

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики		№ 4 (6) 2009
--	---	--

**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
Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....	30
<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
Перспективные направления развития науки и техники	
<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....	59
Хроника.....	66
Внимание, конкурс!.....	69
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> Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres 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 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 ± 5 cm, while those of tidal phase vary from 15° 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

И.М.Левин¹, Л.С.Долин², О.Н.Французов¹, М.А.Родионов³, В.Ю.Осадчий¹, В.В.Савченко¹
maxim_rodionov@mail.ru

ГЛУБИННЫЕ ПРОФИЛИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Обнаружение и идентификация гидрофизических неоднородностей (внутренних волн или турбулентности) с помощью океанических лидаров возможно при выраженной стратификации глубинных профилей показателя ослабления и плотности воды, а также при достаточном уровне эхо-сигнала лидара, поступающего из области пикноклина. Для измерения показателя ослабления был разработан новый погружаемый прибор, дано его описание, алгоритм калибровки и оценка точности измерений. Приведены результаты измерения профилей показателя ослабления, температуры и солёности воды в различных точках Баренцева моря. Проведены расчеты уровня эхо-сигнала и отношения сигнал/шум как функций глубины анализируемого слоя. Показано, что на всех станциях мощность эхо-сигнала достаточна для уверенного обнаружения гидрофизических неоднородностей.

Океанические лидары, в числе многих океанологических применений, в последние годы используются для обнаружения внутренних волн (ВВ), турбулентности и других гидрофизических неоднородностей. В работах [1-2] показано, что при наличии резкого пикноклина и сильной стратификации первичных гидрооптических характеристик (ПГХ) внутренние волны приводят к заметной пространственной модуляции эхо-сигнала океанического лидара. Таким образом, первым условием обнаружения ВВ лидарным методом является одновременное наличие пикноклина и стратификации ПГХ, другим условием является достаточный уровень эхо-сигнала, обеспечивающий отношение сигнал/шум, позволяющее зафиксировать сигнал. Цель данной работы – проанализировать возможности выполнения этих условий применительно к бассейну Баренцева моря.

К сожалению, данных синхронного измерения гидрофизических параметров (температуры, солёности и плотности) и ПГХ в литературе крайне мало. При этом, если для измерения температуры и солёности существуют стандартные океанологические зонды, то для измерения ПГХ, в частности показателя ослабления света водой s (основной характеристики воды, наиболее часто используемой в различных задачах гидрооптики), нет ни стандартных приборов, ни стандартных методик. И хотя показатель ослабления s измерить проще, чем любую другую первичную характеристику, приборов для измерения показателя ослабления (прозрачномеров) относительно мало, они сравнительно сложны и дороги, а точность их не всегда достаточна. Поэтому нашей задачей было создание простого, сравнительно дешевого и достаточно точного погружаемого прозрачномера, предназначенного в основном для применения в задачах видения и активного дистанционного зондирования в прибрежных акваториях. Простота его определяется прежде всего тем, что показатель ослабления измеряется в узком интервале длин волн (525-550 нм). В этой области спектра работают почти все системы подводного ви-

¹ Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

³ Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук

дения и лидары, поэтому прибор может быть непосредственно использован для задач видения и лидарного зондирования.

Измерители показателя ослабления чаще всего строятся по принципу сравнения двух электрических сигналов – опорного I_0 пропорционального световому потоку P_0 , упавшему на слой воды толщиной l , и рабочего I пропорционального потоку P , прошедшему этот слой воды без поглощения и рассеяния, (интегральный закон Бугера):

$$c = -l^{-1} \ln(I / I_0). \quad (1)$$

Двухканальные прозрачномеры, в которых рабочий и опорный каналы разделены в пространстве или формируются изменением толщины слоя l за счет перемещения элементов прибора, приводят к значительному усложнению конструкции и соответственно к появлению дополнительных погрешностей измерения c . Поэтому мы остановились на одноканальной схеме прибора, состоящего из одного – рабочего – канала, а опорный сигнал получается в результате специальной калибровки прибора.

О предельной точности измерения показателя ослабления. Из соотношения (1) следует, что абсолютная ошибка в определении c

$$\Delta c = \delta(I / I_0) l^{-1} \quad (2)$$

зависит от «базы» прибора l и относительной ошибки $\delta(I / I_0)$ в измерении токов I и I_0 , а относительная ошибка $\delta c = \Delta c / c$ обратно пропорциональна «оптической базе» cl .

В настоящее время достигнута очень высокая точность измерения электрических сигналов (до 0.1 %). На этом основании некоторые авторы считают, что точность измерения c в любой воде может быть высокой даже для малых cl . Например, если $l = 0.25$ м, то $\Delta c = 0.004 \text{ м}^{-1}$. Однако, по нашему мнению, это не так, поскольку ошибка $\delta(I / I_0)$ определяется не только точностью измерения токов, но также и флуктуациями пропускания слоя воды $T = P / P_0$. Вода, особенно когда измерения производятся *in situ*, – это «живая» среда, и естественные вариации T определяются многими факторами: диффузией взвеси, пузырьками, мелкими частицами планктона, детрита или взвеси, оседающих на защитных стеклах. По нашему опыту, минимальная естественная изменчивость T никогда не бывает меньше 0.5 %. В табл. 1 даны минимальные абсолютные и относительные погрешности измерения c .

Таблица 1

Минимальные абсолютные (Δc) и относительные ($\delta c = \Delta c / c$) ошибки в измерении c при различных базах прибора l (точность измерения токов 0.5 %)

	$l = 0.25$ м		$l = 0.50$ м		$l = 1$ м	
Δc	0.02 м^{-1}		0.01 м^{-1}		0.005 м^{-1}	
$\delta c = \Delta c / c$	$c = 0.1 \text{ м}^{-1}$	$c = 1 \text{ м}^{-1}$	$c = 0.1 \text{ м}^{-1}$	$c = 1 \text{ м}^{-1}$	$c = 0.1 \text{ м}^{-1}$	$c = 1 \text{ м}^{-1}$
	20 %	2 %	10 %	1 %	5 %	0.5 %

Подчеркнем, что приведенные значения точностей, вообще говоря, условны: они рассчитаны в предположении, что точность $\delta T = 0.5 \%$ ($\delta I \approx 0.25 \%$). В реальных условиях точность измерений обычно хуже, чем указанная в таблице, за счет больших ошибок δT , обусловленных как дополнительными приборными погрешностями (попадание в детектор рассеянного света из-за конечности диафрагмы, температурной зависимости и др.), так и за счет флуктуаций в самой измеряемой среде (пузырьки, оседание взвеси и т.д.). Можно видеть, что для чистых океанских вод требуется прозрачномер с базой не менее 1 м. Это, вообще говоря, хорошо известно. Тем не менее, прозрачноме-

ры с маленькой базой (например, $l = 0.25$ м) применяются и в чистых водах. Однако надо отдавать себе отчет, что в этом случае точность измерения будет низкой.

Мы разработали прозрачномер ($l = 0.5$ м), предназначенный для измерений в прибрежных водах: его предельная точность около 1% для $c = 1 \text{ м}^{-1}$ (прозрачность по белому диску $z_b \approx 6$ м), около 2 % для $c = 0.5 \text{ м}^{-1}$ ($z_b \approx 12$ м) и около 4 % для $c = 0.25 \text{ м}^{-1}$ ($z_b \approx 20$ м). Реальная точность прибора определяется экспериментально. Оптическая схема прибора показана на рис. 1.

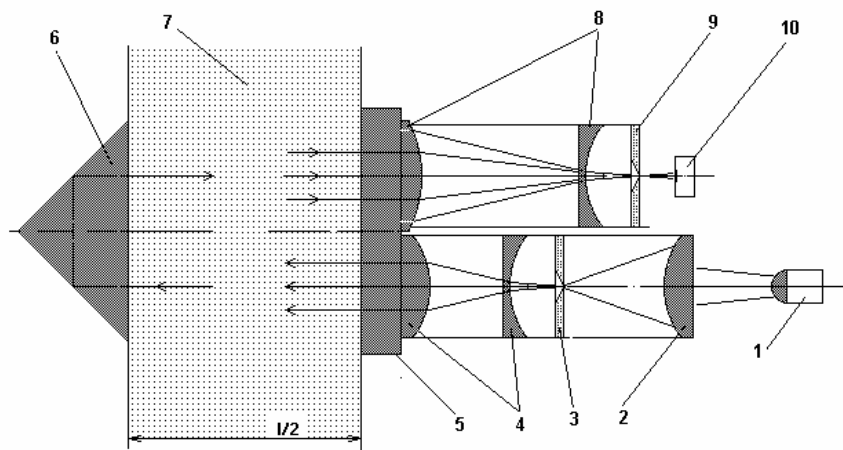


Рис. 1. Оптическая схема прибора

Световой поток от источника света 1 после конденсора 2, точечной диафрагмы 3 и объектива 4 через защитное стекло 5 выходит в воду в виде параллельного пучка. Пучок преломляется в призме 6 и попадает на приемный объектив 8, который фокусирует его в точечную диафрагму 9, за которой располагается фотоприемник 10. Толщина слоя воды 7 между защитным стеклом и призмой $l/2 = 250$ мм; общая оптическая база прибора $l = 500$ мм. Сигнал сравнения, вырабатываемый идентичным фотодетектором, помещенным рядом с фотодиодом, используется для исключения влияния флуктуаций температуры и нестабильности источника света. Пределы измерения c от 0.3 до 6.0 м^{-1} .

Методика и специальное оборудование для калибровки прибора. При одноканальном построении прибора главная проблема состоит в получении опорного сигнала I_0 . Для этого прибор необходимо поместить в эталонную среду с известным показателем ослабления. В принципе эталонной средой может быть и воздух. Но метод градуировки по опорному сигналу в воздухе, как правило, не применяется: даже из-за небольшой непараллельности защитных стекол световое пятно на приемной диафрагме при помещении прибора в воздухе и в воде смещается, что может приводить к большим погрешностям. Поэтому более предпочтительным способом получения опорного сигнала является помещение прибора в воду с известным показателем ослабления c_0 . Но в этом случае проблема состоит в том, что нечем точно измерить эту величину, которая к тому же меняется со временем. Учитывая это, мы выбрали другой способ формирования и измерения опорного сигнала.

Был изготовлен калибровочный эталон – цилиндр из оптического стекла К-8 хорошего качества длиной 248 мм. Он устанавливается на специальной оправке между защитным стеклом и призмой так, что между защитным стеклом и цилиндром и между цилиндром и призмой остается зазор толщиной около 1 мм. Пропускание цилиндра было измерено с высокой точностью: $T_{\lambda} = 0.9046$. Прибор с укрепленным цилиндром помещается в дистиллированную воду таким образом, что вода заполняет промежутки между цилиндром и защитными стеклом и призмой, и измеряется опор-

ный сигнал I_0 . Опорный и рабочий (измеряемый в исследуемой воде без цилиндра) сигналы могут быть выражены в виде:

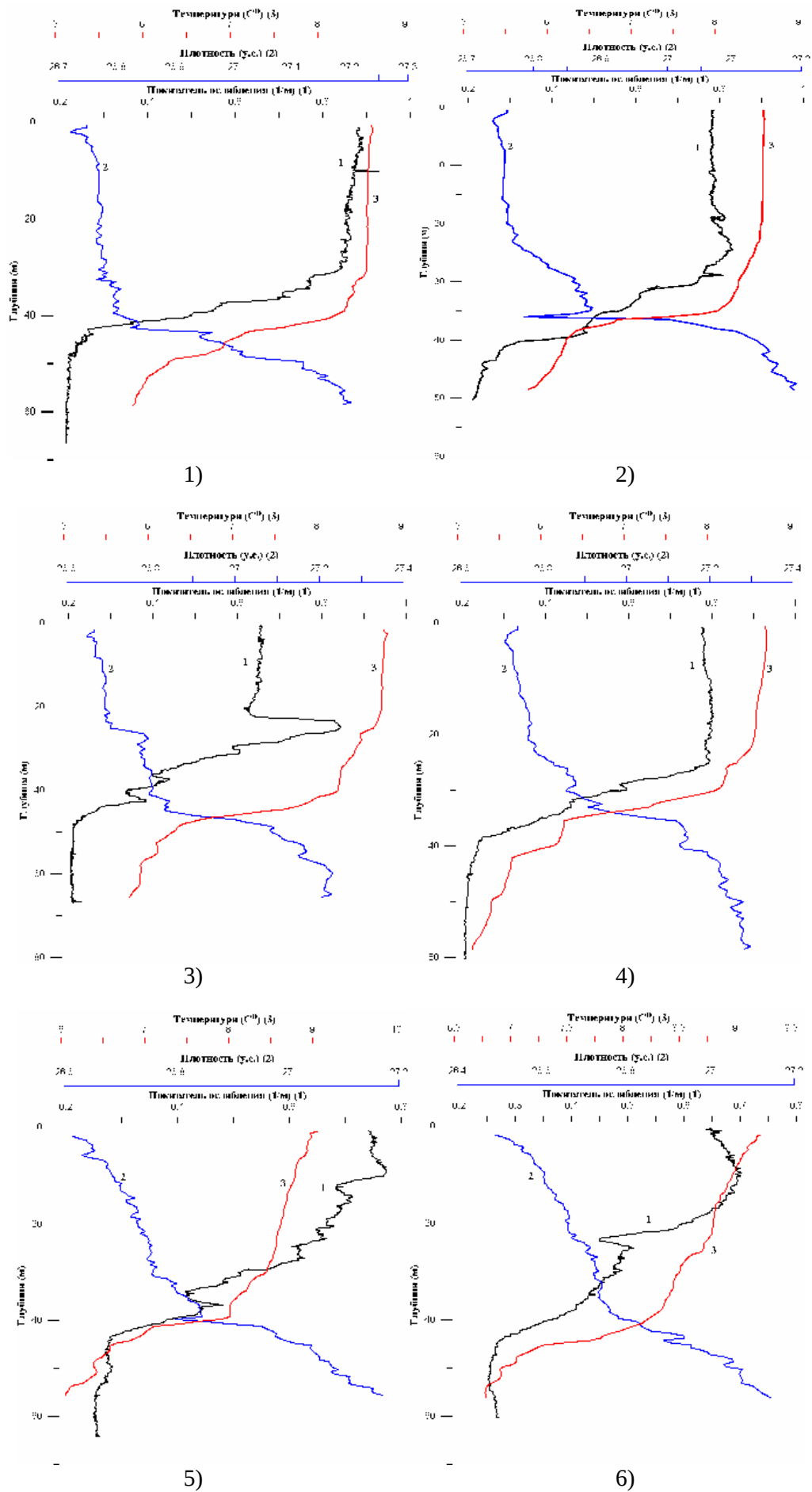
$$I_0 = A(1 - R_2)^8 T_u^2, \quad I = A(1 - R_2)^4 \exp(-cl), \quad (3)$$

где A – постоянный коэффициент; R_1 и R_2 – коэффициенты френелевского отражения на границе воздух-стекло и вода-стекло соответственно (четвертая степень соответствует отражению света от защитного стекла и призмы на пути от источника к призме и от призмы к приемнику). Отсюда:

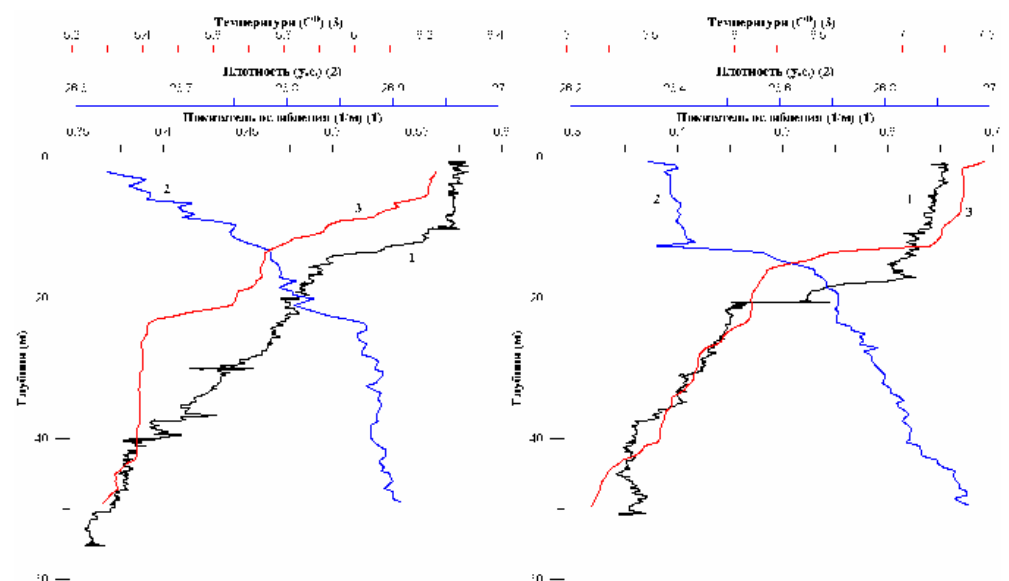
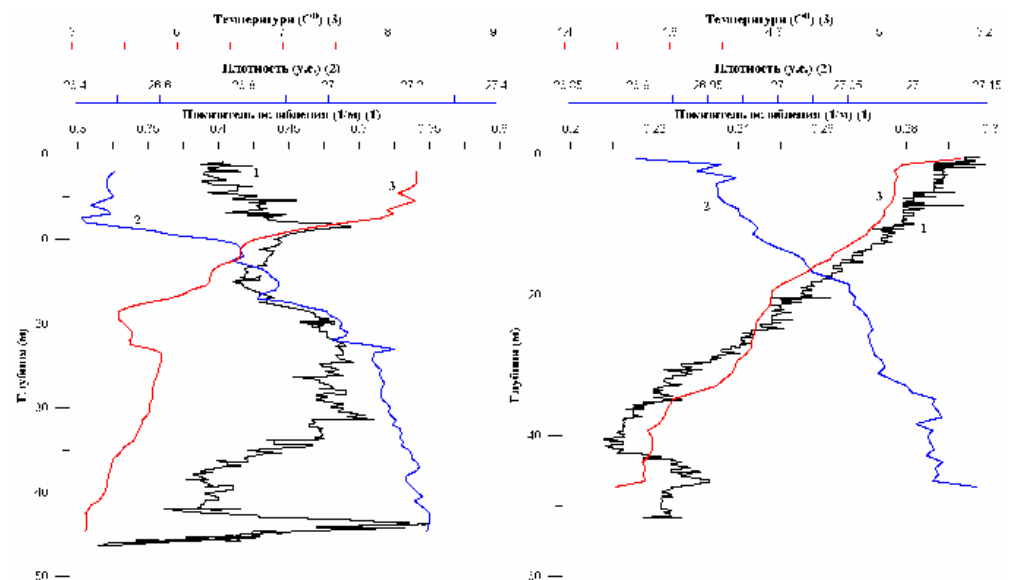
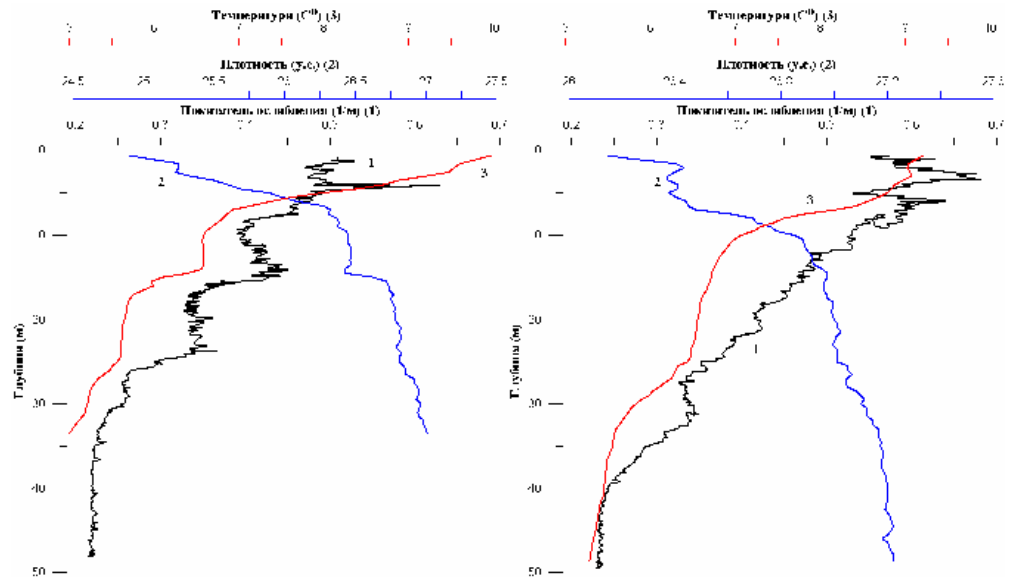
$$c = -l^{-1} \ln \left(\frac{I}{I_0} T_u^2 (1 - R_2)^4 \right) = -l^{-1} \ln(0.8054 \frac{I}{I_0}).$$

Преимущество данного способа получения опорного сигнала состоит в том, что в нем использован известный метод иммерсии (помещение воды между стеклами), позволяющий существенно уменьшить изменение хода лучей в оптическом приборе, связанного с дисперсией света на защитных стеклах. В результате световое пятно в плоскости диафрагмы при наблюдении с цилиндром и без него практически не смещается, что обеспечивает минимизацию погрешности, обусловленной преломлением света. Выше было отмечено, что максимальная точность нашего прозрачномера, обусловленная флуктуациями характеристик воды и величиной «базы» прибора, составляет $\Delta c = 0.01 \text{ м}^{-1}$. Реальная точность прибора определялась многократным измерением сигналов I и I_0 (при этом калибровочный цилиндр каждый раз устанавливался заново и поворачивался на 180°) в воде различной степени мутности, которая менялась за счет изменения в среде как поглощения (добавлением нигрозина), так и рассеяния (добавлением молока). Суммарная абсолютная ошибка в измерении показателя ослабления вычислялась как средне-квадратичное отклонение от среднего с добавлением систематической ошибки, определяемой неточным знанием показателя преломления воды n_w , и, следовательно, коэффициента ослабления $R_2 = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$, где $n = n_{cm} / n_w$, n_{cm} – показатель преломления стекла К8 (предполагалось, что n_w лежит в пределах 1.33–1.34). Оказалось, что реальная максимальная ошибка составляет $\Delta c = 0.03 \text{ м}^{-1}$, то есть в 3 раза больше определенной выше минимальной ошибки. Соответственно, относительная ошибка $\delta c = 3\%$ для $c = 1 \text{ м}^{-1}$, 6% для $c = 0.5 \text{ м}^{-1}$, 12% для $c = 0.25 \text{ м}^{-1}$.

Результаты измерения показателя ослабления. На рис. 2 показаны результаты измерения показателя ослабления, температуры и плотности воды в водах Баренцева моря. Температура и соленость воды измерялись присоединенными к прибору датчиками, соленость пересчитывалась в плотность стандартным методом. Измерения проводились на 14 станциях в южной части Баренцева моря в квадрате с координатами 69–71 град.с.ш. и 32–34 град.в.д. По данным этих измерений в следующем разделе рассчитаны уровни эхо-сигнала и отношение сигнал/шум для стандартного лидара. В табл. 2 приведены параметры измеренных профилей (глубина залегания пикноклина h , значения показателя ослабления на этой глубине и оптическая толщина слоя $(0, h)$) на всех 14 станциях.



Глубинные профили гидрофизических параметров...



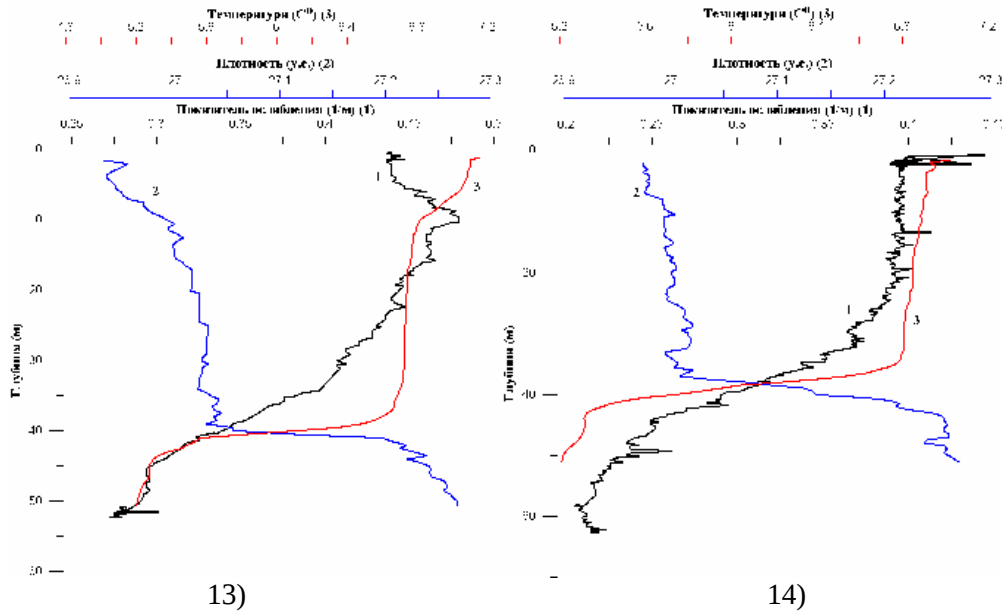


Рис. 2. Глубинные распределения температуры (1), плотности (2) и показателя ослабления (3) в Баренцевом море. Цифры под рисунками соответствуют номерам станций из табл. 2

Расчет мощности эхо-сигнала и отношения сигнал/шум. Мощность эхо-сигнала $P(z)$, приходящего с глубины z , определяется из уравнения:

$$P(z) = \frac{1}{8} W v r_2^2 J_2^2 b_b(z) \int_0^\infty A(k) \exp[-2\tau(z) + 2 \int_0^z b_1(z-\zeta) (1 + k^2 \zeta^2 d(z-\zeta)/2)^{-1/2} d\zeta] J_0(kB) k dk,$$

где W – энергия зондирующего импульса; v – скорость света в воде; $2r_2$, $2\vartheta_2$ – диаметр входного зрачка и апертурный угол приемника; B – база лидара (расстояние между излучателем и приемником); $A(k) = \exp\left[-0.25\left(r_2^2 + \vartheta_2^2 z^2\right)k^2\right]$, $J_0(x)$ – функция Бесселя первого рода с нулевым индексом, $b(z)$, $c(z)$ – показатели рассеяния и ослабления; $b_b(z)$ – показатель обратного рассеяния, $b_1 = b - 2b_b$ – показатель «малоуглового» рассеяния; $d(z)$ – дисперсия остронаправленной части индикатрисы рассеяния; $\tau(z) = \int_0^z c(z) dz$ – оптическая глубина; $\tau_b(z) = \int_0^z b_1(z) dz$ – оптическая глубина «по рассеянию». Таким образом, эхо-сигнал зависит от четырех оптических параметров воды: c , b_b , b_1 и d . Использование регрессий [1]

$$b_b = 0.018c, \quad b_1 = 0.908c - 0.048, \quad d = (0.036c - 0.001)(c - 0.051)^{-1}$$

позволяет прогнозировать характеристики эхо-сигнала по одному параметру воды – показателю ослабления c .

При значениях параметров $W = 0.4 \text{ Дж}$, $r_2 = 0.1 \text{ м}$, $\vartheta_2 = 0.035$ (2 град), $B = 0$ спад эхо-сигнала, приходящего из водной толщи с однородными оптическими свойствами, достаточно точно описывается формулой:

$$P(t) = \frac{691 \cdot W b_b}{z^2 d} \tau_b^{1.8} \left[\frac{10}{1 + \tau_b^{3.7}} + \frac{0.4}{1 + \tau_b^{2.5}} \right] \exp[-0.2\tau_b - 0.106z]. \quad (4)$$

Экспоненциальный множитель в (4) учитывает ослабление сигнала на прямом и обратном пути его распространения из-за поглощения света и его рассеяния на большие углы. Множитель $1/z^2$ – это «геометрический» фактор ослабления сигнала в свободном пространстве. Множитель, содержащий различные степени параметра τ_b , описывает дополнительный спад сигнала, который обусловлен уширением эффективных диаграмм направленности излучателя и приемника из-за рассеяния «вперед».

Для ориентировочной оценки мощности сигнала, приходящего из стратифицированной водной среды с глубины z , можно использовать соотношение:

$$P(t) \approx \frac{b_b(z)}{\bar{b}_b(z_t)} \bar{P}(z), \quad (5)$$

где $\bar{P}$ – мощность сигнала, отраженного однородной водной средой с показателями поглощения и рассеяния $\bar{a} = z_t^{-1} \int_0^{z_t} a(z) dz$, $\bar{b} = z_t^{-1} \int_0^{z_t} b(z) dz$, $\bar{b}_b = z_t^{-1} \int_0^{z_t} b_b(z) dz$. Рассчитанные по (4), (5) значения мощности эхо-сигнала с глубины расположения пикноклина (z_p) показаны в табл. 2.

Отношение сигнал/шум в лидарном сигнале выражается соотношением [3]:

$$\Psi = K \sqrt{\frac{2P\Delta t_1 s_\phi}{e}}, \quad (6)$$

где K – контраст лоцируемой структуры (в данном случае контраст неоднородности показателя ослабления в пикноклине), определяемый соотношением $K = \frac{c_{\max} - c_{\min}}{c_{\max} + c_{\min}}$, где

$c_{\max}$ и $c_{\min}$ – максимальное и минимальное значения показателя ослабления в пикноклине; Δt_1 – длительность импульса; s_ϕ – чувствительность фотокатода приемника ($s_\phi \approx 0.4s$, где s – квантовый выход фотодетектора), e – заряд электрона. Результаты расчета величин K и Ψ для лидара с параметрами $\Delta t = 7$ нс, $s_\phi = 0.04$ А/Вт и указанными ранее параметрами W , r_2 , ϑ_2 и B приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов на 14 станциях

Номер станции	Глубина пикноклина z_p , м	Оптическая толщина $\tau = \bar{c}z_p$	Показатель ослабления $c(z_p)$, м ⁻¹	Мощность эхо-сигнала P , Вт	Контраст K	Отношение сигнал/шум Ψ
1	33	28.5	0.81	$1.4 \cdot 10^{-6}$	0.50	30
2	27	21.3	0.79	$2.0 \cdot 10^{-5}$	0.45	120
3	34	22.8	0.68	$4.3 \cdot 10^{-6}$	0.40	50
4	30	23.4	0.58	$5.5 \cdot 10^{-6}$	0.17	23
5	40	22.9	0.42	$1.0 \cdot 10^{-6}$	0.20	12
6	34.5	20.6	0.50	$4.6 \cdot 10^{-6}$	0.14	18
7	16	7.9	0.41	$4.2 \cdot 10^{-3}$	0.33	1250
8	28.5	14.0	0.47	$4.5 \cdot 10^{-5}$	0.28	110
9	20	8.6	0.44	$1.6 \cdot 10^{-3}$	0.07	165
10	41	10.0	0.25	$1.6 \cdot 10^{-5}$	0.17	40
11	40	19.0	0.45	$2.3 \cdot 10^{-6}$	0.18	16
12	42	21.2	0.41	$9.0 \cdot 10^{-7}$	0.30	17
13	39.5	17.1	0.37	$4.0 \cdot 10^{-6}$	0.50	58
14	44	15.8	0.31	$2.0 \cdot 10^{-6}$	0.23	19

Критерием обнаружения гидрофизических неоднородностей океанологическим лидаром при заданной стратификации показателя ослабления полагаем неравенство $\Psi > \Psi_{\text{пор}}$, где Ψ – отношение сигнал/шум, рассчитываемое по формуле (6), а $\Psi_{\text{пор}}$ – пороговое отношение сигнал/шум для данной задачи. Величина $\Psi_{\text{пор}}$ зависит от вероятности обнаружения $V_{\text{об}}$ и вероятности ложной тревоги $V_{\text{лт}}$. Чаще всего задаются пороговым отношением сигнал/шум $\Psi_{\text{пор}} = 5$ (при этом $V_{\text{об}} = 0.98$, а $V_{\text{лт}} = 5 \cdot 10^{-4}$ [3]).

Из таблицы видно, что на всех станциях рассчитанные отношения сигнал/шум значительно превышают пороговое значение. Как известно, лидары могут быть использованы для наблюдения внутренних волн и других гидрофизических явлений, под действием которых вертикальные неоднородности первичных гидрооптических характеристик превращаются в горизонтальные [1, 2]. Приведенные расчеты показывают, что для этих целей в исследованных районах можно использовать лидары с параметрами, достижимыми в настоящее время.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 07-05-00099.

Ключевые слова: лидарное зондирование, показатель ослабления, гидрофизические параметры, Баренцево море.

Литература

1. 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 Waters, edited by I.M.Levin, G.D.Gilbert, V.I.Haltrin, and Ch.C.Trees. // Proceeding of SPIE. 2007. V.6615. 66150C (10 pages).
2. Dolin L.S., Dolina I.S., Savel'ev V.A. The model of lidar imaging of internal waves // Proceedings of the IV International Conference "Current Problems in Optics of Natural Waters", (ONW'2007). N.Novgorod. 2007. P.124-128.
3. Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения. Л.: Гидрометеиздат, 1991.

Статья поступила в редакцию 30.01.2009 г.