

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-14-21.2>

МРНТИ 37.27.21

УДК 551.466.31

А. Г. Елтай¹, Л. Б. Базарбай*², Н. Н. Жағпарова³

¹ PhD, начальник управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря (Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; yeltay.aiz@gmail.com)

²* Магистр естественных наук, ведущий научный сотрудник (РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Магистр естественных наук, ведущий инженер (РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; zhagparova_n@meteo.kz)

ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Каспийское море является внутренним водоемом, подверженным различным стихийным гидрометеорологическим явлениям, а также важным стратегическим районом Казахстана в экономическом плане. Расположение крупных нефтяных месторождений и портов требует своевременного анализа и прогнозирования изменения характеристик волнения в целях обеспечения безопасности плавания на море. В связи с этим проведены ретроспективные расчеты высоты и преобладающего направления волнения за 1959-2021 гг. на основе спектрально-волновой модели SWAN и данных реанализа ERA5. Средние значения высоты волны были около 0,4 м, максимальные высоты волны достигали до 3,2 м, преобладающим направлением волнения было юго-восточное. По полученным результатам за 62-летний период определено количество случаев, превышавших значительную высоту волны 2 м. Так, за 1959–2021 гг. из общего количества рассчитанных ежечасных высот волн на акватории в 104 416 случаях наблюдалась штормовая ситуация. Наибольшие высоты волн отмечаются с января по март. В результате расчетов построены карты пространственно-временных изменений высоты волны по акватории моря.

Ключевые слова: Каспийское море, ветровое волнение, SWAN, ECWAM, реанализ ERA5, высота волны, направление волнения, карта.

Введение. Область интересов прикаспийских стран в экономическом, транспортном, инфраструктурном и туристическом планах неразрывно связана с Каспийским морем.

Расположение на море одного из важных стратегических участков недр Казахстана требует обеспечения проведения безопасных работ в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций техногенного характера [1, 2].

Проведение работ на море, в том числе при проектировании гидротехнических сооружений, для обеспечения гражданского и военного флота предусматривает использование достоверной информации об опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях (сильные ветра и волнение, сгонно-нагонные колебания уровня моря и др.).

Развивающееся в море ветровое волнение оказывает отрицательное влияние на судоходство, вызывает переформирование берегов. В связи с этим сбор натурных данных о волнении и прогнозирование размеров волн являются важными задачами в целях обеспечения безопасности на море.

Выполнение расчетов, связанных с параметрами волнения, затруднено отсутствием продолжительных рядов наблюдений, которые, в свою очередь, ведутся визуально. Поэтому в большинстве случаев характеристики волнения рассчитывают в результате применения численного моделирования. Развитие методов численного моделирования, увеличение количества данных ДЗЗ позволяют достаточно точно анализировать динамические процессы, происходящие на Каспийском море, в том числе волновые.

Целью данной работы является изучение волнового режима в казахстанском секторе Каспийского моря на основе численного моделирования.

Ряд авторов провели исследования по идентификации основных особенностей волнового режима Каспийского моря по данным реанализа NCEP/NCAR [3-6]. На акватории моря про-

гнозирование ветрового волнения проводится посредством моделей WaveWatch III [7, 8], SWAN [9, 10], а также статистическими методами.

Для казахстанской части Каспийского моря адаптирована спектрально-волновая модель SWAN, смоделированные результаты достаточно хорошо согласуются с другими волновыми моделями, а также с фактическими значениями волнения на морских станциях и постах, а также данными буев [10].

Методы и материалы. Каспийское море – самый большой по площади замкнутый водоем мира, расположенный на стыке Европы и Азии. Его воды омывают берега Российской Федерации, Республики Казахстан, Туркменистана, Исламской Республики Иран, Республики Азербайджан [11].

Прибрежные наблюдения в казахстанской части Каспийского моря проводятся визуально на 7 морских станциях и постах: Кулалы остров, Форт-Шевченко, Саура, Актау, Фетисово, Курык, Песчаный. Наблюденные высоты волн достигали до 4,5 м (два случая с максимальной высотой волны: Актау – 1985 г., Песчаный – 2009 г.). По прибрежным наблюдениям волнения высотой более 2 м отмечаются во всех пунктах [12], и выделить годы с более активными волновыми процессами достаточно трудно, так как в каждом исследуемом году фиксировалось значительное волнение.

В казахстанском секторе моря за 1980–2021 гг. сильное волнение, равное или выше 2 м, наблюдалось 265 раз. Преобладает волнение западного направления, повторяемость которого за исследуемый период составила 30 %. Из остальных направлений волнения следует отметить северо-западное и юго-восточное, повторяемость которых составила 26 и 25 % соответственно.

Поскольку прибрежные наблюдения на Каспийском море осуществляются визуально, для анализа волнового режима необходимо проведение численных экспериментов для открытой акватории моря. В связи с этим расчеты проводились с использованием спектрально-волновой модели третьего поколения SWAN [13, 14] с применением данных батиметрии и характеристик ветра.

Модель учитывает нелинейные взаимодействия трех волн, характерных для закрытых и мелководных акваторий, а также эффекты обрушения и дифракции волн на малых глубинах.

В ее основе лежит решение уравнения баланса энергии волнового поля в спектральном пространстве:

$$\frac{\delta N}{\delta t} + \frac{\delta c_x N}{\delta x} + \frac{\delta c_y N}{\delta y} + \frac{\delta c_\sigma N}{\delta \sigma} + \frac{\delta c_\theta N}{\delta \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}, \quad (1)$$

где N – удельная спектральная плотность; x, y – пространственные координаты; t – время; σ – волновая частота; θ – волновой угол; c_σ, c_θ – скорость распространения в спектральном пространстве; S_{tot} – функция источника, которая включает такие физические процессы, как генерация волн за счет энергии ветра, нелинейный перенос энергии волн при взаимодействии гармоник, уменьшение волн из-за образования пены и брызг, трение о дно и обращение волн на критической глубине [14].

В модели значительная высота волны определяется, как

$$H_s = 4\sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta}. \quad (2)$$

Среднее направление волнения, вычисляется по формуле

$$DIR = 180/\pi \arctan\left(\frac{\int \sin\theta E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos\theta E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}\right), \quad (3)$$

где $E(\omega, \theta, \sigma)$ – спектр плотности дисперсии; ω – абсолютная частота в радианах; k – число волн.

Расчеты были проведены для казахстанской части моря на основе ежечасных данных метеорологических условий (в виде меридионального U и зонального V компонентов на высоте 10 м над уровнем моря), полученных из реанализа ERA5 с пространственным разрешением $0,25^0 \cdot 0,25^0$ за ретроспективный период 1959–2021 гг. Для численного моделирования использовалась батиметрия GEBCO, впервые выпущенная в 1994 году Международной программой картирования морского дна [15]. Данные, выпущенные в мае 2020 года, охватывают весь земной шар с разрешением 15 угловых секунд. Для акватории Каспийского моря выполнено 2648 профилей глубин.

В результате расчетов получены характеристики ветрового волнения для Каспийского моря за каждый час с 1959 по 2021 г. по 2648 точкам на акватории, такие, как значительная высота волны и среднее направление распространения волн.

Для верификации результатов моделирования использованы данные модели ECWAM. Модель океанских волн (ECWAM) описывает развитие и эволюцию поверхностных волн, создаваемых ветром, а также их высоту, направление и период. Модель связана с прогнозом атмосферы во всех конфигурациях (HRES, ENS, Extended Range, Seasonal), выпускаемых Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды, и динамической моделью океана NEMO [18, 19].

Результаты и их обсуждение. Расчетные высоты волны за ретроспективный период удовлетворительно согласуются с наблюдаемыми данными на прибрежной акватории. Однако недостаточное количество наблюдений на открытой акватории моря требует сравнения полученных расчетов с альтернативными данными. В связи с этим был проведен анализ сравнения результатов двух моделей (ECWAM и SWAN).

График сравнения (рисунок 1) изменения средней высоты волны по акватории моря за 1959–2021 гг. по данным модели ECWAM [16] и смоделированным с применением модели SWAN показал, что разница между ними колеблется от 0,05 до 0,55 м. Наибольшая разница наблюдается в марте, октябре и декабре.

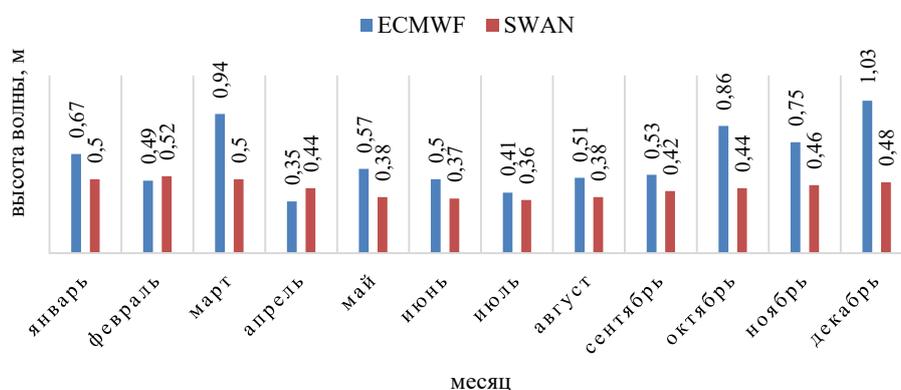


Рисунок 1 – График средней высоты волны на акватории Каспийского моря за 1959–2021 гг. по данным моделей ECWAM, SWAN

Figure 1 – Graph of average wave height in the Caspian Sea water area for 1959–2021 according to ECWAM, SWAN models

Сравнение высоты волны по пунктам наблюдений показало, что для среднего волнения разница между данными составляла от 0,01 до 0,39 м, а для максимального значения – от 0,21 до 1,86 м. Наибольшая разница отмечается у МГ Кулалы (остров). Во внутригодовом разрезе разница для МГ Кулалы (остров) составила до 0,3 м (ноябрь), МГ Форт-Шевченко – 0,4 м (ноябрь), МГП Саура – 0,4 м (август, март), в МГ Актау – до 0,6 м (март), до 0,9 м в марте у МГП Курык и МГП Песчаный. В целом данные показывают удовлетворительную связь между собой.

Применение численного моделирования и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) дало возможность описать режим волнения на открытой акватории Каспийского моря.

Результаты численного моделирования показали, что за период 1959–2021 гг. для акватории Каспийского моря средние высоты волны были около 0,4 м с колебаниями от 0,3 до 0,5 м, максимальные значения высоты волны изменялись от 1,6 до 3,2 м, в среднем 2,0 м (рисунок 2).

Анализ карты пространственного распределения (см. рисунок 2) показал, что высоты максимальных волн более 3 м наблюдались на стыке северо-восточной и восточной части Каспийского моря и охватили район острова Кулалы, Форт-Шевченко.

Высоты волн за 1959–2021 гг. для пунктов наблюдений казахстанского сектора моря представлены на рисунке 3, где видно, что средние значения составляют от 0,42 до 0,47 м, максимальные – от 2,28 до 3,19 м.

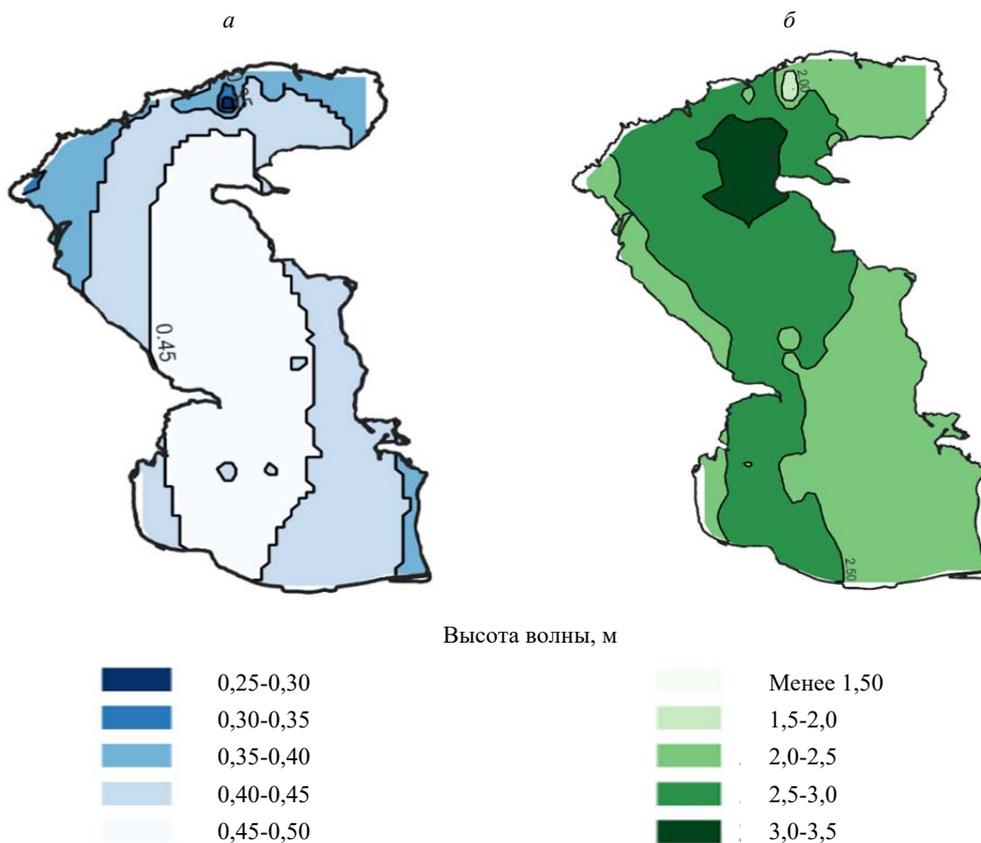


Рисунок 2 – Карта распределения средней (а), максимальной (б) высоты волны в пространстве

Figure 2 – Map of distribution of Spatial (a) average, (b) maximum wave height

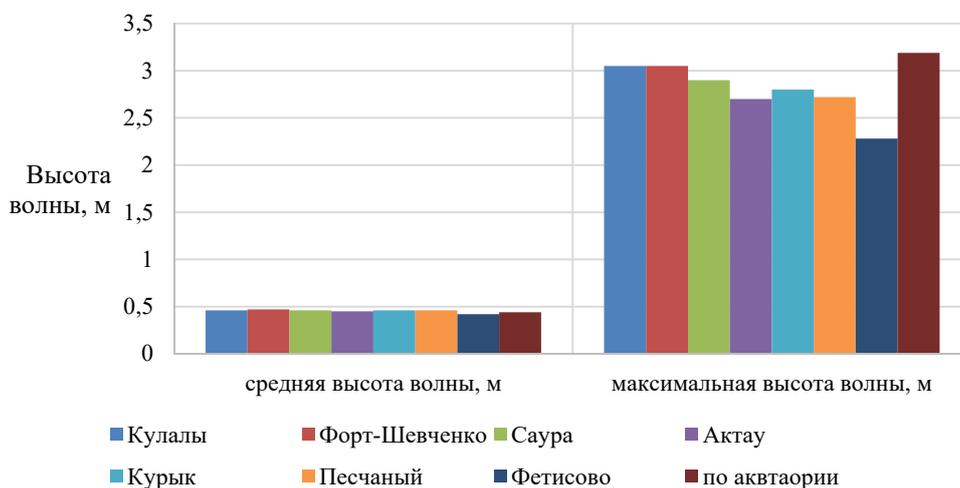


Рисунок 3 – График диапазона изменения высоты волны в отдельных пунктах казахстанского сектора Каспийского моря за 1959–2021 гг.

Figure 3 – Graph of the range of wave height variation in some points of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea for 1959–2021

Средние годовые высоты волн за 1959-2021 гг. как по акватории, так и по пунктам наблюдений составляют 0,3-0,5 м, с наибольшими подъемами в 1985 г. от 0,8 м (Фетисово) до 1,1 м (Форт-Шевченко), в 1991 г. от 0,4 м (Фетисово) до 0,7 м (Кулалы), в 2016 г. от 0,7 м (Фетисово) до 1,1 м (Курык). На рисунке 4 представлены графики высоты волн в пунктах моря за отдельные годы (через каждые 10 лет), также, когда отмечались наибольшие высоты волн.

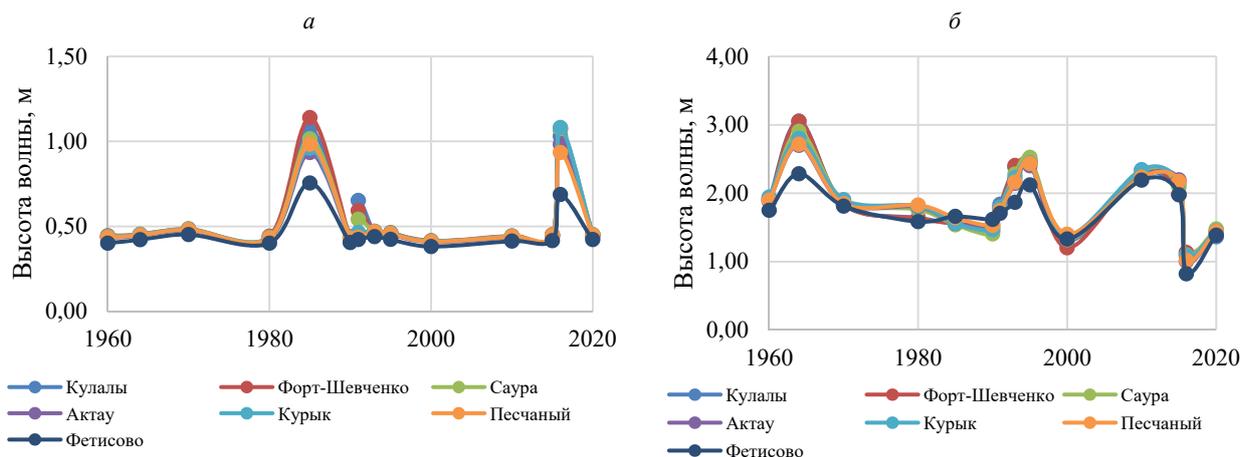


Рисунок 4 –Графики хода значений средней (а) максимальной (б) высоты волны за отдельные годы

Figure 4 – Graphs of the progress of (a) average (b) maximum wave height values for individual years

Следует отметить схожесть полученных результатов с фактическими данными. Так, в декабре 1985 г. на прибрежной станции Актау наблюдалось волнение северо-западного направления высотой 4,5 м, а в январе 1991 г. – волнение западного направления с высотой 3,5 м.

Максимальные высоты по акватории моря были выше, чем в отдельных пунктах казахстанского сектора Каспийского моря.

Распределение средней и максимальной высоты волн по месяцам показало (см. таблицу), что наибольшие высоты волн были в холодный период года (январь-март), средние были около 0,32, а максимальные – более 1 м.

Значения высоты волны внутри года для Каспийского моря

Wave height values within a year for the Caspian Sea

Месяц	Средняя высота волны, м		Максимальная высота волны, м	
	наименьшая	наибольшая	наименьшая	наибольшая
Январь	0,32	0,56	1,50	3,19
Февраль	0,33	0,58	1,14	2,74
Март	0,31	0,55	1,11	2,68
Апрель	0,27	0,49	1,06	2,33
Май	0,24	0,42	0,93	1,80
Июнь	0,23	0,41	0,76	1,74
Июль	0,22	0,41	0,80	1,67
Август	0,23	0,43	0,73	1,67
Сентябрь	0,25	0,48	0,80	1,98
Октябрь	0,27	0,49	1,02	2,04
Ноябрь	0,29	0,52	1,08	2,55
Декабрь	0,30	0,54	0,95	1,94

В январе максимальная высота волны более 3 м отмечалась в казахстанской части моря в районе Форт-Шевченко и острова Кулалы, а в остальной части моря, примыкающей к Казахстану, высоты волн достигали 2,5 м. В феврале и марте на рассматриваемой территории наибольшие высоты волн колебались от 2–2,5 м.

В целом в казахстанском секторе Каспийского моря наблюдается сильное волнение. Однако за период 1959–2021 гг. из общего количества рассчитанных ежечасных высот волн на акватории в 104 416 случаях высота волны превышала 2 м. На период 1959–1989 гг. приходится 25% случаев

превышения высоты волны 2 м, а на период 1990–2021 гг. – 76%. В 1995, 2010, 1964 и 1993 гг. отмечалось наибольшее количество волнений с высотой волны больше 2 м – 27 906, 19 284, 18 557, 11 538 случаев соответственно.

В отдельных пунктах казахстанской части Каспийского моря случаи с превышением высоты волны 2 м отмечались не часто. Так, в 1961 г. – 3-4 случая, в 1964 г. 11-15 случаев, в 1993 г. – 4-10 случаев, в 1995 г. – 9-16 случаев, в 2010 г. – 8-11 случаев, в 2012 г. – 1 случай, в 2015 г. – по 4 случая в среднем.

Для уточнения характеристик волнения рассчитаны высоты волн различной обеспеченности с использованием результатов моделирования за период 1959–2021 гг. Среднеквадратические ошибки расчетов коэффициента вариации σC_v и коэффициента асимметрии σC_s находятся в допустимых пределах, поэтому вычисленные значения приняты для дальнейших определений эмпирических кривых обеспеченности. Так σC_v был от 9,08 до 9,41 %, а σC_s – около 3,09 %. Средняя высота волны редкой повторяемости 0,1 % для всех рассматриваемых пунктов наблюдений составила от 1,56 м (Форт-Шевченко) до 0,94 м (Фетисово). В свою очередь, высота волны 1 % обеспеченности составила от 1,01 м (Форт-Шевченко) до 0,68 (Фетисово).

Параметры биноминальных асимметричных кривых обеспеченности максимальной высоты волны по результатам моделирования за 1959–2021 гг. показали, что максимальные высоты волн при 0,1 % обеспеченности составили 3,45 м, 1 % обеспеченности – 2,77 м у Форт-Шевченко.

Расчетные значения за период 1959–2021 гг. показали, что преобладающим в этот период направлением волнения было юго-восточное. Если рассматривать по месяцам, то в январе преобладали северо-восточное, юго-восточное и юго-западное направления; в феврале, марте, июле, августе, ноябре и декабре – юго-восточное, южное, юго-западное; в апреле – юго-восточное, южное, юго-западное, западное; в мае, июне, сентябре – юго-восточное, южное; в октябре – юго-западное, южное.

Заключение. На основе адаптированной для казахстанского сектора Каспийского моря спектрально-волновой модели SWAN [10] выполнены непрерывные расчеты ежечасных изменений характеристик волнения Каспийского моря – значительная высота волны, направление волнения с 1959 по 2021 г. Полученные результаты хорошо согласуются с волновым режимом, описанным в ряде литературных источников [3, 11, 17], однако расчетные значения средней высоты волны занижены по сравнению с наблюдаемыми данными, что может быть связано с погрешностью результатов реанализа ветрового режима.

Данные численного моделирования показали, что за рассматриваемый период для акватории Каспийского моря средние значения высоты волн были около 0,4 м, максимальные значения высоты волны колебались от 1,6 до 3,2 м, преобладающим направлением волнения было юго-восточное. Во внутригодовом распределении наибольшие высоты волн были в холодный период года (январь-март).

На открытой казахстанской части моря в холодный период года, в который образуются наибольшие высоты волн, необходимо вводить особый режим работ в целях безопасности, а также уменьшения случаев чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года, № 400-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: 01.05.2022).

[2] Кодекс о недрах и недропользовании Республики Казахстан от 27 декабря 2017 года, № 125-VI ЗРК. [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125> (дата обращения: 01.05.2022).

[3] Яйцкая Н. А. Ретроспективный анализ ветрового волнения в Каспийском море во второй половине XX – начале XXI в. и связь с региональными проявлениями изменения климата // Географический вестник. – 2017. – № 2(41). – С. 57-70. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-57-70

[4] Лопатухин Л. И., Яйцкая Н. А. Волновой климат Каспийского моря. Входные данные по ветру для гидродинамического моделирования и некоторые результаты расчетов // Океанология. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 12-21.

[5] Лопатухин Л. И., Яйцкая Н. А. Данные реанализа полей ветра над Каспийским морем для расчета режима ветрового волнения // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 6. – С. 598-604.

[6] Мысленков С. А., Архипкин В. С., Павлова А. В., Добролюбов С. А. Волновой климат Каспийского моря по данным моделирования // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 10. – С. 60-70.

- [7] Strukov B. S., Zelenko A. A., Resnyansky Yu. D., Martynov S. L. Verification of the Wind Wave Forecasting System for the Black, Azov and Caspian Seas // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WCRP Informal Report No. 5. CAS/JSC WGNE. – Geneva: WMO, 2012. – P. 8.5-8.6.
- [8] Струков Б. С., Зеленько А. А., Реснянский Ю. Д., Мартынов С. Л. Система прогнозирования характеристик ветрового волнения и результаты ее испытания для акваторий Азовского, Черного и Каспийского морей // Информационный сборник № 40. Новые технологии, модели и методы гидрометеорологических прогнозов и результаты их оперативных испытаний. – 2013. – С. 64-79.
- [9] Мысленков С. А. Диагноз и прогноз ветрового волнения в прибрежной зоне Черного моря: Дис. ... к. ф. н. – Москва, 2017. – 161 с.
- [10] Ивкина Н. И., Галаева А. В. Прогнозирование ветрового волнения на Каспийском море с помощью модели SWAN // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2 (85). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vetrovogo-volneniya-na-kaspiyskom-more-s-pomoschyu-modeli-swan> (дата обращения: 16.12.2022).
- [11] Проект «моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 358 с.
- [12] Елтай А., Ивкина Н., Клёва Б. Влияние ветра на высоту волн в казахстанской части Каспийского моря // Центрально-Азиатский журнал исследований водных ресурсов. – № 5(1). – С. 82-94. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-1/82-94.rus>
- [13] SWAN user manual. Delft University of Technology. – 2015. – 135 p.
- [14] SWAN. Scientific and technical documentation. Delft University of Technology. – 2020. – 149 p.
- [15] GEBCO. [Электронный ресурс]. – URL: <https://download.gebco.net/> (дата обращения: 15.09.2021).
- [16] Ocean Wave Model – ECWAM. [Электронный ресурс]. – URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM> (дата обращения: 15.07.2020).
- [17] Mammadov R. M. Hydrometeorological atlas of the Caspian Sea. – Baku, 2014.
- [18] Scharroo R., Leuliette E. W., Lillibridge J. L., Byrne D., Naeije M. C., Mitchum G. T. RADS: Consistent multi-mission products // Proc. of the Symposium on 20 Years of Progress in Radar Altimetry, Venice. Eur. Space Agency Spec. Publ., ESA SP-710, 2013. – P. 4.
- [19] Ocean Wave Model – ECWAM. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM>. 15.07.2020.

REFERENCES

- [1] Ecological Code of the Republic of Kazakhstan from January 2, 2021, No. 400-VI ZRC. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (date of reference: 01.05.2022) (in Russ.).
- [2] Code on Subsoil and Subsoil Use of the Republic of Kazakhstan from December 27, 2017. No. 125-VI ZRC. [Electronic resource]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125> (date of reference: 01.05.2022) (in Russ.).
- [3] Yaitskaya N.A. Retrospective analysis of wind waves in the Caspian Sea in the second half of XX – early XXI centuries and the relationship with regional manifestations of climate change // Geographical Bulletin. 2017. No. 2(41). P. 57-70. doi:10.17072/2079-7877-2017-2-57-70 (in Russ.).
- [4] Lopatukhin L.I., Yaitskaya N.A. Wave climate of the Caspian Sea. Wind input data for hydrodynamic modeling and some calculation results // Oceanology. 2019. Vol. 59, No.1. P. 12-21 (in Russ.).
- [5] Lopatukhin L.I., Yaitskaya N.A. Data of wind field reanalysis over the Caspian Sea to calculate the wind wave regime // Water Resources. 2019. Vol. 46, No. 6. P. 598-604 (in Russ.).
- [6] Myslenkov S.A., Arkhipkin V.S., Pavlova A.V., Dobrolyubov S.A. Wave climate of the Caspian Sea based on modeling data // Meteorology and Hydrology. 2018. No. 10. P. 60-70 (in Russ.).
- [7] Strukov B.S., Zelenko A.A., Resnyansky Yu.D., Martynov S.L. Verification of the Wind Wave Forecasting System for the Black, Azov and Caspian Seas // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WCRP Informal Report № 5. CAS/JSC WGNE. Geneva: WMO, 2012. P. 8.5-8.6.
- [8] Strukov B.S., Zelenko A.A., Resnyansky Y.D., Martynov S.L. The system of forecasting wind wave characteristics and the results of its testing for the Azov, Black and Caspian Seas // Information Collection No. 40. New technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts and the results of their operational tests. 2013. P. 64-79 (in Russ.).
- [9] Myslenkov S.A. Diagnosis and forecast of wind waves in the coastal zone of the Black Sea: Dis. ... Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Moscow 2017. 161 p. (in Russ.).
- [10] Ivkina N.I., Galaeva A.V. Forecasting of wind waves in the Caspian Sea using the SWAN model // Hydrometeorology and Ecology. 2017. No. 2(85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vetrovogo-volneniya-na-kaspiyskom-more-s-pomoschyu-modeli-swan> (date of reference: 16.12.2022) (in Russ.).
- [11] The Seas Project. Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas. Vol. VI. Caspian Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions. SPb.: Hydrometeoizdat, 1992. 358 p. (in Russ.).
- [12] Yeltay, A., Ivkina, N., Kljove, B. Wind influence on wave height in the Kazakhstan part of the Caspian Sea // Central Asian Journal of Water Resources Research. No. 5(1). C. 82-94. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-1/82-94.rus> (in Russ.).
- [13] SWAN user manual. Delft University of Technology. 2015. 135 p.
- [14] SWAN. Scientific and technical documentation. Delft University of Technology, 2020. 149 p.
- [15] GEBCO. [Electronic resource]. URL: <https://download.gebco.net/> (date of reference: 15.09.2021).
- [16] Ocean Wave Model – ECWAM. [Electronic resource]. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM> (date of reference: 15.07.2020).
- [17] Mammadov R.M. Hydrometeorological atlas of the Caspian Sea. Baku, 2014.

[18] Scharroo R., Leuliette E.W., Lillibridge J.L., Byrne D., Naeije M.C., Mitchum G.T. RADS: Consistent multi-mission products // Proc. of the Symposium on 20 Years of Progress in Radar Altimetry, Venice. Eur. Space Agency Spec. Publ., ESA SP-710, 2013. P. 4.

[19] Ocean Wave Model – ECWAM. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2.2+Ocean+Wave+Model+-+ECWAM>. 15.07.2020.

А. Ф. Елтай¹, Л. Б. Базарбай*², Н. Н. Жағпарова³

¹ PhD («Қазгидромет») РМК Ғылыми-зерттеу орталығы Каспий теңізін гидрометеорологиялық зерттеулер басқармасының бастығы, Астана, Қазақстан; yeltay.aiz@gmail.com)

^{2*} Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, жетекші ғылыми қызметкер («Қазгидромет») РМК, Астана, Қазақстан; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ғылыми-зерттеу орталығы Каспий теңізін гидрометеорологиялық зерттеулер басқармасының жетекші инженері («Қазгидромет») РМК, Астана, Қазақстан; zhagparova_n@meteo.kz)

САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СЕКТОРЫНДАҒЫ ТОЛҚЫНДЫҚ РЕЖИМІ

Аннотация. Каспий теңізі әртүрлі стихиялық гидрометеорологиялық құбылыстарға ұшырайтын, сондай-ақ экономикалық тұрғыда Қазақстанның маңызды стратегиялық ауданы болып табылатын ішкі су айдыны. Ірі мұнай кен орындары мен порттардың орналасуы теңізде жүзу қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында толқу сипаттамаларының өзгеруін уақтылы талдауды және болжауды талап етеді. Осыған байланысты, бұл жұмыста 1959-2021 жылдардағы толқудың биіктігі мен басым бағытының ретроспективті есептеулері SWAN спектрлік-толқындық моделі мен ERA5 реанализ деректері негізінде жүргізілді. Толқын биіктігінің орташа шамамен 0,4 м, максималды мәндері 3,2 м-ге дейін ауытқиды, толқынның басым бағыты оңтүстік-шығыс болды. Алынған нәтижелер бойынша 62 жылдық кезеңде толқынның елеулі биіктігі 2 м-ден асқан жағдайлардың саны анықталды. Мәселен, 1959-2021 жылдар кезеңінде акватория бойынша есептелген сағат сайынғы толқын биіктіктерінің жалпы санынан 104 416 дауылды жағдай байқалды. Толқындардың ең жоғары биіктігі қаңтардан наурызға дейін байқалады. Есептеулер нәтижесінде теңіз акваториялары бойынша толқын биіктігінің кеңістіктік-уақыттық өзгерістерінің карталары салынды.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, жел толқыны, SWAN, ECWAM, ERA5 реанализі, толқын биіктігі, толқын бағыты, карта

A. G. Yeltay¹, L. B. Bazarbay*², N. N. Zhagparova³

¹ PhD, Head of the Caspian Sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; yeltay.aiz@gmail.com)

^{2*} Master of Natural Sciences, Leading Researcher (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; bazarbay_l@meteo.kz)

³ Master of Natural Sciences, Leading engineer of the Caspian Sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center (RSE «Kazhydromet»), Astana, Kazakhstan; zhagparova_n@meteo.kz)

WAVE REGIME IN THE KAZAKHSTAN SECTOR OF THE CASPIAN SEA BASED ON NUMERICAL MODELING

Abstract. The Caspian Sea is an inland body of water subject to various natural hydrometeorological phenomena, as well as an important strategic area of Kazakhstan in economic terms. The location of large oil fields and ports requires timely analysis and forecasting of changes in the characteristics of waves in order to ensure the safety of navigation at sea. In this regard, in this paper, retrospective calculations of the height and prevailing direction of the wave for 1959-2021 were carried out, based on the SWAN spectral wave model and ERA5 reanalysis data. The average values of the wave height were about 0.4 m, the maximum values of the wave height ranged up to 3.2 m, and the prevailing direction of the wave was southeast. According to the results obtained over a 62-year period, the number of cases exceeding the significant wave height of 2 m was determined. So, for the period 1959-2021, out of the total number of calculated hourly wave heights in the water area, a storm situation was observed in 104,416 cases. The highest wave heights are observed in the period from January to March. As a result of calculations, maps of spatiotemporal changes in wave height across the sea areas were constructed.

Keywords: Caspian Sea, wind wave, SWAN, ECWAM, ERA 5 reanalysis, wave height, wave direction, map.