

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ: КЛИМАТ И ПРОЕКЦИИ

**A.В. Гармашов, А.Б. Полонский,
В.В. Фомин, В.В. Белоусов**

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ant.gar@mail.ru

Проведен расчет и анализ характеристик ветрового волнения для современного (1979 – 2008 гг.) и прогнозистического (2010 – 2099 гг.) климата ХХI века Черного моря. Для расчета использовалась численная модель Simulating WAves Nearshore (SWAN) и ветровые данные ре-анализа (JRA) и атмосферной модели GFDL.

Введение. Возрастающая интенсивность хозяйственной деятельности в Азово-Черноморском бассейне, связанная с развитием прибрежной инфраструктуры и освоением нефтяных и газовых месторождений, предъявляет повышенные требования к качеству регионального гидрометеорологического обеспечения. Одной из основных задач такого обеспечения является оценка режимных (климатических) характеристик ветрового волнения. Для практических приложений особенно важны характеристики экстремально высоких волн. Для прибрежных районов Черного моря режимные расчеты (включая повторяемость значительных волн) выполнены по данным длительных наблюдений на гидрометеорологических станциях [1]. Для открытых частей моря необходимые для соответствующих расчетов данные наблюдений отсутствуют. Поэтому используются результаты расчетов волнения с использованием спектральных моделей (WAM или SWAN). При этом реалистичность параметров полученного ветрового волнения в значительной мере определяется качеством входных полей ветра. Как правило, для оценки режимных характеристик и экстремального волнения используются поля ветра атмосферного ре-анализа.

Доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата

(МГЭИК), опубликованный в 2007 г., с достоверностью превышающей 90 %, антропогенный фактор ответствен за большую часть глобального потепления, наблюдавшегося с середины ХХ века. Вероятность усугубления антропогенных изменений климата в течение ХХI века также превышает 90 %. Особенную озабоченность научного сообщества вызывает высокая скорость наблюдаемых изменений климата, которая, как показывают прогностические оценки, будет нарастать [2]. Изменения глобального климата проявляются не только как глобальное потепление: увеличиваются частота и интенсивность климатических аномалий и экстремальных явлений погоды, которые зачастую приводят к значительному материальному ущербу и к человеческим жертвам. МГЭИК разработала долгосрочные сценарии эмиссии парниковых газов и аэрозоля в атмосферу в ХХI веке, которые опубликованы в Специальном докладе о сценариях выбросов (СДСВ) [3]. Эти сценарии основаны на обширном перечне демографических, экономических и технологических факторов, определяющих эмиссии. Общее число сценариев составляет 40, и все они объединены в четыре основные сюжетные группы. Эволюция концентраций разных парниковых газов в атмосфере (CO_2 , CH_4 , N_2O и др.) в течение ХХI века определялась с помощью современных фотохимических и углеродных моделей [4].

Из 40 сценариев выделяются 6 так называемых демонстрационных сценариев [2]: 3 сценария A1 (A1FI, A1T, A1B), а также A2, B1 и B2.

По сценарию A2 развитие мира проходит при сохранении местной самобытности и опоры на собственные природные ресурсы, а также при постоянном росте общей численности населения в мире. Экономическое развитие имеет региональную направленность, а экономический рост в расчете на душу населения и технологические изменения более фрагментарны и происходят медленнее по сравнению с другими основными сюжетными группами. В результате такого развития ожидается значительное увеличение концентрации основных парниковых газов в атмосфере. К 2100 г.

концентрации основных парниковых газов в атмосфере увеличается по сравнению с 1990 г.: CO_2 в 2,42, CH_4 в 2,19 и N_2O в 1,45 раза.

До середины XXI столетия различия между сценариями невелики, во всяком случае, в средних глобальных оценках изменения климата, а к концу столетия ожидаются значительные различия между ними с более сильным потеплением в случае реализации сценария A2.

Исходные данные. Для современного и прогнозистического климата XXI века исходными являлся массив полей высот, направлений и периодов ветровых волн в Черном море на регулярной сетке, рассчитанный на вычислительном кластере Морского гидрофизического института НАН Украины с использованием параллельной версии спектральной модели *SWAN* [5 – 7]. Для современного климата (1979 – 2008 гг.) на входе в модель задавались: зональная и меридиональная компоненты скорости ветра на стандартной высоте $z_{10} = 10$ м с дискретностью 6 ч, взятые из ре-анализа JRA. Модельные характеристики волнения рассчитывались на регулярной сетке 246×160 , покрывающей Черное море с шагом $\sim 4,5$ км. Рельеф дна задавался на той же сетке. Для прогнозистического климата XXI века (2010 – 2099 гг.) на входе в модель задавались: зональная и меридиональная компоненты скорости ветра на высоте $z_{10} = 10$ м с дискретностью 24 ч, взятые из модели GFDL для сценария A2. Здесь характеристики волнения рассчитывались на регулярной сетке 123×80 , покрывающей Черное море с шагом ~ 9 км.

Результаты. Основные результаты работы показаны в виде полей средних и максимальных значений высот значительных волн на рис. 1 – 8. Для удобства представления результатов и их сравнения прогнозистический интервал (2010 – 2100 гг.) разбивался на 3 временных отрезка: краткосрочный прогноз (2010 – 2039 гг.), среднесрочный прогноз (2040 – 2069 гг.) и долгосрочный прогноз (2070 – 2099 гг.).

Для современного климата в поле средних высот значительных волн (рис. 1) наблюдается два локальных максимума с амплитудами 0,85 и 0,75 м. Максимальные высоты значительных волн (более 12 м) наблюдались в юго-западной части Черного моря, а в центральной части моря максимальные волны не превышали 8 м (рис. 2).

В полях средних высот значительных волн (рис. 3 – 5) для трех климатических сроков в XXI веке максимум с амплитудой 1,20 – 1,25 м наблюдается в юго-западной части Черного моря. Наименьшие средние высоты волн (0,3 – 0,4 м) наблюдаются в юго-восточной части моря.

По данным расчетов максимальные высоты значительных волн (около 9 м) в течение 2010 – 2069 гг. могут наблюдаться в юго-западной части Черного моря (рис. 6, 7). А за период 2070 – 2099 гг. максимальные высоты значительных волн в Черном море могут достигать 12 м в центральной части моря (рис. 8).

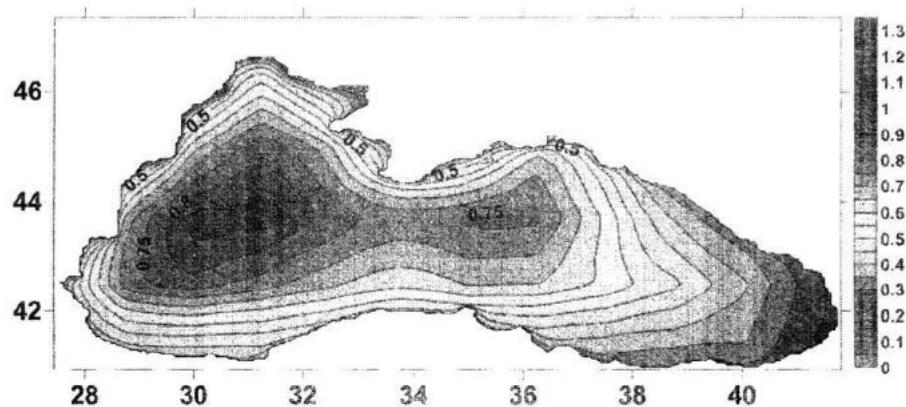
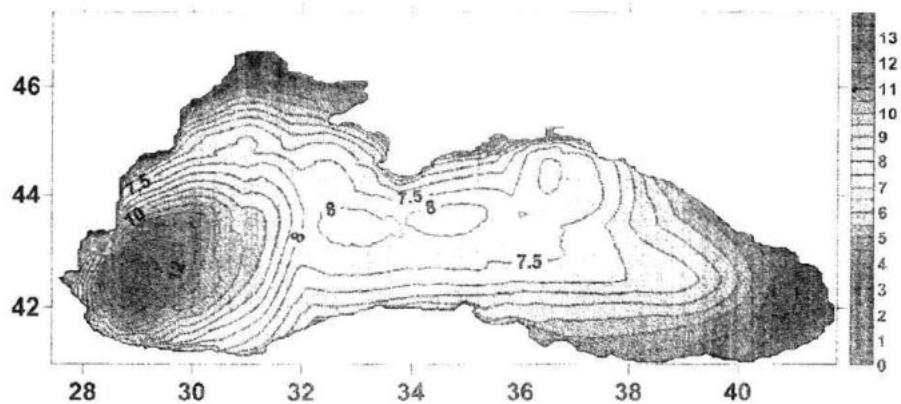
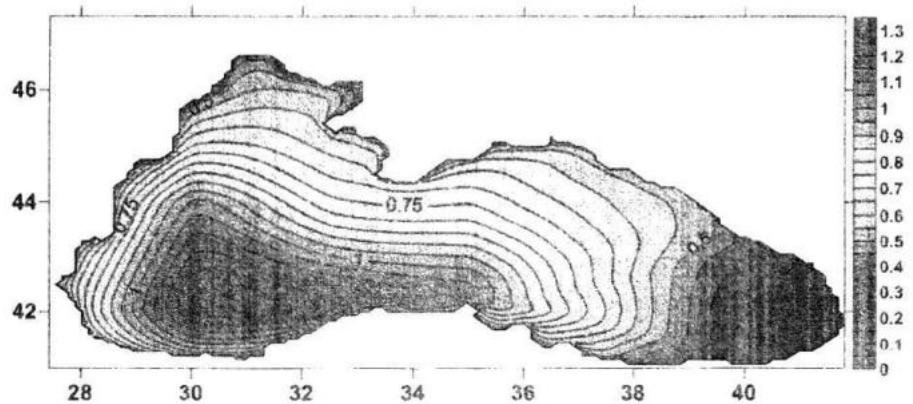


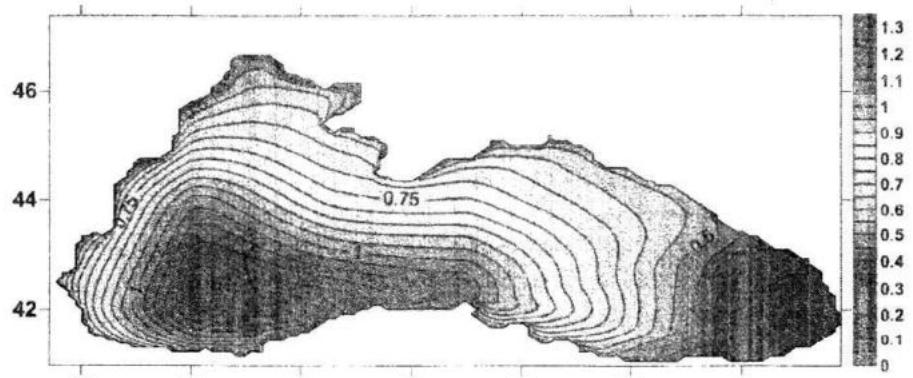
Рис. 1. Средние высоты значительных волн (м) за 1979 – 2008 гг.



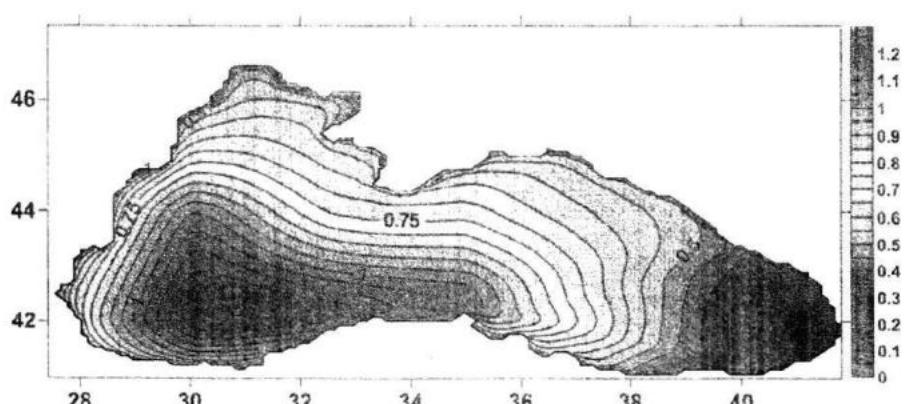
Р и с. 2. Максимальные высоты значительных волн (м) за 1979 – 2008 гг.



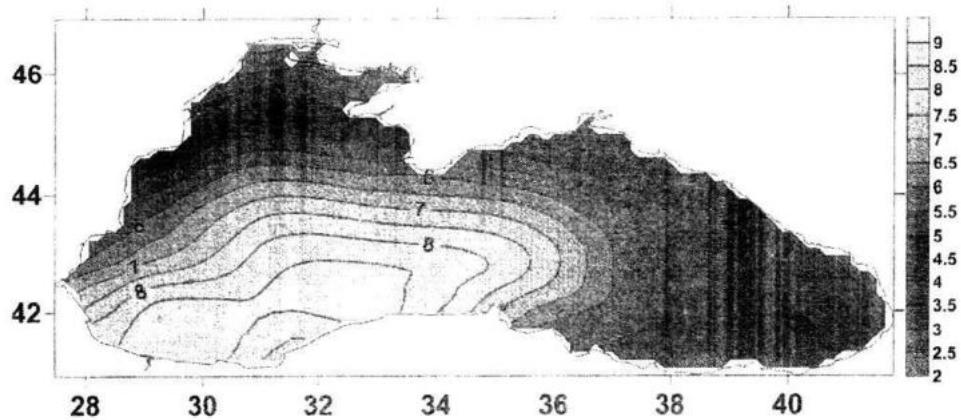
Р и с. 3. Средние высоты значительных волн за 2010 – 2039 гг.



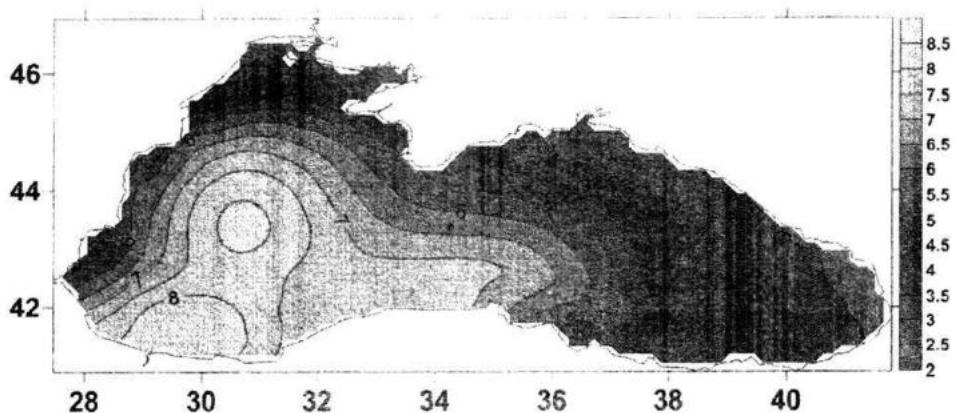
Р и с. 4. Средние высоты значительных волн за 2040 – 2069 гг.



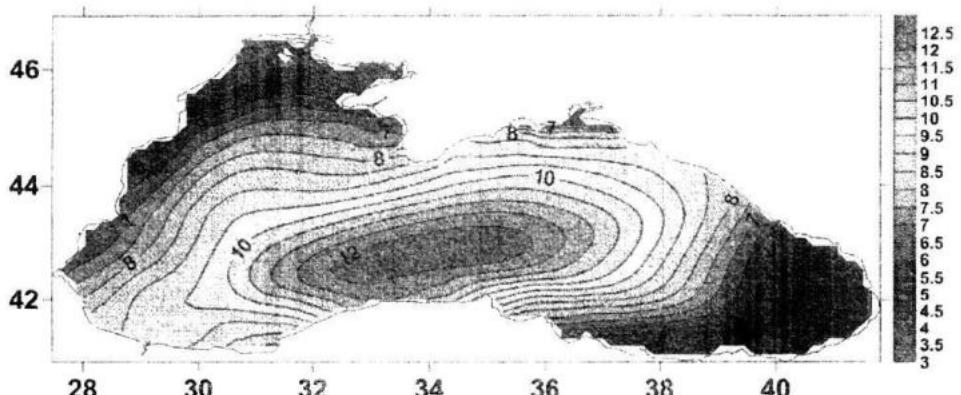
Р и с. 5. Средние высоты значительных волн за 2070 – 2099 гг.



Р и с. 6. Максимальные высоты значительных волн за 2010 – 2039 гг.



Р и с. 7. Максимальные высоты значительных волн за 2040 – 2069 гг.



Р и с. 8. Максимальные высоты значительных волн за 2070 – 2099 гг.

Выводы. Максимальные высоты значительных волн для современного климата (1979 – 2008 гг.) составляли более 12 м и наблюдались в юго-западной части Черного моря. Расчет прогнозических изменений высот значительных волн в ХХI веке для сценария А2 показал, что также возможно наблюдение

значительных волн с высотами около 12 м в центральной части Черного моря. Анализ полей средних высот значительных волн в ХХI веке показал постоянство средних характеристик волн в течение столетия, те усиления волновой активности Черном море происходить не будет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П. Классификация синоптических процессов в Азово-Черноморском бассейне // Сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2009. – Вып. 19. – С. 386 – 394.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1, изменения климата. Росгидромет, 2008. – 229 с.
3. Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., et al. IPCC Special Report on Emission Scenarios. United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2000.
4. IPCC: Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2001. – 881 p.
5. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1. Азовское море. – Сев.: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 402 с.
6. Михайличенко С.Ю., Фомин В.В., Иванов В.А. Моделирование штормовых ситуаций в Азовском море на основе волновой модели SWAN // Сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 15. – С. 298 – 302.
7. Федоров С.В. Особенности использования модели SWAN для расчета ветрового волнения в Керченском проливе // Сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2008. – Вып. 16. – С. 303 – 313.