

УДК 556.536

Канд. геогр. наук Н.И. Ивкина¹
А.В. Галаева¹

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ SWAN

Ключевые слова: спектральная волновая модель, высота волны, оперативный модуль ЕСИМО, скорость ветра

В статье рассмотрены возможности прогнозирования высоты волны на Каспийском море с помощью спектральной волновой модели SWAN. Приводятся результаты адаптации модели к условиям Каспийского моря. Показаны результаты сравнения высоты волны, смоделированной SWAN, оперативным модулем ЕСИМО (Россия) и Wave watch III (Турция).

Исследования ветрового волнения на морях и океанах имеют большое значение, так как данные по режимному волнению необходимы для нужд судоходства, компаний по добыче нефти и строительству в прибрежной зоне. Качественные и вовремя полученные данные, помогают предотвращать экологические и техногенные катастрофы и вести рациональное природопользование.

Хозяйственная деятельность человека в открытых водах Каспийского моря и вдоль его побережий в значительной степени зависит от погоды и состояния поверхности моря, особенно от условий волнения, которые часто являются решающим фактором, приводящим к ограничению или полному прекращению работ на море. В связи с этим прогноз волнения приобретает большое практическое значение, так как позволяет выбрать наиболее благоприятные пути прохождения морских судов и рационально спланировать сроки и место проведения каких-либо морских операций, тем самым обеспечить не только безопасность работ на море, но и повысить их экономическую эффективность [3].

Для эффективного прогнозирования ветровых волн в настоящее время применяется численное моделирование волнения с помощью современных моделей. Наиболее известные из них это SWAN, Wave Watch III, METU 3, PABM и другие [6]. Для прогнозирования ветрового волнения на

¹ Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

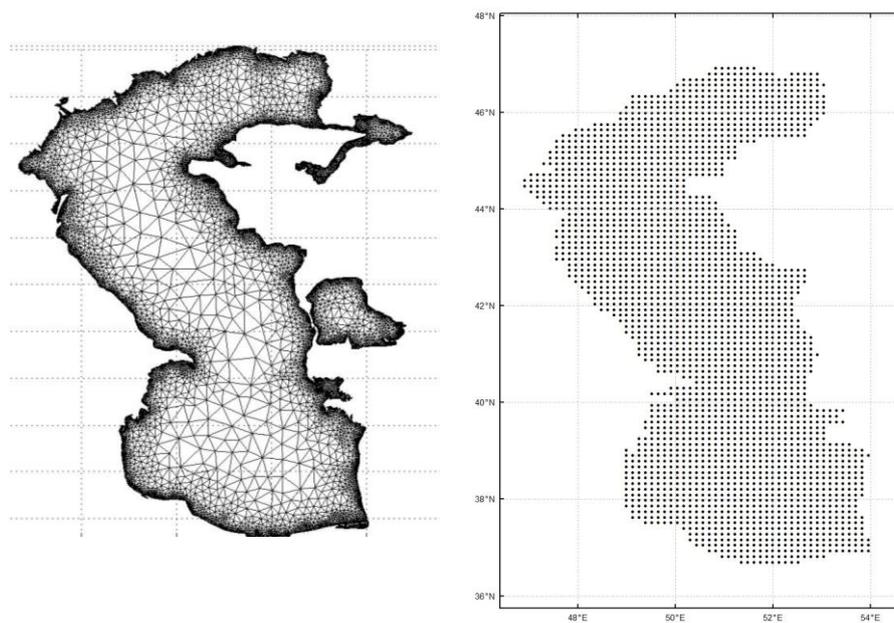
Каспийском море авторами была применена и адаптирована спектральная волновая модель SWAN. Эта модель активно используется в других странах, например, в России SWAN адаптирована для прогнозирования волнения в Цемесской бухте Черного моря [4] и Керченском проливе [5, 7].

Моделирование волнения на Каспийском море производилось с помощью модели SWAN версии 41.01. Эта модель была создана Дельфийским университетом технологий (Нидерланды) и находится в свободном доступе на их сайте [9]. SWAN является волновой моделью третьего поколения для получения параметров волн, как в прибрежных зонах, так и на открытой воде. Данная модель рассматривает состояние волнового поля в любой точке как суперпозицию бесконечного числа синусоидальных волн распространяющихся независимо друг от друга, представляющую собой плотность волновой энергии. Она основана на законе сохранения волнового действия и балансе волновой энергии, учитывает процесс рефракции волн, а также генерацию волн ветром, диссипацию волновой энергии и нелинейное резонансное взаимодействие [1, 8]. Причем диссипация волновой энергии учитывается в нескольких механизмах: обрушение гребней волн, трение о дно и обрушение волн на мелководье. Расчет по модели SWAN проводился в узлах сетки (регулярной и нерегулярной). Нерегулярная триангуляционная сетка была построена с помощью программы Triangle версия 1.6 (рис. 1а). Она представляет собой набор узлов с определенными значениями глубины и треугольников, со сторонами, соединяющими узлы. На рис. 1б приведена регулярная сетка Каспийского моря, созданная в программе ArcMap 10.1. Она представляет собой набор узлов с шагом 10×10 км с определенными значениями глубины. Расчеты проводились по двум сеткам одновременно.

В качестве входных параметров используются данные полей ветра с шагом сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Данные о скорости и направлении ветра ежедневно поступают в РГП «Казгидромет» в соответствии с Соглашением из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды с заблаговременностью 5 суток. Также одним из входных параметров является батиметрическая модель Каспийского моря (рис. 2), которая была построена в программе ArcMap 10.1.

В результате расчетов по модели SWAN получаем основные характеристики волнения в узлах выбранной сетки: координаты точки (X и Y), скорость и направление ветра в этой точке; значительная высота волны (Hsig); направление волнения (Dir); период волны и другие параметры,

расчет которых можно выбирать по желанию. Для составления прогноза ветрового волнения нам необходимо лишь два параметра – это значительная высота волны и направление волнения.



а *б*
Рис. 1. *а* – триангуляционная сетка; *б* – регулярная сетка Каспийского моря.

Прогноз волнения производился как для отдельных точек Каспийского моря (например, форт Шевченко), так и для всей акватории моря. В работе [3] приведено полное описание адаптации модели и результат моделирования ветровых волн в районе форта Шевченко с использованием стационарного ветра, визуальных наблюдений и таблиц Бретшнейдера.

Также проводилось тестирование модели на основе имеющихся в РГП «Казгидромет» данных с буйковых станций. В частности, результаты расчета были сравнены с данными наблюдений морского буя №2, расположенного на открытой акватории моря. Период моделирования: 23.08.2016 – 24.08.2016 с шагом 1 час. В качестве входных характеристик был использован численный прогноз погоды, получаемый из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Результаты сравнения приведены на рис. 3.

Как видно из данных рис. 3, смоделированные и наблюдаемые значения высоты волны очень хорошо согласуются.

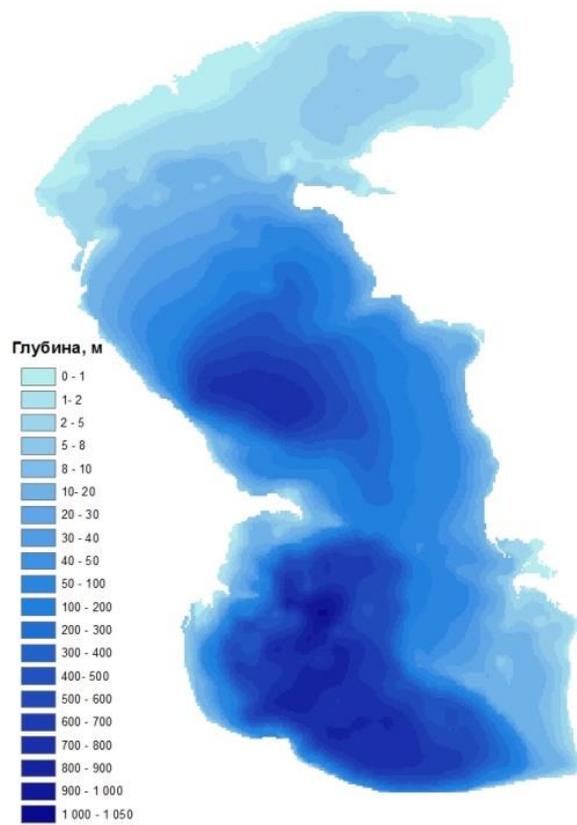


Рис. 2. Батиметрическая модель Каспийского моря.

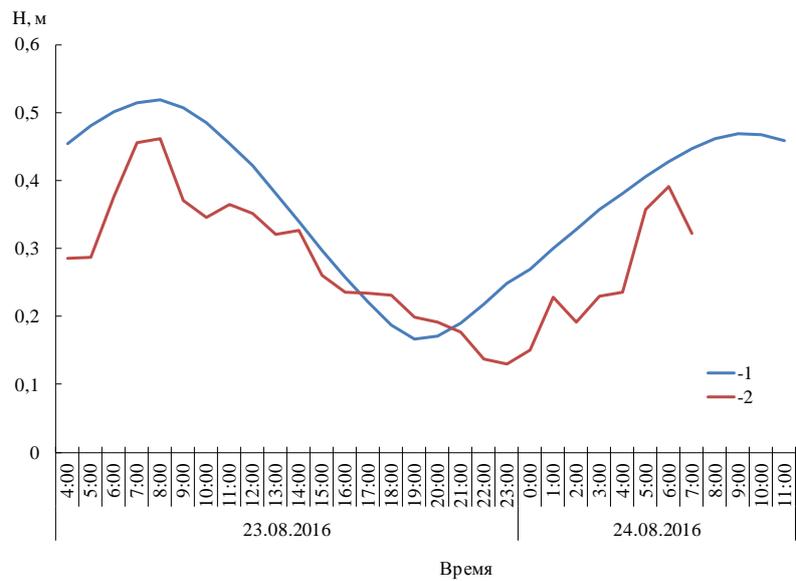


Рис. 3. Результаты сравнения смоделированных (1) и наблюдаемых (2) с помощью SWAN значений высоты волны.

Однако, наблюдения на открытой акватории моря имеются лишь за короткий период и не достаточны для полного анализа и адаптации модели. Поэтому, для дальнейшей проверки модели, результаты расчетов по модели SWAN сравнивались с расчетами ученых Российской Федерации (оперативный модуль ЕСИМО) [2], и данными, смоделированными учеными из Турции с помощью модели Wave Watch III [10].

Для этого первым этапом оценки правильности прогнозов волнения явилась оценка прогнозируемого ветра. Прогнозы ветра, получаемые из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП), сравнивались с прогнозами ветра, представленными оперативной продукцией систем среднесрочного метеорологического прогноза Гидрометцентра России и NCEP/NOAA. График скоростей ветра, представленный на рис. 4, наглядно показывает хорошую сходимость прогнозируемых значений скорости ветра разными системами. Данные о ветре анализировались в течение трехмесячного периода. Большинство исследуемых значений хорошо совпадали, но выявлялись случаи, когда значения прогнозируемой скорости ветра значительно отличались друг от друга. На рис. 5, для наглядности представлен такой случай. Прогнозируемые значения скорости ветра ЕЦСПП и Турецкой гидрометслужбой за 6...11 июня 2017 г. практически не имели совпадений. Это связано с тем, что прогноз скорости ветра ЕЦСПП и Турецкой гидрометслужбой рассчитываются по разным моделям и иногда имеют различия.

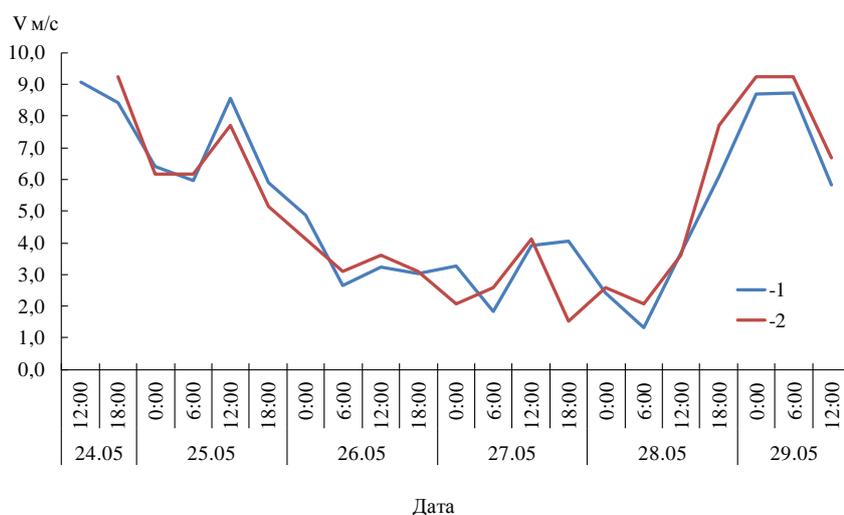


Рис. 4. Ветровые условия в бухте Баутино по данным европейского среднесрочного центра прогноза погоды (ЕЦСПП) (1) и по Турецким данным (2) за 24...29 мая 2017 г.

Модель SWAN удобна тем, что прогноз волнения можно получить абсолютно в любой точке акватории моря, можно прогнозировать волнение согласно координатам маршрута судов, можно выбирать координаты станций наблюдений или морских буев.

Для калибровки модели, мы рассчитывали прогноз ветрового волнения для района форта Шевченко. Это показательный район за счет особенностей ветрового режима, от влияния мысового эффекта полуострова Мангышлак, и для всего Каспийского моря в целом.

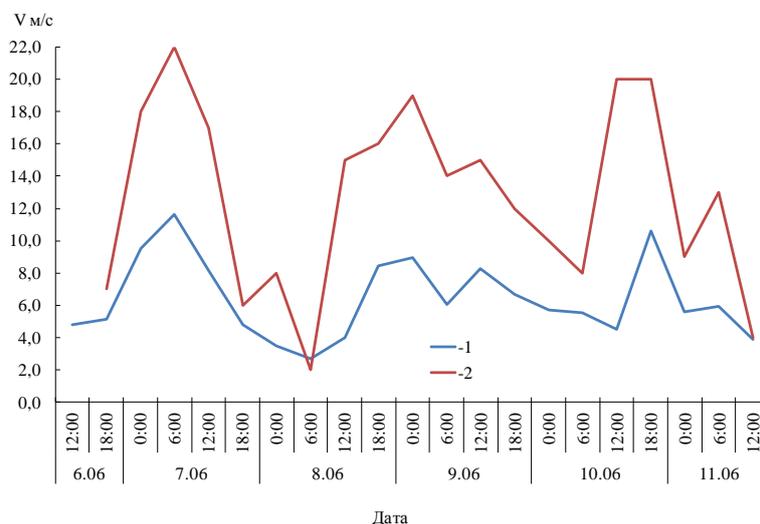


Рис. 5. Ветровые условия в бухте Баутино за 6...11 июня 2017 г.
Усл. обозн. см. рис. 4.

Прогнозируемые значения по модели SWAN сравнивались с прогнозируемыми значениями Гидрометцентром России (оперативный модуль ЕСИМО) и Турецкой гидрометслужбой, которые используют модель Wave watch III [2, 10]. На рис. 6 приведена величина совпадения прогнозируемых значений ветрового волнения в процентах. При оценке качества прогнозов применялась допустимая погрешность, равная $\pm 0,5$ м.

Как видно из данных, приведенных на рис. 6, за 7 месяцев испытаний, прогнозируемые авторами высоты ветрового волнения очень хорошо совпадают с высотой ветрового волнения, прогнозируемой Россией и Турцией. Сходимость результатов колеблется от 70 до 100 %.

На рис. 7 приведено визуальное сравнение результатов моделирования ветрового волнения разными моделями за 19 июля 2017 г., срок 9:00. Как показывают данные, приведенные на рис. 7, SWAN дает хорошие результаты моделирования.

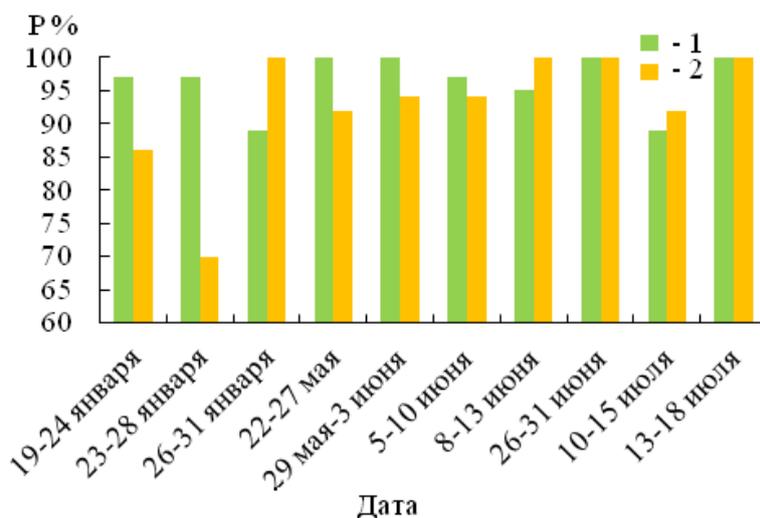


Рис. 6. Величина совпадения прогнозных значений ветрового волнения, смоделированных с помощью SWAN, Гидрометцентром России (оперативный модуль ЕСИМО) (1) и Турецкой службой с помощью Wave watch III (2).

Спектральная волновая модель SWAN была адаптирована для прогнозирования ветрового волнения на Каспийском море. Она может применяться в оперативной практике Казгидромета, а именно Управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря, при прогнозировании ветрового волнения для нужд потребителей.

В настоящее время ведется работа по автоматизации процесса моделирования и по улучшению визуализации смоделированных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демченко Р.И., Дикий П.В., Коломиец П.С. Оценка рефракции и диссипации волновой энергии в модели SWAN при исследовании трансформации нерегулярных волн на неоднородностях дна и генерации вдольбереговых течений // Математичні машини і системи. – № 3. – 2011.- С. 83-96. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-difraksii-i-dissipatsii-volnovoy-energii-v-modeli-swan-pri-issledovanii-transformatsii-neregulyarnyh-voln-na-neodnorodnostyah>. (Дата обращения: 20.06.2016).
2. Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. [Электронный ресурс]. – URL: http://193.7.160.230/web/esimo/casp/wwf/wwf_casp.php. (Дата обращения: 12.05.2017).

3. Ивкина Н.И., Галаева А.В. О применении спектральной волновой модели SWAN для прогноза волнения на Каспийском море // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: Матер. Междунар. Научно – практич. конф., посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни», Алматы, 2016. – Алматы, 2016. – С. 103-107.
4. Мысленков С.А., Архипкин В.С. Анализ ветрового волнения в Цемесской бухте Черного моря с использованием модели SWAN // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 350. – С. 58–67.
5. Мысленков С.А., Столярова Е.В., Архипкин В.С. Прогноз ветрового волнения высокого пространственного разрешения для Керченского пролива, Цемесской бухты и района Сочи // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования материалы молодежной научной конференции. – 2016. – С. 327–331.
6. Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах / Под ред. Е.С. Нестерова. – Москва, 2013. – 337 с.
7. Столярова Е.В., Мысленков С.А. Прогноз ветрового волнения высокого пространственного разрешения в Керченском проливе // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2015. – Вып. 354. – С. 24–35.
8. SWAN Technical Documentation, SWAN Cycle III version 40.51A. – Netherlands: University of Technology, Delft, 2007. – 98 p. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (Дата обращения: 20.06.2016)
9. SWAN, Simulating Waves Nearshore [Электронный ресурс]. – URL: <http://swanmodel.sourceforge.net/> (Дата обращения: 20.06.2016)
10. Turkish State Meteorological Service [Электронный ресурс]. – URL: <http://212.175.180.126/DTS/sea.php/>. (Дата обращения: 20.06.2016)

Поступила 12.05.2017

Геогр. ғылымд. канд. Н.И. Ивкина
А.В. Галаева

КАСПИЙ ТЕҢІЗІДЕГІ ЖЕЛДІК ТОЛҚЫНДАРДЫ SWAN МОДЕЛІ КӨМЕГІМЕН БОЛЖАУ

Түйін сөздер: спектрлік толқындық модель, толқын биіктігі, ЕСИМО жедел модулі, жел жылдамдығы

Мақалада Каспий теңізіндегі толқын биіктігін SWAN спектрлі толқындық моделі көмегімен болжау мүмкіндіктері

қарастырылады. Моделді Каспий теңізі жағдайына дағдылау нәтижелері келтіріледі. SWAN моделі, ЕСИМО жедел модулі (Ресей) және Wave watch III (Түркия) көмегімен есептелген толқын биіктіктерін салыстыру нәтижелері көрсетіледі.

Ivkina N.I., Galayeva A.V.

FORECASTING WIND WAVE IN THE CASPIAN SEA BY USING SWAN MODEL

Keywords: spectral wave model, wave height, ESIMO operational module, wind speed

The article shows the possibilities of forecasting the wave height in the Caspian Sea by using spectral wave model SWAN. The results of adaptation this model to the Caspian Sea conditions are presented. In addition, the results of comparing the wave height simulated by the SWAN, the operational module ESIMO (Russia) and Wave watch III (Turkey) are also shown.