



Тематический выпуск

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лучинин А.Г.</i> О системах подводного видения со сложно модулированными пучками подсветки .....	5
<i>Лихачева М.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В.</i> Модифицированный алгоритм атмосферной коррекции данных спутникового сканера MODIS .....	18
<i>Триз Ч., Пеннучи Дж.</i> Верификация вторичных оптических характеристик, восстанавливаемых планерами Слокама .....	26
<i>Долин Л.С.</i> Об искажениях импульсного светового пучка в среде с сильно анизотропным рассеянием .....	30
<i>Родионов М.А., Долина И.С., Левин И.М.</i> Корреляции между вертикальными распределениями показателя ослабления света и плотности воды в Северных морях.....	39
<i>Вазюля С.В., Копелевич О.В.</i> Сравнительные оценки баланса фотосинтетически активной радиации в Баренцевом, Белом, Карском и Черном морях по данным судовых и спутниковых измерений.....	47
<i>Фицек Д., Мелер Й., Западка Т., Стонь-Эгерт Й.</i> Моделирование коэффициентов поглощения света фитопланктоном в озерах Померании (северная Польша).....	54
<i>Пеннучи Дж., Альварес А., Триз Ч.</i> Спутниковый метод, основанный на ковариации, для поддержки деятельности AERONET – верификация данных по цвету океана.....	64
<i>Толкаченко Г.А., Калинин Д.В., Смирнов А.В., Прохоренко Ю.А.</i> Оценка пространственных масштабов аэрозольной атмосферы над акваторией Черного моря.....	69
<i>Левин И.М., Дарецкий М., Саган С., Ковальчук П., Здун А., Радомысльская Т.М., Родионов М.А.</i> Можно ли применять к Балтийскому морю известные модели оптических свойств воды?.....	80
<i>Сухоруков А.Л., Титов М.А.</i> Об использовании эффекта планирования для движения подводных аппаратов.....	88
<b>Конференции</b> .....	102
Тематический указатель 2012 г. ....	106
Авторский указатель за 2012 г. ....	108
Правила представления материалов в редакцию.....	109

## CONTENTS

### Articles

- Luchinin A.G.* On Underwater Imaging Systems with Complex Modulated Beams of Illumination.... 5

A scheme of construction of imaging systems based on a complex modulated illuminating beam and the received echo signal processing is proposed, which involves the extraction of the modulated component and its matched filtering is discussed. The approached model of a signal taking into account the effect of surface waves and multiple scattering in water is constructed. The system limiting longitudinal and transverse resolutions determined by random light refraction on the surface and scattering in water are estimated. Characteristics of imaging systems with extremely high frequency of beam modulation are estimated.

**Key words:** underwater imaging, modulated beams of light, dispersion of modulation waves, compression of complex signal, random refraction, wavy surface hydrodynamically rough.

- Likhacheva M.V., Sheberstov S.V., Kopelevich O.V.* Modified Algorithm of Atmospheric Correction for MODIS Satellite Data..... 18

New approach to MODIS data processing, joined of algorithm for sun glint area and low-parametric algorithm of atmospheric correction is presented. Software package processing MODIS imagery has been developed. Validation of this algorithm with in situ measurements of the water radiance reflectance  $\rho(\lambda)$  in most cases shows better accuracy than the SeaDAS 6.1 data as in the presence of sun glint and without glint. As a result of applying of new algorithm, the area of solving the inverse problem increased.

**Key words:** atmospheric correction, sun glint, ocean color sensors.

- Trees C., Pennucci G.* About the Distortions of the Pulsed Light Beam in the Medium with Strongly Anisotropic Scattering..... 26

One of the principle advantages of gliders is that they provide high-resolution measurements at small temporal and spatial scales. They also autonomously operate 24/7 under a variety of weather and sea-state conditions, they increase sample measurement densities (shipboard sampling 87 profiles day-1 as compared to 665 profiles day-1 from a glider), they are relatively low cost, easily re-locatable and finally, they have low power requirements for extended deployment periods. The goals of this study were (1) to determine the radiometric uncertainty of downwelling irradiance ( $E_d$ ) measurements made from gliders, (2) to apply the Submerged Remote Sensing (SRS) technique for calculating mean  $K$ 's (average  $K$  over some depth interval from just below the surface to the sensor depth) from validated glider  $E_d$  data and (3) to invert mean  $K$ 's to local  $K$ 's ( $K$  over some smaller depth increment  $\sim 1-2$  m to generate a vertical profile of  $K$ ) under varying incident solar fluxes (cloud cover/atmospheric conditions).

**Key words:** slocum gliders, underwater irradiance, vertical attenuation coefficient.

- Dolin L.S.* About the Distortions of the Pulsed Light Beam in the Medium with Strongly Anisotropic Scattering..... 30

The method for analysis of spatially - temporal distortions of a pulsed light beam in the stratified turbid medium with narrow scattering phase function (in particular, sea water) is developed. It is shown that the radiative transfer equation in the refined small-angle approximation is reduced to a set of equations for longitudinal moments of a pulsed light field which is solved rigorously unlike the analogous equations for temporary moments of pulse. Recurrence relations, which permit to calculate the moments of the higher order based on the zero moment, are obtained. The formulas for calculating the first three moments, defining the average radiance (or irradiance), the distance between the leading front and the "centre of gravity" of pulse as well as the longitudinal scale of its smearing, are given. Formulas for definition of time characteristics of pulse from its spatial moments are obtained.

**Key words:** laser impulse, turbid medium, light scattering, radiative transfer equation, light field, a method of the moments.

Rodionov M., Dolina I., Levin I. Correlations Between Depth Distributions of Water Attenuation Coefficient and Density in the North Seas ..... 39

The paper contains the data on measurements of depth distributions of attenuation coefficient and fluid density in the Barents, White and Kara Seas together with results of analysis the correlations between these distributions. We founded that in many cases correlations between parameters of the functions used for distributions approximation are rather high, namely, between the horizons of maximal change of attenuation coefficient and the pycnocline depth, between widths of pycnocline and the layer of attenuation coefficient jump, as well as between the gradient of  $c$  and the buoyancy frequency.

**Key words:** correlations, depth profiles, attenuation coefficient, fluid density.

Vasulia S.V., Kopelevich O.V. Comparative Estimates of the Budget of Photosynthetic Available Radiation (PAR) in the Barents, White, Kara and Black Seas Derived From *in situ* and Satellite Data ..... 47

The comparative assessment of all components of the PAR budget (incident on the sea surface, reflected from the rough sea surface, penetrating to the different depth in the water column, water-leaving and absorbed in water) made by using satellite and *in situ* data in the Barents, Black, Kara, and White seas is presented. Water quality is varied from clear with the diffuse attenuation coefficient  $K_d(555) \approx 0.13 \text{ m}^{-1}$  to very turbid with  $K_d(555) = 0.42 \text{ m}^{-1}$ . These differences cause the essential discrepancy of components of the PAR budget in different seas. An agreement between the estimates of PAR penetration in the upper layer derived from *in situ* and satellite data is quite satisfactory.

**Key words:** photosynthetic available radiation, PAR budget, satellite data.

Ficek D., Meler J., Zapadka T., Stoń-Egiert J. Modelling the Light Absorption Coefficients of Phytoplankton in Pomeranian Lakes (Northern Poland) ..... 54

In 2004-08 the absorption properties of phytoplankton was measured in 15 northern Polish lakes of different trophicity. At the same time the concentrations of optically active substances in these lakes were also measured. These data were used to test the model of the absorption properties of phytoplankton, derived by Bricaud et al. for case 1 oceanic waters (hereafter referred to as Bricaud's parameterisation), to predict the spectra of light absorption by phytoplankton  $a_{ph}$  for lakes in Pomerania. This study shows the limitations of this model to lacustrine phytoplankton; and the reasons for them are discussed. In addition, an analogous model of light absorption by phytoplankton in the investigated lakes was derived on the same mathematical basis as Bricaud's model, but with different values of the relevant empirical parameters. For the sake of simplicity, the analysis covered the coefficients of light absorption only by surface water phytoplankton. The results were compared with those obtained for case 2 waters by other authors using similar models.

**Key words:** phytoplankton absorption spectra, lakes, bio-optical modelling.

Pennucci G., Alvarez A., Trees C. A Satellite Covariance-Based Method to Support AERONET Ocean Color Validation Activities ..... 64

The objective is to determine the location(s) in any given oceanic area during different temporal periods where *in situ* sampling for Calibration/Validation (Cal/Val) provides the greatest improvement in retrieving accurate radiometric and derived product data (lowest uncertainties). A method is presented to merge satellite imagery with *in situ* samples and to determine the best *in situ* sampling strategy suitable for satellite Cal/Val efforts. This methodology uses satellite acquisitions to build a covariance matrix encoding the spatio-temporal variability of the area of interest. The covariance matrix is used in a Bayesian framework to merge satellite and *in situ* data providing a product with lower uncertainty. The best *in situ* location for Cal/Val efforts is retrieved using a design principle (A-optimum design) that looks for minimizing the estimated variance of the merged product.

**Key words:** satellite images, field measurements, calibration-validation, merged product.

Tolkachenko G.A., Kalinskaya D.V., Smirnov A.V., Prohorenko Y.A. Evaluation of Spatial Scales of Aerosol Atmosphere over the Black Sea ..... 69

Results of researches of spatial correlation of atmosphere optical heterogeneities above the Black sea are presented. Measurements of aerosol optical thickness are carried out by two spaced sun photometers. The spatial correlation radius of aerosol optical thickness is estimated and constitutes in order of 160 km. Possibility of revealing the absorbing aerosols properties above the sea is shown on a concrete examples. The recommendations on application of portable photometers in sub-satellite measured experiments are given.

**Key words:** aerosol, correction atmosphere, spatial correlation, undersatellite experiment.

*Levin I., Darecki.M., Sagan S., Kowalczyk P., Zdun A., Radomyslskaya T., Rodionov M.* Can the Known Models of Seawater Optical Properties Be Applied to the Baltic Sea?..... 80

Commonly used optical models of natural waters have been analyzed in the context of their applicability in the Baltic Sea. By use of a large data set collected at the Baltic, we found that published before relationships between scattering, attenuation and backscattering coefficients at wavelength 550 nm in ocean waters are valid for Baltic as well. When the same data were used for validation of the relationships connecting absorption and scattering coefficients of the chlorophyll and absorption coefficients of Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) with chlorophyll concentration, the result shows a large discrepancy, disqualifying them in the complicated environment of the Baltic Sea.

**Key words:** inherent optical properties, phytoplankton, yellow substance.

*Sukhorukov A.L., Titov M.A.* Use of Gliding Effect for Motion of Underwater Vehicles ..... 88

This study defines hydrodynamic characteristics of underwater gliders based upon numeric solution of Reynolds-averaged Navier-Stokes equation. The characteristics were compared with experimental data and it was shown that it is possible to use numeric methods of viscous fluid dynamics for development of a shape of such objects. Mathematical model of glider's motion was designed. Feasibility of its use as a towing vehicle for another underwater object was studied. Analytical estimations of glider motion parameters were obtained at steady-state modes with and without account of towing force.

**Key words:** underwater vehicle, glider, numeric methods, mathematical model of motion, towing, excessive buoyancy.

УДК 551.465

© М.А.Родионов<sup>1</sup>, И.С.Долина<sup>2</sup>, И.М.Левин<sup>1</sup>, 2012

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН

<sup>2</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород  
maxim\_rodionov@mail.ru

## КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА И ПЛОТНОСТИ ВОДЫ В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ

Приводятся данные измерений вертикальных распределений показателя ослабления света и плотности воды в Баренцевом, Белом и Карском морях и результаты анализа корреляционных связей между этими распределениями. Установлено, что в ряде случаев наблюдается высокая корреляция между параметрами функций, которые использовались для аппроксимации указанных распределений: горизонтом максимального изменения показателя ослабления и глубиной залегания пикноклина, толщиной пикноклина и слоя скачка показателя ослабления, а также между градиентом показателя ослабления и частотой Вьйсяля–Брента.

**Ключевые слова:** корреляции, глубинные профили, показатель ослабления, плотность воды.

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

В настоящее время для получения информации о пространственной изменчивости ПГХ получили широкое распространение методы дистанционного лазерного зондирования океана. В частности, эти методы удалось использовать для регистрации внутренних волн (ВВ) [1]. Проблема количественной оценки параметров ВВ лидарным методом исследовалась в работах [2, 3], где были предложены аналитические модели лидарных изображений внутренних волн и алгоритмы восстановления поля ВВ по этим изображениям, с использованием данных о невозмущенных профилях ПГХ и плотностной стратификации. Заметим, что сигнал обратного рассеяния океанического лидара зависит от вертикальных профилей нескольких ПГХ (показатели ослабления  $c$ , рассеяния  $b$ , обратного рассеяния  $b_b$ ). Однако для его расчета необходимо знать прежде всего вертикальный профиль показателя ослабления света  $c(z)$  на длине волны 550 нм, поскольку другие ПГХ с достаточно хорошей точностью могут быть определены по измеренной зависимости  $c(z)$  с помощью корреляционных соотношений [4].

Распределения по глубине  $z$  (вертикальные профили) гидрооптических и гидрологических характеристик (температура, соленость, плотность), вообще говоря, являются зависимыми, поскольку светорассеивающие свойства морской воды определяются в основном взвешенными органическими и минеральными веществами, а распределение взвеси по вертикали тесно связано с плотностью воды. В настоящей работе исследуются корреляционные связи между вертикальными распределениями показателя ослабления света  $c$  и плотности воды  $\rho$  по результатам измерений, проведенных в Баренцевом, Белом и Карском морях (частично эти результаты докладывались на конференциях [5, 6]). Как и в [5, 6], использовалась аппроксимация этих профилей аналитической функцией в

виде гиперболического тангенса и коэффициенты корреляции определялись между параметрами этих функций. Заметим, что именно эти аналитические функции и входят в модель лидарных изображений внутренних волн [3].

Наличие корреляционных связей между гидрооптическими и гидрологическими параметрами позволит использовать лидарные методы для определения характеристик плотностной стратификации: глубины залегания пикноклина, его характерной ширины и значения максимальной частоты Вьяйсяля–Брента.

Показатель ослабления света морской водой измерялся специально разработанным погружаемым прибором [7]. Для измерения гидрологических характеристик (температуры, электропроводности, давления) использовались аттестованные приборы как отечественного (ОЛД-1, «НПО Марс»), так и зарубежного (Seabird, FSI) производства. Плотность воды вычислялась по измеренным значениям температуры и электропроводности с помощью стандартной процедуры.

**Баренцево море.** На рис.1 сплошными линиями представлены примеры результатов измерений зависимости показателя ослабления и плотности воды от глубины в Баренцевом море, выполненных в июне–августе 2010 г. в районе с координатами ~68–69°с.ш. и ~39–44°в.д. Видно, что для всех представленных станций характерна ярковыраженная стратификация плотности и показателя ослабления, при этом между профилями  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  существует корреляция (если не обращать внимание на некоторые тонкие слои мутности).

Аппроксимируем зависимости  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  следующими функциями:

$$\begin{aligned}\sigma(z) &= \sigma_0 + \alpha_\sigma \operatorname{th}(\beta_\sigma(z - h_\sigma)), \\ c(z) &= c_0 - \alpha_c \operatorname{th}(\beta_c(z - h_c)),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\sigma(z) = (\rho - 1)1000$  – условная плотность.

Эти зависимости изображены на рис.1 штриховыми линиями. При подборе параметров аппроксимации мы добивались совпадения аппроксимирующих функций и реальных распределений в области их максимального изменения.

Корреляционная связь определялась между следующими параметрами: 1) горизонтами  $h_\sigma$  и  $h_c$ ; 2) характерной шириной  $l$  аппроксимирующих кривых (1), которая определялась по уровню  $\operatorname{th}x = 0.9$ , что соответствует формулам  $l_\sigma = 1.5/\beta_\sigma$ ,  $l_c = 1.5/\beta_c$ ; 3) частотой Вьяйсяля  $N = \sqrt{\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$  и величиной, характеризующей градиент показателя ослабления  $(\alpha_c \beta_c)^{1/2}$ .

Облако значений параметров аппроксимирующих функций и линейные регрессии (сплошные линии) для Баренцева моря представлены на рис.2, а–в. Там же приведены значения коэффициентов корреляции. Измерения проводились в июне–августе 2006 г. на 14 станциях в южной части Баренцева моря в районе с координатами 69–71°с.ш. и 32–34°в.д.

Из рисунков видно, что высокая корреляция ( $k = 0.9$ ) достигается между горизонтом максимального изменения показателя ослабления и глубиной залегания пикноклина. Неплохая корреляция между шириной аппроксимирующих кривых (0.85), несколько хуже между параметром  $(\alpha_c \beta_c)^{1/2}$  и частотой Вьяйсяля (0.65).

**Белое море.** Работы велись в южной части Белого моря (Онежский залив) с 23 по 24 июня 2009 г. Измерения проводились в одной точке, через каждые полчаса – с 16.00 до 15.30 следующего дня. Полная глубина в районе измерений составляла 47–50 м. Примеры представлены на рис.3.

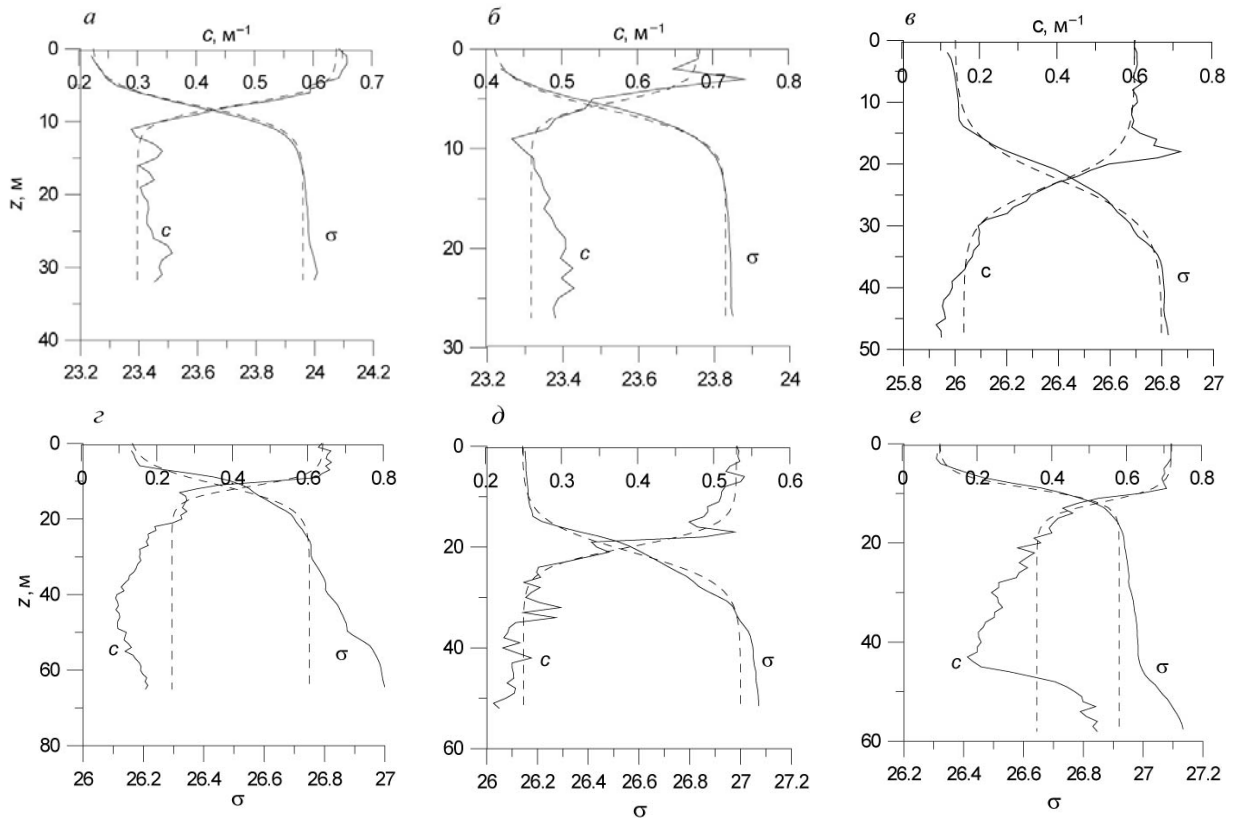


Рис.1. Зависимость показателя ослабления и плотности жидкости (сплошные линии) и их аппроксимации (штриховые линии) от глубины в Баренцевом море (2010).  
 а – ст.9, б – ст.10, в–д – ст.47, 48, 49 соответственно,  
 е – ст.52;  $\sigma(z) = (\rho - 1)1000$  – условная плотность.

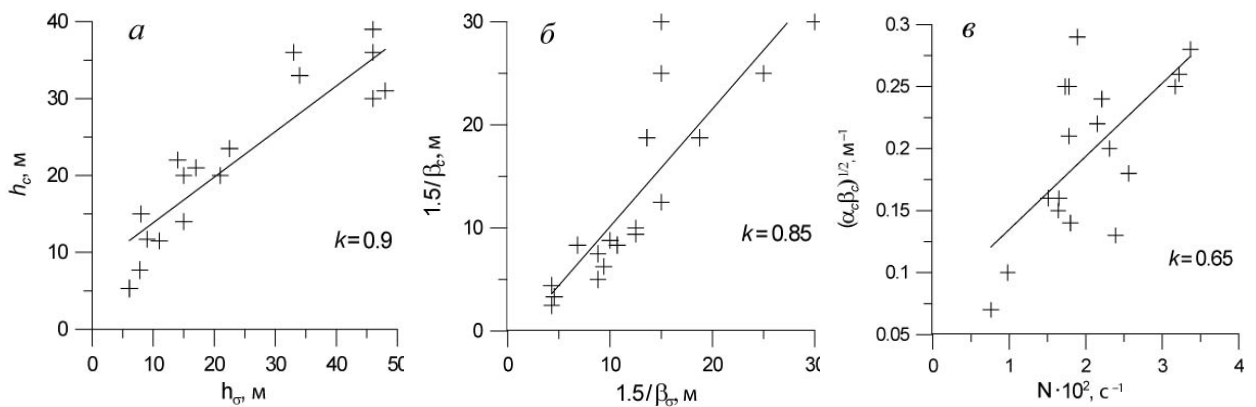


Рис.2. Корреляция между параметрами зависимостей  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  в Баренцевом море.  
 Между: а – горизонтами  $h_\sigma$  и  $h_c$ ; б – характерной шириной аппроксимирующих кривых;  
 в – частотой Вайсяля и параметром  $(\alpha_c \beta_c)^{1/2}$ .

Отличительная особенность измерений в Белом море заключается в возможности проследить изменения стратификации плотности воды и показателя ослабления света в зависимости от времени суток. Согласно полученным данным, во второй половине дня (с 16.00 до 20.00) в районе измерений существовал достаточно выраженный пикноклин и наблюдались профили  $c(z)$ , которые наряду с профилями  $\sigma(z)$  можно было аппроксимировать функциями вида (1) (см. рис.3, а). Результаты статистической обработки

данных, относящихся к этому временному интервалу, приведены на рис.4. Они указывают на высокую корреляцию между профилями  $\sigma(z)$  и  $c(z)$ .

В период времени с 21.00 регистрировались профили  $\sigma(z)$  и  $c(z)$ , которые в первом приближении можно было аппроксимировать линейными функциями (см. рис.3, б):  $\sigma(z) = \sigma_0 + az$ ,  $c(z) = c_0 - bz$ . Корреляция между параметрами  $a$  и  $b$  этих аппроксимаций (градиентами показателя ослабления и плотности жидкости) показана на рис.5. Уравнение регрессии имеет вид:  $b = 0.13a + 0.003$ , коэффициент корреляции составляет  $\sim 0.65$ , число измерений 35.

Как видно из рис.3, б, разрушение пикноклина сопровождалось ростом «изрезанности» вертикального распределения  $c(z)$ . Наличие тонкой структуры в профиле  $c(z)$  является одним из факторов, определяющих информативность лидарного метода зондирования океана: слои мутности с резкими границами хорошо проявляются в обратно рассеянном лидарном сигнале и повышают контрастность лидарных изображений внутренних волн. Поэтому при обработке профилей  $c(z)$  был выполнен расчет функции корреляции

$$R(z_\nu) = \frac{1}{N - \nu} \sum_{n=1}^{N-\nu} \delta c(z_n) \delta c(z_{n+\nu}), \quad (2)$$

относительных отклонений  $\delta c(z) = (c(z) - \bar{c}(z)) / \bar{c}(z)$ , показателя ослабления  $c(z)$  от среднего профиля  $\bar{c}(z)$ . Эта зависимость представлена на рис.6. В формуле (2) использованы обозначения  $z_n = n\Delta z$ ,  $z_\nu = \nu\Delta z$ ,  $\Delta z$  – интервал между отсчетами глубины,  $N$  – полное число отсчетов,  $n$  – номер отсчета,  $\nu$  – число отсчетов в заданном интервале глубин  $z_\nu$ . По максимальному значению функции (2) оценивалась дисперсия относительных флуктуаций показателя ослабления  $R(0)$ , а за характерную толщину слоя мутности  $\Delta z$  принималась ширина этой функции по уровню 01.

Сравнение кривых (рис.6) показывает, что в течение суток дисперсия относительных флуктуаций показателя ослабления менялась примерно в 3 раза, а характерная толщина слоев мутности – примерно в 5 раз. Одной из причин сильных изменений показателя ослабления могут быть приливы. Измеритель скорости течения с датчиком давления, установленный на дне в 1 км от судна, зарегистрировал полусуточные приливы с амплитудой около 0.5 м.

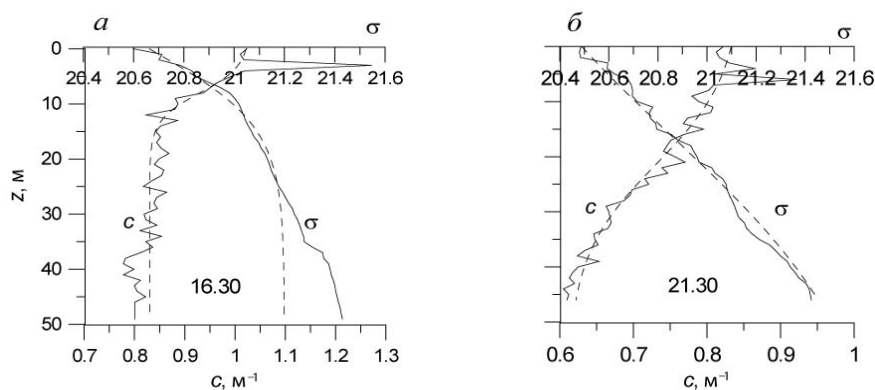


Рис.3. Зависимость показателя ослабления и плотности жидкости (сплошные линии) и их аппроксимации (штриховые линии) от глубины в Белом море: а – стратификация  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  вида функции (1), б – «линейная» стратификация  $\sigma(z)$  и  $c(z)$ .

**Карское море.** Измерения проводились в проливах Карские Ворота и Югорский Шар, у восточного побережья о-вов Вайгач и Южный архипелага Новая Земля с 11 по 23 августа 2010 г. Результаты измерений зависимости показателя ослабления, темпера-



туры и плотности жидкости на шести станциях в Карском море представлены на рис.7. Как видно из рисунков, в Карском море существует ярко выраженный мутный слой и аппроксимация функциями вида (1) вертикального распределения показателя ослабления невозможна.

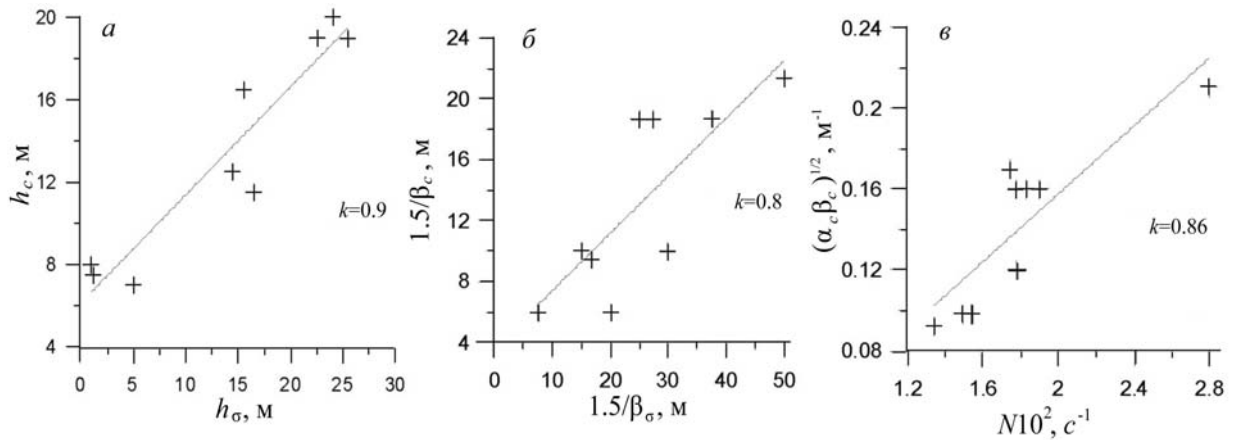


Рис.4. Корреляция между параметрами зависимостей  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  в Белом море. *a* – между горизонтами  $h_\sigma$  и  $h_c$ , *б* – характерной шириной аппроксимирующих кривых, *в* – частотой Вайсяля и величиной  $(\alpha_c \beta_c)^{1/2}$ .

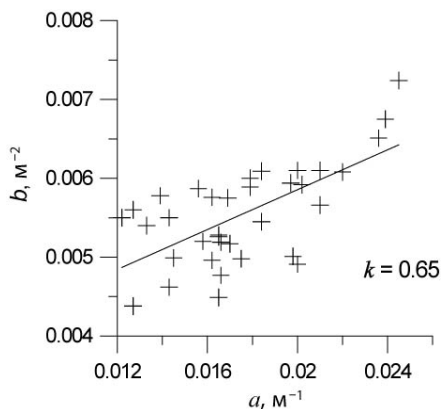


Рис.5. Корреляция между градиентами показателя ослабления и плотности жидкости в случае «линейной» стратификации  $\sigma(z)$  и  $c(z)$ .

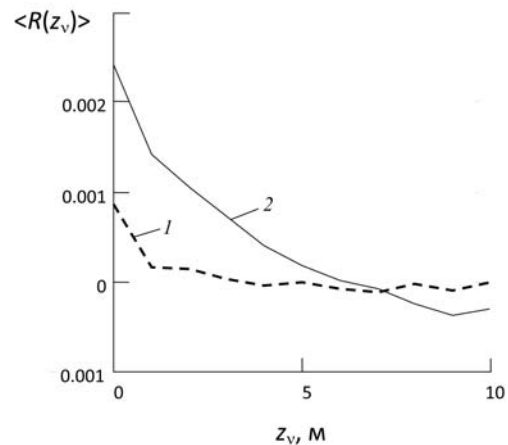


Рис.6. Функции корреляции относительных отклонений показателя ослабления от среднего профиля, усредненные по результатам шести зондирований. Кривые измерений: 1 – с 19.00 до 21.30 (23.06.09); 2 – с 2.00 до 4.30 (24.06.09).

Результаты анализа данных и линейные регрессии для Карского моря представлены на рис.8, где приведены результаты обработки измерений для 13 станций (55, 56–58, 60, 63–65, 68, 70, 74, 76, 79; ст.60 и 79 характеризуются наличием придонного слоя мутности). На рис.8, *a* показана зависимость между глубиной залегания слоев мутности ( $h_1$ ) и пикноклина ( $h_c$ ), а на рис.8, *б* – корреляция между максимумами показателя ослабления и частоты плавучести. Из рисунков видно, что обе корреляции достаточно высокие. Заметим, что этот результат находится в противоречии с утверждением [8], что величина максимума  $c$  не коррелирует с максимальной величиной градиента температуры.

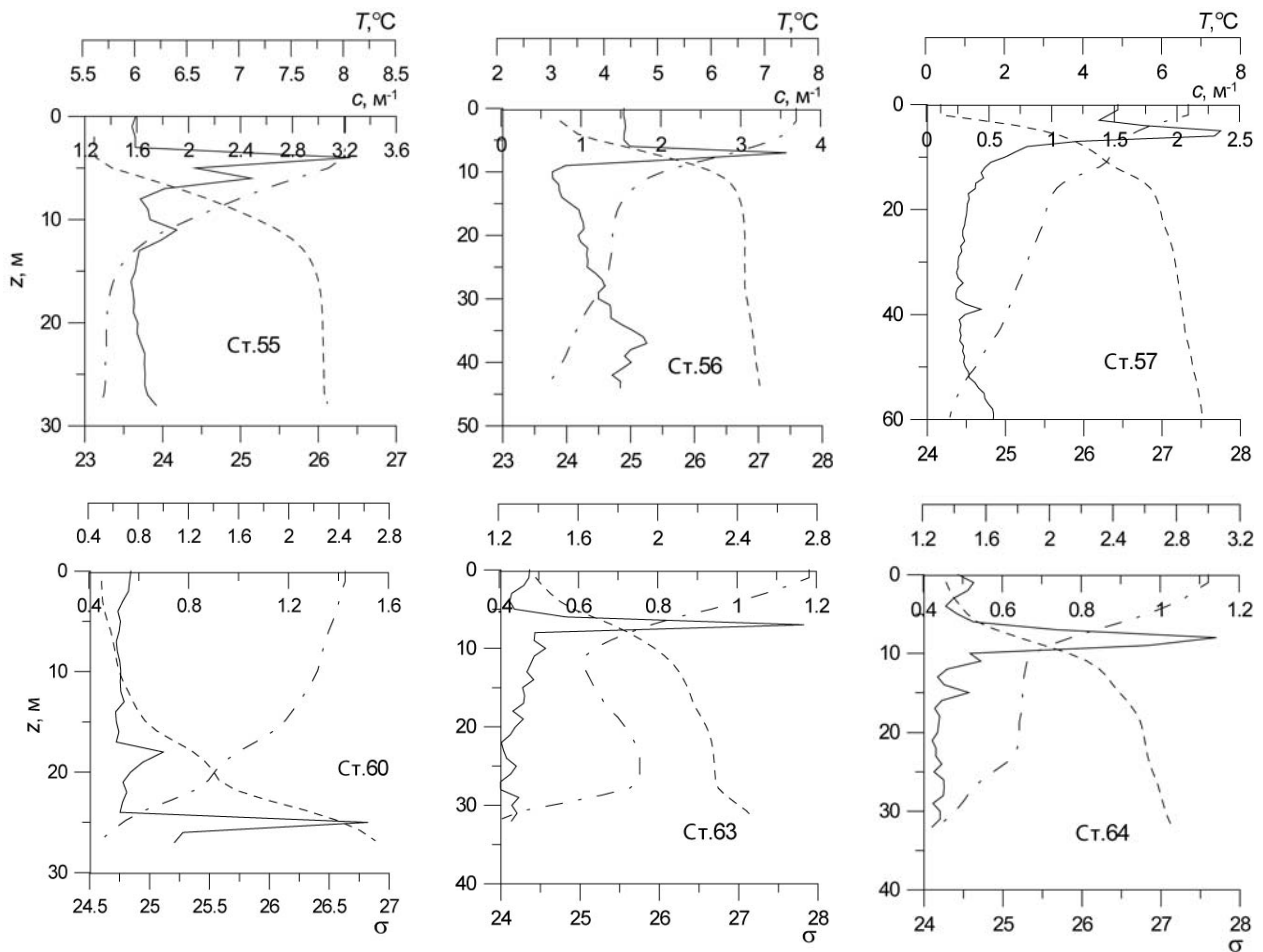


Рис.7. Зависимость показателя ослабления (сплошные линии), температуры (штрихпунктирные) и плотности жидкости (штриховые) от глубины в Карском море (2010 г.).

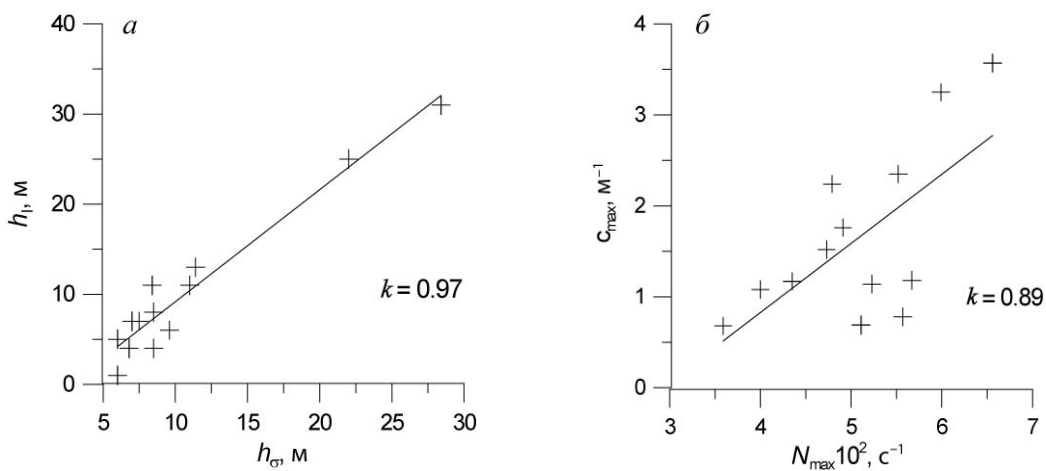


Рис.8. Корреляция между параметрами зависимостей  $\sigma(z)$  и  $c(z)$  в Карском море и горизонтами  $h_\sigma$  и  $h_l$  (а), максимальными значениями показателя ослабления и частоты Вэйсяля (б).  
Прямые линии – линейные регрессии.

Был проведен также анализ корреляций непосредственно между профилями показателя ослабления и градиента плотности жидкости  $d\sigma/dz$  в Карском море. Было получено, что коэффициент корреляции изменяется в широких пределах (0.03–0.83). Заме-

тим, что коэффициент корреляции между профилями гораздо более чувствителен к их взаимному сдвигу, чем тот же коэффициент между параметрами профилей. На рис.9 представлены экспериментальные данные и линейные регрессии для двух станций (приведены значения коэффициентов корреляции).

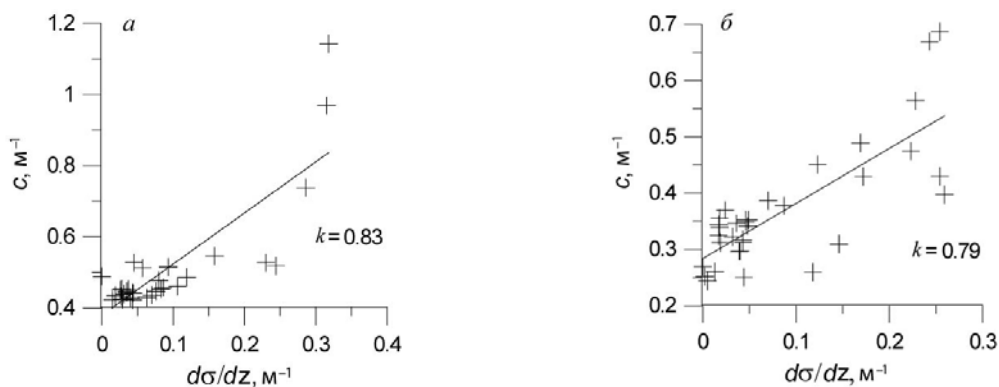


Рис.9. Корреляции между профилями показателя ослабления и градиентом плотности для ст.64 (а) и ст.74 (б).  
Сплошные линии – линейные регрессии.

\*\*\*

В статье показано, что при определенных условиях в целом ряде районов Мирового океана может существовать высокая корреляция между параметрами вертикальных распределений показателя ослабления света и плотности воды. По результатам наших измерений существенной разницы в уровнях коэффициентов корреляции в Баренцевом, Белом и Карском морях не обнаружено. Конечно, проведенных измерений недостаточно для полноценного анализа взаимосвязей между гидрооптическими и гидрологическими характеристиками в северных морях, и эти исследования будут продолжены.

Наличие высокой корреляции позволяет использовать лидарные методы для определения характеристик плотностной стратификации (профиль частоты Вьяйсяля–Брента), что создает предпосылки для дистанционного определения параметров пикноклина с помощью лидара.

По профилю частоты Вьяйсяля–Брента могут быть рассчитаны характеристики внутренних волн в данном районе (дисперсионные характеристики, структура мод). Знание этих характеристик необходимо при изучении динамики внутренних волн, а также для создания алгоритмов и методик восстановления полей внутренних волн по их лидарным изображениям, что имеет практическое значение для решения ряда задач прикладной гидрофизики, связанных с проектированием и эксплуатацией подводных аппаратов и шельфовых сооружений. Кроме того, результаты работы имеют практическую ценность для оперативного мониторинга экологического состояния морской среды.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 10-05-00311, 11-05-00384).*

## Литература

1. Браво-Животовский Д.М., Долин Л.С., Савельев В.А., Фадеев В.В., Щегольков Ю.Б. Оптические методы диагностики океана. Лазерное дистанционное зондирование // Дистанционные методы изучения океана. Горький: ИПФ АН СССР. 1987. С.84–125.
2. 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 Proc. 2007. V.6615. 66150C (10 pages).
3. Dolin L.S., Dolina I.S., Savel'ev V.A. The model of lidar images of internal waves // Proc. of IV Int. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2007). Nizhny Novgorod. 2007. P.124–128.

4. Левин И.М., Копелевич О.В. Корреляционные связи между первичными гидрооптическими характеристиками в диапазоне 550 нм // Океанология. 2007. Т.47, № 3. С.344–348.
5. Долina И.С., Левин И.М., Родионов М.А. Корреляционные связи между показателем ослабления света и гидрологическими характеристиками в Баренцевом и Белом морях // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики (ГА-2010): Тр. 10-й Всерос. конф. СПб., 2010. С.295–298.
6. Rodionov M.A., Dolina I.S., Levin I.M. Correlations between depth distributions of water attenuation coefficient and density in the Barents and Kara Seas // Proc. of the VI Int. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2011). St.-Petersburg, 2011. P.99–103.
7. Frantsuzov O.N., Levin I.M., Osadchy V.Yu., Rodionov M.A., Savchenko V.V., Radomyslskaya T.M., Gusarova S.P. A device for simultaneously measuring attenuation coefficient, temperature and salinity: measurements in the Barents and Black seas // Proc. IV Int. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters» (ONW'2007). Nizhny Novgorod. 2007. P.267–270.
8. Буренков В.И. Вертикальные распределения оптических характеристик // Оптика океана. Т.2. Прикладная оптика океана / Под ред. А.С.Монин. М.: Наука, 1983. С.65–83.

Статья поступила в редакцию 27.02.2012 г.

