

## Волновой климат прибрежной зоны Крымского полуострова

Б. В. Дивинский\*, Р. Д. Косьян

*Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН, Москва, Россия*

*\*E-mail divin@ocean.ru*

Поступила в редакцию 17.10.2017 г. После доработки 20.11.2017 г.

Основная цель представленной работы – оценка климатических особенностей распределения ветровых волн и зыби в прибрежной зоне Крымского полуострова. Метод исследований – математическое моделирование. Используется современная спектральная волновая модель *DHI MIKE 21 SW*. Проведена предварительная калибровка модели с целью корректного разделения смешанного поверхностного волнения на компоненты, соответствующие чисто ветровым волнам и зыби. Основными калибровочными параметрами являются коэффициенты, определяющие численную интерпретацию процессов потери энергии вследствие забурунивания (обрушения волн на глубокой воде). В результате проведенной работы создан банк данных интегральных параметров ветрового волнения и зыби на акватории Черного моря за период 1979–2016 гг. с дискретностью 1 ч. Для Крымского побережья проанализированы особенности пространственного распределения мощностей ветрового волнения и зыби, а также некоторые статистические характеристики волновой изменчивости. Показано, что вклад волн зыби в суммарную волновую энергию поверхностного волнения увеличивается по направлению от западной части прибрежной зоны Крымского полуострова к восточной. В западной части доля зыби (в среднегодовом балансе) составляет ~15%, в юго-восточной этот вклад превышает 30%.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, модель *DHI MIKE 21 SW*, ветровые волны, зыбь, климат.

**Для цитирования:** Дивинский Б. В., Косьян Р. Д. Волновой климат прибрежной зоны Крымского полуострова // Морской гидрофизический журнал. 2018. Т. 34, № 2. С. 101–110. doi: 10.22449/0233-7584-2018-2-101-110

## Wave climate of the coastal zone of the Crimea Peninsula

B. V. Divinsky\*, R. D. Kosyan

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*e-mail: divin@ocean.ru*

The main goal of the present paper is to assess climatic features of the wind waves' and swell distribution in the coastal zone of the Crimea Peninsula. The method of research is mathematical modeling. The modern spectral wave model *DHI MIKE 21 SW* is used. The model was preliminary calibrated for the purpose of correct dividing the mixed surface waves into the components corresponding to pure wind waves and swell. The basic calibration parameters are the coefficients conditioning numerical interpretation of the energy dissipation processes resulting from white-capping (wavebreaks in deep water). The research has resulted in creating a database of integral parameters of the wind waves and swell in the Black Sea for 1979–2016 with the time resolution 1 hour. The features of spatial distribution of the wind waves' and swell powers, and also some statistical characteristics of wave variability are analyzed for the sea areas adjacent to the Crimean coast. It is shown that the swell contribution to the total wave energy of the surface waves increases from the western coast of the Crimea Peninsula towards the eastern one. Nearby the western coast, the swell contribution (in the average annual balance) constitutes about 15%, whereas nearby the southeastern coast it exceeds 30%.

**Keywords:** mathematical modeling, model *DHI MIKE 21 SW*, wind waves, swell, climate.

**For citation:** Divinsky, B.V. and Kosyan, R.D., 2018. Wave climate of the coastal zone of the Crimea Peninsula. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, 34(2), pp. 101-110. doi:10.22449/0233-7584-2018-2-101-110 (in Russian).

**Введение.** В структуре поверхностного волнения можно выделить, как правило, два основных компонента: чисто ветровое волнение (ВВ) и зыбь. Развитие ветрового волнения непосредственно связано с локальным ветровым полем. К зыби относятся волны, распространяющиеся вне зон генерации или же фазовая скорость которых превосходит скорость ветра (напр. [1]). В открытом океане зыбь может распространяться на сотни и тысячи километров. В Черном море характеристики зыби лимитируются ограниченными географическими размерами и замкнутостью акватории моря.

Обычной практикой является представление характеристик волнового поля в виде набора интегральных параметров (значительная высота волн, средний период, генеральное направление распространения). Подобный подход оправдан в условиях однородного волнового поля. Если волновой спектр формируется как результат взаимодействия нескольких волновых систем, то представляется вполне естественным получить отдельные волновые статистики для каждой из них.

Кроме чисто научного интереса разделение волнового поля на отдельные компоненты позволяет: более корректно описывать пространственно-временную структуру поверхностного волнения; эффективнее рассчитывать волновые нагрузки на сооружения в прибрежной зоне, а также опасные явления на защищенных акваториях (низкочастотные колебания); уточнять схемы перераспределения и транспорта донных осадков; корректировать прогностические оценки волновой обстановки в интересах морской навигации.

В настоящее время информация о характеристиках смешанного волнения и зыби предоставляется в рамках некоторых проектов глобального реанализа, например *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* [2]. Результаты недавних исследований, проведенных на основе подобных массивов, позволили оценить климатические особенности распределения волн зыби в масштабе океанов [3–6]. Для Черного моря использование готовых параметров волн зыби из базы данных реанализов не представляется корректным, поскольку временной интервал таких данных составляет 3 ч. В работе [7], в частности, исследован набор волновых статистик, характеризующих штормовую активность на Черном море, и показано, что средняя продолжительность шторма составляет 14–25 ч в зависимости от установленного порогового уровня. По этой причине для синоптических условий Черного моря дискретность выходных полей ветрового волнения в 3 ч явно недостаточна.

Научных публикаций, посвященных отдельному описанию компонентов поверхностного волнения на акватории Черного моря, в общем немного. В работе [7] для северо-восточной части моря предпринята попытка построения климатических спектров для отдельных классов волнения. Анализ базировался на экспериментальных данных [8]. Повторяемости климатических спектров для чисто ветрового волнения, зыби и смешанного волнения определены в 43, 32, 25% соответственно. В работе [9] рассматривались характеристики ветрового волнения и зыби по данным реанализа *ECMWF* в южной части Черного моря за период 01.10.2000–28.02.2006 гг. с интервалом 12 ч. Для синоптических условий Черного моря подобная дискретность явно недостаточна и полученные результаты могут рассматриваться как весьма оценочные. Одна из последних работ – публикация [10], в которой авторы вос-

пользовались возможностями обновленной версии модели *SWAN* по автоматическому разделению компонентов волнения. Результатом работы явились климатические поля ветрового волнения и зыби для бассейна Черного моря за 4 сезона. К сожалению, в данной работе авторы совершенно не затронули вопросы калибровки модели и **качества** разделения. Настраечные параметры модели, особенно коэффициенты, определяющие диссипацию волновой энергии на глубокой воде, являются критически важными при выделении из общего смешанного волнения компонентов, соответствующих ветровым волнам и зыби. Различные значения параметров влекут за собой различные результаты. В настоящей работе проведена предварительная калибровка волновой модели с использованием экспериментальных двумерных спектров реального смешанного волнения.

**Выделение компонентов волнения.** Остановимся на кратком описании используемой модели, экспериментальных данных, а также на физических аспектах моделирования. Отметим немаловажную деталь. Абсолютно четкое разделение экспериментального волнового поля на отдельные компоненты – явление довольно редкое. Чаще всего имеем дело со смешанным волнением, сформированным под воздействием множества внешних и внутренних факторов. Однозначная интерпретация итогового частотно-направленного спектра в таких ситуациях вряд ли возможна, поэтому в заключениях неизбежен элемент субъективности.

В настоящей работе используется спектральная волновая модель *DHI MIKE 21 SW* Датского гидравлического института [11]. Описание модели и этапы ее верификации подробно изложены в [12]. Отметим лишь основные моменты:

- модель реализует основные физические механизмы зарождения, трансформации и затухания ветрового волнения;
- неравномерная расчетная сетка покрывает всю акваторию Черного и Азовского морей и состоит из 20 тысяч расчетных элементов;
- в качестве исходных полей ветра используются данные глобального атмосферного реанализа *ERA-Interim*, представленные Европейским центром среднесрочных прогнозов (<http://apps.ecmwf.int>). Рассматриваемая область ограничена координатами 40–47° с. ш., 27–42° в. д. Пространственное разрешение полей ветра одинаково по широте и долготе и составляет 0,25°, шаг по времени – 3 ч.

В процессе верификации модели использовались экспериментальные данные, полученные с помощью разнообразных устройств (буйковые станции *Datawell*, *ADCP*, струнные волнографы), а также спутниковых наблюдений. Для задач разделения поверхностного волнения на компоненты необходимы исходные экспериментальные данные, позволяющие строить частотно-направленные спектры. В распоряжении авторов имеются исходные материалы волнового эксперимента в районе г. Геленджика, проведенного в 1998–2003 гг. с помощью волнографа *Datawell Waverider* [8]. Координаты точки установки 44°30'40" с. ш., 37°58'70" в. д.; глубина места – 85 м.

Двумерный спектр поверхностного волнения предоставляет возможность исследовать особенности распределения волновой энергии как в частотной

области, так и по направлениям распространения и выделить тем самым отдельные волновые системы.

Отметим несколько моментов: при анализе определяющим является положение локальных пиков двумерной спектральной плотности относительно направления преобладающего ветра; в случае смены атмосферных условий над акваторией моря частотно-направленный спектр может содержать (в дополнение к компоненту ветрового волнения) несколько систем зыби. Как правило, это две системы зыби: первичная по отношению к актуальному ветровому волнению и вторичная. Энергетические показатели вторичной зыби значительно слабее первичной. По этой причине мы не ставим задачу подробной детализации и вкладываем в понятие «зыбь» все поверхностное волнение, направление распространения которого не согласуется с генеральным направлением ветра.

**Настройка волновой модели.** Спектральная волновая модель *DHI MIKE 21 SW* позволяет автоматически разделять моделируемое поле ветрового волнения на отдельные компоненты. При этом качество и физическая обоснованность разделения зависят в конечном итоге от пользовательских установок. Указанная модель основана на решении уравнения баланса волновой энергии. Основные физические процессы (ветровая накачка, забурунивание, диссипация энергии вследствие донного трения и обрушения) описываются полуэмпирическими функциями. Полагаем, что в наших условиях эффекты, связанные с донным трением и обрушением волн на мелководье, имеют локальный характер; поэтому параметры, описывающие эти эффекты, в настройке модели не участвуют. Основными калибровочными параметрами являются 2 коэффициента,  $C_{dis}$  и  $\delta_{dis}$ , определяющие численную интерпретацию процессов потери энергии вследствие забурунивания (другими словами, обрушения волн на глубокой воде). При этом коэффициент  $C_{dis}$  определяет общий уровень диссипации и влияет в первую очередь на высоту волн; параметр  $\delta_{dis}$  является аналогом весовой функции и, контролируя диссипацию спектральных компонентов, влияет на периоды волн. Варьирование  $\delta_{dis}$  в пределах 0–1 позволяет увеличивать или уменьшать степень диссипации на низких или высоких частотах.

Строго говоря, оба коэффициента не могут быть интерпретированы независимо друг от друга: выбор, например, коэффициента  $C_{dis}$  зависит от заданного значения  $\delta_{dis}$ . Кроме того, оптимальная настройка параметров  $C_{dis}$  и  $\delta_{dis}$  во многом определяется физическими условиями генерации и распространения поверхностного волнения [13, 14].

На наш взгляд, корректная настройка спектральной модели в условиях автоматического разделения моделируемого поля ветрового волнения на отдельные компоненты должна обеспечивать: соответствие модельных и экспериментальных интегральных характеристик, а также двумерных энергетических спектров как для всего волнового поля, так и для его компонентов (зыби и ветрового волнения); получение физически обоснованных статистических оценок параметров зыби и ветровых волн.

Проведенные численные эксперименты позволили определить оптимальную конфигурацию спектральной модели:

– 50 спектральных частот распределены в диапазоне периодов 1,6–17,3 с с использованием соотношения  $f_n = f_0 C^n$  ( $f_0 = 0,055$  Гц,  $C = 1,05$ ,  $n = 1, 2, \dots, 50$ );

– количество дискретных направлений равно 32, т. е. разрешение модели по направлениям составляет  $11,25^\circ$ ;

– значения коэффициентов, определяющих диссипацию энергии вследствие забурунивания, следующие:  $C_{\text{dis}} = 5,5$ ,  $\delta_{\text{dis}} = 0,15$ ;

– разделение компонентов волнения проводится с использованием критерия, учитывающего «возраст» волн. При этом волновой компонент принимается соответствующим зыби при выполнении условия  $\frac{U_{10}}{c} \cos(\theta - \theta_w) < 0,83$ , где

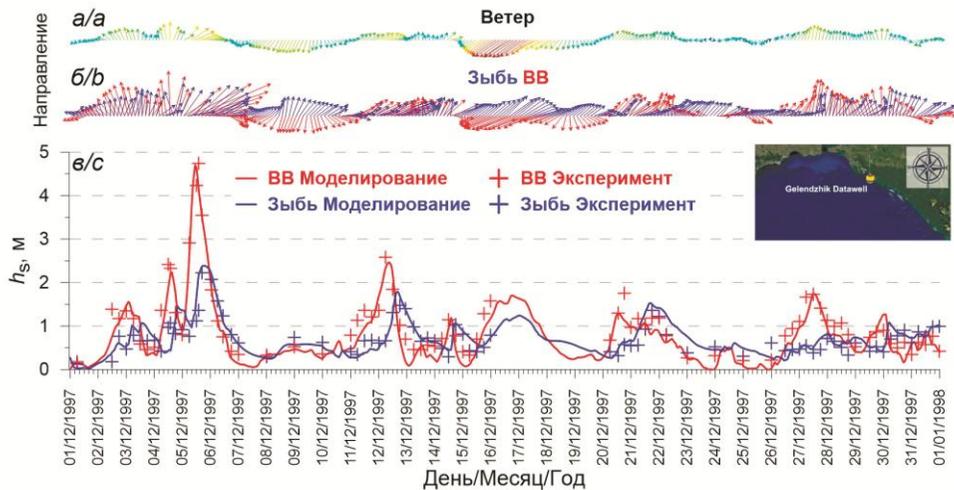
$c$  – фазовая скорость волн;  $\theta$ ,  $\theta_w$  – направление волн и ветра соответственно [15].

В качестве примера приведем результаты автоматического разделения компонентов поверхностного волнения за декабрь 1997 г. Как следует из рис. 1, спектральная модель довольно уверенно разделяет компоненты зыби и чисто ветрового волнения. Ограниченное число экспериментальных календарных сроков, для которых проведено разделение, связано с тем обстоятельством, что одной из целей предлагаемого исследования является демонстрация возможностей спектральной модели *DHI MIKE 21 SW* по разделению компонентов. Мы не стали использовать существующие алгоритмы разделения экспериментальных спектров, которые применяются к большим массивам данных, поскольку реализованные в них подходы к идентификации спектральных пиков (относительные высоты, расстояния между ними и т. п.) не могут быть универсальными и требуют собственной верификации. Выборочный анализ двумерных экспериментальных спектров осуществлен вручную, при этом учитывались генеральные характеристики ветра.

Таким образом, выполнена настройка спектральной модели, адекватно разделяющей волновое поле на отдельные компоненты. Модельные частотно-направленные спектры волнения в целом соответствуют двумерным экспериментальным спектрам. Некоторым недостатком модели является переоценка вклада в общее волнение компонентов зыби в условиях резкой смены ветра.

Отметим важную деталь. Настроечные параметры, использующиеся при описании процессов диссипации волновой энергии вследствие забурунивания, получены в результате анализа экспериментальных данных для северо-восточной части Черного моря. Сложно сказать, насколько они универсальны для всей акватории моря. Препятствием к разрешению этого вопроса является слабое покрытие Черного моря экспериментальными волновыми станциями, позволяющими получать основную характеристику волнения – двумерные энергетические спектры. При наличии данных сети наблюдений учет локальных особенностей (и существенное уточнение модели) возможен путем построения пространственных карт распределения необходимых параметров.

Принимая во внимание указанные ограничения, попытаемся в первом приближении оценить особенности распространения компонентов поверхностного волнения на Черном море.



**Рис. 1.** Сравнение модельных и экспериментальных параметров компонентов поверхностного волнения за декабрь 1997 г. в точке постановки буйковой станции *Gelendzhik Datawell*: *a* – генеральное направление ветра; *б* – направления распространения зыби (синий вектор) и ветрового волнения (красный вектор); *в* – расчетные и экспериментальные значительные высоты компонентов волнения

**Fig. 1.** Comparison of model and experimental parameters of the surface wave components for December 1997 at the point of Gelendzhik Datawell buoy station deployment: *a* – general wind direction; *b* – the directions of swell wave (blue vector) and wind wave (red vector) propagation; *c* – calculated and experimental significant heights of the wave components

**Результаты.** По итогам проведенной работы получен массив данных, состоящий из полей рассчитанных параметров компонентов ветрового волнения Черного моря с временным шагом 1 ч и охватывающий период 38 лет (1979–2016 гг.). Предварительный анализ особенностей волнового климата прибрежной зоны Крыма выполнен для 5 характерных точек, расположенных в западной и южной частях рассматриваемого региона (рис. 2). Локальная глубина в каждой точке – 30 м. Повторяемости по направлениям ветровых волн и зыби показаны на рис. 3 и 4.

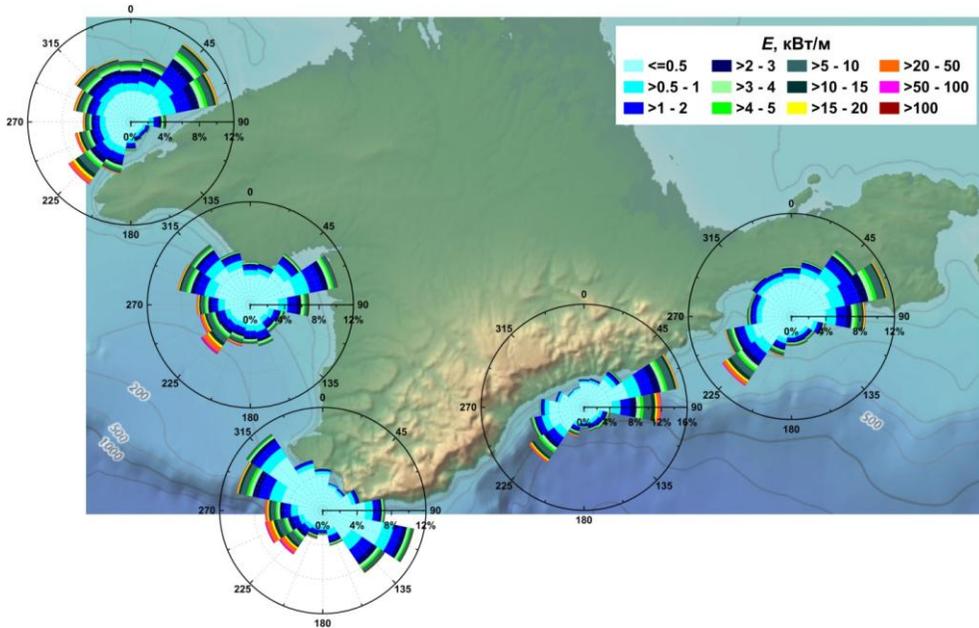
Отметим особенности пространственного распределения энергии поверхностного волнения:

- на входе в Каркинитский залив (точка 1 на рис. 2) наибольшей повторяемостью обладает ветровое волнение СВ и ЮЗ румбов, зыбь – ЗЮЗ направления;
- на морской границе Каламитского залива (юго-западное побережье, точка 2) наблюдается волнение разных направлений, при этом преобладает ветровое волнение СВ, СЗ и ЮЗ направлений, а также зыбь ЮЗ направления. Ветровое волнение ЮЗ направления может достигать значительной мощности (100 и более кВт/м);
- на южной оконечности полуострова (точка 3) наблюдается преобладание двух выраженных направлений ветровых волн – ЮВ и СЗ. Зыбь занимает практически весь юго-западный сектор;
- юго-восточное побережье между м. Аю-Даг и Меганом (точка 4) подвержено в основном волнению ВСВ, В и ЮЗ румбов, а также зыби ЮВ направления;

– в районе Феодосийского залива (точка 5) преобладает ветровое волнение СВ и ЮЗ направлений. Наиболее распространенная зыбь – ЮЮВ направления, наиболее мощная зыбь – ЮЮЗ направления.

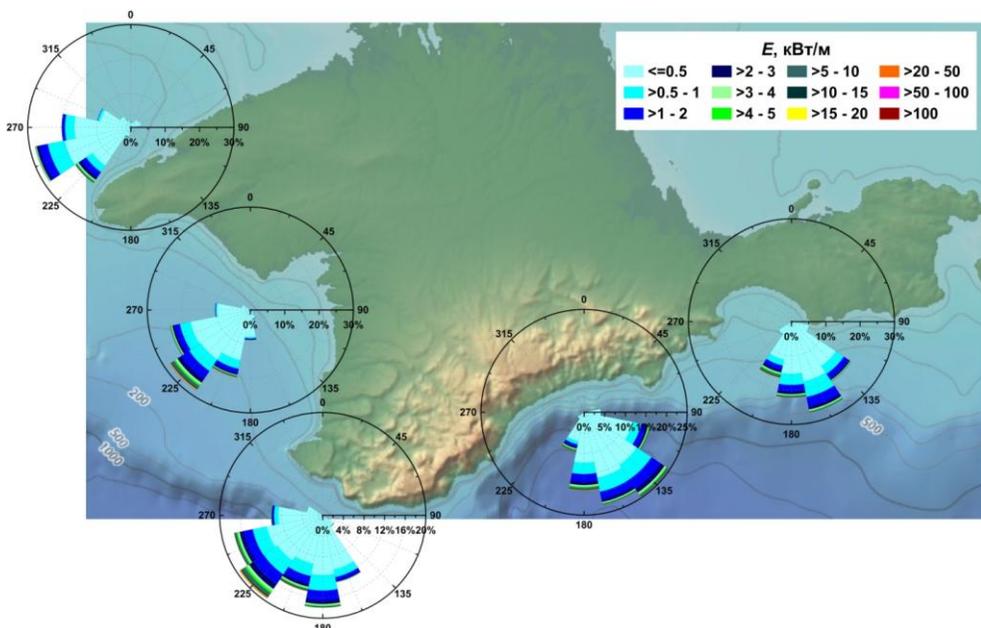


**Рис. 2.** Положение характерных точек вдоль Крымского побережья  
**Fig. 2.** Positions of characteristic points along the Crimean coast



**Рис. 3.** Розы мощности ветрового волнения (кВт/м) для 5 характерных точек за период 1979–2016 гг.

**Fig. 3.** Roses of wind-induced wave power (kW/m) for 5 characteristic points for 1979–2016 period



**Рис. 4.** Розы мощности зыби (кВт/м) для 5 характерных точек за период 1979–2016 гг.  
**Fig. 4.** Roses of swell wave power (kW/m) for 5 characteristic points for 1979–2016 period

В таблице приведены оценки некоторых статистических характеристик основных параметров ветрового волнения и зыби: значительных высот волн ( $h_s$ ), периодов пика спектра ( $t_p$ ), средних периодов ( $t_z$ ) и мощности волнения ( $E$ ).

**Статистические характеристики параметров ветрового волнения (ВВ) и зыби (максимальное значение  $X_{\max}$ , среднее значение  $X_{\text{mean}}$ , стандартное отклонение  $\sigma_X$ )**  
**Statistical characteristics of wind-induced wave and swell wave parameters (the maximum value  $X_{\max}$ , mean  $X_{\text{mean}}$  and standard deviation  $\sigma_X$ )**

№ точки/ Point number	Параметр/ Parameter	$h_s$ , м/м		$t_p$ , с/с		$t_z$ , с/с		$E$ , кВт/м; kW/m	
		ВВ/ WW	Зыбь/ SW	ВВ/ WW	Зыбь/ SW	ВВ/ WW	Зыбь/ SW	ВВ/ WW	Зыбь/ SW
1	$X_{\max}$	6,61	2,50	11,3	12,2	7,4	8,9	197,4	32,1
	$X_{\text{mean}}$	0,76	0,35	3,7	4,6	2,9	3,2	2,5	0,4
	$\sigma_X$	0,65	0,20	1,2	1,4	0,8	0,7	6,1	0,8
2	$X_{\max}$	7,66	4,71	11,8	14,7	9,0	10,6	317,8	134,2
	$X_{\text{mean}}$	0,68	0,39	3,6	4,6	2,7	3,4	2,3	0,7
	$\sigma_X$	0,63	0,29	1,3	1,5	0,8	0,9	8,1	2,4
3	$X_{\max}$	7,36	4,90	12,5	15,5	9,4	10,3	358,2	148,7
	$X_{\text{mean}}$	0,59	0,44	3,4	4,8	2,6	3,5	2,1	0,8
	$\sigma_X$	0,62	0,29	1,4	1,5	0,9	0,8	8,1	2,2
4	$X_{\max}$	6,84	4,14	12,0	15,4	8,0	9,8	220,5	96,8
	$X_{\text{mean}}$	0,58	0,42	3,4	4,8	2,5	3,5	1,8	0,7
	$\sigma_X$	0,59	0,29	1,3	1,6	0,8	0,8	5,5	1,8
5	$X_{\max}$	6,61	4,02	12,6	15,5	8,2	9,7	222,1	96,8
	$X_{\text{mean}}$	0,59	0,40	3,3	4,6	2,5	3,5	1,5	0,7
	$\sigma_X$	0,55	0,27	1,1	1,5	0,7	0,8	4,8	1,7

Отметим основную особенность пространственного распределения волновой энергии вдоль Крымского побережья: вклад волн зыби в суммарную волновую энергию поверхностного волнения существенно увеличивается по направлению от западного побережья к восточному. Если в точке 1 средняя значительная высота чисто ветровых волн в 2 раза превышает среднюю высоту волн зыби, то в точке 3 эти высоты практически сравнимы. Наиболее разрушительные штормы также наблюдаются в точке 3 (южная оконечность полуострова), здесь энергия ветрового волнения может превышать 350 кВт/м.

**Выводы.** Таким образом, проведен анализ смешанного поверхностного волнения с автоматическим выделением компонентов ветрового волнения и зыби, а также оценены климатические особенности распределения ветровых волн и зыби в прибрежной зоне Крыма.

Основные результаты проделанной работы:

- определены оптимальные настройки спектральной волновой модели для автоматического разделения компонентов волнения;
- получен банк данных параметров ветрового волнения и зыби на акватории Черного моря за период 1979–2016 гг.;
- в прибрежной зоне Крымского п-ова наибольшую повторяемость имеет поверхностное волнение со значительными высотами волн до 1 м;
- распределение периодов носит двухпиковый характер, при этом пики соответствуют двум системам волнения – чисто ветровому волнению (3,0–3,5 с) и зыби (~4 с);
- вклад волн зыби в суммарную волновую энергию поверхностного волнения увеличивается по направлению от западного побережья к восточному. На западном побережье доля зыби (в среднегодовом балансе) составляет ~15%, на юго-восточном этот вклад уже превышает 30%.

В дальнейшем полученные материалы будут использоваться при моделировании литодинамических процессов в прибрежной зоне Крыма, а также при анализе экстремальных волновых событий.

Постановка задачи выполнена в рамках программы 0149-2018-0013, анализ экспериментальных данных – благодаря финансовой поддержке РФФ (проект № 14-17-00547), математическое моделирование и вычислительная часть – при поддержке грантов РФФИ (проекты № 16-45-230781 и № 17-05-00183).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Resio D., Bratos S., Thompson E.* Meteorology and Wave Climate // Coastal Engineering Manual. Part II: Hydrodynamics. Chapter II-2: Engineer Manual 1110-2-1100 / L. Vincent, Z. Demirbilek (eds.). Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, 2002. P. II-2-1–II-2-72. URL: [http://www.a-jacks.com/Coastal/GeneralInfo/CEM/PartII\\_CoastalHydrodynamics/II-2\\_Meteorology\\_and\\_Wave\\_Climate.pdf](http://www.a-jacks.com/Coastal/GeneralInfo/CEM/PartII_CoastalHydrodynamics/II-2_Meteorology_and_Wave_Climate.pdf) (дата обращения: 10.10.2017).
2. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / D. P. Dee [et al.] // Q.J.R. Meteorol. Soc. Vol. 137, iss. 656. P. 553–597. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>
3. A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40 / A. Semedo [et al.] // J. Clim. Vol. 24, no. 5. P. 1461–1479. doi: 10.1175/2010JCLI3718.1

4. Analysis of the Global Swell and Wind Sea Energy Distribution Using WAVEWATCH III / Kaiwen Zheng [et al.] // *Adv. Meteorol.* 2016. Vol. 2016, Article ID 8419580. 9 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8419580>
5. Spectral wave conditions in the Colombian Pacific Ocean / J. Portilla [et al.] // *Ocean Model.* 2015. Vol. 92. P. 149–168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.06.005>
6. Chong Wei Zheng, Chong Yin Li. Analysis of temporal and spatial characteristics of waves in the Indian Ocean based on ERA-40 wave reanalysis // *Appl. Ocean Res.* 2017. Vol. 63. P. 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.01.014>
7. Бухановский А. В., Лопатухин Л. И. Статистика штормов на морских акваториях (альтернативный подход) // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика.* 2015. Т. 8, № 4. С. 86–91.
8. Kos'yan R. D., Divinsky B. V., Pushkarev O. V. Measurements of parameters of wave processes in the open sea near Gelendzhik // *The Eight Workshop of NATO TU-WAVES/Black Sea.* Ankara, Turkey: METU, 1998. P. 5–6.
9. Berkün U. Wind and swell wave climate for the Southern Part of Black Sea: thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences of METU. Ankara, Turkey, 2007. 141 p. URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608139/index.pdf> (дата обращения: 10.10.2017).
10. Van Vledder G. P., Akpinar A. Spectral partitioning and swells in the Black Sea // *Proceedings of the Coastal Engineering Conference.* Vol. 35. ICCE, Antalya, Turkey, 17–20 November, 2016. P. 199–212. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:5c966d7f-deba-4346-8658-14ec90e9728e> (дата обращения: 10.10.2017).
11. DHI Water and Environment. MIKE 21, Spectral Wave Module. 2007. URL: [http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast\\_and\\_Sea/M21SW\\_Scientific\\_Doc.pdf](http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/M21SW_Scientific_Doc.pdf) (дата обращения: 10.10.2017).
12. Divinsky B. V., Kosyan R. D. Spatiotemporal variability of the Black Sea wave climate in the last 37 years // *Cont. Shelf Res.* 2017. Vol. 136. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.01.008>
13. Siadatmousavi S. M., Jose F., Stone G. W. Evaluation of two WAM white capping parameterizations using parallel unstructured SWAN with application to the Northern Gulf of Mexico, USA // *Appl. Ocean Res.* 2011. Vol. 33, iss. 1. P. 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2010.12.002>
14. The Hebridean Wave Model / D. Christie [et al.] // *Proc. of the 2nd International Conference on Environmental Interactions of Marine Renewable Energy Technologies (EIMR2014).* 2014. 28 April – 02 May. Stornoway, Isle of Lewis, Outer Hebrides, Scotland. URL: [https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/attachments/EIMR2014\\_723\\_Christie.pdf](https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/attachments/EIMR2014_723_Christie.pdf) (дата обращения: 10.10.2017).
15. Bidlot J. ECMWF wave-model products // *ECMWF Newsletter.* 2001. No. 91. P. 9–15. URL: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2001/14633-newsletter-no91-summer-2001.pdf> (дата обращения: 10.10.2017).

*Об авторах:*

**Дивинский Борис Васильевич**, ведущий научный сотрудник, лаборатория геологии и литодинамики, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), кандидат географических наук, **ORCID: 0000-0002-2452-1922**, **ResearcherID: C-7262-2014**, [divin@ocean.ru](mailto:divin@ocean.ru)

**Косьян Рубен Дереникович**, заведующий лабораторией геологии и литодинамики, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), доктор географических наук, профессор, **ResearcherID: C-5154-2014**, [gko-syan@hotmail.com](mailto:gko-syan@hotmail.com)