

УДК 551.466.31

Особенности распространения потока волновой энергии в Карском море

С.А. Мысленков^{1,2,3}, М.Ю. Маркина²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия;*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук, г. Москва, Россия;*

³ *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
stasocean@gmail.com*

По данным моделирования волнения в Карском море за период с 1979 по 2017 г. проведен анализ потока волновой энергии. Расчеты выполнены при помощи волновой модели WAVEWATCH III на неструктурной сетке с шагом по пространству 15–20 км. Были получены данные о распределении среднесезонного потока волновой энергии за весь период расчетов (1979–2017 гг.). Для двух характерных точек в центральной и южной части моря были определены среднегодовые потоки волновой энергии для каждого года рассматриваемого периода, которые варьировались в пределах от 0,6 до 4,2 кВт/м волнового фронта. При достаточно сильной межгодовой изменчивости потоков волновой энергии, значимого тренда в период 1979–2017 гг. выявлено не было. Локальное увеличение потока волновой энергии можно выделить с 1999 до 2010 год. Также произведен анализ среднемесячных значений потока волновой энергии. Выявлены значительные сезонные вариации потока энергии.

Ключевые слова: Карское море, волновая энергия, моделирование волнения, WAVEWATCH III

Distribution of the wave energy flux in the Kara Sea

S.A. Myslenkov^{1,2,3}, M.Yu. Markina²

¹ *Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;*

² *P.P. Shirshov Institute of Oceanology
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;*

³ *Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia
stasocean@gmail.com*

The analysis of wave energy flux for the Kara Sea based on the numerical modeling with the WAVEWATCH III model is presented. An unstructured grid with the spatial resolution varying from 15 to 20 km is used for wave simulations. The long-term mean values of wave energy in the Kara Sea are obtained for the whole period of calculations (1979-2017). The average annual energy fluxes for two typical locations in the central and southern parts of the Kara Sea are found to vary from 0.6 to 4.2 kW/m. While the local increase of wave energy flux is obtained for 1999-2010, no significant trends have been revealed for 1979-2017, although the interannual variability was rather high. Monthly means of wave energy flux are analyzed, and significant seasonal variations are revealed.

Keywords: Kara Sea, wave energy, wave modeling, WAVEWATCH III

Введение

Энергия волн является одним из возобновляемых источников энергии, который может быть использован для получения электричества [1, 5]. В последние годы наблюдается большой интерес к оценкам потенциала волновой энергии в различных акваториях Мирового океана [1, 5, 6, 15, 18]. Связано это как с расширением круга потенциальных потребителей волновой энергии (автономные объекты, морские платформы, маяки, вышки связи и др.), так и с общей тенденцией перехода от традиционных источников энергии к альтернативным [1]. Плотность энергии морских волн, как правило, выше, чем плотность ветровой и солнечной энергии [5], поэтому исследование ресурсов энергии волн является актуальной задачей.

Однако распределение волновой энергии весьма нерегулярно в пространстве и во времени. Проектирование каких-либо энергетических систем или установок для конкретной акватории, работающих от энергии волн, требует подробных расчетных или экспериментальных данных о параметрах волнения в выбранном районе. В последние годы для оценок волновой энергии используют методы математического моделирования и метеорологические реанализы [9–12]. Развитие средств математического моделирования и метеорологических реанализов позволяет в настоящее время осуществлять не только общие оценки волновой энергии на основе осредненных по большой акватории характеристик волнения, но и расчеты для отдельных точек и ограниченных участков заданной акватории с учетом сезонных вариаций характеристик волнения.

Пока существует мало работ по исследованию волнового климата Карского моря или арктических морей в целом [2, 3, 12, 13, 16]. Наиболее полно режим ветрового волнения в Карском море описан в [9].

Исследование сезонной и межгодовой изменчивости волновой энергии в Карском море является важным также с точки зрения проблемы разрушения берегов. В [14] сделан вывод, что при увеличении продолжительности безледного периода в сочетании с усилением ветро-волновой активности отступление берегов ускорится.

В данной работе на основе результатов моделирования за продолжительный период времени рассматривается пространственное распределение волновой энергии в Карском море. Данная работа посвящена исследованию сезонной и межгодовой изменчивости потока волновой энергии в Карском море.

Данные и методы

Для расчета параметров ветрового волнения в Карском море использовалась спектральная волновая модель третьего поколения WAVEWATCH III [17], где есть возможность задавать границы распро-

странения морского льда. Данная конфигурация модели ранее применялась для исследования волновой энергии в Баренцевом море [6–8, 13].

При расчетах использовалась схема ST1 [17]. Для расчета нелинейных взаимодействий волн была использована DIA (Discrete Interaction Approximation) [17]. Для учета влияния льда была использована схема IC0, согласно которой при концентрации льда более 25 % узел сетки считается покрытым льдом, и в ней включается экспоненциальное затухание волновой энергии с поправкой на концентрацию льда в данном узле. Также в модели учитывалось увеличение высоты волн при подходе к берегу и связанное с ним обрушение по достижении критического значения крутизны волны.

Спектральное разрешение модели содержало 36 направлений ($\Delta\theta = 10^\circ$), частотный диапазон волн (σ) разбит на 36 интервалов от 0,03 до 1,1 Гц. Общий шаг по времени для интегрирования полного уравнения волнового баланса составляет 15 мин, шаг по времени для интегрирования функций источников и стоков волновой энергии составляет 60 сек, шаг по времени для передачи энергии по спектру составлял 450 сек. Данный выбор продиктован конфигурацией вычислительной сетки: максимальным и минимальным расстоянием между узлами и большой широтной протяженностью.

Вычисления проводились на неструктурной триангуляционной сетке (рис. 1), состоящей из 16792 узлов. Данная сетка покрывает акваторию Баренцева и Карского морей, а также всю северную часть Атлантического океана. Для Карского моря шаг составляет 15–20 км (рис. 1). Более подробное описание конфигурации модели и особенности проведения экспериментов изложены в [4, 6–8].

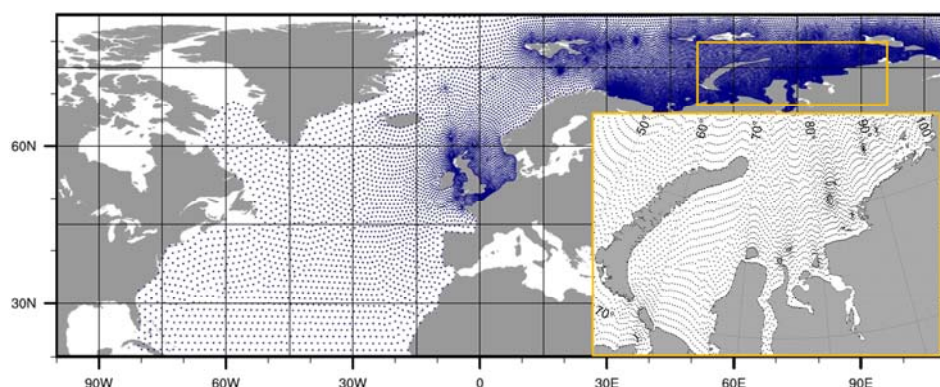


Рис. 1. Неструктурная сетка для расчета ветрового волнения в Северной Атлантике и Карском море.

Fig. 1. Unstructured grid for WAVEWATCH III simulations in the North Atlantic and the Kara Sea.

При моделировании волнения использовались данные о ветре из реанализа NCEP/CFSR (1979–2010 гг.) с пространственным разрешением $\sim 0,3^\circ$ и реанализ NCEP/CFSv2 (2011–2017 гг.) с разрешением $\sim 0,2^\circ$. Шаг по времени в этих реанализах составляет 1 час.

В результате проведенных расчетов на выходе модели были получены данные о высоте значительных волн (м) и потоке (переносе) волновой энергии (кВт/м) для каждого узла расчетной сетки с шагом по времени 3 ч для периода с 1979 по 2017 г. Поток энергии на единицу фронта волны (кВт/м) определяется как

$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^\infty C_g(f, h) S(f, \theta) d\theta df, \quad (1)$$

где $S(f, \theta)$ – двумерный спектр энергии; f и θ – частота и направление распространения спектральной составляющей; $C_g(f, h)$ – групповая скорость спектральных составляющих; g – ускорение свободного падения; ρ – плотность морской воды; h – глубина.

На основе этих данных рассчитывались среднемесячные и среднегодовые значения потока волновой энергии. Также рассчитана обеспеченность волновой энергией для нескольких критериев: 1, 2, 5 кВт/м волнового фронта. Обеспеченность представляет собой отношение количества значений ряда, когда перенос волновой энергии превышал заданный критерий к общему количеству значений всего ряда [8]. Так, обеспеченность волновой энергией для критерия «более 1 кВт/м» рассчитывается по следующей формуле:

$$O_{1кВт} = \frac{m}{n} \cdot 100, \quad (2)$$

где m – количество случаев из выборки, когда перенос энергии P был более 1 кВт/м волнового фронта; n – общее количество случаев выборки.

Обеспеченность волновой энергии меняется по пространству и рассчитывается для каждого узла расчетной сетки. Расчеты проводились отдельно для всей выборки, а также отдельно для конкретного года и отдельных месяцев за период расчета (1979–2017 гг.).

Результаты

В результате проведенных расчетов для каждого узла вычислительной сетки получены параметры ветрового волнения с шагом по времени 3 ч за период с 1979 по 2017 г. Выходные данные модели содержат следующие параметры: высота значительных волн H_s (среднее значение высот от 1/3 наиболее высоких волн в спектре волнения), среднее направление распространения волн, средний период волн, средняя длина волны, средняя высота зыби, пиковый период волн, поток энергии. На первом этапе был рассчитан среднегодевной поток волновой энергии для всего периода данных. Также рассчитывался среднегодевной (за 39 лет) поток

волновой энергии для каждого месяца в году. Среднеголетний поток волновой энергии меняется от 0,25 до 1,5 кВт/м для центральной и северной части моря (рис. 2а). В Карском море распространение волн существенно лимитируется продолжительным в течение года присутствием морского льда. Поток волновой энергии в Карском море на порядок меньше, чем в открытой части Баренцева моря, где наблюдаются величины до 10–15 кВт/м [8].

В южной части моря расположен локальный многолетний максимум, где поток волновой энергии увеличивается до 2,5 кВт/м. Эта часть моря позже других покрывается льдом, поэтому осенне-зимнее усиление ветра здесь вызывает увеличение ветрового волнения, которое выделяется и в среднеголетних показателях потока энергии.

На рис. 2 б и 2 в представлены карты распределения среднеголетнего потока волновой энергии для августа и ноября. Для августа, когда большая часть Карского моря свободна ото льда, значения потока волновой энергии составляют 3–4 кВт/м. Однако в летние месяцы сильные шторма бывают редко, поэтому значения потока волновой энергии невелики. В ноябре выделяется максимум в южной части моря и составляет 6,5 кВт/м, что обусловлено отсутствием льда в этом районе и, как правило, сильными ветрами в этом месяце.

Далее по 3-часовым данным моделирования были рассчитаны средние значения потока волновой энергии для каждого года за период с 1979 по 2017 г. для двух точек вычислительной сетки, обозначенных на рис. 2 а. За указанный период среднегодовой поток волновой энергии в этих точках меняется в пределах 0,6–4,3 кВт/м (рис. 3). В точке 2 поток энергии, как правило, больше на 0,5–1 кВт/м, чем в точке 1. Минимальные значения в обеих точках наблюдались в 1999 г., так как море практически в течение 8 месяцев было покрыто льдом, а в летние месяцы наблюдались низкие показатели потока волновой энергии. Для среднегодовых значений волновой энергии в точках 1 и 2 визуально значимых трендов потока волновой энергии не наблюдается. Локальный тренд можно выделить только с 1999 по 2012 г., когда рост потока энергии наблюдался и в точке 1, и в точке 2. Максимальные значения (более 4 кВт/м) для центральной части моря наблюдались в 2012 г., а в южной части – в 1995 г. В целом межгодовая изменчивость потока волновой энергии в Карском море выражена сильно.

Внутригодовая изменчивость потока волновой энергии оценивалась на основе среднемесячных значений, рассчитанных для всего периода для двух точек (рис. 4). Видно, что поток волновой энергии в течении 5–7 месяцев в году отсутствует, так как море покрыто льдом.

В летние и осенние месяцы поток энергии в среднем составляет 2–10 кВт/м. Максимальное значение (25 кВт/м) наблюдалось в октябре 1997 г. в центральной части моря. Максимальное значение для южной части моря составляет 16,6 кВт/м и наблюдалось в октябре 1995 г. Минимальные значения в безледный период отмечено в 1998 и 1999 гг.

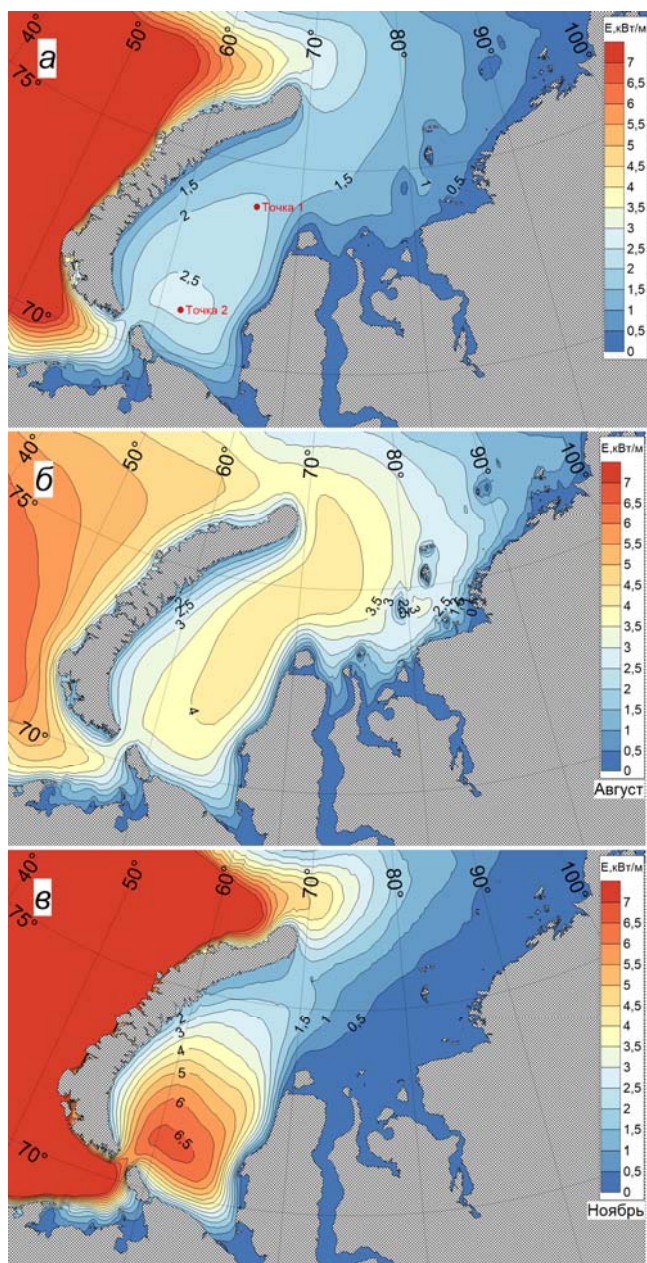


Рис. 2. Среднегодовой поток волновой энергии (кВт/м) в Карском море за период 1979–2017 г. Для всего года (а), для августа (б) и для ноября (в). Красным отмечены точки для вывода данных в центральной и южной части моря, используемые для последующего анализа.

Fig. 2. Mean wave energy flux (kW / m) in the Kara Sea for the period 1979–2017: over the whole period (a), in August (б) and in November (в). Red dots correspond to locations used in the further analysis.

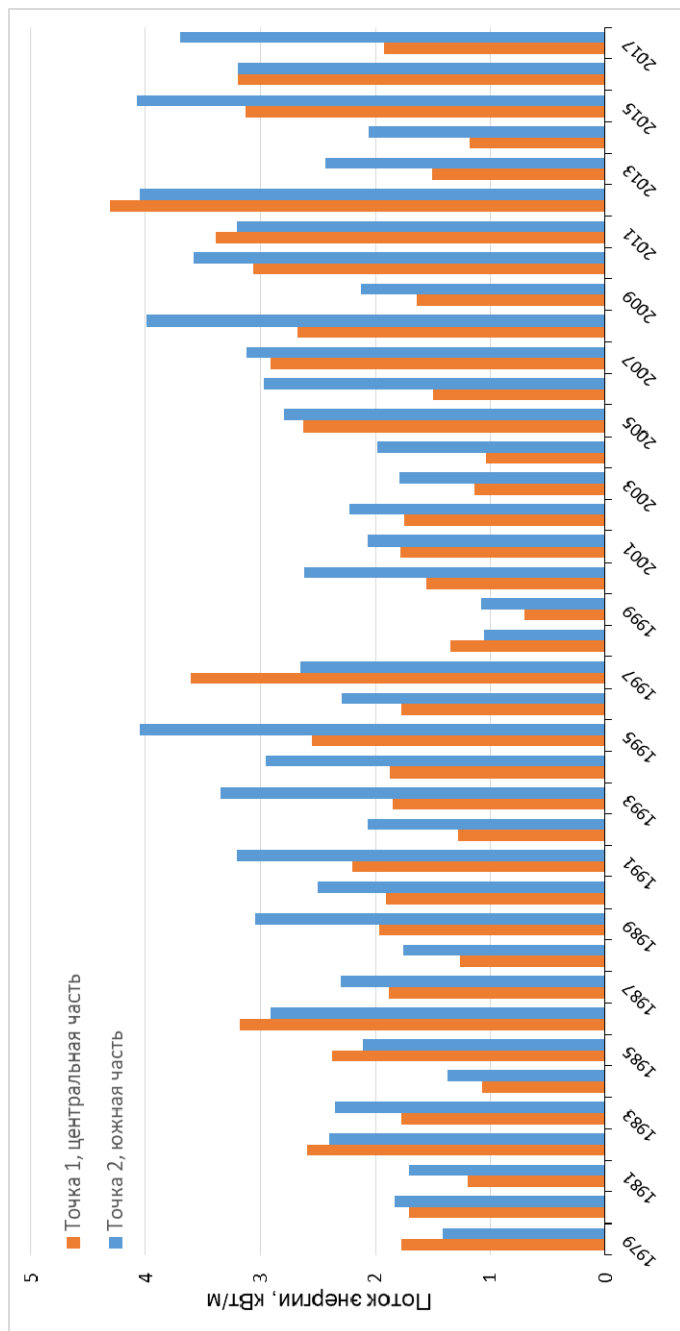


Рис. 3. Среднегодовой поток волновой энергии, кВт/м, для двух точек в Карском море с 1979 по 2017 г.
Fig. 3. Interannual variability of the mean wave energy flux (kW/m) in the central and southern parts of the Kara Sea sited in red dots in Fig. 2a.

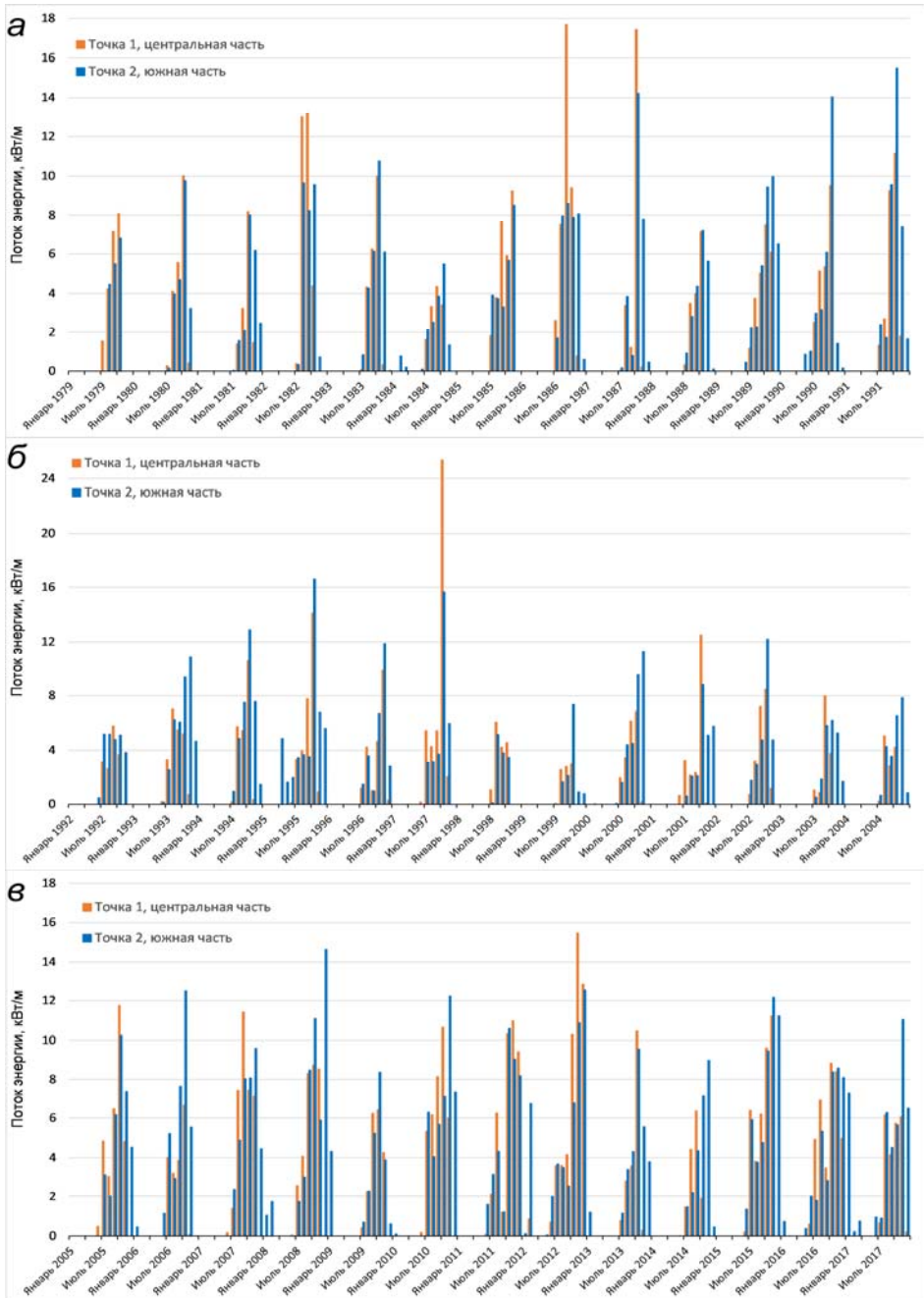


Рис. 4. Среднемесячный поток волновой энергии (кВт/м) для двух точек в Карском море в 1979–1991 (а), 1992–2004 (б), 2005–2017 (в) гг.

Fig. 4. Monthly means of wave energy flux (kW/m) for 1979–2017 in the central and southern parts of the Kara Sea sited in red dots in Fig. 2a: 1979–1991 (а), 1992–2004 (б), 2005–2017 (в).

В южной части моря, как правило, поток энергии больше, чем в центральной. В последние годы отмечается небольшое увеличение длительности безледного периода, однако среднемесячный поток волновой энергии не увеличивается, видимо, из-за отсутствия сильных штормов. Сезонные вариации потока энергии весьма значительны, что не позволяет использовать среднегодовые его значения для оценки потенциальной мощности волновых энергоустановок или для других приложений.

Так как поток волновой энергии сильно меняется во времени, более информативным показателем для оценки ресурсов волновой энергии является обеспеченность волновой энергией для выбранных пороговых значений. Этот показатель позволяет оценить процент времени, когда поток энергии превышает заданное пороговое значение. На рис. 5 представлена обеспеченность для потока энергии более 1 кВт/м для всего периода (39 лет) и отдельно для августа и ноября также за весь период. В среднем обеспеченность составляет около 15 % для северной и центральной части и увеличивается до 25 % в южной (рис. 5 а). Для августа обеспеченность составляет около 45–55 % для всего моря (рис. 5 б). Для ноября наблюдается высокая обеспеченность до 65 % в южной части моря и низкая 10–15 % в других частях моря (рис. 5 в).

Заключение

При помощи волновой модели WAVEWATCH III проведены расчеты потока волновой энергии в Карском море. Была получена карта распределения среднемноголетнего потока энергии за период расчетов (1979–2017 г.). Среднемноголетний поток волновой энергии меняется от 0,25 до 1,5 кВт/м для центральной и северной части моря. В южной части моря расположен локальный многолетний максимум, где поток волновой энергии увеличивается до 2,5 кВт/м.

Для двух характерных точек в центральной и южной части моря были определены среднегодовые потоки волновой энергии для каждого года рассматриваемого периода, которые варьировались от 0,6 до 4,3 кВт/м волнового фронта. При достаточно значительной межгодовой изменчивости потока волновой энергии выраженного тренда в период 1979–2017 гг. выявлено не было.

Выявлены значительные сезонные вариации потока энергии. Среднемесячный поток волновой энергии может достигать 25 кВт/м.

Полученные пространственно-временные характеристики волновой энергии следует учитывать как при проектировании, экспериментальной апробации волновых энергоустановок и систем, так и в перспективе при выборе акваторий для пилотных проектов волновых станций.

Благодарности. Моделирование волнения в Карском море выполнено Мысленковым С.А. при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60147. Анализ результатов моделирования выполнен Маркиной М.Ю. в рамках Госзадания (№ 0149-2018-0001).

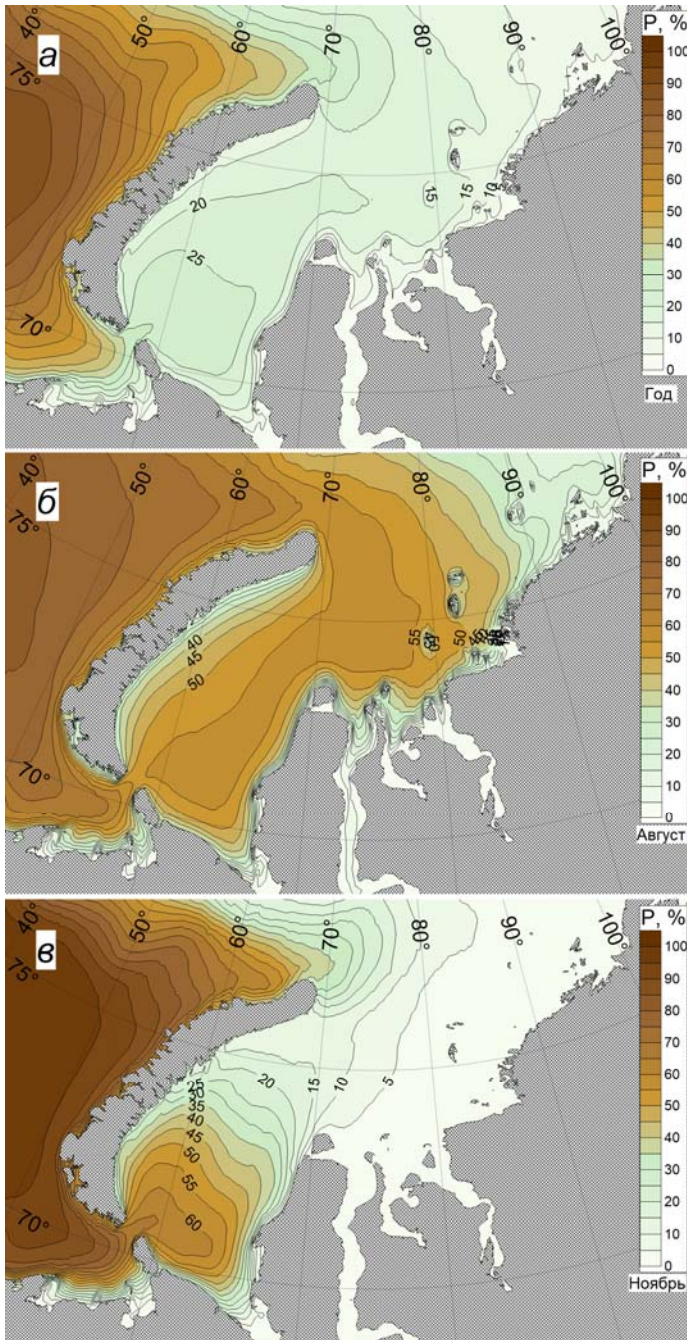


Рис. 5. Среднеголетняя обеспеченность волновой энергией для порогового значения 1 кВт/м (а), для августа (б), ноября (в).

Fig. 5. Long-term average annual probability of exceedance of the wave energy with a power of more than 1 kW/m (a) for August (б) and for November (в).

Список литературы

1. Горлов А.А. Энергетика ветрового волнения и океанских течений // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 2. С. 30-39.
2. Дианский Н.А., Кабатченко И.М., Фомин В.В., Архипов В.В., Цвезинский А.С. Моделирование гидрометеорологических характеристик в Карском и Печорском морях и расчет наносов у западного побережья полуострова Ямал // Вести газовой науки: Научно-технический сборник. 2015. № 2 (22). С. 98-105.
3. Дианский Н.А., Фомин В.В., Кабатченко И.М., Грузинов В.М. 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.
4. Маркина М.Ю., Гавриков А.В. Изменчивость ветрового волнения в северной Атлантике за зимы в период с 1979 по 2010 гг. по данным численного моделирования // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 346-352.
5. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. Мурманск: Изд-во Беллона, 2007. 93 с.
6. Мысленков С.А., Столярова Е.В., Маркина М.Ю., Киселева С.В., Архипкин В.С., Горлов А.А., Умнов П.М. Сезонная и межгодовая изменчивость потока волновой энергии в Баренцевом море // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2017. № 19-21. С. 36-48.
7. Мысленков С.А., Платонов В.С., Торопов П.А., Шестакова А.А. Моделирование штормового волнения в Баренцевом море // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 6. С. 65-75.
8. Мысленков С.А., Маркина М.Ю., Киселева С.В., Столярова Е.В., Архипкин В.С., Умнов П.М. Исследование ресурсов энергии волн в акватории Баренцева моря // Теплоэнергетика. 2018. № 7. С. 5-15.
9. Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей // Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Чернышева Е.С. СПб.: Российский Морской регистр судоходства, 2009. 358 с.
10. Суркова Г.В., Соколова Л.А., Чичев А.Р. Многолетний режим экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом и Карском морях // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 5. С. 53-58.
11. Khon V.C., Mokhov I.I., Pogarskiy F.A., Babanin A., Dethloff K., Rinke A., Matthes H. Wave heights in the 21st century Arctic Ocean simulated with a regional climate model // Geophys. Res. Lett. 2014. Vol. 41. P. 2956-2961.
12. Liu Q., Babanin A., Zieger S., Young I., Guan C. Wind and Wave Climate in the Arctic Ocean as Observed by Altimeters // J. Climate. 2016. Vol. 29(22). P. 7957-7975.
13. Myslenkov S., Medvedeva A., Arkhipkin V., Markina M., Surkova G., Krylov A., Dobrolyubov S., Zilitinkevich S., Koltermann P. Long-term statistics of storms in the Baltic, Barents and White Seas and their future climate projections // Geography, environment, sustainability. 2018. Vol. 11, no. 1. P. 93-112.
14. Ogorodov S.A., Baranskaya A.V., Belova N.G., Kamalov A.M., Kuznetsov D.E., Overduin P.P., Shabanova N.N., Vergun A.P. Coastal dynamics of the Pechora and Kara Seas under changing climatic conditions and human disturbances // Geography, environment, sustainability. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 53-73.

15. Rusu E. Numerical Modeling of the Wave Energy Propagation in the Iberian Nearshore // *Energies*. 2018. Vol. 11. P. 980.
16. Stopa J., Arduin F., Girard-Arduin F. Wave climate in the Arctic 1992-2014: seasonality and trends // *Cryosphere*. 2016. Vol. 10(4). P. 1605-1629.
17. Tolman H. The WAVEWATCH III Development Group User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 4.18, (2014). Tech. Note 316, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, 2014, available at: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/manual.v4.18.pdf> (last access: 23 November 2017), 2014.
18. Weber J.W. Wave Energy // *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*. J. Carlton, P. Jukes, Y.S. Choo (eds). 2018. doi:10.1002/9781118476406.emoe096
19. Yang X.Y., Yuan X., Ting M. Dynamical link between the Barents-Kara sea ice and the arctic oscillation // *J. Climate*. 2016. Vol. 29. P. 5103-5122.

References

1. Gorlov A.A. Ehnergetika vetrovogo volneniya i okeanskikh techeniy. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2015, no. 2, pp. 30-39. [in Russ.].
2. N.A. Dianskiy, I.M. Kabatchenko, V.V. Fomin, V.V. Arkhipov, A.S. Tsvetsinskiy Simulation of the hydrometeorological characteristics for the Kara and the Pechora seas and calculation of drifts nearby the western coast of the Yamal Peninsula. *Vesti gazovoy nauki*, 2015, vol. 22, no. 2, pp. 98–105. [in Russ.].
3. Diansky N. A., Fomin V. V., Kabatchenko I. M., Gruzinov V. M. Simulation of circulation of the Kara and Pechora Seas through the system of express diagnosis and prognosis of marine dynamics. *Arktika: ekologiya i ekonomika [Arctic: Ecology and Economy]*, 2014, vol. 13, no. 1, pp. 57-73. [in Russ.].
4. Markina M.Y., Gavrikov A.V. Wave climate variability in the North Atlantic in recent decades in the winter period using numerical modeling. *Oceanology*, 2016, vol. 56, no. 3, pp. 320-325. DOI: 10.7868/S003015741603014X.
5. Minin V.A., Dmitriev G. S. Prospects for Development of Non-conventional and Renewable Sources of Energy on the Kola Peninsula. Murmansk: Bellona publ., 2007, 93 p. [in Russ.].
6. Myslenkov S.A., Stolarova E.V., Markina M.Y., Kiseleva S.V., Arkhipkin V.S., Gorlov A.A., Umnov P.M. Seasonal and interannual variability of the wave energy flow in the Barents sea. *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2017, vol. 19-21, pp. 36-48. [in Russ.]. DOI: 10.15518/isjaee.2017.19-21.036-048.
7. Myslenkov S.A., Platonov V.S., Toropov P.A., Shestakova A.A. Simulation of storm waves in the Barents Sea. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography]*, 2015, vol. 6, pp. 65-75. [in Russ.].
8. Myslenkov S. A., Markina M. Yu., Kiseleva S. V., Stolarova E. V., Arkhipkin V. S., Umnov P. M. Estimation of Available Wave Energy in the Coastal Zone of the Barents Sea. *Teploehnergetika [Thermal Engineering]*, 2018, vol. 65, vol. 7, pp. 5-15. [in Russ.].
9. Lopatukhin L.I., Bukhanovskiy A.V., Chernysheva E.S. Spravochnye dannye po rezhimu vetra i volneniya Yaponskogo i Karskogo morey. Saint-Petersburg: Rossiyskiy Morskoy registr sudokhodstva, 2009, 358 p. [in Russ.].
10. Surkova G.V., Sokolova L.A., Chichev A.R. Long-term regime of extreme winds in the Barents and Kara seas. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5.*

Geografiya. [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography], 2015, vol. 5, pp. 53-58. [in Russ.].

11. *Khon V. C., Mokhov I. I., Pogarskiy F. A., Babanin A., Dethloff K., Rinke A., Matthes H.* Wave heights in the 21st century Arctic Ocean simulated with a regional climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 2014, vol. 41, pp. 2956-2961.

12. *Liu Q., Babanin A., Zieger S., Young I., Guan C.* Wind and Wave Climate in the Arctic Ocean as Observed by Altimeters. *J. Climate.*, 2016, vol. 29, no. 22, pp. 7957-7975.

13. *Myslenkov S., Medvedeva A., Arkhipkin V., Markina M., Surkova G., Krylov A., Dobrolyubov S., Zilitinkevich S., Koltermann P.* Long-term statistics of storms in the Baltic, Barents and White Seas and their future climate projections. *Geography, environment, sustainability*, 2018, vol. 11, no. 1, pp. 93-112.

14. *Ogorodov S.A., Baranskaya A.V., Belova N.G., Kamalov A.M., Kuznetsov D.E., Overduin P.P., Shabanova N.N., Vergun A.P.* Coastal dynamics of the Pechora and Kara Seas under changing climatic conditions and human disturbances. *Geography, environment, sustainability*, 2016, vol. 9, no. 3, pp. 53-73.

15. *Rusu E.* Numerical Modeling of the Wave Energy Propagation in the Iberian Nearshore. *Energies*, 2018, vol. 11, pp. 980.

16. *Stopa J., Ardhuin F., Girard-Ardhuin F.* Wave climate in the Arctic 1992-2014: seasonality and trends. *Cryosphere*, 2016, vol. 10, no. 4, pp. 1605-1629.

17. *Tolman H.* Development Group User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 4.18. *Technical Note 316*. NOAA/NWS/NCEP/MMAB publ., 2014, available at:

<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/manual.v4.18.pdf>

18. *Weber J. W.* Wave Energy. Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering. J. Carlton, P. Jukes and Y. S. Choo (eds). 2018. DOI: 10.1002/9781118476406.emoe096

19. *Yang X. Y., Yuan X., Ting M.* Dynamical link between the Barents-Kara sea ice and the arctic oscillation. *J. Climate.*, 2016, vol. 29, pp. 5103-5122.

Поступила в редакцию 14.09.2018 г.

Received by the editor 14.09.2018.