

|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><b>САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ<br/>НАУЧНЫЙ ЦЕНТР<br/>РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Научный совет по проблемам<br/>фундаментальной и прикладной гидрофизики</b></p> |  | <p style="text-align: center;"><b>№ 4 (6)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>2009</b></p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Сборник научных трудов  
Издается с 2008 года**

## СОДЕРЖАНИЕ

### Статьи

|                                                                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Клячкин В.И.</i> Информационная интеграция гидрофизических и гидроакустических полей.....                                                                                                                  | 4         |
| <i>Левин И.М., Долин Л.С., Франгузов О.Н., Родионов М.А., Осадчий В.Ю., Савченко В.В.</i> Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования..... | 16        |
| <i>Зимин А.В., Николаев В.Г., Родионов А.А.</i> Внутренние волны и их проявления на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море.....                                                           | 25        |
| <b>Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....</b>                                                                             | <b>30</b> |
| <i>Каган Б.А., Софьина Е.В.</i> Сезонная изменчивость приливной волны $M_2$ в Северном Ледовитом океане.....                                                                                                  | 31        |
| <i>Силина Т.А.</i> Алгоритмы комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетцентрическому принципу.....                                                                       | 38        |
| <i>Семенов Н.Н.</i> Определение курсового угла подводного объекта по одному наблюдению при использовании сложного сигнала и когерентного приема.....                                                          | 46        |
| <i>Жиляев Е.А., Павлов А.А., Чернядев Е.В.</i> Автономная дистанционно управляемая сейсмогидроакустическая станция наблюдения за сигнально-помеховой обстановкой.....                                         | 51        |
| <b>Перспективные направления развития науки и техники</b>                                                                                                                                                     |           |
| <i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....                                                                        | 59        |
| <b>Хроника.....</b>                                                                                                                                                                                           | <b>66</b> |
| <b>Внимание, конкурс!.....</b>                                                                                                                                                                                | <b>69</b> |
| Информация о конференции ГА-2010.....                                                                                                                                                                         | 71        |
| Правила представления материалов в редакцию.....                                                                                                                                                              | 72        |

# CONTENTS

## Articles

|                                                                                              |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <i>Kljachkin V.I.</i> Information Integration of Hydrophysical and Hydroacoustic Fields..... | 4 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---|

In the present work the dynamic and information model of hydroacoustic and hydrophysical algorithmic systems interaction is considered with the view of designing of optimized (adaptive) procedures for weak signal allocation in the presence of masking interference, and also for estimation of unknown parameters of HA and HP field sources movement. Physical basis of these problems solving is the difference in field generation and propagation mechanism under their information interaction.

**Key words:** random fields, dynamics, information, adaptation, estimation, signal, noise.

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Levin I.M., Dolin L.S., Frantzuzov O.N., Rodionov M.A., Osadchy V.Yu., Savtchenko V.V.</i><br>Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres<br>in the Barents Sea: Application to Lidar Sensing Problem..... | 16 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Lidar detection of hydrophysical nonhomogeneity, such as internal waves or turbulence, is possible if there is marked stratification of the depth profiles of attenuation coefficient and the fluid density, and if the lidar echo-signal from pycnocline area is sufficiently large. A new submersible instrument for attenuation coefficient measuring was developed and produced. In this paper we describe the instrument and the algorithm of its calibration and measurement accuracy estimation. The results of field measurements of attenuation coefficient, density and temperature depth profiles in 12 spots (stations) in the Barents Sea are given. Using the results of these measurements, we computed the echo-signal levels and the signal-noise ratio as functions of depth. It was shown that at all stations the echo-signal power is sufficient enough for hydrophysical nonhomogeneity detection.

**Key words:** lidar sensing, attenuation coefficient, hydrophysical parametres, the Barents Sea.

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Zimin A.V., Nikolaev V.G., Rodionov A.A.</i> Internal Waves and their Displays on the Sea<br>Surface During the Tidal Cycle in the White Sea..... | 25 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

The results of an experiment on research of the internal waves, carried out in July, 2008 in the Onega gulf of the White Sea, are presented. Behavior of time variability of short -time period internal waves during a tidal cycle is investigated. It is shown that fluctuations of a thermocline and temperature of an ocean surface are correlated and in-phased.

**Key words:** internal waves, measurement, sea surface temperature, contact and non-contact methods.

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Kagan B.A., Sofina E.V.</i> Seasonal Variability of the $M_2$ Tide in the Arctic Ocean ..... | 31 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

The results for three-dimensional (3D) winter and summer tidal flows in the Arctic Ocean are presented. It is shown that dependent on ice seasonal variability of the tidal constants (amplitudes and phases of tidal sea surface level elevations) in the Central and Canadian parts of the Arctic Ocean is less than the mean square error in the predicted tidal sea surface level elevations. This means that the seasonal variability can be neglected, at least as a first approximation. A different situation is encountered in the Siberian continental shelf, where seasonal changes of tidal amplitude are  $\pm 5$  cm, while those of tidal phase vary from  $15^\circ$  to several tens of degrees.

**Key words:** tides, seasonal variability, modeling, the Arctic Ocean.

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Silina T.A.</i> Data Fusion Algorithms of Underwater Network-Centric Surveillance System..... | 38 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

The construction, assignment, functions and algorithmic structure of data fusion of underwater network-centric surveillance system are considered.

**Key words:** data fusion, network-centric system, underwater surveillance system.

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Semenov N.N.</i> Course Angle Estimation of a Underwater Object by Only One Observation Using a Complex Signal and Coherent Reception..... | 46 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Using of a complicated probing signal and coherent reception allows to distinguish echo-signals from various blinking points on the case of underwater object that allows to estimate such secondary signs, as the form of object and its linear sizes. Measurement of frequency of each echo-signal allows to estimate radial speed of mutual moving, and the knowledge of the form of an object allows to estimate a course angle and full speed of observable object.

**Key words:** hydroacoustic, detection, glare, compound signal, form evaluation, a cluster.

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Zhilyaev E.A., Pavlov A.A., Chernyadev E.V.</i> Self-Contained Remote Controlled Seismohydroacoustic Station for Surveillance of the Signal-Noise Situation | 51 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

The report considers a signal-noise situation surveillance station meeting the modern requirements: it has an adaptive teletype hidden communication path through hydroacoustic channel, nonvolatile memory of big capacity, long endurance (up to 1 year), deployment depth of down to 6000m, GPS receiver for determining its location, it uses rapid signal digital processing algorithms.

**Key words:** seismohydroacoustic station, hydroacoustic communication, memory, digital algorithms

## **Perspective Tendency of Development of Science and Technics**

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Place and Role of Mobile Underwater Robots in the Decision of Modern Problems of Sea Activity of the States..... | 59 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

In the article the review of the basic modern global problems connected with sea activity of the states in the World Ocean, a place and a role in their decision of a new perspective class of underwater systems – mobile underwater robots (or UUVs) is given. Globalization forming uniform universal economic-information field, bears both constructive, and destructive influence on many aspects of the world community life, including research, economic and military problems solved in the World Ocean. The spectrum of the basic problems and prospects of UUVs, as dual-purpose means, in their decision is considered.

**Key words:** mobile underwater robot, underwater systems, an information field, underwater conditions.

УДК 551.465

*А.В.Зимин<sup>1</sup>, В.Г.Николаев<sup>2</sup>, А.А.Родионов<sup>3</sup>*  
zimmin2@mail.ru

## **ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВО ВРЕМЯ ПРИЛИВНОГО ЦИКЛА В БЕЛОМ МОРЕ**

Представлены результаты эксперимента по исследованию внутренних волн, проведенного в июле 2008 г. в Онежском заливе Белого моря. Исследован характер временной изменчивости короткопериодных внутренних волн за приливной период. Показано, что колебания термоклина и температуры поверхности океана коррелированы и синфазны.

В гидротермодинамике прибрежной зоны океана значительную роль играют внутренние волны, участвующие в перераспределении потоков тепла, импульса и энергии. В шельфовой зоне северных морей, как правило, наблюдаются внутренние волны в широком диапазоне длин (периодов), образованные в результате действия приливов. Вследствие взаимодействия приливных течений с подводными возвышенностями образуются системы короткопериодных внутренних волн [1-4]. Исследования процессов их возникновения, развития, распространения и разрушения приобретают практическое значение при проектировании, создании и эксплуатации подводных аппаратов и шельфовых сооружений. Для натурных исследований внутренних волн и их проявлений на морской поверхности применяются контактные и дистанционные методы [5, 6].

Контактными методами измеряются характеристики внутренних волн по распределениям полей температуры, электропроводности (солености), консервативных примесей, скорости течений и др. Такие измерения трудоемки, требуют значительных временных затрат и имеют ограничения по пространственно-временным характеристикам.

Использование дистанционных методов для идентификации процессов, протекающих внутри океана, дает возможность получить информацию с относительно больших акваторий с малыми затратами времени. Однако их эффективность существенно зависит от состояния морской поверхности и помеховой обстановки. Поэтому для адекватной процессам интерпретации данных дистанционных наблюдений целесообразно проводить работы, включающие контактные измерения в толще океана и на поверхности. Подобные комплексные измерения позволят количественно связать процессы в толще и на поверхности океана для акватории проведения работ и в дальнейшем для набора статистических данных использовать дистанционные средства.

В данной работе представлены экспериментальные исследования проявлений короткопериодных внутренних волн на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море на основе комплексных контактных и дистанционных методов измерений.

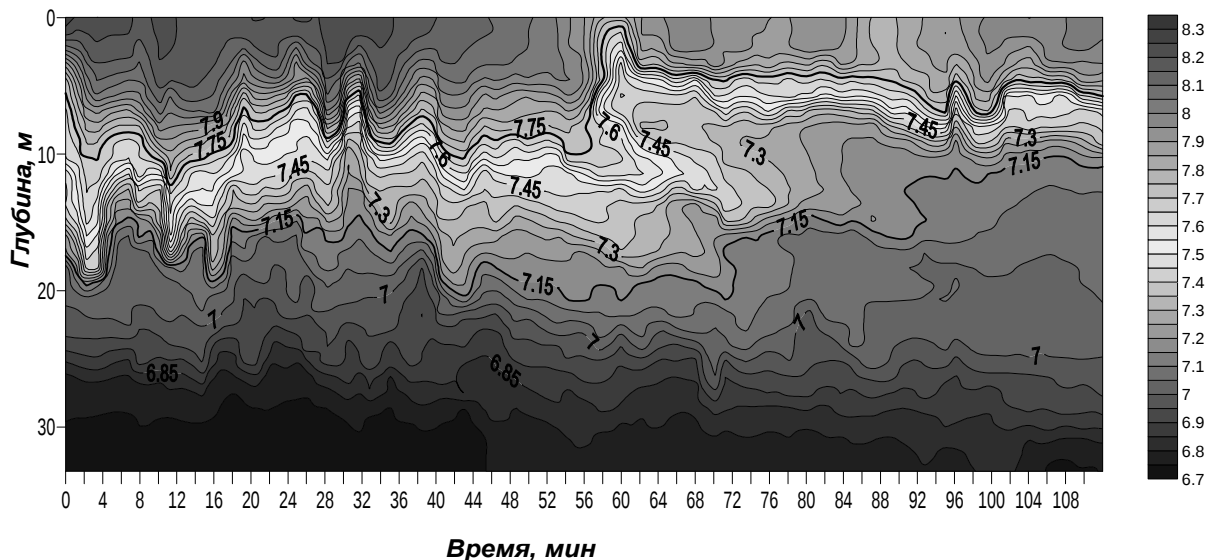
**Методика эксперимента.** Исследования проводились 17-18 июля 2008 г. в Онежском заливе Белого моря с заякоренного судна. Идентификация вертикальных смещений термоклина проводилась по показаниям зонда T-90 (Sea&Sun Technology, GmbH),

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

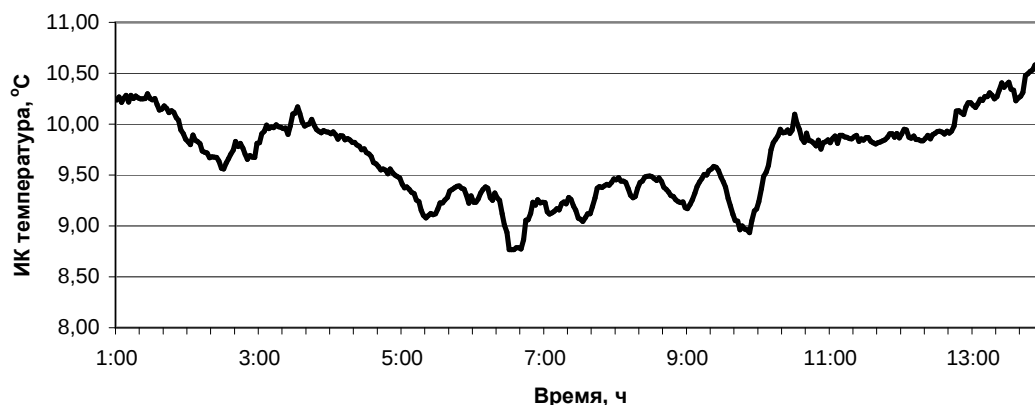
<sup>3</sup> Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им П.П.Ширшова РАН

с помощью которого измерялась температура и электропроводность от поверхности до дна моря. Полные океанографические станции выполнялись каждые 30 мин. Три раза выполнялись серии сканирования длительностью 2 ч с интервалом между ними в 2 мин. По результатам серии определялось положение верхней и нижней границы термоклина (рис. 1.).



**Рис. 1.** Распределение температуры по результатам сканирования с 1:01 до 2:53 17.07.2008 г. (жирной линией выделено положение верхней границы термоклина)

Радиационная температура поверхности дистанционно регистрировалась с помощью ИК-радиометра, установленного на крыле рубки и работавшего в окне прозрачности 8-12 мкм. Расстояние от объектива до воды составляло 6 м, угол зрения – 15 град. Достаточное удаление поля зрения ИК-радиометра от борта исключало влияние судна на поле радиационной температуры. Точность регистрации составляла 0.02 °C, дискретность измерений 2 мин. С той же дискретностью регистрировались температура воздуха, скорость и направление ветра (рис. 2.). В период наблюдений скорость ветра не превышала 3 м/с, облачность составляла 2-4 балла. Всего в комплексном режиме измерения продолжались 14 ч.



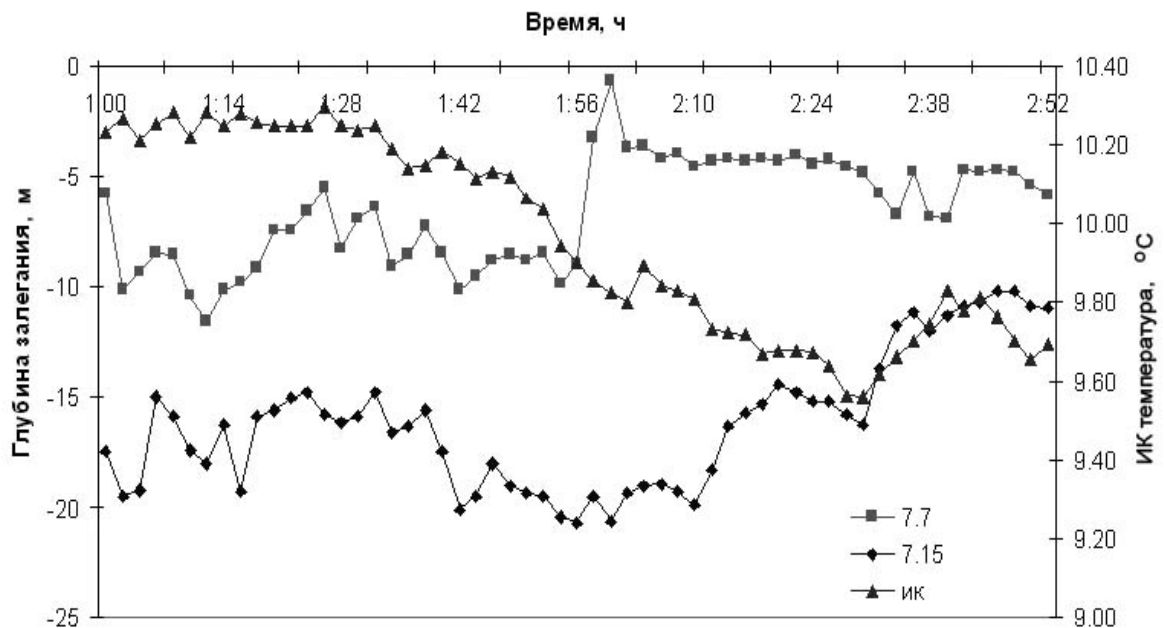
**Рис. 2.** Распределение температуры поверхности океана по данным ИК-датчика 17.07.2008 г.

**Обработка данных эксперимента.** В ходе обработки данных по результатам сканирований оценивались глубины залегания верхней и нижней границ термоклина (ВГТ и НГТ) в моменты времени, совпадающие с показаниями ИК-радиометра. Температура поверхности океана (ТПО) пересчитывалась в аномалии относительно среднего значения за период сканирования. Полученные массивы глубины залегания термоклина и аномалии температуры поверхности, совпадающие по времени, анализировались с использованием кросс-спектрального анализа.

Оценки характеристик внутренних волн за весь период наблюдений по данным ИК-радиометра производились с помощью вейвлет-преобразования. Из данных предварительно удалялась трендовая составляющая, затем подбирался базисный вейвлет и его параметры, для чего исследовалась среднеквадратическая ошибка точности восстановления исходных данных по используемому вейвлет-спектру. Подобная процедура необходима, так как практические рекомендации по выбору базиса для обработки океанологических данных отсутствуют [7], а форма вейвлета (четность или нечетность), доминирующая частота и степень ее локализации существенно влияют на возможности выделения локальных особенностей анализируемых сигналов.

Были рассмотрены вейвлеты: Морле (с номером волны от 6 до 20), Пауля (в степени от 4 до 20), производной функции Гаусса (от 2 до 20 порядка). При минимальной ошибке восстановленного ряда разложение считалось оптимальным. Наилучшие результаты были получены для производной второго порядка функции Гаусса.

**Анализ результатов.** На представленных временных реализациях сканирований (см.рис. 1) видно, что колебания температуры на разных горизонтах происходят, как правило, синфазно. Наибольшая амплитуда колебаний отмечается на верхней границе термоклина. Синфазность процессов колебания свидетельствует, во-первых, об их волновой природе, во-вторых, о преобладании первой моды в динамической структуре поля внутреннего волнения. При визуальном сравнении данных о положении термоклина с колебаниями радиационной температуры (рис. 3) можно сделать вывод о синфазности этих колебаний.



**Рис. 3.** Изменение инфракрасной температуры, температуры поверхности и глубины залегания верхней (7.7 °C) и нижней (7.15 °C) границ термоклина с 1:01 до 2:53 17.07.2008 г.

Длина рядов наблюдений позволила провести анализ взаимных колебаний на периодах от 4 до 60 мин. Выборка из результатов по максимальным значениям коэффициента корреляции (пересчитанного по значениям функции когерентности) на верхней и нижней границах термоклина представлена ниже.

|                        | Верхняя граница<br>термоклина –<br>температура<br>поверхности океана | Нижняя граница<br>термоклина –<br>температура<br>поверхности океана |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Период, мин            | 10-16                                                                | 12-14                                                               |
| Фаза, град             | 182                                                                  | 190                                                                 |
| Коэффициент корреляции | 0.73                                                                 | 0.64                                                                |

Степень взаимосвязи максимальна на одних и тех же периодах при стабильности сдвига фаз. Получается, что колебания термоклина на периодах 10-16 мин вызывают колебания поверхностной температуры. Противофазность колебаний объясняется тем, что глубина погружения термоклина задавалась отрицательными значениями, а не абсолютными значениями, как принято в океанологии. Соответственно, подъем термоклина к поверхности (уменьшение отрицательной глубины) вызывает понижение температуры.

Если предположить, что изменения ТПО на данных периодах однозначно связаны с флуктуациями глубины залегания термоклина, то колебания термоклина амплитудой 4-5 м вызывают вариации поверхностной температуры в  $0,15^{\circ}\text{C}$ .

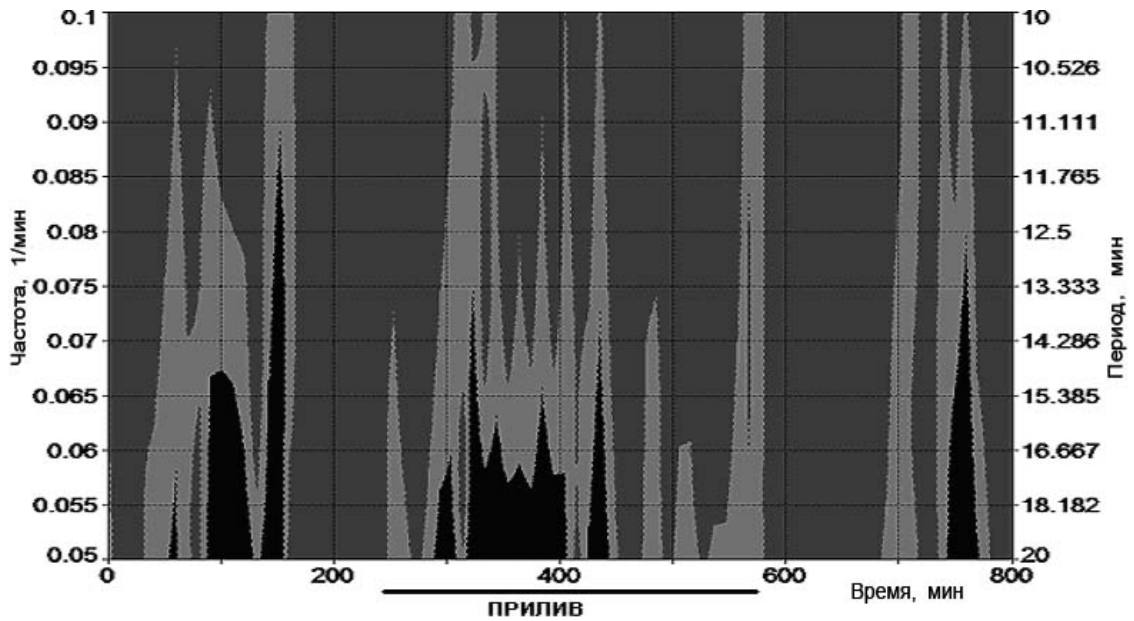
Наблюдаемые в эксперименте колебания радиационной температуры можно интерпретировать в рамках модели трансформации излучательной способности поверхности океана за счет механизма перераспределения внутренней волной характеристик поверхностных пленок, что подробно рассмотрено в работе [8]. Более подробно интерпретировать результаты не представляется возможным, т.к. параметры пленок в эксперименте не измерялись.

Проведенная верификация данных позволяет интерпретировать колебания ИК-температуры на периодах 10-16 мин как проявления внутренних волн.

Длительные измерения ИК-радиометром позволили оценить интенсивность генерации внутренних волн в данном районе Белого моря за время полусуточного приливного цикла.

Как видно из показаний ИК-датчика (см.рис. 2), интенсивность колебаний с отмеченными периодами не является стационарной. Это дает основание предполагать, что интенсивность генерации внутренних волн зависит от фазы прилива. Распределение коэффициентов функции спектральной плотности вейвлет-преобразования (рис. 4) на периодах от 10 до 20 мин показывает, что в условиях прилива, когда набегающая волна из воронки Белого моря входит в Онежский залив, интенсивность образования внутренних волн на порядок выше, чем в условиях отлива. При этом волны распространяются пакетами по 4-7 колебаний.

Подобные вариации регистрировались и другими авторами [3], однако, использование вейвлет-преобразования позволило определить время появления внутренних волн в точке наблюдения и их периоды.



**Рис. 4.** Результаты обработки показаний ИК-радиометра вейвлет-преобразованием на периодах 10-20 мин (с 1:00 до 14:00 17.07.08)

Экспериментальные исследования внутренних волн и их проявлений в поле температуры поверхности океана, выполненные в условиях прибрежного района Белого моря, показали, что на периодах 10-16 мин исследуемые процессы коррелированы и синфазны. Короткопериодные внутренние волны генерируются пакетами преимущественно в условиях прилива. По экспериментальным данным смещение термоклина на 4-5 м индуцирует поверхностные аномалии ИК-температуры до  $0,15^{\circ}\text{C}$ .

**Ключевые слова:** внутренние волны, температура морской поверхности, измерение, контактные и неконтактные методы.

#### Литература

1. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Волны внутри океана. СПб, 1992. 272 с.
2. Новотрясов В.В., Ванин Н.С. Низкочастотные внутренние волны в прибрежной зоне Японского моря // Изв. РАН. ФАО. 2002. Т.38. № 4. С.557-565.
3. Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В., Сабинин К.Д. Изменчивость внутренних приливов в прибрежной акватории о.Оаху (Гавайи) // Океанология. 2007. № 6.
4. Родионов А.А. Основы гидрофизики океана. СПб.: ВМА, 1994. 128 с.
5. Приповерхностный слой океана. Физические процессы и дистанционное зондирование / Под ред. В.И.Таланова и Е.Н.Пелиновского. Т.2. Н.Новгород. 1999. 340 с.
6. Степанюк И.А. Методы измерений характеристик морских внутренних волн. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. 138 с.
7. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. 1996. Т.166. № 11. С.1145-1170.
8. Горский С.А., Кудрявцев В.Н. Формирование ИК-изображений внутренних волн на морской поверхности // Воздействие крупномасштабных внутренних волн на морскую поверхность. Горький: ИПФ АН СССР, 1982. С.111-123.

Статья поступила в редакцию 17.06.2009 г.