



Издается с 2008 г.

Тематический выпуск

СОДЕРЖАНИЕ

Волны-убийцы в океане ( <i>Предисловие</i> ) .....	4	
<b>Статьи</b>		
<b>Анализ наблюдаемых данных</b>		
<i>Бухановский А.В., Лопатухин Л.И.</i> Экстремальные и необычные ветровые волны: измерения, расчет, прогноз .....	5	
<i>Григорьева В.Г., Гулев С.К.</i> Аномальные ветровые волны в Мировом океане по данным попутных судовых наблюдений .....	18	
<i>Доценко С.Ф., Иванов В.А., Побережный Ю.А.</i> Волны-убийцы в северо-западной части Черного моря: анализ волнографических данных, связь с метеорологическими условиями в зимний период 2000–2001 гг. ....	27	
<i>Зайцев А.И., Малащенко А.Е., Пелиновский Е.Н.</i> Аномально большие волны вблизи южного побережья о.Сахалин .....	35	
<i>Соомере Т., Куркина О.</i> Статистика экстремального волнения в юго-западной части Балтийского моря .....	43	
<b>Численное моделирование больших волн</b>		
<i>Талипова Т.Г.</i> Механизмы образования внутренних «волн-убийц» .....	58	
<b>Научные сообщения</b>		
<i>Булгаков К.Ю., Молчанов М.С.</i> Испытание схемы турбулентного перемешивания, основанной на теории подобия, в модели Балтийского моря .....	71	
<i>Родионов М.А.</i> Моделирование лидарных изображений внутренних волн по результатам измерений гидрооптических и гидрофизических параметров в северных морях .....	80	
<b>Из истории науки</b> .....		
<i>Карпеев Э.П.</i> М.В. Ломоносов и флот (к 300-летию со дня рождения).....	88	
<b>Конференции</b> .....		92
<b>Хроника</b> .....		100
Тематический указатель 2011 г. ....	102	
Авторский указатель за 2011 г. ....	104	
Правила представления материалов в редакцию.....	105	

## CONTENTS

### Articles

#### *The Analysis of the Observable Data*

- Boukhanovsky A.V., Lopatoukhin L.I.* Extreme and Freak Wind Waves: Measurements, Calculation, Forecast ..... 5

Wind waves are considered. Differences between extreme and freak waves are discussed. It is specified, that not any big wave (surge) is unusual. Such wave should have a set of certain properties and therefore can be considered as a multidimensional random variable. Generalization of the field measurements data has allowed to estimate a freak wave appearance probability. Abrupt change of wave spectral structure is one of the approaches to forecast the freak wave appearance.

**Key words:** extreme and freak wind waves, probability, hindcasting and forecasting, climatic wave spectra.

- Grigorieva V., Gulev S.* Estimation and Classification of the Extreme Wind Waves on the Basis of Visual Data ..... 18

For the first time the extreme waves in the ocean are studied using the most complete database of visual wave observations, assimilated in the ICOADS (International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set) archive. A new methodology for the data quality control and criteria for the classification of extreme wind waves and swell was established. All visual observations reporting the wind wave height of 15 meters or more likely indicate either actual severe storms (about 20% of the total number of cases), or observational artifacts. A very small number of reported extreme swells can be potentially attributed to the freak waves.

**Key words:** global wind waves, visual observations, extreme waves.

- Dotsenko S.F., Ivanov V.A., Poberezhny Yu.A.* Freak Waves in North-Western Part of the Black Sea: Analysis of Records, their Relation with Meteorological Conditions in Winter 2000–2001 ..... 27

Analysis of the wind wave measurements in the north-western Black Sea from December 2000 to January 2001 allowed to select 67 cases of freak waves in a form of single waves and as a member of wave packets of non-freak waves. The waves have an appreciable asymmetry: their front slopes are generally steeper than the back slopes, and the previous and the following freak wave wave troughs vary in depth and width. Involvement of meteorological data has allowed to analyze the feasible relations between the formation of abnormal waves and wind flow. Two characteristic types of situations are found. In the first, the birth of freak waves is accompanied by substantial changes in the wind speed direction, in the second situation its formation is preceded by the wind of almost constant direction.

**Key words:** surface gravity waves, wind waves, freak waves, data of field measurements, relation to meteorological conditions, the Black Sea.

- Zaitsev A., Malashenko A., Pelinovsky E.* Abnormal Big Waves Near the Southern Coast of Sakhalin Island ..... 35

Results of the analysis of long time series of sea level for June – September, 2009 near the Aniva cape (Sakhalin), recorded by pressure bottom station placed on depth of 12 m are given. There are 394 abnormal big waves, waves satisfying to freak wave amplitude criterion (the wave height exceeds the significant height more then twice) recorded. The amplification during six events exceeds 2.5 times. The cumulative frequency of the abnormal wave appearance is described by the Poisson distribution as follows from the theory of extreme statistics. Freak waves occurred on the average twice a day which is in good comparison with the Raleigh prediction for narrow-band Gaussian wave field.

**Key words:** wind waves, freak waves, field measurements data, the Okhotsk Sea, Sakhalin.

<i>Soomere T., Kurkina O. Statistics of Extreme Wave Conditions in the South-Western Baltic Sea</i> .....	43
---	----

The properties of extreme wave storms in the Darss Sill area, SW Baltic Sea, are analysed based on waverider data for 1991–2010 and long-term numerical simulations. The long-term significant wave height is  $H_S \sim 0.7$  m and the most frequent wave periods 2–4 s. The largest measured  $H_S$  is 4.46 m. The typical measured and modelled wave periods differ by up to 2 s. The annual maximum  $H_S$  has notched behaviour, with an increase for 1958–1990 and since 1993, and a drastic decrease in 1991–1992. The measured annual average and maximum  $H_S$  have changed insignificantly in 1991–2010 but the threshold for the top 1% of waves has considerably decreased.

**Key words:** wind waves, freak waves, mathematical modeling, probability distribution function.

***Numerical Modeling of the Big Waves***

<i>Talipova T.G. Mechanisms of the Internal Rogue Wave Formation</i> .....	58
--	----

A review of the physical mechanisms of internal freak wave formation in the oceans is presented. The theoretical models are based on the modified Gardner equation obtained within the asymptotic theory. The following mechanisms are analyzed: nonlinear dispersive focusing, modulation instability of nonlinear internal waves, and wave transformation at the so-called turning points.

**Key words:** intensive nonlinear internal waves, dispersive focusing, modulation instability, turning points, ocean shelves.

**Scientific Messages**

<i>Bulgakov K.Yu., Molchanov M.S. Testing of the Turbulent Mixing Scheme Based on Similarity Theory in the Baltic Sea Model</i> .....	71
---	----

Ocean turbulent mixing scheme based on similarity theory is considered. This scheme's been modified for including in 3-D ocean circulation model. Experiments have been made with the Baltic Sea model in which above mentioned scheme and scheme based on kinetic turbulent energy equation were used. It's shown that simulation of temperature and salinity vertical distribution were improved.

**Key words:** turbulent mixing, convective mixing, ocean circulation model.

<i>Rodionov M.A. Simulation of Lidar Images of Internal Waves Based on the Data of Measured Hydrooptical and Hydrophysical Parameters in the Northern Seas</i> .....	80
--	----

The lidar images of internal waves (the lidar echo signal as a function of lidar horizontal coordinates, the depth from which the signal arrives, and the parameters of internal waves) were simulate on the basis of field measurements of depth distributions of the hydrophysical and hydrooptical properties in the White, Barents and Kara Seas. It was shown that images of internal waves, depending on the depth distribution of hydrophysical and hydrooptical parameters and their combination, have rather complex and diverse structure.

**Key words:** lidar, internal waves, hydrooptics, hydrophysical parameters.

### Волны-убийцы в океане

Тематика исследований волн-убийц в океане (Freak or Rogue Waves) сейчас весьма популярна в фундаментальных и инженерных науках, связанных с изучением морей и океанов. По ней проводятся регулярные симпозиумы (число секций по аномальным волнам на различных конференциях достигает не менее пяти ежегодно), публикуются труды конференций, специальные выпуски журналов, обзорные статьи; недавно вышла книга (Kharif С., Pelinovsky E., Slunyaev A. *Rogue Waves in the Ocean*. Springer, 2009). В то же время русскоязычная литература по данной тематике представлена только статьями в журналах совершенно разной направленности, за исключением небольшой книги (Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. *Волны-убийцы: факты, теории и моделирование*. Н.Новгород, 2004). В результате читателю трудно представить себе состояние изученности данной проблемы. Именно поэтому назрела необходимость в публикации на русском языке специального тома, отражающего современное состояние проблемы аномально больших волн в океане, за которыми закрепились короткие и емкие слова – «волны-убийцы». В этой связи представляется целесообразным издание специального номера журнала «Фундаментальная и прикладная гидрофизика», посвященного современному состоянию проблемы описания волн-убийц.

*Е.Н. Пелиновский, А.В. Слюняев*

УДК 465.551

© В.Г. Григорьева<sup>1</sup>, С.К. Гулев<sup>2</sup>, 2011

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г.Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет

vika@sail.msk.ru

## **АНОМАЛЬНЫЕ ВЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Впервые для исследования аномальных волн в океане используется наиболее полный массив визуальных наблюдений над волнением, ассимилированный в архиве ICOADS. Разработаны методология контроля исходных данных и критерии для классификации экстремальных ветровых волн и волн зыби. Все визуальные наблюдения над волнением, фиксирующие высоты ветровых волн 15 м и более, либо являются реальными записями сильных штормов (порядка 20% от общего числа), либо содержат ошибочные записи о высоте волны. Существуют волны зыби (небольшой процент), которые потенциально могут быть отнесены к разряду аномальных.

Ключевые слова: ветровое волнение, экстремальные волны, визуальные наблюдения.

Несмотря на современное развитие теории волн [1–8], методов математической статистики [4, 7–12] и появление нового поколения наблюдательной и вычислительной техники, ситуация с изучением, прогнозированием и оценкой климатических аномалий волн в океане остается достаточно сложной и неопределенной. До сих пор нет единого мнения о механизмах возникновения необычно высоких волн и достоверных оценок их максимальной высоты. Более того, не существует единого общепризнанного определения аномальных волн. За основной критерий чаще всего принимают количественное соотношение между высотой экстремальной волны и фоновым волнением (при этом минимальный пороговый фактор превышения в различных исследованиях колеблется от 2 до 5). Кроме того, иногда рассматриваются условия, связанные с асимметрией волн и их характерной формой, абсолютной высотой волн, а также соотношения между высотами волн, соседствующих в пакете с аномальной. Наиболее сложно определить с классификацией таких экстремальных волн – либо это нетипичная экстремальная волна среди поверхностных, описываемых классической гидродинамикой, и вероятность ее возникновения должна оцениваться из анализа хвостовых частей вероятностных распределений всех наблюдаемых волн или волн, превышающих некий заданный порог, либо это особый класс необычных волн, не подчиняющихся законам классической гидродинамики, и тогда вероятность их появления может быть на несколько порядков выше [8]. На сегодняшний день разработано множество методов исследования экстремальных волновых явлений [7, 8]. Они апробируются на всех возможных источниках волновой информации (записи волнографов, спутниковые данные, лабораторные эксперименты, модельные расчеты). В нашей работе мы рассматривали визуальные данные о ветровом волнении.

Традиционно визуальные наблюдения над волнением считаются ненадежными, зависящими от человеческого фактора и слабопригодными для статистического анализа по причине неравномерной плотности наблюдений и низкой точности оценок параметров волн. Однако именно визуальные наблюдения на данный момент являются самыми продолжительными во времени и обеспечивают независимые оценки высот ветровых

волн и волн зыби. Случайные и систематические ошибки, характерные для визуальных наблюдений, за последние несколько лет были аккуратно и тщательно оценены [13–15], а ошибочные записи либо удалены, либо исправлены [13]. Данные попутных судовых наблюдений успешно использовались авторами для создания глобальной климатологии ветрового волнения [13, 14], для описания режимных характеристик элементов волн и оценок долгопериодных трендов [16, 17]. Но для исследования аномальных волн эти данные еще не привлекались, в силу упомянутых выше точностных проблем. Поэтому отсутствуют разработанные методики подобных исследований. Данная работа является первой попыткой классификации визуальных экстремальных волн, какие из них можно отнести к классу необычных, какие – к штормовому волнению, а какие просто считать ошибкой наблюдений.

Мировая коллекция визуальных морских данных ассимилирована в архив, известный как ICOADS (International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set) [18, 19]. Это наиболее полные из существующих коллекций сведения о приводных метеорологических параметрах: в нее включены все данные попутных судовых наблюдений (Voluntary Observing Ship, далее везде VOS) с 1784 г. до настоящего времени. Однако сведения о ветровом волнении появляются в ICOADS лишь в конце XIX столетия (с 1870 г.). До 1950 г. штурманский состав включал в телеграммы максимальную из высот двух компонентов волнения: ветровых волн и волн зыби, а используемые системы кодирования ограничивали предельную высоту 16 м. С 1950 г. параметры ветровых волн и волн зыби оценивались наблюдателями раздельно, а новые коды допускали возможный максимум высот до 25 м. С 2006 г. все ограничения на высоты волн в коллекции VOS сняты. На рис. 1 представлено временное распределение количества попутных судовых наблюдений за волновыми характеристиками в период с 1950 по 2007 гг.

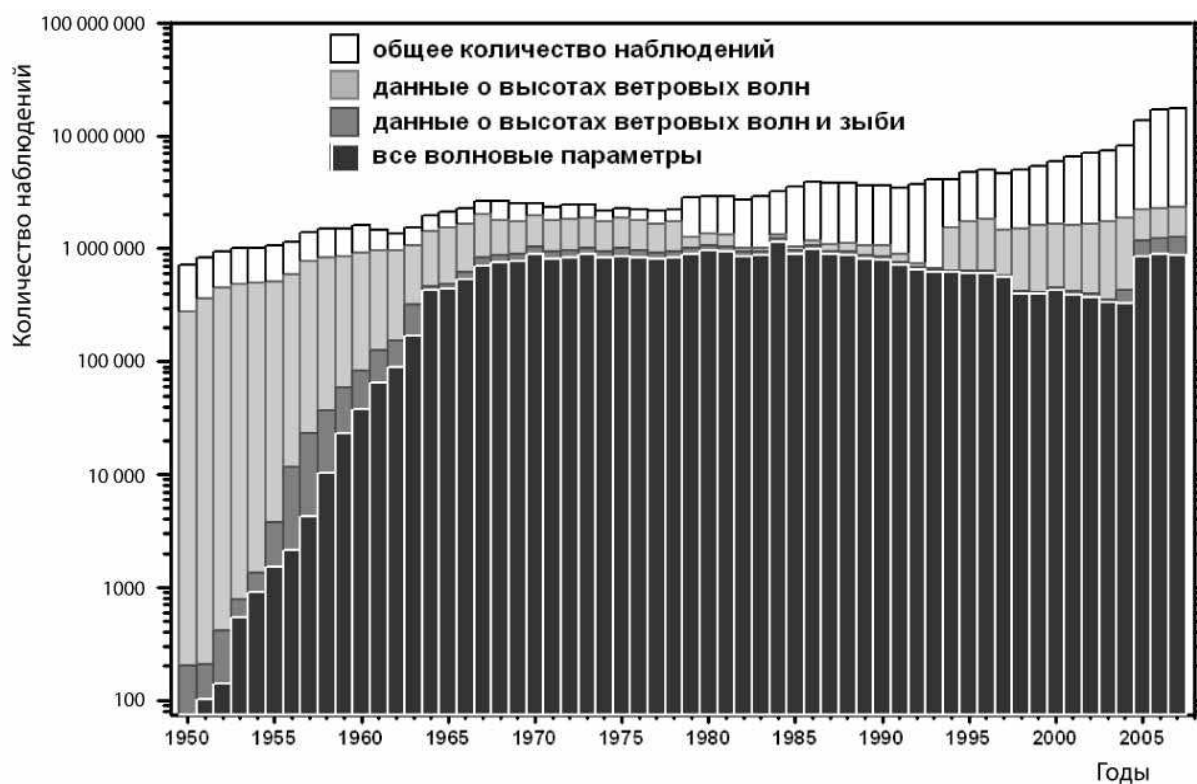


Рис. 1. Временное распределение количества попутных судовых наблюдений за волновыми характеристиками в период с 1950 по 2007 г.

Для анализа были выбраны записи, содержащие все характеристики волнения: высоты ветровых волн и зыби, их периоды и направления распространения. Хотя это несколько снижает общее количество данных, используемых для анализа, но позволяет иметь дело с наиболее достоверными наблюдениями. Океаны Северного и Южного полушарий исследовались отдельно в силу серьезных различий в их географии и режимах волнения. В качестве порогового значения была задана высота 15 м. Как было упомянуто выше, в 1950 г. произошла смена предельных высот волн в кодировках и, таким образом, в область исследования попали волны, до середины XX столетия считающиеся максимальными (от 15 до 16 м) или просто несуществующими в визуальных наблюдениях (от 16 до 25 м). Ветровые волны и зыбь анализировались за период с 1950 по 2006 г. На рис.2 показано типичное распределение экстремальных высот ветровых волн и высот волн зыби, характерных для Северного полушария.

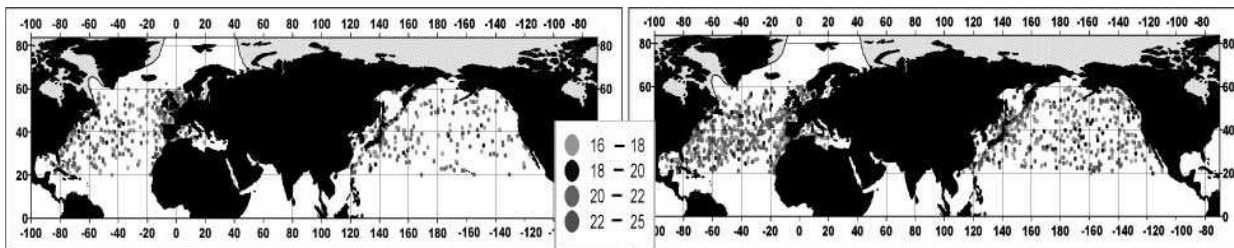


Рис. 2. Экстремальные высоты ветровых волн (слева) и высоты волн зыби (справа) в Северном полушарии.

На первом этапе были получены статистические оценки параметров волнения по месяцам за 1950–2006 гг. (все январь, февраль и т.д.). Длина каждого такого ряда волн с высотой, равной или превышающей 15 м, в Северном полушарии составляет в среднем около 1000 значений для ветрового волнения и не более 500 значений за выбранные месяцы в Южном полушарии. Для зыби географическое распределение качественно аналогично распределению для ветровых волн, но количество данных для каждого полушария в 1.5–2 раза больше. Дополнительно были рассчитаны крутизна и длина волны, а также средние характеристики всех элементов волнения в радиусе 100 км от точки наблюдения. Распределения вероятностей некоторых из полученных параметров в виде гистограмм представлены на рис. 3. Количество данных позволило рассчитать и характеристики совместных двумерных распределений высоты волн и силы ветра как для ветрового волнения, так и для зыби за каждый календарный климатический месяц 1950–2006 гг. (рис. 4).

И для распределения максимальных высот ветрового волнения (рис. 3, *а*), и для максимальных высот зыби (рис. 3, *б*) отчетливо прослеживается бимодальная структура, что подтверждается двумерными распределениями высота волны–скорость ветра (рис. 4): первый максимум вероятностей приходится на высоту от 16 до 18 м, второй – на 20–21 м. Для волн зыби иногда проявляется и третий максимум вероятностей – на высоте около 24 м. Скорее всего, диапазон волнения от 15 до 20 м относится к штормам, а необычные экстремальные волны следует искать в диапазонах от 21 до 25 м.

Максимальная сила ветра колеблется от 10 до 20 м/с, атмосферное давление на поверхности океана меняется от 1013 до 1030 ГПа, наиболее вероятная длина волны составляет не более 50 м для ветровых волн и 150–200 м для волн зыби. Соответствующие периоды могут изменяться по всему диапазону наблюдений: от 1 до 25 с, с максимумом вероятности на значении 5 с для ветровых волн и 10–12 с для волн зыби. Поскольку данные о периодах волнения сильно зависят от квалификации наблюдателя, а в 1968 г.

происходила смена используемых кодов для периодов волн зыби с последующей адаптацией новой системы записи в течение нескольких лет, то ошибки в определениях периодов могут составлять до 30 % от средних величин [9].

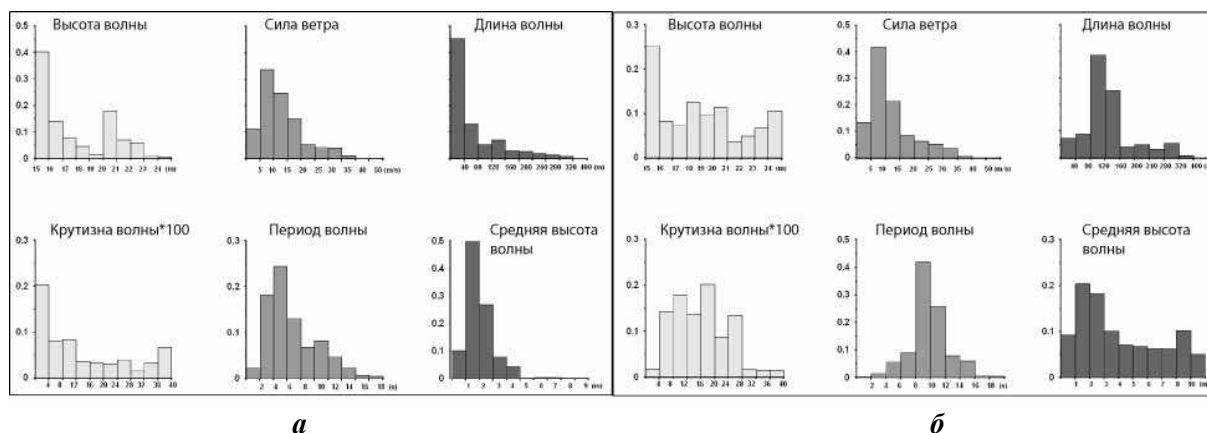


Рис. 3. Гистограммы параметров ветрового волнения (*a* – 667 записей) и зыби (*b* – 2324 записей) на примере океанов Северного полушария для январей 1950–2006 гг.

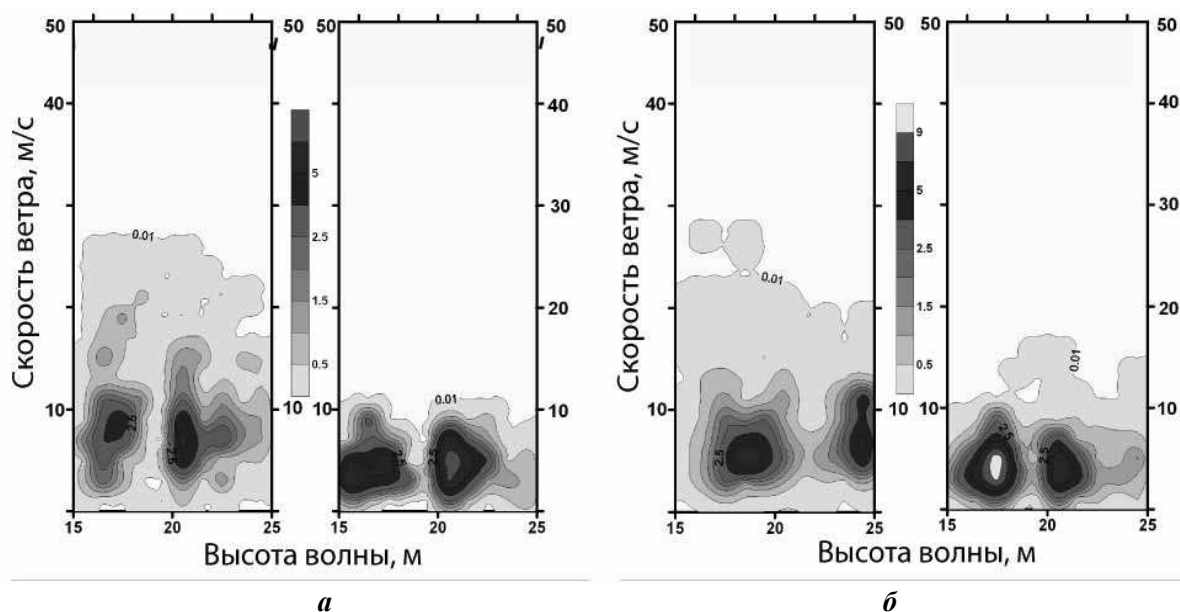


Рис. 4. Двухмерные плотности вероятностей (в %) для высот волн и скорости ветра (*a* – ветровые волны, *b* – зыбь) для зимнего и летнего сезонов на примере океанов Северного полушария, 1950–2006 гг.

Для дополнительной информации о геометрии волны была рассчитана безразмерная крутизна волны

$$\delta = H / \lambda = 2\pi H / (gT^2),$$

где  $H$  – высота,  $\lambda$  – длина,  $T$  – период волны,  $g$  – ускорение свободного падения. Крутизна обратно пропорциональна квадрату периода, т.е. диапазон изменений крутизны экстремальных волн достаточно велик. Отчетливый максимум вероятности для ветровых волн приходится на величину  $\delta \leq 0.04$ , для волн зыби он представлен на функциях распределения широким плато – от  $0.04 < \delta < 0.3$ . Гистограммы средних характеристик волнения, построенные по всем данным, попавшим в радиус 100 км от точки наблюдений



ного максимума, показывают достаточно традиционную картину распределений вероятностей для своего региона.

Одним из ключевых параметров определения аномальной волны (волны-убийцы) является отношение максимальной высоты волны к средней высоте для данного ряда наблюдений. Поскольку для визуально наблюдаемых волн существует только высота в конкретной географической точке океана, мы попытались воспользоваться этим критерием, приняв за среднюю величину высоты волнения ее среднеарифметическое значение в радиусе 100 км от точки максимума. Пороговым значением для этого критерия некоторые исследователи считают  $\eta = H_{\max}/H_{av} \geq 2$  (здесь  $H_{\max}$  – максимальная,  $H_{av}$  – средняя высота волны),  $\eta \geq 4-5$  встречается крайне редко (но и продолжительные записи, в которые случайно отмечается экстремальная волна, крайне редки). Распределения отношения  $\eta = H_{\max}/H_{av}$  (рис. 5) в нашем случае не показывают устойчивой закономерности ни для ветрового волнения, ни для волн зыби, значения  $\eta$  меняются в широком диапазоне, т.е. для попутных судовых наблюдений критерий соотношения высот применить нельзя либо надо как-то иначе определять средние характеристики волнения в данной точке.

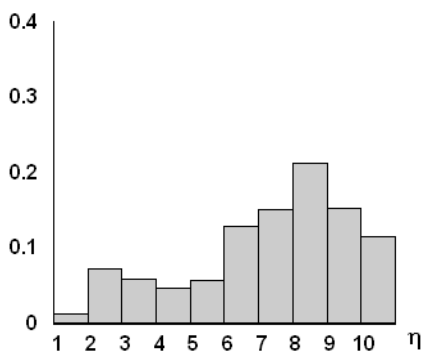


Рис. 5. Гистограмма соотношений максимальных и средних высот ветровых волн  $\eta = H_{\max}/H_{av}$  на примере январей 1950–2006 гг. Северное полушарие.

Далее на основе созданного массива экстремальных волновых характеристик каждый случай волнения был исследован индивидуально. Первым шагом в анализе стал детальный контроль качества наблюдений в телеграммах. Из рассмотрения были исключены записи с периодами, равными 1 с, записи с отсутствующей силой ветра и, наконец, волны с сомнительным параметром крутизны. По законам классической гидродинамики для обрушающихся волн предельная крутизна волны  $\delta < 1/7$  [11, 20]. Для волн, обрушивающихся в результате быстро растущей неустойчивости Бенджамена–Фейра, –  $\delta < 0.38$  (предельное значение 0.443) [20, 21]. Реальная крутизна волн находится в диапазоне 0.05–0.2. Для более строгого первичного контроля было взято предельное значение безразмерной крутизны для ветровых волн  $\delta = 0.2$  и для волн зыби –  $\delta = 0.15$ . После этого этапа

было исключено из анализа около 80 % наблюдений. По оставшимся данным вновь были построены глобальные гистограммы всех волновых параметров (как наблюдаемых, так и рассчитанных) для сравнения с исходными распределениями (рис. 6).

Вновь полученные вероятностные распределения волновых характеристик существенно отличаются от первоначальных, основанных на всех случаях. Так, для ветрового волнения сохранился только один ярко выраженный максимум вероятностей на высоте 15 м, что, вероятнее всего, соответствует штормовому волнению, а не аномальным волнам. Сопутствующие скорости ветра соответственно представлены широким плато и варьируются в пределах 5–35 м/с. Однако для высот волн зыби в распределении сохранились оба максимума на высотах 15–16 и 20–21 м, что требует дополнительного исследования для классификации подобных волн и ответа на вопрос, можно ли отнести их к разряду сильных штормов, необычных волн или считать ошибкой наблюдений.

С этой целью для анализа оставшихся записей были предложены следующие критерии.

1. Все записи с высотами ветровых волн, больших или равных 15 м, сопутствующей силой ветра  $V > 10$  м/с и с давлением над уровнем моря  $SLP \leq 1002$  ГПа были отнесены к штормовому волнению. Этот критерий исключил из рассмотрения более 90 % всех экстремальных наблюдений. Так, для январей в океанах Северного полушария из 667 исходных точек осталось только 19.

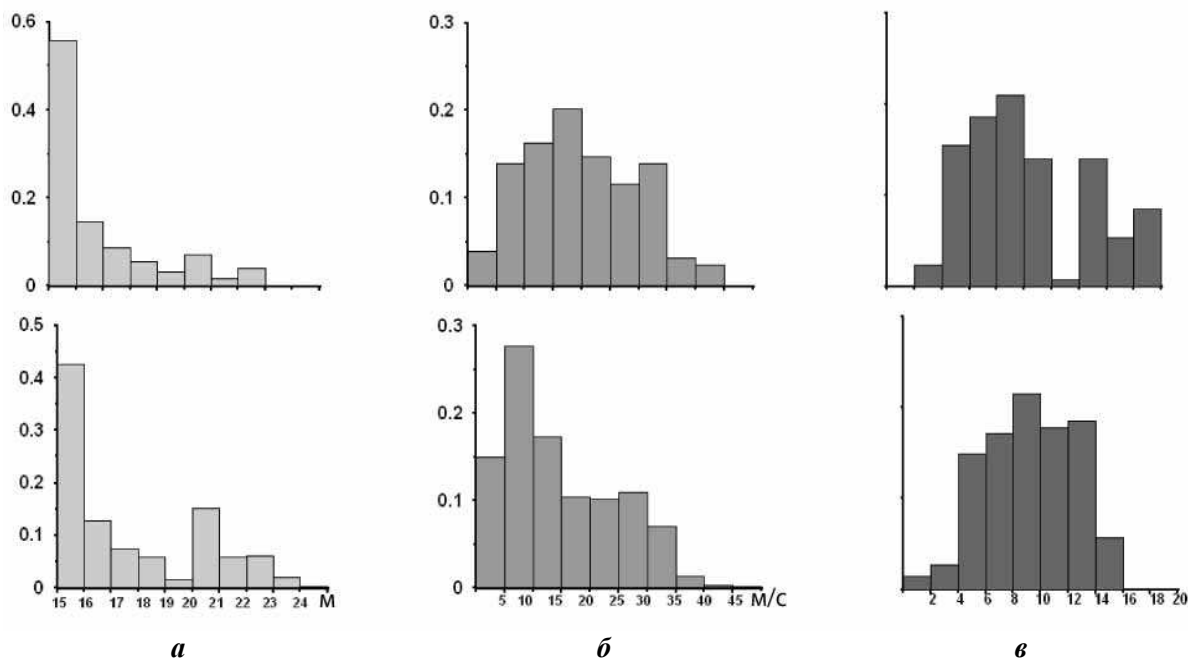


Рис. 6. Гистограммы параметров ветрового волнения (вверху) и зыби (внизу) после качественного контроля исходной информации на примере океанов Северного полушария для январей 1950-2006 гг.  
**а** – экстремальные волны, **б** – сила ветра, **в** – крутизна.

2. Был проведен анализ возраста волнения и выбран соответствующий критерий. В различных исследованиях определения возраста волны отличаются коэффициентами и использованием реальной скорости ветра либо динамической скорости. Возраст волны рассчитывался как  $a = C_p/V_{ef}$  ( $C_p$  – фазовая скорость на глубокой воде).  $C_p = (g/2\pi) \cdot T$ . Здесь  $T$  – период волнения,  $V_{ef} = V_{10} \cdot \cos \theta$ ,  $\theta$  – угол между направлением ветра и направлением распространения волнения (по нашим данным, в 95 % случаев эти углы для ветрового волнения совпадают). Если возраст волнения  $a$  превышал 1.2, записи считались либо ошибкой наблюдений, либо волнами зыби, ошибочно отнесенными к ветровым.

3. Дополнительно был проведен детальный синоптический анализ в каждом индивидуальном случае экстремального ветрового волнения с помощью данных ре-анализа NCEP/NCAR. Для всех оставшихся после предыдущих этапов контроля записей анализ полей ветра и давления из ре-анализа не подтвердил данные попутных судовых наблюдений, что позволяет заключить, что экстремальные ветровые волны, идентифицируемые в визуальных данных, не могут быть отнесены к разряду необычных волн.

4. Для экстремальных высот зыби аналогичный анализ неприемлем, поскольку зыбь не связана с локальной синоптической ситуацией; критерий возраста волны здесь также неприменим. Рассматривая каждый индивидуальный случай высокой зыби, следует исключить районы, где зыбь не может достигать таких высот в силу ограничений на разгон волнения. В процессе работы были рассчитаны средние характеристики зыби в радиусе 200 км от исследуемой точки в сравнении с климатическими величинами. Если средняя высота зыби превышала климатическое значение для данного района мирового океана и данного месяца, то запись относилась к штормовому волнению и из дальнейшего рассмотрения исключалась. И наконец, ошибкой наблюдений полагались записи, где экстремальным высотам зыби сопутствовали высоты ветровых волн более 5 м. Подобный критерий кажется весьма разумным, так как крайне маловероятно сочетание, например, 15-метровой зыби и 15-метровой ветровой волны. Скорее всего, это ошибочно продублированная запись одной и той же системы волн. После столь жесткого кон-

троля экстремальных высот зыби остается не более 1 % записей для каждого климатического месяца (например, для январей в океанах Северного полушария – 22). И все они могут быть отнесены либо к распространению систем зыби соответствующих румбов после сильных штормов либо к необычным волнам.

Вышеописанные методики были применены и к Южному океану (рис. 7). Результаты исследований абсолютно аналогичны результатам, полученным для Северного полушария (за исключением количества наблюдений): все экстремальные высоты ветровых волн являются либо сильными штормами, либо ошибками наблюдений. А записи с экстремальными высотами зыби для единичных случаев не демонстрируют никаких аномальных свойств, кроме высоты волны.

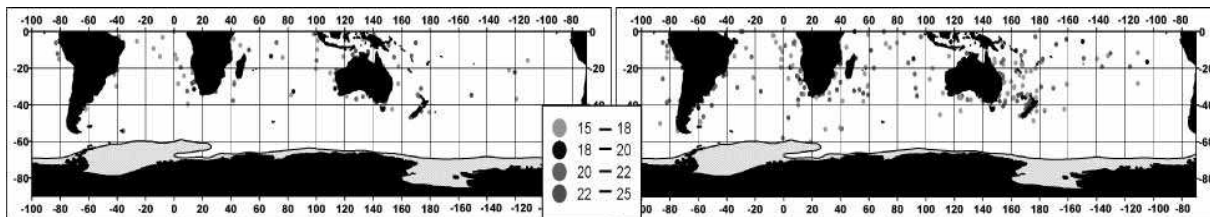


Рис. 7. Экстремальные высоты ветровых волн (слева) и высоты волн (в м) зыби (справа) в Южном полушарии на примере августа 1950–2006 гг.

Таким образом, процент экстремальных волн в коллекции попутных судовых наблюдений невелик. Они не влияют на глобальные оценки климатических характеристик волновых параметров, но могут играть важную роль в оценке экстремальных волновых статистик. Тем не менее высоту ветровых волн и зыби, достигающую 25 м, нельзя априори относить к ошибкам наблюдений. С этой целью была предпринята попытка найти подтверждения хорошо известных и инструментально зафиксированных аномальных волновых явлений в используемой коллекции попутных наблюдений. Но поскольку суда стараются избегать штормовых условий, а в случаях катастроф, как правило, не остается никаких достоверных записей и свидетельств, удалось обнаружить единственную запись, прошедшую все стадии контроля и соответствующую катастрофе на платформе Mobil Oil в районе Ньюфаундлендской банки 15 февраля 1982 г. В точке с координатами 49.00 с.ш. и 46.50 з.д. была зафиксирована волна зыби с высотой 15 м, периодом 15 с, длиной волны 351 м и крутизной 0.04. Ветер достигал 36.00 м/с, атмосферное давление – SLP = 986.20 ГПа, высота ветровой волны при этом составляла 5 м, а ее период – 6 с.

Один из существующих механизмов, приводящих к образованию необычных волн, включает эффекты трансформации волнения за счет мелководья (конечная глубина, рефракция), поэтому было проведено детальное изучение визуальных данных по самым известным океанским банкам. В целом картина экстремальных волновых явлений идентична для всех рассмотренных регионов (Доггер-банка, подводное поднятие Чатам к востоку от Новой Зеландии, район течения Агульяс и др.). На рис. 8 приведен пример экстремальных ветровых волн и волн зыби на Доггер-банке в Северном море, в 100 км от берега Англии. Глубина моря в районе отмели колеблется от 15 до 36 м. Именно в этом районе погибло несколько английских траулеров (13 января 1965 г., 16 февраля 1965 г.). Возможная причина катастроф – крутые пирамидальные волны, возникающие при сложении волн, идущих с глубокой воды на мелководье и отраженных от него. Измерения подтверждают принципиально различный характер волнения севернее и южнее Доггер-банки по сравнению с волновым полем на самой банке [2]. На рис. 8 специально показаны точки без контроля качества. Так, для ветровых волн с  $T = 17$  с возраст волны  $a > 3$ . По-видимому, это записи с ошибочным периодом, либо относятся к системе зыби,

трансформировавшейся на мелководье. Случай с  $H = 15$  м и  $T = 8$  с соответствует штормовому волнению. Все параметры зыби проходят контроль качества. Выбранные за период с 1950 до 2006 г. визуальные данные о волнении подтвердили выводы о штормовой природе экстремальных ветровых волн и о возможном отнесении волн зыби к разряду необычных.

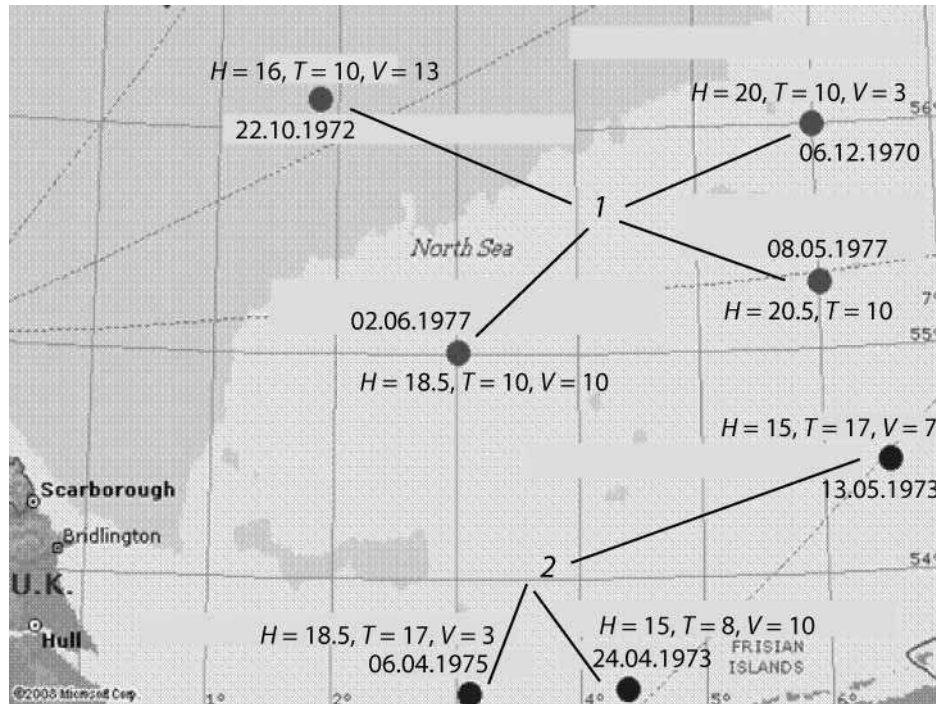


Рис. 8. Высоты зыби (1) и экстремальные высоты ветровых волн (2) за 1950–2006 гг. для района Доггер-банки после качественного контроля данных. Для каждой точки отмечены высота волны  $H$  (в м), период  $T$  (в с) и скорость ветра  $V$  (в м/с).

Таким образом, после глобального анализа океанов Северного и Южного полушарий за период с 1950 по 2006 г. и детального исследования районов повышенной опасности с точки зрения возникновения волн-убийц, основные результаты можно сформулировать следующим образом.

Данные попутных судовых наблюдений могут быть использованы для изучения аномальных волновых явлений в Мировом океане только после тщательной проверки и всестороннего контроля.

Все визуальные наблюдения над волнением, фиксирующие высоты ветровых волн 15 м и более, являются либо реальными записями сильных штормов (порядка 20 % от общего числа), либо ошибками в данных.

Ошибочные записи для волн зыби, превышающих или равных 15 м, составляют примерно те же 80 %, что и для ветрового волнения. Но не все оставшиеся после контроля наблюдения можно объяснить штормовыми условиями. Существует небольшой процент наблюдений, которые нельзя классифицировать как ошибки наблюдений, поскольку они подтверждаются косвенными данными о синоптической ситуации в данной области и их нельзя отнести к последствиям штормов. Потенциально они могут быть отнесены к разряду необычных волн.

Необходимы дополнительные тесты и критерии для исследования этого небольшого количества визуальных наблюдений над волнами зыби, чтобы можно было их однозначно классифицировать.

## Литература

1. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение в мировом океане. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
2. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И. На встречу со штормами. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 135 с.
3. Vadulin S.I., Babanin A.V., Resio D., Zakharov V. Weakly turbulent laws of wind-wave growth // J. Fluid mech. 2007. V.591. P.339–378.
4. Бухановский А.В., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Подходы, опыт и некоторые результаты исследования волнового климата океанов и морей. III: Экстремальные и необычные волны // Вестник СПбГУ. 2006. Сер.7. Вып.1. С.58–70.
5. Janssen P.A.E.M. Progress in ocean wave forecasting // Comp. phys. 2008. V.227. P.3572–3594.
6. Lopatoukhin L.J., Rozhkov V.A., Ryabinin V.E., Swail V.R., Boukhanovsky A.V., Degtyarev A.B. Estimation of extreme wind wave heights // World meteorological organisation (WMO). WMO/TD, JCOMM Technical Report. 2000. N 1041. 71 p.
7. Rogue waves 2000 // Proc. of a Workshop organized by Ifremer. Brest, France. 29–30 November. 2000. 396 p.
8. Rogue waves 2004 // Proc. of a Workshop organized by Ifremer. Brest, France. 13–15 October. 2004.
9. Лопатухин Л.И. Режим морского штормового волнения // Изд. русск. геогр. общ. 2000. Вып.6. С.29–37.
10. Лопатухин Л.И. Некоторые результаты исследования режима волнения на морях // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. 2000. Вып.23. С.62–70.
11. Лопатухин Л.И. Ветровое волнение // Уч. пос. СПб. 2004. 108 с.
12. Woolf D.K., Challenor P.G. Statistical comparisons of satellite and model wave climatologies, in Ocean Wave Measurement and Analysis / Ed. B.L.Edge, J.M.Hemsley. // Am. Soc. Civ. Eng. Reston, Va. 2002. P.640–649.
13. Gulev S.K., Grigorieva V., Sterl A., Woolf D. Assessment fo the reliability of wave observations from voluntary observing ships: insights from the validation of a global wind wave climatology based on voluntary observing ship data // J. Geophys. Res. oceans. 2003. 108(C7), 3236, doi:10.1029/2002JC001437.
14. Grigorieva V., Gulev S., Sterl A. Global climatology of wind waves based on VOS observation. Sym. Int. «In route to GODAE». Biarritz, 2002. P.205–206.
15. Gulev S.K., Grigorieva V., Selemenov K.M., Zolina O. Evaluation of surface winds and waves from voluntary observing ship data. Advances in applications of marine glimatology. WMO: Geneva, 2003. P.53–67.
16. Gulev S.K., Grigorieva V. Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data // Geophys. res. let. 2004. N 31. L24302, doi: 10.1029/2004GL021040.
17. Gulev S.K., Grigorieva V. Variability of the winter wind waves and swell in the North Atlantic and North Pacific as revealed by the Voluntary Observing Ship data // J. Climate. 2006. N 19. P.5667–5685.
18. Woodruff S.D., Diaz H.F., Elms J.D., Worley S.J. COADS release 2 data and metadata enhancements for improvements of marine surface flux fields // Phys. Chem. Earth. 1998. N 23. P.517–526.
19. Woodruff S.D., Worley S.J., Arnott J.A., Diaz H.F., Elms J.D., Jackson M., Lubker S.J., Parker D.E. COADS Updates and the Blend With the UK Meteorological Office Marine Data Bank // Achievements in marine climatology / Ed. V.Swail. Can. Toronto Environ., 1999. P.23–31.
20. Longuet-Higgins M.S., Mechanism of wave breaking in deep water // Sea surface sound / Ed. B.R.Kerman, Dordrecht, Holland, Klawer Acad. Publ. 1988. 639 p.
21. Калмыков В.А. Численное моделирование обрушивающихся волн // Матем. моделирование. 8:8. 1996. С.37–41.

Статья поступила в редакцию 06.09.2011 г.



**ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 2011 г.**

	<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГИДРОФИЗИКИ</b>	<i>№ журнала</i>	<i>С.</i>
1.	Нелокальная гидродинамика и ее приложения. <i>Родионов А.А., Хантулева Т.А.</i>	3	22
	<b>ДИНАМИКА И ГИДРОДИНАМИКА МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ</b>		
2.	Оценивание неизвестных статистических параметров гидродинамических потоков несжимаемой жидкости, создаваемых движущимся сторонним источником. <i>Клячкин В.И.</i>	1	4
3.	Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении. <i>Романенко Е.В., Пушков С.Г.</i>	1	69
4.	Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения мореходности быстроходных катеров на основе принципа нейтрализации волновых нагрузок. <i>Разумеев Ю.В., Юсеев М.Ю.</i>	1	81
5.	Применение метода статистических испытаний в задаче о подъеме груза с большой глубины в условиях нерегулярного волнения моря. <i>Сухоруков А.Л.</i>	2	79
	<b>ГИДРООПТИКА</b>		
6.	Моделирование лидарных изображений внутренних волн по результатам измерений гидрооптических и гидрофизических параметров в северных морях. <i>Родионов М.А.</i>	4	80
	<b>ГИДРОАКУСТИКА</b>		
7.	Цифровое формирование характеристики направленности гидроакустической антенны гидролокатора подводного робота во временной области. <i>Белов Б.П., Семенов Н.Н., Миронов И.В.</i>	1	32
8.	Апертурный синтез гидроакустических антенн – основа мобильных гидроакустических систем наблюдения. <i>Дашевский О.Ю., Нежевенко Е.С., Чулков В.Л.</i>	3	65
9.	Перспективы применения методов нелинейной акустики в технологиях гидроакустического поиска. <i>Тарасов С.П., Воронин В.А.</i>	3	78
10.	Проблемы и предварительные результаты испытания систем активного гашения низкочастотных сигналов в водной и воздушной среде. <i>Белозубцев Е.С., Кирюхин А.В., Кузнецов Г.Н., Михайлов С.Г., Пудовкин А.А., Смагин Д.А., Федоров В.А.</i>	3	79
	<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ГИДРОФИЗИКИ</b>		
11.	Компьютерные технологии корабельной гидромеханики: состояние и перспективы. <i>Гурьев Ю.В., Ткаченко И.В., Якушенко Е.И.</i>	3	8
12.	Концепция и ключевые технологии подводного наблюдения в условиях сетцентрических войн. <i>Коваленко В.В., Корчак В.Ю., Чулков В.Л.</i>	3	49
13.	Некоторые результаты реализации подводных сетевых технологий в СибГУТИ. <i>Арсентьев В.Г., Криволапов Г.И.</i>	3	129
	<b>ОБЩАЯ ДИНАМИКА ОКЕАНА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ</b>		
14.	Моделирование поверхностного и внутреннего $K_1$ (деклинационных) приливов в Белом море. <i>Каган Б.А., Тимофеев А.А.</i>	2	4
15.	Исследование течений в верхнем слое Черного моря в диапазоне мезомасштабов. <i>Владимирова Э.М., Иванов В.Г., Иванов Д.В., Литвин А.Д., Скопин Н.А.</i>	2	19
16.	Методы обработки глубоководных термохалинных измерений. <i>Семёнов Е.В., Мортиков Е.В.</i>	2	45
17.	Особенности течений в восточной части Финского залива по результатам инструментальных измерений в июле 2010 г. <i>Зимин А.В., Солощук П.В., Исаев А.В.</i>	2	58
18.	Испытание схемы турбулентного перемешивания, основанной на теории подобия, в модели Балтийского моря. <i>Булгаков К.Ю., Молчанов М.С.</i>	4	71

	<b><i>ВЕТРОВЫЕ, ДЛИННЫЕ НЕПРИЛИВНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ</i></b>	<i>№ журнала</i>	<i>С.</i>
19.	Программный комплекс для численного моделирования внутренних гравитационных волн в мировом океане. <i>Тюгин Д.Ю., Куркина О.Е., Куркин А.А.</i>	2	32
20.	Экстремальные и необычные ветровые волны: измерения, расчет, прогноз. <i>Бухановский А.В., Лопатухин Л.И.</i>	4	5
21.	Аномальные ветровые волны в Мировом океане по данным попутных судовых наблюдений. <i>Григорьева В.Г., Гулев С.К.</i>	4	18
22.	Волны-убийцы в северо-западной части черного моря: анализ волнографических данных, связь с метеорологическими условиями в зимний период 2000–2001 гг. <i>Доценко С.Ф., Иванов В.А., Побережный Ю.А.</i>	4	27
23.	Аномально большие волны вблизи южного побережья о.Сахалин. <i>Зайцев А.И., Малащенко А.Е., Пелиновский Е.Н.</i>	4	35
24.	Статистика экстремального волнения в юго-западной части Балтийского моря. <i>Соомере Т., Куркина О.</i>	4	43
25.	Механизмы образования внутренних «волн-убийц». <i>Талипова Т.Г.</i>	4	58
	<b><i>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОРСКИХ ВОЛН С БЕРЕГОМ И СООРУЖЕНИЯМИ</i></b>		
26.	Изменчивость берегового профиля под совместным воздействием судовых и ветровых волн. <i>Диденкулова И., Вишка М., Куренной Д.</i>	2	66
	<b><i>ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА</i></b>		
27.	Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики. <i>Боженев Ю.А.</i>	1	47
28.	Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ: современные технологии и перспективы. <i>Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р.</i>	3	37
	<b><i>МОРСКАЯ БИОМЕХАНИКА</i></b>		
29.	Исследование акустического биосенсора дельфина и возможности построения его технического аналога. <i>Иванов М.П., Степанов Б.Г.</i>	3	108
30.	История, современное состояние и перспективы служебного использования китообразных в составе биотехнических систем двойного назначения. <i>Стародубцев Ю.Д., Надолишняя А.П.</i>	3	123
	<b><i>Из истории науки</i></b>		
31.	200 лет со дня рождения Вильяма Фруда. <i>Готман А.Ш.</i>	1	88
32.	М.В. Ломоносов и флот. <i>Карнеев Э.П.</i>	4	88
	<b><i>Поздравления</i></b>		
33.	Геннадия Степановича Малышкина с 75-летием	1	97
34.	Евгения Георгиевича Морозова	3	138
35.	Бориса Ароновича Барбанеля с 75-летием	3	139
	<b><i>Хроника</i></b>		
36.	65 лет Институту океанологии им.П.П. Ширшова РАН	1	99
37.	45 лет Санкт-Петербургскому филиалу Института океанологии им.П.П. Ширшова РАН	1	101
38.	60 лет Секции прикладных проблем при Президиуме РАН	3	4
39.	15 лет Научному совету по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики Санкт-Петербургского научного центра РАН	4	100

## Авторский указатель за 2011 гг.

Арсентьев В.Г. – № 3

Белов Б.П. – № 1

Белогубцев Е.С. – № 3

Боженев Ю.А. – № 1

Булгаков К.Ю. – № 4

Бухановский А.В. – № 4

Вишка М. – № 2

Владимирова Э.М. – № 2

Воронин В.А. – № 3

Гизитдинова М.Р. – № 3

Готман А.Ш. – № 1

Григорьева В.Г. – № 4

Гулев С.К. – № 4

Гурьев Ю.В. – № 3

Дашевский О.Ю. – № 3

Диденкулова И. – № 2

Доценко С.Ф. – № 4

Зайцев А.И. – № 4

Зимин А.В. – № 2

Иванов В.А. – № 4

Иванов В.Г. – № 2

Иванов Д.В. – № 2

Иванов М.П. – № 3

Исаев А.В. – № 2

Каган Б.А. – № 1

Карпеев Э.П. – № 4

Кирюхин А.В. – № 3

Клячкин В.И. – № 1

Коваленко В.В. – № 3

Корчак В.Ю. – № 3

Криволапов Г.И. – № 3

Кузнецов Г.Н. – № 3

Кузьмицкий М.А. – № 3

Куренной Д. – № 2

Куркин А.А. – № 2

Куркина О.Е. – № 2, 4

Литвин А.Д. – № 2

Лопатухин Л.И. – № 4

Малашенко А.Е. – № 4

Мионов И.В. – № 1

Михайлов С.Г. – № 3

Молчанов М.С. – № 4

Мортиков Е.В. – № 2

Надолишняя А.П. – № 3

Нежевенко Е.С. – № 3

Пелиновский Е.Н. – № 4

Побережный Ю.А. – № 4

Пудовкин А.А. – № 3

Пушков С.Г. – № 1

Разумеенко Ю.В. – № 1

Родионов А.А. – № 3

Родионов М.А. – № 4

Романенко Е.В. – № 1

Семёнов Е.В. – № 2

Семёнов Н.Н. – № 1

Скопин Н.А. – № 2

Смагин Д.А. – № 3

Солощук П.В. – № 2

Соомере Т. – № 4

Стародубцев Ю.Д. – № 3

Степанов Б.Г. – № 3

Сухоруков А.Л. – № 2

Талипова Т.Г. – № 4

Тарасов С.П. – № 3

Тимофеев А.А. – № 2

Ткаченко И.В. – № 3

Тюгин Д.Ю. – № 2

Федоров В.А. – № 3

Хантулева Т.А. – № 3

Чулков В.Л. – № 3

Юссеф М.Ю. – № 1

Якушенко Е.И. – № 3