УДК 551.466.8

В.В. НОВОТРЯСОВ, Д.В. СТЕПАНОВ, Т.И. КЛЕЩЁВА

Некоторые особенности внутреннего прилива в заливе Петра Великого (Японское море)

На основе данных, полученных в разные годы на гидрофизическом полигоне Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН, проведен анализ особенностей внутреннего прилива и пространственно-временной структуры внутренних волновых боров в зал. Посьета (зал. Петра Великого). Установлено, что осенью в прибрежной зоне залива формируется характерная плотностная стратификация с максимумом частоты плавучести, расположенным в придонном слое. Осенью 2012 г. в заливе с интервалом, близким к 12 ч, зарегистрировано несколько пакетов высокочастотных внутренних волн с частотами, близкими к максимальной частоте плавучести, и амплитудами до 12 м при глубине 40 м. При этом горизонтальная компонента орбитальной скорости частиц жидкости в пакете достигала экстремальных значений (~0,14 м/с) в придонном слое. Показано, что один из зарегистрированных пакетов внутренних волн является внутренним волновым бором, передний фронт которого имеет форму и параметры, близкие к параметрам солитона расширенного уравнения Кортевега-де Вриза.

Ключевые слова: залив Петра Великого, внутренний прилив, внутренний волновой бор, уравнение Кортевега-де Вриза.

Features of the internal tide in the Peter the Great Gulf (the Sea of Japan). V.V. NOVOTRYASOV, D.V. STEPANOV, T.I. KLESHCHEVA (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

Analysis of the peculiarities of internal tide and spatiotemporal structure of internal wave bores in the Posyet Bay (Peter the Great Bay) was carried on the basis of the data obtained in different years on hydrophysical range of the Pacific Oceanological Institute, FEB RAS. It is established that specific density stratification with maximum of buoyancy frequency located in the near-bottom layer forms in autumn in the coastal area of the Bay. In autumn 2012 in the Bay, with frequencies close to 12 hours, several high-frequency internal wave packets with frequencies close to the maximum buoyancy frequency and amplitudes of up to 12 meters at the depth of 40 meters were registered. At that, horizontal component of orbital velocity of the fluid particles in the packet reached the extreme values (~0.14 m/s) in the near-bottom layer. It is shown that one of the registered internal wave packets is an internal wave bore, the leading edge of which has the form and parameters close to the parameters of the soliton of the extended equations of Korteweg–de Vries.

Key words: the Peter the Great Gulf, internal tide, internal undular bore, equations of Korteweg-de Vries.

^{*}НОВОТРЯСОВ Вадим Васильевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, СТЕПАНОВ Дмитрий Вадимович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, КЛЕЩЁВА Татьяна Игоревна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: vadimnov@poi.dvo.ru

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 18-1-0010).

Введение

Периодические вертикальные смещения изопикнических поверхностей над шельфом зал. Петра Великого на приливных частотах, т.е. приливные внутренние волны (далее – внутренний прилив), возбуждаются над континентальным склоном Японского моря под действием массовой силы плавучести, сконцентрированной вблизи кромки шельфа [9]. Сила плавучести возникает вследствие смещений по вертикали изопикнических поверхностей, вызванных взаимодействием баротропного приливного течения с континентальным склоном. При небольших скоростях баротропного течения амплитуда вертикальных смещений изопикнических поверхностей зависит линейно от расхода приливного баротропного течения. Горизонтальные движения жидких частиц во внутреннем приливе над шельфом залива имеют противоположные направления в приповерхностном и придонном слоях.

Анализ многочисленных наблюдений, проведенных в зал. Посьета (зал. Петра Великого), показал, что в сторону берега от кромки шельфа распространяется полусуточный внутренний прилив [3–6, 8, 10]. Продвигаясь над шельфом, внутренний прилив трансформируется и при его выходе на мелководье распадается, образуя пакеты интенсивных высокочастотных внутренних волн, или внутренние волновые боры (ВВБ) [11]. При распространении ВВБ в придонных слоях прибрежной зоны индуцируются сильные течения как с горизонтальными, так и с вертикальными составляющими скорости течений, что вызывает значительное взмучивание осадков [1]. Кроме этого, ВВБ имеют большое значение в эволюции экосистемы прибрежной зоны, а индуцируемые ими течения оказывают сильное воздействие на формирование донного рельефа.

Цель работы – на примере зал. Посьета изучить некоторые особенности осеннего внутреннего прилива в зал. Петра Великого на основе экспериментальных данных разных лет, дать описание пространственно-временной структуры ВВБ и ее трансформации при выходе на мелководье, а также кратко охарактеризовать эти особенности с помощью одной из моделей нелинейных внутренних волн.

Результаты натурных измерений

Исследования внутреннего прилива и его трансформации выполнялись на гидрофизическом полигоне Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН, схема которого представлена на рис. 1. Измерения проводились с использованием цепочек термисторов, размещенных на заякоренных буйковых станциях (ЗБС) по трассе протяженностью около 11 км, проложенной по направлению распространения внутреннего прилива. Подробное описание натурных экспериментов, выполненных на полигоне, представлено в работах [4, 8, 11].

Рассмотрим изменчивость температуры на ЗБС-II в сентябре 2014 г. На рис. 2 представлена восьмисуточная реализация глубины залегания изотермы 16 °С, расположенной в окрестности максимума частоты плавучести на горизонте 25 м. Без труда определяется периодичность ее появления на горизонтах –30 и –20 м. Средняя периодичность появления изотермы на горизонте –30 м составила ~13 ч, на горизонте –20 м – ~12 ч. Таким образом, с периодом ~12,5 ч изотерма 16 °С смещается относительно своего устойчивого положения на 6–8 м.

Расчет взаимных спектров вариаций температуры между ЗБС-I и ЗБС-IV показал, что на частоте ~1/12 цикл/ч имеется сдвиг фаз ~4 ч. Учитывая, что расстояние между станциями составляет ~5,7 км, скорость распространения возмущений температуры между ними должна составлять ~0,4 м/с.



Рис. 1. Схема гидрофизического полигона ТОИ ДВО РАН. Положения заякоренных буйковых станций обозначены цифрами I–VI, станций гидрологического разреза – цифрами 1–8



Рис. 2. Восьмисуточная реализация глубины залегания изотермы 16 °C, расположенной в окрестности максимума частоты плавучести на горизонте 25 м. Данные получены на ЗБС-II (см. рис. 1) в сентябре 2014 г.

Изменчивость температуры прибрежных вод и скорости течений в районе суточной гидрологической станции (131°06'14" в.д., 42°34'53" с.ш.) в тот же период времени показана на рис. 3. По аналогии с поверхностным приливом фазу максимального заглубления изотермы обозначим МВВП (малая вода внутреннего прилива), а фазу ее максимального подъема – ПВВП (полная вода внутреннего прилива). Из рис. 3*a* видно, что на фазе МВВП в придонных слоях наблюдаются максимальные, а на фазе ПВВП – минимальные значения температуры.



Рис. 3. Вариации температуры на горизонтах -28 и -30 м (*a*) и поперечная к изобате 40 м горизонтальная составляющая скорости течений на придонном (z = -38 м) и приповерхностном (z = -5 м) горизонтах (линии I и II соответственно) (δ) на суточной станции, расположенной в районе ЗБС-II в сентябре 2014 г.



Рис. 4. Реализация вертикальных смещений изотерм 8 °С (жирная линия) и 12 °С (тонкая линия), зарегистрированных во время прохождения волнового бора района расположения 3БС-II (см. рис. 1) 19 октября 2012 г. Цифрами 1–8 пронумерованы солитоноподобные внутренние волны, составляющие внутренний волновой бор

Рассмотрим характерные особенности вариаций поля скорости течений в районе суточной гидрологической станции. На рис. 36 представлены реализации поперечной к изобате 40 м горизонтальной компоненты скорости на отдельных горизонтах. Хорошо заметна ее полусуточная вариация с амплитудой ~0,12 м/с в придонном слое. Чуть менее выразительна, как по форме, так и по амплитуде, вариация этой компоненты в приповерхностном слое. Из рисунка следует, что приливные течения в придонном и приповерхностном слоях имеют противоположные направления, т.е. жидкие частицы в этих слоях переносятся внутренним приливом в противоположных направлениях. Противофазный характер изменения зарегистрирован также между скоростью потока и температурой в придонном слое: при достижении скоростью максимальных значений температура вод в этом слое опускается до минимальных значений. Высокочастотные ВВБ на пикноклине прибрежных, шельфовых вод дальневосточных морей России, включая шельф зал. Петра Великого, – слабо изученный гидрофизический процесс в части механизмов его генерации, пространственно-временной структуры, энергетики и динамики. Этот процесс связан с особенностями плотностной стратификации шельфовых вод и выходом в шельфовую зону внутренних волн приливной/квазиинерционной частоты с интенсивностью, достаточной для проявления нелинейной неустойчивости.

Обратимся к описанию пространственно-временной структуры одного из BBE, зарегистрированных в октябре 2012 г. Подробное описание натурного эксперимента представлено в работе [8]. Здесь мы проанализируем пространственно-временную структуру самого интенсивного из BBE. Рассмотрим поле изотерм и их вертикальные смещения в термоклине. На рис. 4 показаны реализации вертикальных смещений изотерм 8 °C и 12 °C, зарегистрированных во время прохождения внутренним волновым бором 3БС-II. Его появлению предшествовала низкочастотная депрессия. Далее следовала фронтальная зона, включающая пульсации, которые имели максимальные возвышения h_0 со средним значением около 11 м и длительность около 180 с.

Зона релаксации волнового пакета состояла из более десятка пульсаций, длительность которых увеличивалась, а амплитуда уменьшалась. Сокращался и временной интервал между пульсациями. Например, между 5–7-й пульсациями временной интервал составил около 240 с, а между 9–11-й пульсациями – 180 с. Замыкало волновой пакет низкочастотное возвышение с амплитудой около 7 м. Согласно натурным данным средние значения амплитуд пульсаций, длительностей и скоростей соответственно равны 11 м, 168 с и 0,4 м/с. Отсюда средняя эффективная ширина (далее – ширина) этих возмущений (\overline{L}) составила около 34 м.

Модельные оценки характеристик внутреннего прилива

Многочисленными исследованиями показано, что под действием баротропного приливного потока над континентальным склоном формируется массовая сила плавучести F(x, z) с максимумом, расположенным на кромке шельфа, которая возбуждает внутренний прилив. Выражение для нее имеет вид [9]

$$F = -QN^2 \left(\frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{H}\right) \left(\frac{z}{\omega}\right) \sin(\omega t), \tag{1}$$

где Q – расход жидкости в приливе для шельфовой зоны, N – частота плавучести, H – глубина в зоне генерации, z – вертикальная координата. Из (1) следует, что приливообразующая сила прямо пропорциональна квадрату частоты плавучести, которая изменяется от сезона к сезону. Ее сезонная изменчивость в свою очередь приводит к сезонной изменчивости характеристик внутреннего приливного движения в заливе.

Рассмотрим эти характеристики на шельфе зал. Посьета. Вертикальные смещения (ζ) жидких частиц во внутреннем приливе и их горизонтальные смещения (ζ) со скоростью (u) задаются выражениями [2]:

$$\zeta = \eta(x,t)W_1(z), \quad \xi = \lambda \eta(x,t) \left(\frac{dW_1}{dz}\right), \quad u = c_0 \eta(x,t) \left(\frac{dW_1}{dz}\right), \quad (2)$$

где η – функция, задающая пространственно-временную форму первой моды внутренней волны, c_0 – фазовая скорость этой моды (далее – фазовая скорость), λ_1 – ее длина волны, W_1 – ее амплитудная функция.

Согласно [2], эта функция имеет единственный максимум, который располагается в сезонном пикноклине, а для ее производной dW_1/dz отмечаются экстремальные значения в придонном и приповерхностном слоях.

Воспользовавшись соотношением $u \approx c_0 \pi \eta_0 / H$, оценим горизонтальную компоненту скорости прилива. Согласно натурным измерениям амплитуда ее вертикальных смещений изменяется в диапазоне от 4 до 6 м. Для прибрежной зоны с характерными значениями глубины 45 м и частоты плавучести 20 цикл/ч расчетная фазовая скорость внутреннего прилива составляет ~0,4 м/с. Отсюда модуль скорости составит от 0,15 до 0,3 м/с, что вполне согласуется с оценками, полученными по данным измерений. Воспользовавшись соотношением $L \approx \pi c_0 T_2 \eta_0 / H$, оценим горизонтальный масштаб смещений жидких частиц, вызываемых полусуточным внутренним приливом. Для прибрежной зоны эта величина составила ~9 км.

Рассмотрим на фиксированном горизонте вариации температуры (δT), вызванные внутренним приливом. Их временная изменчивость определяется соотношением

$$\frac{\partial}{\partial t}\delta T = \left(\frac{\partial}{\partial t}\zeta\right) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial z}T_0\right) + u \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x}T_0\right),\tag{3}$$

где $\partial T_0/\partial z$ и $\partial T_0/\partial x$ – вертикальный и горизонтальный градиенты температурного фона T_0 , а u(z, x, t) – скорость адвекции жидких частиц.

Из соотношений (2) и (3) следует, что изменение температуры в придонном и приповерхностном слоях вызваны главным образом горизонтальной адвекцией, так как первое слагаемое в формуле (3) для этих слоев близко к нулю. В промежуточном слое изменения температуры обусловлены вертикальным движением жидких частиц в приливе, так как второе слагаемое в той же формуле близко к нулю для этого слоя. Учитывая, что скорость изменяется в фазе с отклонением изотерм, максимум скорости в придонном слое приходится на фазу МВВП, т.е. воды залива в этой фазе через придонные слои будут выноситься в открытое море, а максимальный заток мористых вод в залив происходит через придонные слои, достигая своего максимума на фазе ПВВП, или максимального смещения термоклина в приповерхностные слои.

Для определения пространственно-временной структуры внутренних волновых боров и последующей их интерпретации воспользуемся расширенным, за счет учета кубической нелинейности, уравнением Кортевега–де Вриза (далее рКдВ):

$$h_t + \left(c_0 + \alpha h + \alpha_1 h^2\right)h_x + \beta h_{xxx} = 0, \qquad (4)$$

где h(x, t) – вертикальные смещения термоклина относительно невозмущенного уровня, x, t – горизонтальная координата и время, α , α_1 , β – коэффициенты квадратичной, кубичной нелинейности и дисперсии соответственно, индексы «x» и «t» – обозначения частных производных $\partial/\partial x$, $\partial/\partial t$. Оценки указанных выше параметров были получены в соответствии с соотношениями из работы [7] с учетом фонового распределения частоты плавучести N(z) в районе ЗБС-II (см. рис. 2 в работе [11]). Ниже представлены значения фоновых параметров прибрежной зоны залива (квадратичной нелинейности α , дисперсии β , кубичной нелинейности α_1 и фазовой скорости c_0), а также параметров сильно нелинейной внутренней волны (амплитуды η_0 , скорости V_s , пространственного L_s и временного T_s масштабов), зарегистрированной в прибрежной зоне Японского моря в октябре 2012 г.:

H, M
$$\alpha$$
, c⁻¹ β , M³c⁻¹ $\alpha_{1,}$ M⁻¹c⁻¹ c_{0} , M/c η_{0} , M V_{s} , M/c T_{s} , c *L*, M
40,0 2,1 \cdot 10⁻² 36,75 -1,4 \cdot 10⁻³ 0,38 12,0 0,4 168 34

Согласно расчетам в результате распада образуется волновой бор, передний фронт которого представляет солитон pKдB. В соответствии с работой [7], форма этого солитона определяется выражением:

$$h(x,y) = \frac{6\beta}{\alpha L_s^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha} \frac{6\beta}{\alpha L_s^2}} \cdot ch \left[(x - Vt) / L_s \right] \right\}^{-1},$$
(5)

где L_s – эффективная ширина, V_s – скорость солитона, связанные с коэффициентами уравнения (4) соотношениями

$$V_s = c_0 + \frac{\alpha h_0}{3} \left(1 - \frac{\alpha_1}{\alpha} h_0 \right), \quad L_s^{-2} = \left(\frac{\alpha}{6\beta} h_0 \right) \left(1 - \frac{\alpha_1}{\alpha} h_0 \right).$$
(6)

Согласно (6) ширина солитона немонотонно растет с ростом его возвышения (h_0). При $h_0 \rightarrow |\alpha \alpha_1^{-1}|$ его ширина стремится к бесконечности. Значение $h_* \rightarrow |\alpha \alpha_1^{-1}|$ является предельным значением для высот солитонов, а сам солитон носит название широкого или столообразного. Таким образом, в мелком море с заданными значениями коэффициентов α , α_1 , β возвышение солитонов будет ограничено значением $\alpha \alpha_1^{-1}$.

Сравним значения параметров нелинейных пульсаций с номерами 1, 2, 3, 4 с параметрами солитона рКдВ под номером 6 (см. рис. 4). Согласно натурным данным, приведенным выше, средние значения высот \bar{h} , длительностей \bar{T} и скоростей \bar{V} этих солитонов соответственно равны 11 м, 168 с, 0,4 м/с. Отсюда для средней эффективной ширины возмущений с указанными номерами $\bar{L} = \bar{VT}/2$ получим значение около 35 м. Согласно соотношению (6) при фиксированной высоте солитона $h_0 = 11$ м и заданном значении отношения a/a_1 , равном 14 м, ожидаемое значение ширины солитона составит примерно 33 м. Сравнивая его со средним значением ширины солитонов зарегистрированного BBБ, нетрудно заметить, что погрешность оценки этого параметра, полученная по модели рКдВ, достаточно мала.

Выводы

В ходе натурных исследований установлено, что осенью в зал. Посьета формируется плотностная стратификация шельфовых вод, включающая верхний перемешанный слой толщиной до 20 м, промежуточный слой с частотой плавучести до 30 цикл/ч и придонный слой со средней частотой плавучести до 6 цикл/ч.

Анализ экспериментальных данных 2012 г. выявил значительные вертикальные смещения изотерм (до 12 м) при средней глубине ~45 м на полусуточной частоте в слое с максимумом частоты плавучести. При этом горизонтальная компонента скорости частиц жидкости в этом слое принимает минимальные, а в придонном и приповерхностном слоях – максимальные значения разных знаков (до 0,25 м/с). Изменчивость горизонтальной компоненты скорости находится в противофазе с изменчивостью изотерм. Оценки показывают, что температурные возмущения, сформированные вблизи границы шельфа, распространяются в прибрежной зоне со скоростью 0,4 м/с, что близко к фазовой скорости первой моды внутренних гравитационных волн (ВГВ) на полусуточной частоте. При этом горизонтальная компонента скорости частиц жидкости в приливных ВГВ составляет ~0,2 м/с, а их горизонтальные смещения от положения равновесия достигают ~10 км.

Анализ данных осеннего эксперимента 2012 г. подтвердил значительную изменчивость в поле температуры на частоте 1/12,4 цикл/ч, ранее отмеченную в работах [3, 4, 12]. На ее фоне были зафиксированы интенсивные пространственно-временные возмущения гидрологических полей, заполненные колебаниями с амплитудами того же порядка, что и амплитуда приливных колебаний, и частотами плавучести, близкими к максимуму.

Анализ поля плотности на гидрологических разрезах, выполненных в заливе в различные годы, показал, что осенью над его шельфом формируется характерное для этого сезона года горизонтально-неоднородное поле плотности с хорошо стратифицированным промежуточным слоем осеннего пикноклина с максимумом частоты плавучести $N_m(z)$ до 30 цикл/ч. С ростом глубины шельфа N_m заглубляется, и в окрестности изобат 70–100 м горизонт этого максимума z_m располагается между –45 и –50 м, а само распределение удов-

летворяет интегральному соотношению $\int_{-H}^{0} N^{-2} \left(\frac{dW}{dz} \right)^2 \left(\frac{d^2W}{d^2z} \right) dz \approx 0$. Полоса шельфа,

расположенная в зоне изобат 70–100 м, является критической для нелинейных ВГВ. При ее пересечении солитоны ВГВ меняют свою полярность. Этот процесс сопровождается распадом солитонов депрессии с последующей генерацией солиборов возвышения. Солиборы ВГВ представляют компактное образование с пространственным масштабом $L_{\Pi\phi} \approx 0.1 \lambda_{B\Pi}$, вертикальной компонентой скорости до ~8 см/с и средней амплитудой до 8 м, заполненное квазигармоническими колебаниями с частотой ~ N_m и расположенное в подошве низшей моды ВГВ с полусуточной частотой и длиной $\lambda_{B\Pi}$.

Анализ зарегистрированных волновых пакетов с использованием численного моделирования показал следующее:

 – среди волновых пакетов имеются такие, на переднем фронте у которых располагается нелинейная волна с параметрами, близкими к параметрам уединенных волн расширенного уравнения Кортевега–де Вриза;

 – для фоновых гидрологических условий, сложившихся в прибрежной зоне зал. Посьета (зал. Петра Великого) в октябре 2012 г., предельная амплитуда солитона рКдВ близка к 14 м;

 – зарегистрированные уединенные волны с амплитудами ~11 м близки к предельной амплитуде столообразных (широких) солитонов расширенного уравнения КдВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Г.И., Новотрясов В.В., Самченко А.Н., Ярощук И.О. Об одном механизме образования осадочных волн на шельфе Японского моря // ДАН. 2015. Т. 465, № 5. С. 593–597.

2. Миропольский Ю.3. Динамика внутренних гравитационных волн в океане. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 241 с.

3. Навроцкий В.В., Изергин В.Л., Павлова Е.П. Генерация внутренних волн вблизи границы шельфа // ДАН. 2003. Т. 388, № 2. С. 249–253.

4. Новотрясов В.В., Павлова Е.П., Пермяков М.С. Внутренние приливные фронты в прибрежной зоне Японского моря // Метеорол. и гидрология. 2015. № 2. С. 53–60.

5. Новотрясов В.В., Карнаухов А.А. О нелинейном взаимодействии внутренних волн в прибрежной зоне Японского моря // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45, № 2. С. 276–285.

6. Новотрясов В.В., Захарков С.П., Степанов Д.В. Осенний внутренний прилив в прибрежной зоне Японского моря // Метеорол. и гидрология. 2016. № 8. С. 64–69.

7. Пелиновский Е.Н. и др. Моделирование динамики интенсивных внутренних волн на шельфе // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 6. С. 714–722.

8. Ярощук И.О. и др. Об интенсивных внутренних волнах в прибрежной зоне залива Петра Великого (Японское море) // Метеорол. и гидрология. 2016. № 9. С. 55–62.

9. Baines P.G. On internal tide generation models // Deep-Sea Res. 1982. Vol. 29. P. 307-338.

10. Navrotsky V.V. et al. Observations of internal waves and thermocline splitting near a shelf break of the Sea of Japan (East Sea) // Cont. Shelf Res. 2004. Vol. 24. P. 1375–1395.

11. Novotryasov V.V., Stepanov D.V., Yaroshchuk I.O. Observations of internal undular bores on the Japan/East Sea shelf-coastal region // Ocean Dyn. 2016. Vol. 66. P. 19–25.

12. Stepanov D.V., Novotryasov V.V. Sub-inertial modulation of nonlinear Kelvin waves in the coastal zone // Nonlinear Process in Geophys. 2013. Vol. 20. P. 357–364.

Новые книги

Акуличев В.А., Буланов В.А. Акустические исследования мелкомасштабных неоднородностей в морской среде.

Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. - 414 с. - ISBN 978-5-9909943-8-6.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН 690041, г. Владивосток, Балтийская, 43 Факс: 8 (423) 231-19-05. E-mail: pacific@poi.dvo.ru

Книга посвящена изложению акустических методов и их применений для изучения структуры и свойств мелкомасштабных неоднородностей в морской среде. Многолетние экспериментальные исследования, проведенные в ТОИ ДВО РАН в различных районах океана с помощью акустических систем, позволили выявить основные физические механизмы взаимодействия звука с различными мелкомасштабными неоднородностями в верхнем слое моря и создать на их основе практически апробированные акустические методы диагностики морской среды. Представлены теоретические и экспериментальные результаты по изучению рассеяния и поглощения звука, нелинейности и кавитационной прочности морской воды в зависимости от концентрации, распределения по размерам и одновременного наличия в ней различных типов мелкомасштабных включений. Показано, что применение методов высокочастотного рассеяния звука представляет особый практический интерес для практики океанографических исследований и изучения на их основе распределения и динамики зоопланктона в верхнем слое в различных областях океана.

Монография предназначена специалистам по акустике, гидрофизике и океанологии, а также аспирантам и студентам высших учебных заведений, специализирующихся по соответствующим специальностям.