

Ф.Н.Гиппиус, В.С.Архипкин, Г.В.Суркова

Московский государственный университет им.М.В. Ломоносова, г.Москва

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЧЕРНОМ МОРЕ

С применением волновой модели *SWAN* на основе реанализа *NCEP/NCAR* выполнен расчет параметров волнения на Черном море с 1948 по 2010 гг. Проведен анализ пространственного распределения режимных и экстремальных величин высоты волны. Выполнена оценка количества, продолжительности, площади и длины траектории штормов. Определены межгодовые тренды продолжительности и количества штормов на акватории Черного моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, ветровое волнение, штормовое волнение, модель SWAN, реанализ NCEP/NCAR.*

Потребность в определении режима волнения объясняется всё более пристальным вниманием, уделяемым морским акваториям как с научной, так и с прикладной точки зрения. Акватория и берега Черного моря интенсивно используются для судоходства, рекреации и другой хозяйственной деятельности. Эти аспекты обуславливают актуальность, которой обладают исследования волнения на Черном море.

Наиболее рациональным методом таких исследований представляется численное моделирование, имеющее ряд преимуществ перед традиционными инструментальными наблюдениями. К достоинствам расчетных экспериментов можно отнести гибкость в задании начальных условий, рассчитываемых параметров, пространственного и временного разрешения. Другим преимуществом этого метода является возможность прогнозирования и ретроспективного анализа волнения с использованием прогнозных или архивных метеорологических полей соответственно.

В последнее время опубликовано большое количество работ, посвященных исследованию ветрового волнения в Черном море на различных пространственных и временных масштабах. Некоторые из этих публикаций, например, [1, 2], являются атласно-справочными изданиями и посвящены исследованию ветро-волнового климата Черного моря и его экстремальным проявлениям. Режимным характеристикам волнения на Черном и Азовском морях посвящены работы [3, 4]. Другие материалы в большинстве своём имеют более узкую направленность. Так, можно привести примеры публикаций, посвященных моделированию волнения во время особо редких штормов [5], на отдельных участках акватории моря [6], а также совместному моделированию волнения и поверхностных течений [7]. Актуальным направлением исследований является верификация и калибровка моделей с использованием натуральных измерений (например, [8]).

Целью данной работы является предварительное определение особенностей и характеристик штормового волнения на акватории Черного моря, типичных для второй половины XX и начала XIX вв., а также выявление трендов в его многолетней изменчивости.

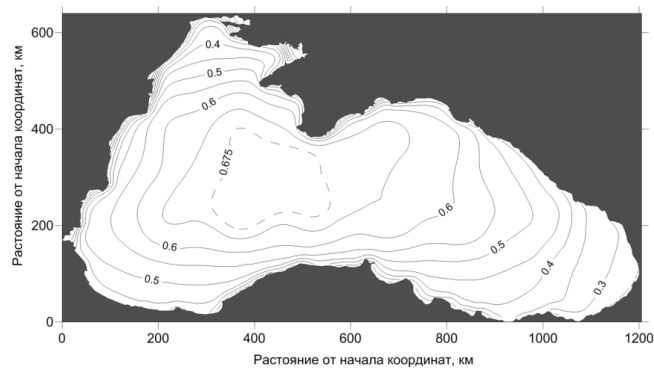
© Ф.Н.Гиппиус, В.С.Архипкин, Г.В.Суркова, 2013

Расчет волнения выполнялся с помощью спектральной волновой модели SWAN [9, 10]. Вынуждающей силой волновых колебаний является ветровое напряжение, определяемое на основе данных о компонентах скорости ветра на высоте 10 м. Эти сведения с дискретностью 6 часов за период с 1948 по 2010 гг. получены из данных реанализа NCEP/NCAR [11]. Данный реанализ использовался из-за того, что он покрывает более длительный временной интервал по сравнению с большинством других аналогов. Стоит отметить и наиболее существенный его недостаток – относительно крупное пространственное разрешение ($1,875^\circ$ по долготе и $1,9046^\circ$ по широте). Для создания цифровой модели рельефа дна и контуров берегов моря была использована навигационная карта масштаба 1 : 2500000. В результате создана прямоугольная расчетная сетка с пространственным разрешением 5 км.

Вычисления велись непрерывно для каждого из годов. При этом для каждого года создавался файл «горячего старта», представляющий собой расчет картины волнения, основанный на полях ветра за три последних дня предыдущего года. Дискретность вычислений составляет 30 минут. В каждый из расчетных сроков в узлах сетки производится запись значительной высоты волны, направления её распространения, её периода и средней длины, высоты зыби; также определяется количество и перенос волновой энергии. Для краткости далее будет рассматриваться лишь значительная высота волны как наиболее часто используемая характеристика волнения.

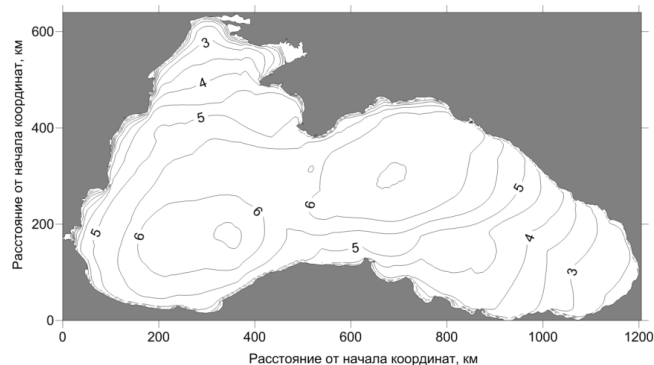
Распределение величин средней значимой высоты волнения на акватории Черного моря представлено на рис.1. Черное море относится к относительно спокойным районам Мирового океана; средняя величина значительной высоты волны здесь не превышает 0,7 м. Тем не менее, в пространственном распределении волнения есть свои закономерности. Видно, что область с наиболее выраженным волнением находится в центральной части моря западнее Крыма. Средние значительные высоты волн закономерно уменьшаются по мере приближения к берегу, при этом градиент волнения ярче выражен у западного, чем при движении в сторону противоположного восточного берега.

Карта распределения максимальных значений высот волн за период вычислений представлена на рис.2. На ней определяются два района моря с наиболее развитым штормовым волнением – юго-западная и северо-восточная части моря. Максимальные высоты волн здесь превышают 6,5 м. Нали-



Р и с . 1 . Средняя значимая высота волны, м.

чие этих двух районов максимального волнения можно объяснить так. При сопоставлении полей атмосферного давления и ветра во время штормов и вызываемого при этом волнения было установлено, что для акватории Черного моря характерными являются два типа штормовых



Р и с . 2 . Максимальная вычисленная высота волны, м.

ной высокого давления над Европейской территорией России и Восточной Европой. В этом случае над Черным морем преобладают северо-восточные, восточные, юго-восточные ветры. В отдельных случаях формирование локального минимума давления и его перемещение над Черным морем усложняет картину направления ветра. Второй, более редкий тип барической обстановки характеризуется смещением подвижного циклона с севера Европы в юго-восточном направлении («ныряющий» циклон) или быстрым распространением ложбины на юг от Скандинавии и Балтики на Восточную Европу и ЕТР с возможным формированием локального глубокого циклона в северной части моря. При этом над Балканами господствует область повышенного давления. Такая ситуация также может приводить к развитию сильных штормовых ветров с преобладанием северо-западного, западного, юго-западного направлений.

Основываясь на результатах вычислений значительных высот волн, с использованием логнормального распределения была проведена оценка максимальных возможных высот волн повторяемостью 1 раз в 100 лет. Её результаты представлены на рис.3. Значение этой величины превышает 14 м в акваториях южнее и юго-западнее Крыма. Такой результат хорошо согласуется с данными, приведенными в [2].

Помимо изучения пространственного распределения режимных и экстремальных волновых характеристик в работе уделено внимание статистическому исследованию штормовых ситуаций над акваторией Черного моря. Под штормом здесь принимается такая ситуация, при которой значительная высота волны по результатам моделирования в один или несколько последовательных расчетных сроков превышает 4 м. Такая высота волны является пороговой величиной при определении сильного волнения в прибрежных районах [12]. Несмотря на то, что в [12] приведена трехступенчатая градация пороговых значений высот волн (для прибрежных вод, открытого моря и открытого океана), в настоящей работе не применяется разделение акватории на прибрежную и мористую части. Это обусловлено особенностями рельефа дна Черного моря и выбранным шагом расчетной сетки – при пространственном разрешении в 5 км в пределах одной ячейки могут оказаться как мелководный шельф, так и крутой абиссальный склон. Поэтому для всего моря применялся единый критерий выявления штормовых волн. Для каж-

синоптических ситуаций. В первом ложбине средиземноморских циклонов с центрами на востоке Средиземного моря и над Малой Азией выходят на Черное море, где формируется локальный центр пониженного давления. Дальнейшее смещение циклонов на север блокируется зо-

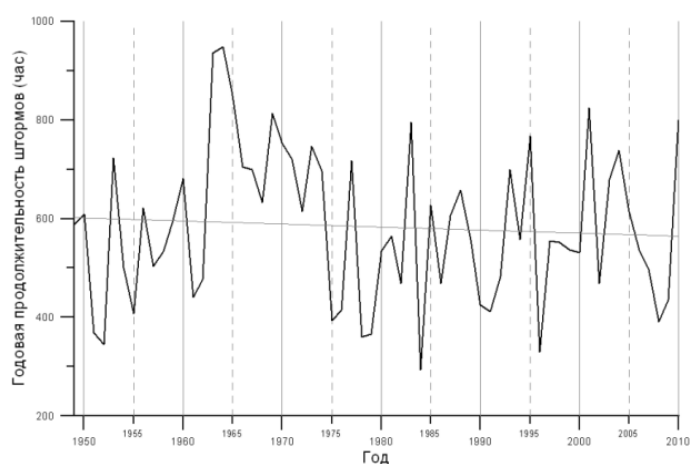
Таблица 1. Количество и средние продолжительность, площадь и длина траектории штормов.

значительная высота волны, м	количество штормов	средняя продолжительность, час	средняя площадь, км ²	средняя длина траектории, км
$4 \leq h < 5$	76	50,17	239343	597
$5 \leq h < 6$	17	67,24	257810	661
$h \geq 6$	2	81	269540	764
всего	95	53,87	243280	612

дой штормовой ситуации определялась продолжительность шторма, его площадь и длина траектории. Помимо этого, все штормы были ранжированы в зависимости от значимой высоты волны. Средние характеристики штормов приведены в табл.1.

В межгодовой изменчивости штормовой активности хорошо заметен период повышения количества и продолжительности штормов в середине 60-х гг. (рис.3). В целом следует отметить тенденцию к незначительному уменьшению суммарной продолжительности штормов, о чем говорит линейный тренд этой величины за всё время наблюдений. В то же время в годовом количестве штормов такая наклонность практически не наблюдается.

Полученные результаты могут быть уточнены в ходе дальнейших исследований с использованием других, более пригодных для региональных исследований материалов и методов, к которым можно отнести реанализы с меньшим пространственным и временным разрешением и более детальные расчетные сетки, в том числе и неструктурные. Последнее будет особенно эффективно для расчета параметра волнения в прибрежных акваториях, бухтах и проливах. В то же время длительный период, для которого проводился расчет волнения в данной работе, позволяет использовать результаты для исследований эволюции ветро-волнового климата черноморского региона во второй половине XX – начале XIX вв.



Р и с . 3 . Суммарная годовая продолжительность штормов, час

Настоящая работа выполнена в Лаборатории оценки природных рисков МГУ в рамках договора G.34.31.0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов В.В., Комаровская О.И.* Атлас экстремального ветрового волнения Черного моря.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– 59 с.
2. *Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей.*– СПб: Российский морской регистр судоходства, 2006.– 451 с.
3. *Полонский А.Б., Фомин В.В., Гармашов А.В.* Характеристики ветрового волнения Черного моря // Доп. НАН України.– 2011.– № 8.– С.108-112.
4. *Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Мартынов Е.С., Гармашов А.В.* Ветро-волновой режим Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.22.– С.228-239.
5. *Бухановский А.В. и др.* Шторм на Черном море 11 ноября 2007 г. и статистики экстремальных штормов моря // Изв. Русск. географ. общ.– 2009.– т.141, №. 2.– С.71-80.
6. *Valchev N.N., Trifonova E.V., Andreeva N.K.* Past and recent trends in the western Black Sea storminess // Nat. Hazards Earth Syst. Sci.– 2012.– т.12.– С.961-977.
7. *Фомин В.В., Иванов В.А.* Совместное моделирование течений и ветрового волнения в Керченском проливе // Морской гидрофизический журнал.– 2007.– № 5.– С.3-26.
8. *Akpinar A. et al* Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea // Continental Shelf Res.– 2012.– т.50-51.– С.80-99.
9. *Holthuijsen L.H.* Waves in oceanic and coastal waters.– Cambridge University Press, 2007.– 387 с.
10. *The SWAN Team: SWAN User Manual.*– Delft University of Technology, 2006.
11. *Kalnay E. et al* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of the American meteorological Society.– 1996.– т.77, № 3.– С.437-471.
12. *РД 52.88.699-2008.* Руководящий документ. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.– М., 2008.– 33 с.

Материал поступил в редакцию 14.07.2013 г.

АНОТАЦІЯ Із застосуванням хвильової моделі *SWAN* на основі реаналізу *NCEP/NCAR* виконаний розрахунок параметрів хвилювання на Чорному морі з 1948 по 2010 рр. Проведено аналіз просторового розподілу режимних та екстремальних величин висоти хвилі. Виконана оцінка кількості, тривалості, площі та довжини траєкторії штормів. Визначено міжрічні тренди тривалості та кількості штормів на акваторії Чорного моря.

ABSTRACT By using the wave model *SWAN* based on *NCEP/NCAR* reanalysis the wave parameters on the Black Sea are calculated from 1948 to 2010. The spatial distribution of the regime and extreme wave height are analysed. The amount, duration, area and length of storm tracks are estimated. Interannual trends of duration and the number of storms in the Black Sea is identified.