево море, ветровое волнение, моделирование волнения, SWAN, CFSR, AMSR2, ASCAT, AltiKa.

Введение. Интерес к изучению циклонов в Арктике вызван активным хозяйственным освоением Арктики. Для оценки рисков при ведении морской и прибрежной хозяйственной деятельности, связанных с сильными ветрами и высокими волнами, необходимо с высокой точностью знать пространственно-временное распределение гидрометеорологических условий, иметь достоверные ряды данных для статического анализа. Для судоходства, работы нефтедобывающих платформ и портов также очень важно знать ветро-волновой режим и иметь краткосрочный прогноз высокого качества. Интерес представляют также задачи с прогнозом климатических изменений в Арктике в XXI в.

При прохождении циклонов в Баренцевом море скорость ветра может превышать 30 м/с [Гидрометеорология..., 1991; Chen, von Storch, 2013]. Как показано в работе [Суркова и др., 2015], на акватории Баренцева моря величина средних годовых суточных экстремумов скорости ветра составляет 15-20 м/с, тенденции к росту этого показателя нет, однако присутствует высокая декадная изменчивость. В морском регистре [Справочные..., 2003] содержатся сведения о том, что скорость ветра более 30 м/с и высота волн (3%-ной обеспеченности) более 10 м возможны каждый год и наиболее часто возникают с ноября по февраль. Периоды, в течение которых скорость ветра не превышает 15 м/с, в зимние месяцы в среднем составляют 3-6 дней, т.е. значительную часть года над акваториями Арктики господствует штормовая погода, в связи с чем чрезвычайно важно развивать методы точного анализа и прогноза ветрового режима и волнения.

Основной источник данных о ветре на акватории арктических морей – данные численных моделей атмосферы [Дианский и др., 2014; Дымов и др., 2004; Зеленько и др., 2014; Reistad et al., 2011], так как метеорологические станции расположены на берегу и в этом регионе их мало. Расчет параметров ветрового волнения осуществляется при помощи волновых моделей, а в качестве вынуждающей силы (форсинга) используются поля ветра из вышеупомянутых моделей атмосферы. Однако скорость ветра более 30 м/с и соответствующая им высота волн находятся в «хвосте» распределения и являются, скорее, экстремальными событиями для глобальных моделей [Kislov, Matveeva, 2016]. Как правило, ошибки численных моделей возрастают именно для высоких значений скорости ветра [Торопов, 2005]. Соответственно, необходимо рассматривать качество воспроизведения полей ветра и волнения отдельно для сильных циклонов, так как ошибки чаще всего существенно возрастают.

Мы ставили задачу оценить качество расчета параметров волнения при прохождении циклонов. В статье представлены результаты моделирования волнения в Баренцевом море с помощью спектральной волновой модели SWAN при прохождении интенсивного зимнего циклона. В качестве ветрового форсинга использован реанализ NCEP/CFSR. Для оценки качества данных о ветре реанализа и рассчитанной высоты волн использованы спутниковые данные радиометра AMSR2 и альтиметра AltiKa соответственно.

Материалы и методы исследований. Для моделирования волнения использована спектральная волновая модель третьего поколения SWAN, позволяющая рассчитывать параметры ветровых волн при заданном поле ветра и рельефе дна, подробное описание модели приведено в [SWAN..., 2007]. Эта реализация модели уже использовалась для моделирования волнения в Баренцевом море и Атланти-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; *e-mail*: stasocean@gmail.com

² Российский государственный гидрометеорологический университет, лаборатория спутниковой океанографии, мл. науч. с.; *e-mail*: pgolubkin@rshu.ru

³ Российский государственный гидрометеорологический университет, лаборатория спутниковой океанографии, вед. науч. с., канд. физ.-мат. н.; *e-mail*: liza@rshu.ru

ческом океане; показано, что результаты моделирования хорошо согласуются с данными наблюдений [Gusdal, 2009; Reistad et al., 2011; Мысленков и др., 2015б]. Из выходных данных модели использовалась высота значительных волн (средняя высота от 1/3 наибольших волн или высота волн 13%ной обеспеченности).

Данные о ветре получены из массивов реанализа высокого разрешения NCEP/CFSR (Climate Forecast System Version 2) (2011–2016) [Saha at al., 2011; CISL..., 2015]. Использовались данные о ветре на высоте 10 м от поверхности с пространственным разрешением ~0,2°. Выбор данных NCEP/CFSR обусловлен их высоким разрешением и хорошим качеством (сравнение данных о скорости и направлении ветра реанализа с данными метеостанции в арктическом бассейне показало, что ошибка NCEP/CSFR минимальна по сравнению с другими реанализами; отмечены значения коэффициента корреляции более 0,7 [Lindsay et al., 2014]).

Использована оригинальная нерегулярная вычислительная сетка, в Атлантическом океане шаг сетки составляет 1°, в Баренцевом море – 0,5°, в Белом море – 0,2°. Эта конфигурация волновой модели описана в работах [Мысленков и др., 2015а,6]. В качестве жесткой границы на севере и востоке исследуемой области задавалось среднемесячное положение кромки льда по спутниковым данным [Arctic..., 2015].

Данные о ветре и волнении взяты из архивов лаборатории спутниковой океанографии [Arctic..., 2015]. Использованы данные со спутников на основе измерений радиометра AMSR2 и альтиметра AltiKa.

Спутниковый альтиметр AltiKa находится на борту спутника SARAL, запущенного в феврале 2013 г. Высота значительных волн вычисляется по данным альтиметра на основе ее связи с наклоном переднего фронта отраженного импульса. AltiKa представляет собой первый спутниковый альтиметр, работающий в Ka-диапазоне (35,75 ГГц), за счет чего достигается наибольшая на сегодняшний день точность измерений высоты значительных волн. Высота значительных волн вычисляется с частотой 1 Гц на основе анализа данных ~1000 импульсов. В результате по данным альтиметра вычисляется средняя высота значительных волн для окружности с радиусом 5–10 км. Данные предоставляются с пространственным разрешением около 7 км. Результаты расчетов высоты значительных волн по модели SWAN сравнивались с данными со спутникового альтиметра AltiKa.

Для оценки качества поля ветра по данным реанализа использованы данные о скорости ветра (приведенные к уровню 10 м), полученные со спутников. Принцип восстановления скорости ветра по данным радиометров следующий: из-за изменения скорости ветра меняются геометрические характеристики поверхности (волнение), а также происходит образование пены, что приводит к изменению радиояркостной температуры (сигнал, измеряемый радиометрами). Результирующая зависимость сигнала от скорости ветра носит сложный нелинейный характер, поэтому для восстановления скорости ветра по данным измерений радиометров требуются многоканальные измерения и специальные методы.

В нашем случае по данным измерений радиометра AMSR2 скорость ветра рассчитывается с использованием недавно разработанного метода [Zabolotskikh et al., 2015]. Результаты сравнения данных о скорости ветра, полученных со спутников, заякоренных буев и реанализа приведены в работе [Ebuchi, 2014]. Среднеквадратическое отклонение скорости ветра для спутниковых данных -0,9-1,3 м/с, а для реанализа - 1,3-1,6 м/с. Используемый нами алгоритм обеспечивает более высокую точность в условиях экстремальных погодных явлений [Zabolotskikh, 2014, 2015]. Спутниковый многоканальный сканирующий радиометр AMSR2 на платформе GCOM-W1 с полярной орбитой принимает излучение на частотах от 6,9 до 89 ГГц. Данные доступны с пространственным разрешением ~10 км, однако реальное разрешение зависит от выбранного канала измерений. Использованные в работе дан-



Рис. 1. Скорость и направление ветра 11.02.2015 по данным реанализа в 9:30 Гр. (*a*) и по данным скаттерометра Metop ASCAT (δ) Fig. 1. Wind speed and direction on 11.02.2015 by the reanalysis data at 9:30 GMT (*a*) and by the data of Metop ASCAT scatterometer (δ)

ные базируются на измерениях на частотах от 6,9 до 10,65 ГГц и обладают разрешением ~40 км.

Кроме того, для визуального сравнения использованы данные о ветре со скаттерометра «Metop ASCAT», доступные на сайте Remote Sensing Systems (www.remss.com).

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве характерного случая выбран интенсивный синоптический циклон, проходивший над акваторией Атлантического океана и Баренцева моря 10–13 февраля 2015 г. Минимальное давление в циклоне составило 978 ГПа. Диаметр циклона – 600 км, по данным реанализа максимальная скорость составила около 25 м/с, а по данным скаттерометра до 30 м/с (рис. 1). Выбранный случай наиболее хорошо обеспечен спутниковыми данными, что позволило на их основе оценить качество данных реанализа и моделирования.

Циклон хорошо проявился в изображении поля ветра по данным скаттерометра ASCAT 11.02.2015 (усредненные утренние данные). Максимальная скорость ветра – 27–30 м/с (рис. 1, δ). При сравнении данных реанализа и спутника отмечается хорошее совпадение положения циклона, уменьшение скорости ветра в центре и усиление на периферии циклона (рис. 1,a, δ). поставлены значения скорости ветра в узлах реанализа с ближайшими точками по спутнику. Расстояние между парами сравниваемых точек составило не более 10 км. Необходимо отметить, что каждая точка спутниковых данных представляет собой осреднение для квадрата со стороной ~20-40 км, а данные реанализа – для квадрата со стороной ~20-10 км, следовательно, эти величины могут быть корректно сопоставлены. Общее число пар сравнения составило около 170 тыс. Результаты сравнения представлены на диаграмме с учетом нормированной (от 0 до 1) плотности распределения (рис. 2). В целом значения хорошо согласованы, коэффициент корреляции составляет 0,83, систематическая ошибка -0,63 м/с, среднеквадратическое отклонение 3,13 м/с. По плотности распределения точек видно, что максимальная плотность вытянута вдоль биссектрисы, т.е. преобладают точки с небольшой ошибкой, а систематическая ошибка практически отсутствует. Однако при скорости ветра 25-30 м/с реанализ занижает значение скорости на 2–5 м/с. Кроме того, на диаграмме также присутствует некоторое число точек с высокой скоростью ветра по данным радиометра и низкой скоростью по реанализу, максимальная ошибка в этих случаях составляет 10-15 м/с, однако эти случаи носят единичный характер.



Рис. 2. Сравнение скорости ветра по данным реанализа и радиометра

Fig. 2. Comparison of wind speed values by the reanalysis and the radiometer data

Выполнена оценка качества ветра реанализа по данным радиометра AMSR2. Для района 20°з.д. – 55°в.д. и 60–81° с.ш. за период с 9–13 февраля со-

Затем был выполнен численный эксперимент с волновой моделью SWAN. Для акватории Атлантического океана и Баренцева моря рассчитаны пара-



Рис. 3. Высота значительных волн 11.02.2015 в 00:00 по модели SWAN (изолинии) и положение треков альтиметра Fig. 3. Significant wave heights on 11.02.2015 at 00:00 after the SWAN model (isolines) and the altimeter tracks position

метры ветровых волн. Модель запущена с 1 февраля, чтобы сформировалось поле волнения, близкое к реальному на момент начала действия исследуемого циклона. Выходные поля волнения были получены с шагом 3 ч. На рис. 3 представлено поле высоты значительных волн на 00:00 11 февраля 2015 г. Максимальная высота значительных волн доходила до 12 м.

Далее по аналогии с оценкой качества поля ветра были сопоставлены высоты волн по данным модели и по данным альтиметра AltiKa для района 0–55° в.д. 55–80° с.ш. за период 10–13 февраля. Всего получено 900 пар для сравнения. На рис. 4 представлена диаграмма рассеяния высоты значительных волн. В целом величины хорошо согласованы, корреляция составляет 0,91, а среднеквадратическое отклонение 1,08. По плотности распределения точек видно, что максимальная плотность вытянута вдоль биссектрисы, это свидетельствует о том, что преобладают точки с небольшой ошибкой, а систематическая ошибка отсутствует.

Кроме того, проведено сопоставление высоты волн вдоль треков альтиметра. На



Рис. 4. Сравнение высоты значительных волн по данным моделирования и спутника

Fig. 4. Correlation of simulated significant wave heights with satellite data



Рис. 5. Сравнение высоты значительных волн 11.01.2015 в 18:46 вдоль трека по данным моделирования и альтиметра

Fig. 5. Comparison of significant wave heights on 11.01.2015 at 18:46 along the track according to modeling results and altimeter data

рис. 5 представлен трек № 1, проходивший через циклон (рис. 3), в котором зафиксирована высота волн более 8 м. В целом видно, что модель вполне успешно воспроизводит параметры волн.

Выводы:

– результаты сравнения скорости ветра из реанализа со скоростью ветра по данным радиометра AMSR2 показали, что в целом величины хорошо согласуются, коэффициент корреляции составляет 0,83, систематическая ошибка – –0,63 м/с, среднеквадратическое отклонение – 3,13 м/с. Максимальная плотность распределения точек вытянута вдоль биссектрисы, что говорит о преобладании точек с небольшой средневадратической и систематической ошибкой. Однако при скорости ветра 25–30 м/с реанализ занижает скорость ветра на 2–5 м/с;

 – модель SWAN воспроизводит высоту волн при прохождении зимнего циклона вполне успешно, коэффициент корреляции составляет 0,91, а среднеквадратическое отклонение – 1,08;

– расчет волнения по данным о ветре из реанализа для интенсивного циклона получился успешным, несмотря на занижение скорости ветра. Это связано с хорошим воспроизведением поля ветра в общем для района и близкими к действительности значениями переданной от ветра энергии, поэтому поле волн также воспроизводится адекватно.

Благодарности. Расчеты параметров ветра и волнения выполнены С.А. Мысленковым за счет гранта РНФ (проект № 14-37-00038). Сопоставление результатов моделирования со спутниковыми данными выполнено П.А. Голубкиным, Е.В. Заболотских за счет гранта РНФ (проект № 16-17-00122).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.

Дианский Н.А., Фомин В.В., Кабатченко И.М. и др. Воспроизведение циркуляции Карского и Печорского морей с помощью системы оперативного диагноза и прогноза морской динамики // Арктика: экология и экономика. 2014. № 1(13). С. 57–73.

Дымов В.И., Пасечник Т.А., Лавренов И.В. и др. Сопоставление результатов расчетов по современным моделям ветрового волнения с данными натурных измерений // Метеорология и гидрология. 2004. № 7. С. 87–94.

Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Мартынов С.Л. Система прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России // Тр. Гос. океанографического института. 2014. Т. 215. С. 90–101.

Мысленков С.А., Архипкин В.С., Колтерманн К.П. Оценка высоты волн зыби в Баренцевом и Белом морях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015а. № 5. С. 59–66.

Мысленков С.А., Платонов В.С., Торопов П.А., Шестакова А.А. Моделирование штормового волнения в Баренцевом море // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015б. № 6. С. 65–75.

Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях: Науч.-метод. пособие / Под ред. Е.С. Нестерова. М.: Исслед. группа «Социальные науки», 2013. 295 с.

Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. 213 с.

Суркова Г.В., Соколова Л.А., Чичев А.Р. Многолетний режим экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом и Карском морях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 5. С. 54–59.

Торопов П.А. Оценка качества воспроизведения моделями общей циркуляции атмосферы климата Восточно-Европейской равнины // Метеорология и гидрология. 2005. № 5. С. 5–21.

Arctic Syntool. URL: http://arctic.solab.rshu.ru (Accessed: 11.04.2015).

Chen F, von Storch H. Trends and variability of North Pacific Polar Lows // Advances in Meteorology. 2013. Article ID 170387. 11 p.

CISL Research Data Archive. URL: http://rda.ucar.edu (Accessed: 11.04.2015).

Ebuchi N. Evaluation of wind speed globally observed by amsr2 on gcom-w1 // IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2014. P. 3902–3905.

Gusdal Y., Carrasco A., Furevik B.R., Sætra Ø. Validation of the operational wave model WAM and SWAN // Oceanography. 2009. Rep. 18. 28 p.

Jayaram C., Bansal S., Krishnaveni A.S. et. al. Evaluation of SAR-AL/AltiKa Measured Significant Wave Height and Wind Speed in the Indian Ocean Region // J. Indian Soc. Rem. Sens. 2016. Vol. 44, iss. 2. P. 225–231.

Kislov A., Matveeva T. An extreme value analysis of wind speed over the European and Siberian Parts of Arctic Region // Atmospher. and Climate Sci. 2016. Vol. 6. P. 205–223.

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27. P. 2588–2606.

Reistad M., Breivik O., Haakenstad H. et.al. A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. C05019.

Saha S., Moorthi S., Wu X. et al. The NCEP Climate Forecast System version 2 // J. Climate. 2014. Vol. 27(6). P. 2185–2208. SWAN Technical Documentation, SWAN Cycle III version 40.51A. Vol. 98. Delft: University of Technology, 2007.

Zabolotskikh E., Mitnik L., Chapron B. GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 147. P. 89–98. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.016. Zabolotskikh E., Mitnik L., Reul N., Chapron B. New possibilities for geophysical parameter retrievals opened by GCOM-W1 AMSR2 // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2015. Iss. 99. P. 1–14. DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2416514.

Поступила в редакцию 14.06.2016 Принята к публикации 26.07.2016

S.A. Myslenkov¹, P.A. Golubkin², E.V. Zabolotskikh³

EVALUATION OF WAVE MODEL IN THE BARENTS SEA UNDER WINTER CYCLONE CONDITIONS

A winter cyclone that crossed the Barents Sea on 10–15 February, 2015, was studied. The wind speed was 30 m/s and wave heights reached 12 m (satellite measurements). The wind waves modeling during the cyclone was made using the SWAN model and NCEP/CFSR wind data. Wind speed values from reanalysis are validated by comparing with AMSR2 microwave radiometer wind data. The wave data from the AltiKa altimeter were used for wave model validation. In general wave heights are well modeled with the RMSE=1 m and the correlation = 0.9. The reanalysis wind speed is underestimated by 0,63 m/s on the average.

Key words: wind waves, wave modeling, SWAN, CFSR, AMSR2, ASCAT, AltiKa , the Barents Sea.

Acknowledgements. The wind wave modeling made by S.A. Myslenkov was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-37-00038). Comparing model results with the satellite data made by P.A. Golubkin and E.V. Zabolotskikh was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 16-17-00122).

REFERENCES

Arctic Syntool. URL: http://arctic.solab.rshu.ru (Accessed: 11.04.2015).

Chen F, von Storch H. Trends and variability of North Pacific Polar Lows // Advances in Meteorology. 2013. Article ID 170387. 11 p.

CISL Research Data Archive. URL: http://rda.ucar.edu (Accessed: 11.04.2015).

Gidrometeorologija i gidrohimija morej SSSR. T. 1. Barentsevo more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie uslovija [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR], Leningrad: Gidrometizdat, 1990, 280 p. (in Russian).

Gusdal Y., Carrasco A., Furevik B.R., Sætra Ø. Validation of the operational wave model WAM and SWAN // Oceanography. 2009. Rep. 18. 28 p.

Dianskij N.A., Fomin V.V., Kabatchenko I.M. i dr. Vosproizvedenie cirkuljacii Karskogo i Pechorskogo morej s pomoshh'ju sistemy operativnogo diagnoza i prognoza morskoj dinamiki [Simulation of circulation of the Kara and Pechora Seas through the system of express diagnosis and prognosis of marine dynamics], Arktika: jekologija i jekonomika, 2014, no 1(13), pp. 57–73 (in Russian).

Dymov V.I., Pasechnik T.A., Lavrenov I.V. i dr. Sopostavlenie rezul'tatov raschetov po sovremennym modeljam vetrovogo volnenija s dannymi naturnyh izmerenij [Comparison of modern wind-wave model results with field measurements], Meteorologija i gidrologija, 2004, no 7, pp. 87–94 (in Russian).

Ebuchi N. Evaluation of wind speed globally observed by amsr2 on gcom-w1 // IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2014. P. 3902–3905.

Jayaram C., Bansal S., Krishnaveni A.S. et al. Evaluation of SAR-AL/AltiKa measured significant Wave height and wind speed

in the Indian Ocean Region // J. Indian Soc. Rem. Sens. 2016. Vol. 44, iss. 2. P. 225–231.

Kislov A., Matveeva T. An extreme value analysis of wind speed over the European and Siberian Parts of Arctic Region // Atmospher. and Climate Sci. 2016. Vol. 6. P. 205–223.

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27. P. 2588–2606.

Myslenkov S.A., Arkhipkin V.S., Koltermann P.K. Ocenka vysoty voln zybi v Barencevom i Belom morjah [Estimation of the height of swell in the White and Barents seas], Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografija, 2015, no 5, pp. 59–66 (in Russian).

Myslenkov S.A., Platonov V.S., Toropov P.A., Shestakova A.A. Modelirovanie shtormovogo volnenija v Barencevom more [Simulation of storm waves in the Barents sea], Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografija, 2015, no 6, pp. 65– 75 (in Russian).

Reistad M., Breivik O., Haakenstad H. et.al. A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. C05019.

Rezhim, diagnoz i prognoz vetrovogo volnenija v okeanah i morjah: Nauch.-metod. posobie / Pod red. E.S. Nesterova [Climate, analysis and forecast of wind waves in the oceans and seas: scientific method. Allowance / Ed. E.S. Nesterov], Moscow, Issled. gruppa «Social'nye nauki», 2013, 295 p. (in Russian).

Saha S., Moorthi S., Wu X. et al. The NCEP Climate Forecast System version 2 // J. Climate. 2014. Vol. 27(6). P. 2185–2208.

Spravochnye dannye po rezhimu vetra i volnenija Barenceva, Ohotskogo i Kaspijskogo morej [Reference data of wind and waves climate of the Barents, Okhotsk Sea and Caspian Sea], SPb., ossijskij morskoj registr sudohodstva, 2003, 213 p. (in Russian).

² Russian State Hydrometeorological University, Satellite Oceanography Laboratory, Junior Scientific Researcher; *e-mail*: pgolubkin@rshu.ru

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Senior Scientific Researcher; *e-mail*: stasocean@gmail.com

³ Russian State Hydrometeorological University, Satellite Oceanography Laboratory, Leading Scientific Researcher, PhD. in Phys-Mat. Sc.; *e-mail*: liza@rshu.ru

Surkova G.V., Sokolova L.A., Chichev A.R. Mnogoletnij rezhim jekstremal'nyh znachenij skorosti vetra v Barencevom i Karskom morjah [Long-term regime of extreme winds in the Barents and Kara seas], Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 5, Geografija, 2015, no 5, pp. 53–58 (in Russian).

SWAN Technical documentation, SWAN Cycle III version 40.51A. Vol. 98. Delft: University of Technology, 2007.

Toropov P.A. Ocenka kachestva vosproizvedenija modeljami obshhej cirkuljacii atmosfery klimata Vostochno-Evropejskoj ravniny [Estimation of quality of simulation by atmospheric general circulation models of climate in the East European plain], Meteorologija i gidrologija. 2005, no 5, pp. 5–21 (in Russian).

Zabolotskikh E., Mitnik L., Chapron B. GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 147. P. 89–98. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.016.

Zabolotskikh E., Mitnik L., Reul N., Chapron B. New possibilities for geophysical parameter retrievals opened by GCOM-W1 AMSR2 // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2015. Iss. 99. P. 1–14. DOI: 10.1109/JSTARS. 2015.2416514.

Zelen'ko A.A., Strukov B.S., Resnjanskij Ju.D., Martynov S.L. Sistema prognozirovanija vetrovogo volnenija v Mirovom okeane i morjah Rossii [The forecast system of wind waves in the oceans and seas of Russia], Tr. gos. okeanograficheskogo institute, 2014, t. 215, pp. 90–101 (in Russian).

> Received 14.06.2016 Accepted 26.07.2016