



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 S., 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 551.465

© М.А. Родионов, 2011

Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН  
maxim\_rodionov@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИДАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРООПТИЧЕСКИХ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ

На основе проведенных натурных измерений глубинных профилей гидрофизических и гидрооптических характеристик в Белом, Баренцевом и Карском морях проведено моделирование лидарных изображений внутренних волн (зависимостей эхо-сигнала лидара от его горизонтальных координат, глубины, с которой приходит сигнал и параметров внутренних волн). Показано, что изображения внутренних волн, в зависимости от вертикального распределения гидрофизических и гидрооптических параметров и их сочетания, имеют достаточно сложную и разнообразную структуру.

Ключевые слова: лидар, внутренние волны, гидрооптика, гидрофизические параметры.

Важной задачей экспериментальной океанологии является исследование оптических проявлений гидрологических структур и процессов в морской толще. Конечной целью этих исследований является решение обратной задачи: восстановление гидрофизических полей (внутренних волн, турбулентности) по измеренным пространственным распределениям первичных гидрооптических характеристик (ПГХ).

В настоящее время получили широкое распространение методы дистанционного лазерного (лидарного) зондирования океана, которые в отличие от контактных методов позволяют получать информацию о пространственной изменчивости ПГХ на больших акваториях с малыми затратами времени. В частности, лидарные методы удалось использовать для регистрации внутренних волн (ВВ), которые обнаруживаются лидаром благодаря тому, что они нарушают горизонтальную однородность профилей ПГХ (см., например, [1]). Проблема количественной оценки параметров ВВ лидарным методом исследовалась в работах [2–4], где были предложены аналитические модели лидарных изображений ВВ и алгоритмы восстановления поля ВВ по этим изображениям с использованием данных о невозмущенных профилях ПГХ и плотностной стратификации.

Лидарным изображением называют [2–4] эхо-сигнал  $P(r, z_t)$  как функцию горизонтальных координат лидара  $r$  и глубины  $z_t = vt/2$ , с которой сигнал приходит. При фиксированном положении лидара он формирует одномерное изображение водной среды  $P(z_t)$ , которое несет определенную информацию о вертикальной неоднородности ПГХ. При горизонтальном перемещении лидара в направлении  $x$  и фиксированной ориентации его оптической оси формируется двухмерное изображение  $P(x, z_t)$ , позволяющее рассчитывать горизонтальную изменчивость профилей ПГХ.

В отсутствие гидрофизических возмущений и при постоянстве ПГХ на фиксированной глубине функция  $P(x, z_t)$  на данной глубине  $z_t$  – константа.

Внутренние волны и другие гидрофизические возмущения могут наблюдаться лидаром благодаря тому, что под их влиянием вертикальные неоднородности ПГХ транс-

формируются в горизонтальные. Ясно, что если бы стратификация ПГХ отсутствовала, вертикальное смещение жидкости не привело бы к изменению сигнала при движении лидара и ВВ были бы не видны. Если  $\sigma(z)$  – исходное (не возмущенное внутренней волной) вертикальное распределение некоторой ПГХ (например, показателя обратного рассеяния  $b_b(z)$ ), а  $\zeta(x, z, t)$  – поле вертикального смещения жидкости, то пространственное распределение этого параметра в поле ВВ будет иметь вид [2]:

$$\sigma'(\vec{r}, z, t) \approx \sigma[z - \zeta(\vec{r}, z, t)], \quad (1)$$

т.е. воздействие ВВ на распределение  $\sigma$  проявляется в «искривлении» изолиний этого распределения. А искривление изолиний ПГХ, в свою очередь, проявляется в лидарном изображении – мощности эхо-сигнала. Таким образом, чтобы восстановить поле ВВ  $\zeta$ , надо из лидарного сигнала  $P$  найти распределение некоторой ПГХ  $\sigma'(z)$ , а затем решить уравнение (1) относительно  $\zeta$ . Однако для решения этой обратной задачи необходимо сначала решить прямую задачу: моделирование лидарных изображений ВВ по заданным распределениям ПГХ и функции  $\zeta(x, z, t)$ . Эта прямая задача и решалась в данной работе по результатам измерений гидрооптических и гидрофизических параметров в Баренцевом, Белом и Карском морях. При этом для расчета мощности эхо-сигнала, приходящего из водного слоя использовалась формула, полученная Л.С. Долиным с учетом поля ВВ  $\zeta(x, z, t)$  [3, 5]:

$$P(x, z_t) = (vW\pi r_2^2 \vartheta_2^2 / 4) b'_b(x, z_t) F(x, z_t), \quad z_t = vt/2, \quad (2)$$

$$F(x, z_t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty k \cdot \exp[-S(z_t) \cdot k^2 - 2\tau'(x, z_t) + 2 \int_0^{z_t} \frac{b'_1(x, z_t - z)}{(1 + k^2 z^2 \langle \gamma^2 \rangle / 2)^{1/2}} dz] dk,$$

$$S(z_t) = \frac{1}{4} [r_1^2 + r_2^2 + (\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2) z_t^2], \quad \tau'(x, z_t) = \int_0^{z_t} c'(x, z) dz;$$

здесь  $v$  – скорость света в воде, м/с;  $W$  – энергия зондирующего импульса, Дж;  $r_1, r_2$  – радиусы пучка и входного зрачка приемника, м;  $2\vartheta_1, 2\vartheta_2$  – апертурные углы источника и приемника (рад.);

$$\begin{aligned} c'(x, z, t) &\approx c[z - \zeta(\vec{r}, z, t)]; \\ b'_b(x, z, t) &\approx b_b[z - \zeta(\vec{r}, z, t)]; \\ b'_1(x, z, t) &\approx b_1[z - \zeta(\vec{r}, z, t)]; \\ \langle \gamma^2 \rangle'(x, z, t) &\approx \langle \gamma^2 \rangle [z - \zeta(\vec{r}, z, t)], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $b_b$  – показатель обратного рассеяния,  $m^{-1}$ ;  $c$  – показатель ослабления,  $m^{-1}$ ;  $b_1 = b - 2b_b$  – показатель «малоуглового» рассеяния,  $m^{-1}$ ;  $b$  – показатель рассеяния,  $\langle \gamma^2 \rangle$  – дисперсия индикатрисы малоуглового рассеяния. Формулы (3) следуют из (1).

**Метод измерения гидрооптических и гидрофизических параметров.** Как видно из формулы (2), лидарный сигнал зависит от нескольких ПГХ: показателей ослабления ( $c$ ), рассеяния ( $b$ ) и обратного рассеяния ( $b_b$ ), а также дисперсии индикатрисы  $\langle \gamma^2 \rangle$ . По-

видимому, проблема восстановления глубинных профилей ПГХ не имела бы однозначного решения, если бы эти ПГХ изменялись бы с глубиной независимо. Однако, как показано в [6], все они в середине видимой области спектра, где работают все океанические лидары, могут быть выражены через показатель ослабления  $c$ :

$$b = 0.94 c - 0.048, b_b = 0.018 c, \langle \gamma^2 \rangle = 0.021 + 0.7656 b_b / b. \quad (4)$$

Формулы (4) справедливы в диапазоне  $c = 0.3 - 2.5 \text{ м}^{-1}$ , т.е. для прозрачностей воды по белому диску порядка 2–20 м, в пределах которых изменяется прозрачность в северных морях.

Таким образом, для расчета лидарного сигнала достаточно измерить глубинный профиль показателя ослабления, а остальные ПГХ рассчитать по формулам (4).

Для измерения показателя ослабления использовался разработанный нами прозрачномер, предназначенный для измерений в прибрежных водах. Пределы измерения  $c$  – от 0.3 до 6.0  $\text{м}^{-1}$ , предельная точность – около 1 % для  $c = 1 \text{ м}^{-1}$  (прозрачность по белому диску  $z_b \approx 6 \text{ м}$ ), около 2 % для  $c = 0.5 \text{ м}^{-1}$  ( $z_b \approx 12 \text{ м}$ ) и около 4 % для  $c = 0.25 \text{ м}^{-1}$  ( $z_b \approx 20 \text{ м}$ ). Подробное описание прозрачномера дано в [7].

Для измерения температуры и электрической проводимости морской воды использовались серийные зонды отечественного и западного производства (ОЛД-1 – НПО «МАРС», SBE-19 – Германия, FSI – США).

Давление, температура, электропроводность и показатель ослабления регистрировались при погружении от поверхности до дна соединенных вместе и закрепленных на тросе зондов. Одновременно проводился замер глубины видимости диска Секки. Данные гидрологических зондирований обрабатывались с использованием стандартных пакетов программ, входящих в комплект зондов; также при их помощи измеренные температура и электропроводность пересчитывались в плотность. Гидрооптические измерения обрабатывались при помощи программ Measurement Studio и Microsoft Excel. Осреднение данных проводилось с дискретностью по глубине через 1 м. Окончательная обработка океанологической информации выполнялась на персональном компьютере с помощью прикладной программы Surfer.

Всего с 2006 по 2010 г. в 10 экспедициях автором было выполнено 285 совместных измерений гидрологических и гидрооптических характеристик: в центральной и юго-восточной частях Баренцева моря – 80, в Белом море – 150, в юго-западной части Карского моря и проливе Карские Ворота – 55.

**Метод и алгоритм расчета лидарных изображений.** Метод и алгоритм расчета основан на моделировании лидарных изображений одномодового поля ВВ  $\zeta(\vec{r}, z, t)$  с заданной амплитудой на основе данных об измеренных вертикальных профилях температуры, солености и плотности воды и показателя ослабления. Для описания ВВ, так же как и в [2–4], использовалась модель Грена, в соответствии с которой структура 1-й моды ВВ характеризуется функцией

$$\zeta(x, z, t) = \zeta_0 \left[ \operatorname{sech}^{kd} \left( \frac{z-h}{d} \right) - \operatorname{sech}^{kd} \left( \frac{z+h}{d} \right) \right] \sin(\omega t - kx) \quad (5)$$

с двумя параметрами плотностной стратификации, один из которых ( $d$ ) характеризует толщину пикноклина, а другой ( $h$ ) – глубину его залегания;  $\zeta_0$  – максимальная амплитуда первой моды (в случае синусоидальной волны  $\zeta_0 = \text{const}$ ; при цуговом строении волн размах колебаний меняется от нуля до максимального значения – в работе модуляция цуга принята синусоидальной),  $\omega$  – частота ВВ,  $\lambda = 2\pi/k$  – длина ВВ. Расчеты прово-

дились для длины волны  $\lambda = 20$  м при разных значениях  $\omega/N_0$ , где  $N_0$  – максимальное значение частоты Вайсяля  $N = \sqrt{(g/\rho)(d\rho/dz)}$ ,  $\rho$  – плотность воды,  $\zeta_0 = 2$  м. Волновое число  $k = 2\pi/\lambda$  определялось из дисперсионного соотношения  $\omega/N_0 = \frac{kd}{\sqrt{(kd+m-1)(kd+m)}}$  ( $m$  – номер моды), период волны  $T = 2\pi/\omega$ .

Структура алгоритма моделирования лидарного изображения поля ВВ с заданной амплитудой показана на рис. 1.

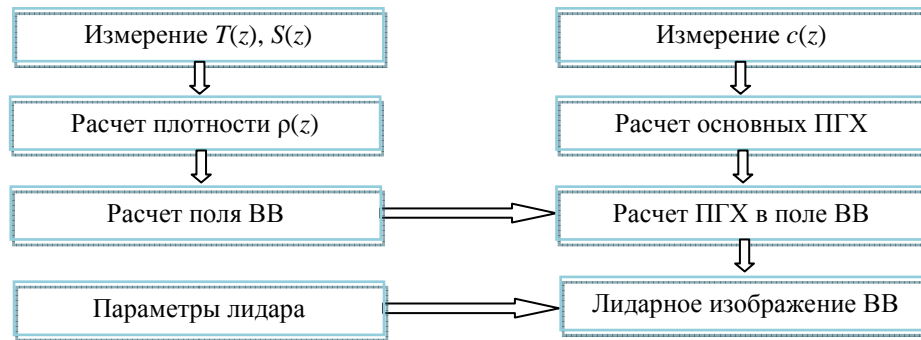


Рис. 1. Схема алгоритма моделирования лидарных изображений внутренних волн.

Исходными данными для моделирования служат профили показателя ослабления света  $c(z)$ , температуры  $T(z)$  и электропроводности  $S(z)$  воды; амплитуда и номер моды ВВ; параметры лидара ( $W$  – энергия зондирующего импульса, Дж;  $r_1, r_2$  – радиусы пучка и входного зрачка приемника, м;  $2\vartheta_1, \vartheta_2$  – апертурные углы источника и приемника, рад). Расчеты проводились для параметров, соответствующих реальному лидару, имеющемуся в Лаборатории оптики Института океанологии РАН:  $W = 0.4$  Дж,  $r_2 = 0.1$  м,  $\vartheta_2 = 0.035$  (2 град.),  $r_1 = 0.005$  м,  $\vartheta_1 = 0.003$ . Предполагалось, что лидар перемещается в направлении волнового вектора (ось  $x$ ) со скоростью, существенно превышающей скорость распространения ВВ, так что структура изображения определяется распределением  $\zeta$  при  $t = 0$ .

Структура лидарного изображения ВВ определяется возмущениями, вносимыми ВВ в пространственное распределение ПГХ, которое зависит как от невозмущенных профилей ПГХ, так и от поля вертикальных смещений жидкости в ВВ. Поэтому алгоритм моделирования включает гидрооптическую и гидродинамическую части.

Гидродинамическая часть алгоритма включает: расчет глубинного профиля плотности воды  $\rho(z)$  по измеренным профилям температуры и электропроводности; определение параметров пикноклина (с глубиной  $h$  и толщиной  $d$ ), профиля частоты Вайсяля  $N(z)$  и, после задания амплитуды, – частоты и номера моды ВВ, а также расчет поля вертикальных смещений жидкости  $\zeta(x, z, t)$ .

Гидрооптическая часть алгоритма предусматривает: определение показателей полного  $b$ , обратного  $b_b$  и малоуглового  $b_1$  рассеяния и дисперсии индикатрисы малоуглового рассеяния  $\langle \gamma^2 \rangle$  по измеренным профилям  $c(z)$  с помощью корреляционных связей между различными ПГХ – формулы (4); расчет пространственного распределения ПГХ в поле ВВ по (3) в предположении о малости амплитуды ВВ по сравнению с вертикальным масштабом неоднородности поля  $\zeta(x, z, t)$ ; расчет лидарного изображения ВВ по (2).

Алгоритм реализован в виде компьютерной программы в среде MATCAD. Время счета отдельной реализации сигнала обратного рассеяния в зависимости от требуемой дискретизации по глубине и максимального значения глубины в конкретных расчетах составляло от нескольких минут до одного часа.



**Результаты измерений и расчетов.** Были проведены расчеты для 30 станций в Белом, Баренцевом и Карском морях, на которых измерялись профили температуры, солености и показателя ослабления.

На рис. 2, *а–ж* приведены примеры результатов моделирования лидарных изображений внутренних волн в виде линий уровня величины  $L(x, z) = 10 \log P(x, z)$  ( $P$  – мощность эхо-сигнала, Вт) (справа), а также исходные данные – профили условной плотности воды, показателя ослабления света и температуры (слева) – для типичных станций в Белом, Баренцевом и Карском морях.

Ниже в таблице приведены параметры модели Грена для указанных станций.

Параметры модели Грена для выбранных станций, м

Станция, год	Пикноклин		$\omega/N_0$
	глубина	толщина	
Белое море: № 10, 2010	9	6	0.8
№ 15, 2010	5	6	0.8
Баренцево море: № 1, 2006	40	10	0.87
№ 49, 2009	7	6	0.8
Карское море: № 59, 2010	12	4	0.75
№ 60, 2010	20	10	0.87
№ 68, 2010	11	8	0.84

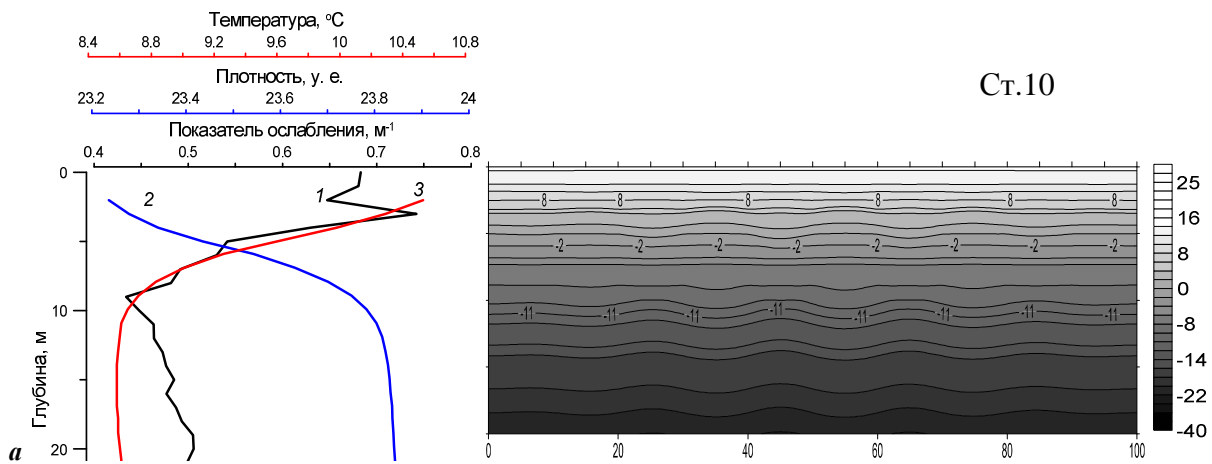
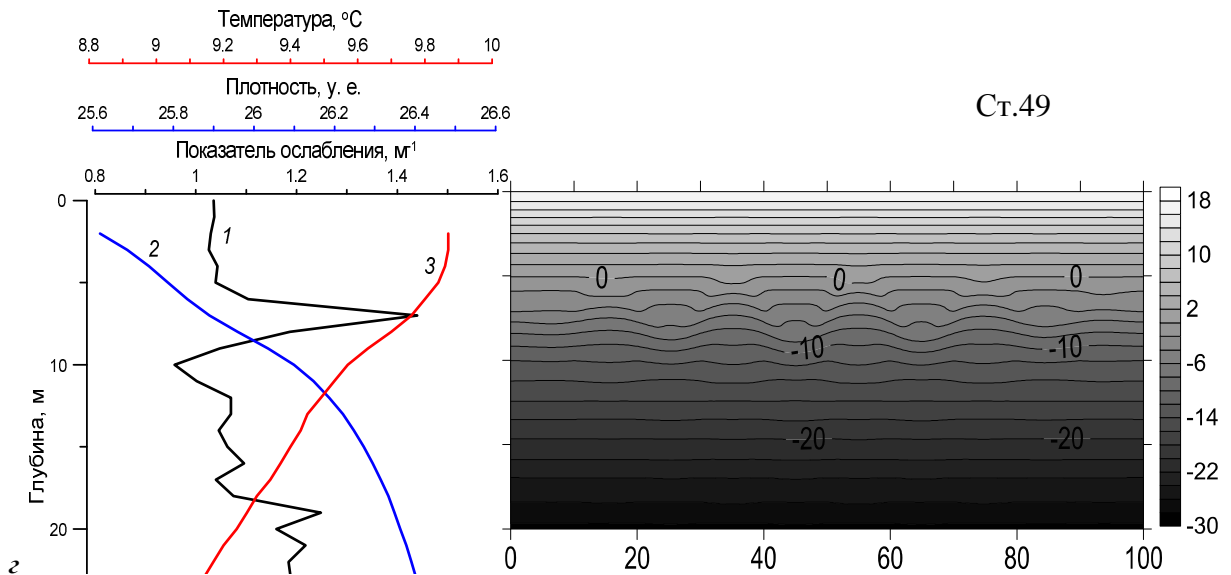
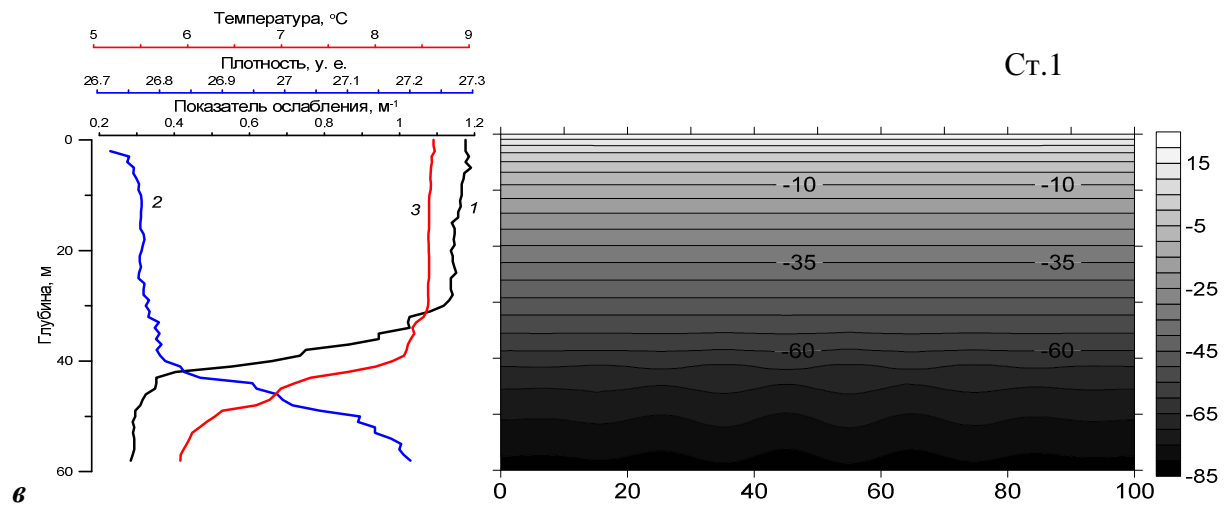
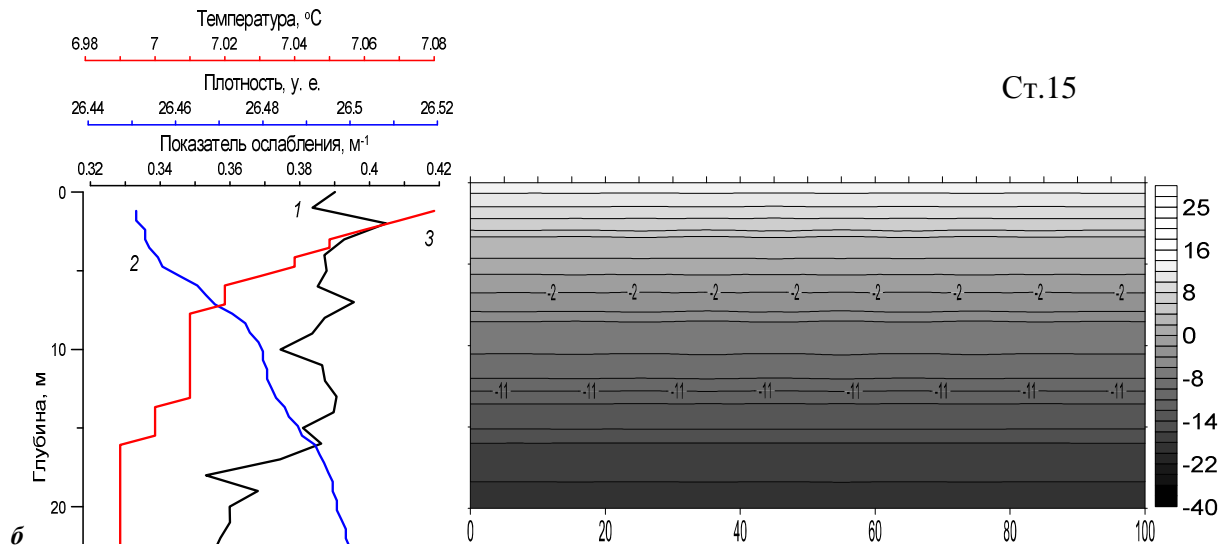


Рис. 2. Результаты моделирования лидарных изображений внутренних волн.

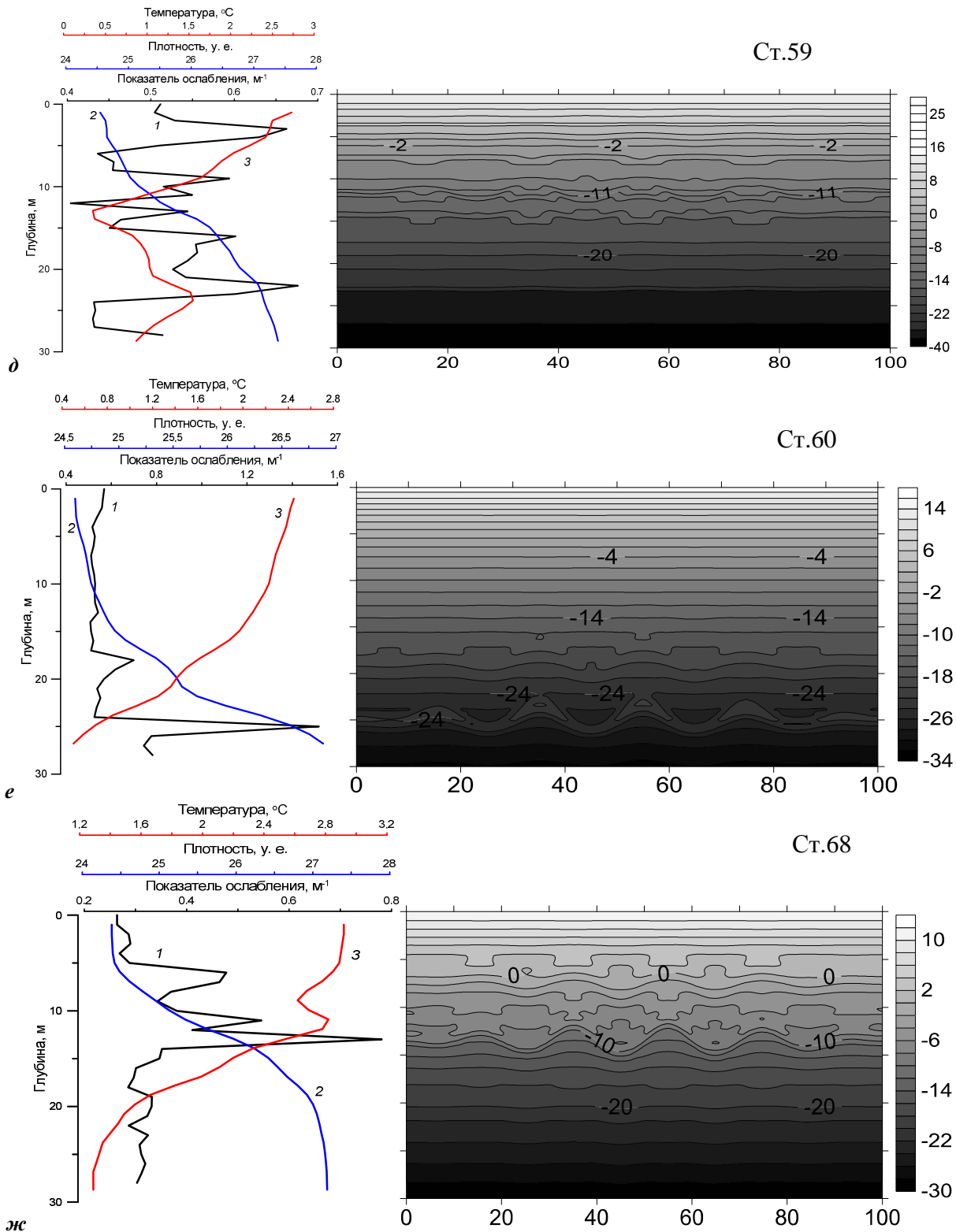
Слева – профили плотности, температуры, показателя ослабления, справа – соответствующие им результаты расчета лидарных изображений внутренних волн в виде линий уровня величины

$$L(x, z) = 10 \log P(x, z).$$

*а, б* – Белое море, *в, г* – Баренцево море, *д, е, ж* – Карское море.



Продолжение рис. 2.



Окончание рис. 2.

По результатам проведенных расчетов можно выделить несколько типовых случаев:

1. Распределение плотности имеет ярковыраженный скачок, а показатель ослабления мало меняется от поверхности до дна. Такая ситуация приведена на рис. 2, **б** (ст.15 в Белом море – показатель ослабления меняется от  $0.4 \text{ м}^{-1}$  у поверхности до  $0.36 \text{ м}^{-1}$  у дна).

В этом случае внутренние волны не проявляются в сигнале обратного рассеяния или проявляются очень слабо.

2. Распределения плотности и показателя ослабления имеют ярко выраженные скачки. Такая ситуация приведена на рис. 2, *а, в* (ст.10 в Белом море и ст.1 в Баренцевом). В этом случае ВВ проявляются в виде синусоидальных кривых в слое скачка и кривых в противофазе ниже слоя скачка.

3. Распределение плотности имеет ярко выраженный скачок, а в распределении показателя ослабления имеются отдельные ярко выраженные слои. Такие ситуации приведены на рис. 2, *г, д, е, ж* (ст.49 в Баренцевом море и ст.59, 60, 68 в Карском). В этом случае ВВ проявляются в эхо-сигнале наиболее сложным образом. Непосредственно в выделенном слое внутренние волны проявляются в виде синусоидальных структур, над слоем – в виде нерегулярных бочкообразных структур, ниже выделенного слоя – в виде синусоидальных структур, колеблющихся в противофазе. Наиболее сложная ситуация наблюдается на рис. 2, *д*, когда в распределении показателя ослабления имеется множество отдельных ярко выраженных слоев. Внутренние волны проявляются в виде сложных нерегулярных структур.

Проведенные расчеты показывают, что изображения ВВ в зависимости от распределения гидрофизических и гидрооптических параметров и их сочетания имеют достаточно сложную и разнообразную структуру. Можно также заключить, что приведенный метод и алгоритм моделирования изображений ВВ являются эффективным средством прогностических оценок возможностей лидарного наблюдения ВВ малой амплитуды в заданных районах и уточнения механизмов формирования изображений ВВ. Алгоритм и программа могут также послужить основой для разработки методов восстановления поля ВВ по его лидарному изображению.

*Автор выражает благодарность И.М. Левину за полезные советы и замечания.  
Работа поддержана РФФИ, грант 10-05-00311а.*

## Литература

1. Браво-Животовский Д.М., Долин Л.С. и др. Оптические методы диагностики океана. Лазерное зондирование // Дистанционные методы исследования океана. Горький: ИПФ АН СССР, 1987. С.84–125.
2. Dolina I.S., Dolin L.S., Levin I.M., Rodionov A.A. Diagnostic abilities of oceanic lidars // Proc. of the III Intern. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2005). Eds. I.Levin, G.Gilbert. SPb.: D.S.Rozhdestvensky Optical Society, 2005. P.220–225.
3. Dolina I.S., Dolin L.S., Levin I.M., Rodionov A.A., Savel'ev V.A. Inverse problems of lidar sensing of the ocean / Current research on remote sensing, laser probing and imagery in natural water. SPIE Proceedings. 2007. V.6615. 66150C. 10 p.
4. Dolin L.S., Dolina I.S., Savel'ev V.A. The model of lidar images of internal waves // Proc. IV Int. Conf. ONW. 2007. P.124–128.
5. Левин И.М., Долин Л.С., Французов О.Н. и др. Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования // Сб. научн. тр. «Фундаментальная и прикладная гидрофизика. СПб.: Наука, 2009. № 4(7). С.16–24.
6. Левин И., Копелевич О. Корреляционные соотношения между первичными гидрооптическими характеристиками в спектральном диапазоне около 550 нм // Океанология, 2007. № 3. С.374–379.
7. Левин И.М., Родионов М.А., Французов О.Н. Погружаемый измеритель показателя ослабления света морской водой // Оптический журнал, 2011. № 5. С.59–63.

Статья поступила в редакцию 20.11.2011 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 сетецентрических 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