УДК 551.465

М.В. Мироненко [1], П.А. Стародубцев[2,3], Е.Н. Бакланов[3],
[1] Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25
[2] Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова, 690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6
[3] Дальневосточный государственный технических рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

КРАТКО ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ АТМОСФЕРЫ В МОРСКУЮ СРЕДУ И ОБРАТНО

Рассматриваются особенности и проблемы передачи информации между атмосферой и океаном в аспекте создания систем мониторинга обстановки с применением принципов гидролокации и радиофизики. Приводится перечень научно-исследовательских задач, имеющих значение в данной области, даётся краткий анализ методов и средств их решения, в том числе – нетрадиционных. Предлагаемый подход иллюстрируется примерами экспериментального исследования, реализованного в натурных условиях. Также затрагиваются вопросы изучения процессов генерации и развития внутренних гравитационных волн естественного и искусственного происхождения, их учета при решении прикладных задач.

***Ключевые слова**: мониторинг акватории, гидролокация, радиолокационное зондирование, просветная гидроакустика, внутренние волны, поверхностные волны.*

M.V. Mironenko, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov

BRIEFLY ABOUT THE FEATURES OF INFORMATION TRANSMISSION FROM ATMOSPHERE TO THE MARINE ENVIRONMENT AND BACK

The features and problems of information transfer between the atmosphere and the ocean are considered in the aspect of creating systems for monitoring the situation using the principles of sonar and radiophysics. A list of research tasks relevant in this field is given, a brief analysis of methods and means for their solution, including non-traditional. The proposed approach is illustrated by examples of experimental research, real- ized in field conditions. The issues of researching the processes of generation and development of internal gravitational waves of natural and artificial origin, their consideration in solving applied problems.

***Key words**: water area monitoring, sonar, radar sounding, translucent hydro-acoustics, internal waves, surface waves.*

Введение

Научные методы и средства проведения мониторинга динамических и информационных характеристик Мирового океана, основанные на теории гидроакустики, давно и прочно вошли в программы исследований экологических задач и глобальных изменений окружающей среды, а также в решение фундаментальных вопросов физической океанографии.

Учитывая непрерывно возрастающий круг практических задач в этой области, многие современные ученые пытаются обосновать применение радиофизических методов в исследовании гидроакустических и других полей, явлений в Мировом океане [1].

Использование этих методов, обладающих высокой оперативностью и точностью измерения параметров сигналов, наряду с перспективными, например, просветными методами гидролокации, позволяют более адекватно решать многие прикладные задачи.

Становится очевидной необходимость объединения усилий двух научных направлений: гидроакустики и радиофизики. Процесс интеграции направлений требует уточнения

предметных границ, формирования специфичных теоретических основ, расширения понятийно-терминологического аппарата.

Такая очевидная последовательность действий в исследованиях на стыке двух научных направлений сталкивается с существенными трудностями. Причиной является малая изученность применимости типовых методов каждого из указанных научных направлений вне «родных» для себя сред: атмосферы и океана соответственно. Однако общая для них граница – это морская поверхность, в ряде случаев способствует решению задачи, выступая в роли разделительной границы в передаче информации из воздушной среды в морскую и обратно, а иногда даже «накопителя» передаваемой информации.

Эти проблемы и особенности передачи информации из одной среды в другую в интересующем нас аспекте и являются предметом рассмотрения в настоящей научной статье.

Актуальные задачи

Прежде всего следует сформулировать перечень научно-исследовательских задач, имеющих самостоятельное значение в указанных областях и являющихся актуальными при создании единой системы освещения обстановки. К ним на сегодняшнем этапе можно отнести:

1. В области гидролокации:

1.1. Параметрическое взаимодействие волн в упругой неоднородной среде и его использование для регистрации слабых акустических, гидродинамических и электродинамических сигналов.

1.2. Пространственная и временная когерентность распространяющихся сигналов.

2. В области радиофизики:

2.1. Радиолокационное зондирование морской поверхности для дистанционного исследования гидрофизических полей океана.

2.2. Оценка метрологических характеристик используемых радиоприборов.

3. В области непосредственного обмена информацией между её источниками, находящимися по разные стороны относительно морской поверхности:

3.1. Лазерное возбуждение акустических волн на границе раздела двух сред для обмена информацией в направлении «воздух–вода».

3.2. Когерентная радиолокация морской поверхности в вопросах обмена информацией в направлении «вода–воздух».

3.3. Мощные атмосферные источники звука вблизи морской поверхности как объекты наблюдения для гидроакустических средств.

Безусловно, вышеприведённый список направлений исследований в обозначенных областях может быть продолжен. Часть из них относится к старым вопросам, но требующим пересмотра в новой постановке, многие обеспечены совокупностью обоснованных теоретических предпосылок и экспериментальных данных, другие – напротив, находятся в стадии формулировки и предварительного обсуждения.

Вместе с тем при разработке системы освещения больших акваторий решение этих задач на любом уровне является актуальным и полезным. А задачи, решение которых осуществляется в ходе комплексирования методов и средств смежных наук, вызывают больший интерес и приоритет. Но в них, прежде всего, требуется особое моделирование при изучении специфических свойств и эффектов, сопутствующих созданию названной системы.

Очевидно, что создание теоретических моделей для решения подобных задач невозможно без дальнейшего прогресса в области экспериментальных исследований сопутствующих им эффектов, без объединения усилий специалистов разных научных направлений и школ.

Чаще всего у экспериментаторов возникает вопрос: «Что измерять и как проводить измерения»? Ответ на него в нашем случае может дать раскрытие принципов и приёмов, лежащих в решении научно-исследовательских задач нетрадиционными, комплексными методами и средствами. Их подробное рассмотрение и объяснение нашего отношения к ним выходит за рамки данной статьи, однако здесь будет полезно кратко их проанализировать, для того чтобы понять, чего можно ожидать в дальнейшем от этой работы.

Главная цель исследований в области гидролокации заключается в создании более эффективных систем (устройств), которые могут быть использованы при совершенствовании гидролокаторов. Важно разработать некие универсальные исследовательские инструменты, которые можно было бы использовать как при проведении исследовательских работ в области подводной акустики, так и при изучении вопросов, связанных с гидролокацией. От гидролокационных средств в системе освещения обстановки значительных акваторий Мирового океана потребуются большие дальности, точности и вероятности обнаружения и классификации. Это означает, что будущие гидролокаторы должны иметь более узкую характеристику направленности и более широкую полосу частот, а также более совершенную систему обработки сигнала для сохранения заданной помехоустойчивости.

Источники и приёмники звука, использующие принцип параметрического преобразования взаимодействующих волн в нелинейной морской среде, являются хорошим инструментом для исследований, отвечающим перечисленным выше требованиям. Кроме того, они в меньшей степени подвержены ограничениям, обусловленным средой, и к ним применимы как традиционные, так и новые методы обработки сигналов.

Начальной теоретической предпосылкой возможности использования параметрического преобразования для улучшения условий обнаружения акустических сигналов явился известный факт, что в нелинейных (диспергирующих) средах, как и в сосредоточенных системах, при взаимодействии с мощной волной накачки происходит усиление слабого сигнала по мощности, особенно в тех случаях, когда сигнал является субгармоникой волны накачки. Но морская среда является малодиспергирующей, и взаимодействие волны накачки со слабым акустическим сигналом даёт весьма незначительное усиление. Поэтому для повышения эффекта используют различные приёмы введения искусственной дисперсии среды [2].

Вместе с тем видится ещё один способ добиться желаемого эффекта в обнаружении слабых акустических сигналов и при естественных условиях среды, когда искусственной дисперсии в среде не создаётся. Например, если использовать нетрадиционные просветные методы гидролокации, особенно низкочастотные, обеспечивающие повышенные дальности [3]. При этом, однако, необходимо соблюдение вышесформулированного условия, чтобы слабый сигнал или, по крайней мере, его основные энергетические составляющие, являлись субгармониками просветной волны. Для шумового поля реальных подвижных морских объектов, имеющего дискретные составляющие, последнее условие можно считать приемлемым.

Применение просветных систем

Поясним вышеприведённые обстоятельства на примере реализованной и испытанной в натурных условиях низкочастотной просветной системы активно-пассивной гидролокации, томографии и дальней гидроакустической связи [4].

Пусть параметрическому преобразованию в области взаимодействия с просветной волной подвергается слабый, амплитудно-модулированный акустический сигнал, центральная несущая частота которого ω_1 примерно равна частоте просветной волны ω_2. Таким образом, на входе в нелинейную среду при $x = 0$ задано начальное возмущение вида

$$p_0(t) = a(t)\sin(\omega_1 t + \varphi) + A\cos\omega_2 ; \ |a| << A,\ \omega_1 \approx \omega_2 = \omega_0 . \quad (1)$$

Здесь A – амплитуда просветной волны; a(t) – огибающая сигнала с модулирующей функцией S(t), адекватной составляющим вально-лопастного звукоряда; $S(t)=S_n\sin(\Omega t+\psi)$. В работе [5] показано преобразование выражения (1) при условии, что $\varphi = 0$, т.е. выполняются оптимальные для усиления фазовые соотношения, а частота усиливаемого сигнала имеет расстройку Ω относительно субгармоники просветной волны.

Так, в результате эффекта автодетектирования модулированной волны в нелинейной среде происходит перераспределение энергии накачки по спектру и, в частности, к появлению новых составляющих на кратных субгармонике частотах. На начальном участке области взаимодействия, когда $r << 1$ ($r = 2\omega_0\beta x$ – безразмерная координата, а β учитывает вязкость морской воды), входной сигнал принимает вид

$$p(t, r) \cong 0{,}5\ A^2\cos(2\omega_o t - m_p \sin\Omega t) , \quad (2)$$

где $m_p = \dfrac{2a(1+r)}{\pi A}$.

Его спектр, если при разложении в ряд Фурье периодических функций $\cos(m_p \sin\Omega t)$ и $\sin(m_p \sin\Omega t)$ использовать Бесселевы функции, определится выражением

$$\begin{aligned} P^*(t) \cong\ & 0{,}5\ A^2\{ J_0(m_p)\cos 2\omega_0 t + J_1(m_p)[\cos(2\omega_0 - \Omega)t - \cos(2\omega_0 + \Omega)t] + \\ & + J_2(m_p)[\cos(2\omega_0 - 2\Omega)t + \cos(2\omega_0 + 2\Omega)t] + J_3(m_p)[\cos(2\omega_0 - 3\Omega)t - \\ & - \cos(2\omega_0 + 3\Omega)t] + \ldots\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $J_n(m_p)$ – функция Бесселя первого рода n-го порядка от аргумента m_p.

Анализ выражения (3) показывает, что спектр взаимодействующих волн состоит из бесконечного числа боковых составляющих, расположенных симметрично относительно удвоенной центральной частоты и сдвинутых относительно её на $n\Omega$, n = 1, 2, 3… . Следовательно, для выделения полезного сигнала из смеси «сигнал–накачка» необходима узкополосная фильтрация гармоник просветных волн из спектра поля $P^*(t)$ и анализ их девиации в ходе взаимодействия с сигналом. Способом реализации этого положения является, например, разделение смеси «сигнал–накачка» на два канала и задержка в одном из каналов на период просветной волны с последующим вычитанием сигналов. Разностный сигнал затем и подвергается узкополосному спектральному анализу и регистрации.

Теоретическая основа взаимодействия акустических и электромагнитных волн заключается в том, что электрические токи, генерируемые электромагнитной волной, переходят в Джоулево тепло. Диссипативные потери на ток проводимости в морской среде преобразовываются в тепловые потери, которые в свою очередь изменяют механические характеристики проводящей жидкости (плотность, температуру, теплоемкость и т. д.). При пропускании упругой волны по модулированной в пространстве нелинейной среде ее параметры будут также модулированы за счет изменения фазовой скорости этой упругой волны по трассе распространения. Из-за параметрического нелинейного влияния среды на сигнал спектр упругой волны изменяется, в нем появляются высокие гармоники и низкочастотные составляющие сигнала. За счет эффектов механических потерь в воде упругие волны низкой частоты будут распространяться на большие расстояния, а высокочастотные быстро затухнут. Поскольку область параметрического взаимодействия сигнала с модулированной средой составляет несколько длин упругой волны (сигнала разностной частоты), то в среде формируется диаграмма направленности акустически прозрачной антенны. Тип

антенны и физика формирования диаграммы направленности в этом случае подобна формированию диаграмм направленности нелинейной гидроакустической антенны.

Процесс формирования акустической параметрической антенны можно пояснить обычной системой уравнений гидродинамики для вязкой жидкости при наложении на уравнение состояния изменений фазовой скорости звука во времени и пространстве. Для вычисления скорости распространения упругой (акустической) волны можно применить известную формулу:

$$C(t) = \sqrt{1 / P_0 \beta_{s(t)}},$$

где $\beta_s = -1/\upsilon(\frac{\partial \upsilon}{\partial P})_s$ – коэффициент адиабатической сжимаемости жидкости; P – давление; ρ – плотность; υ – удельный объем.

Воспользовавшись соотношением между адиабатической и изотермической сжимаемостью $\beta_s = G\upsilon / G_p \beta_t$, можно получить выражение для фазовой скорости:

$$C(t) = \sqrt{(C_p / C_\upsilon)(\partial P / \partial \rho)_t}.$$

Очевидно, что качественно любые изменения плотности ρ, давления P при постоянной температуре приводят к изменению фазовой скорости звука во времени. Это происходит в зоне взаимодействия электромагнитной волны с упругой волной в проводящей морской среде. То есть, в отличие от классических уравнений гидродинамики для идеальной жидкости, которые используются в теории нелинейных параметрических излучателей, в рассматриваемом случае фазовая скорость упругой волны изменяется во времени и пространстве по закону изменения электромагнитной волны. Таким образом, если в рабочей зоне просветной параметрической системы распространяется электромагнитная волна гармонической частоты $\Omega_{эм}$, то фазовая скорость упругой (просветной акустической) волны C(t) будет меняться с той же частотой $\Omega_{зв} = \Omega_{эм}$.

Количественные характеристики глубины модуляции можно получить, используя конкретные инженерные модели реализации способа. Проверка работоспособности идей, являющихся основой предлагаемого изобретения, проводилась при использовании электромагнитных волн для преобразования (модуляции) нелинейных характеристик рабочей зоны взаимодействия. Очевидно, что другие типы нелинейного взаимодействия, в случае положительного явления с электромагнитными волнами, также должны существовать в морской нелинейной среде.

Эксперимент по проверке возможности практической реализации закономерностей, сопутствующих модуляции низкочастотных просветных волн инфранизкочастотными излучениями сторонних акустических источников, проводился в прибрежной зоне Японского моря. Протяжённая гидроакустическая барьерная линия (ГАБЛ) «прозвучивалась» непрерывным низкочастотным гармоническим сигналом. Пролетающий вблизи водной поверхности вертолёт как мощный воздушный источник звука пересекал ГАБЛ и прошедшими в воду слабыми акустическими сигналами модулировал установившееся поле просветных волн.

Результаты обработки данной сигнальной ситуации вышеописанным способом показаны на рис. 1–3. Они могут быть распространены и на решение задачи в области обмена информацией в направлении «воздух–вода».

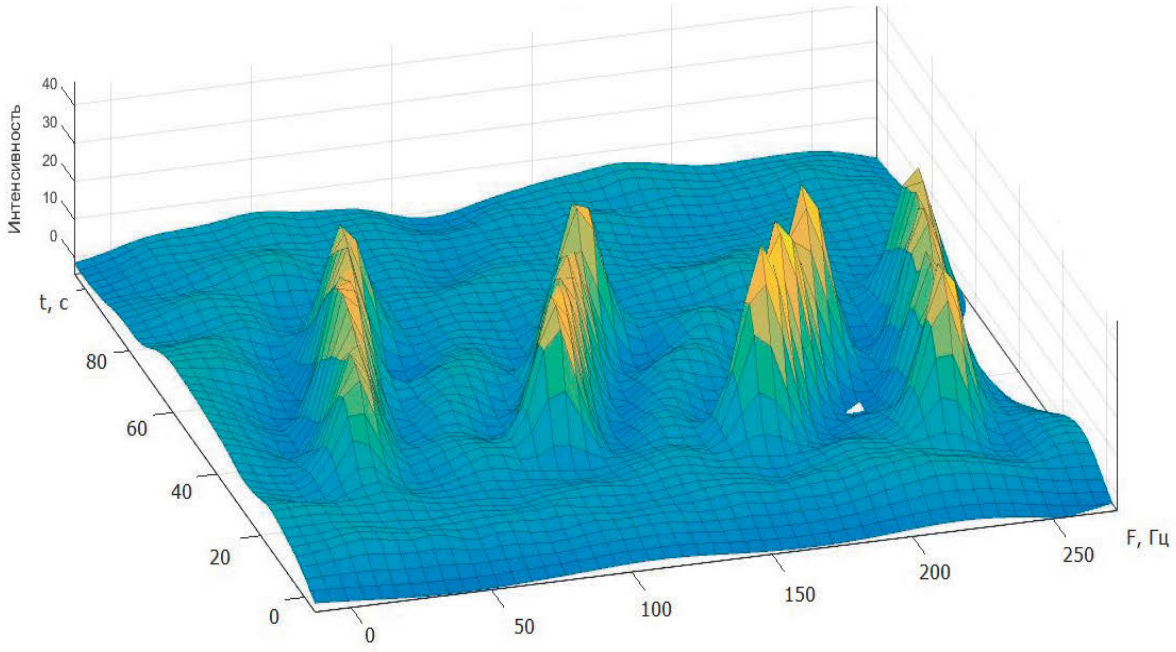

Рис. 1. Спектрограмма шумоизлучения пролетающего воздушного источника (измерения гидрофоном)
Fig. 1. Spectrogram of the noise emission of a flying air source (measured by hydrophonic)

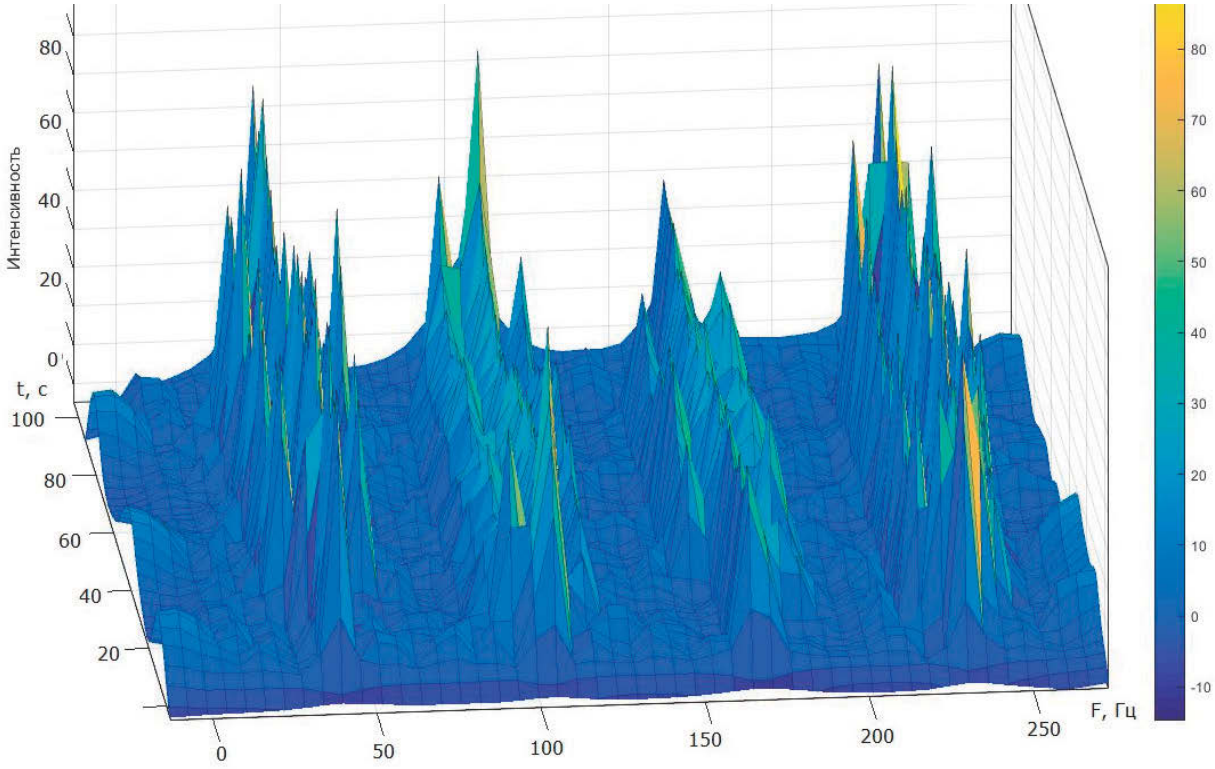

Рис. 2. Спектр шумоизлучения пролетающего воздушного источника (гидроакустические измерения просветным методом)
Fig. 2. Noise emission spectrum of a flying air source (hydroacoustic measurements by the luminous method)

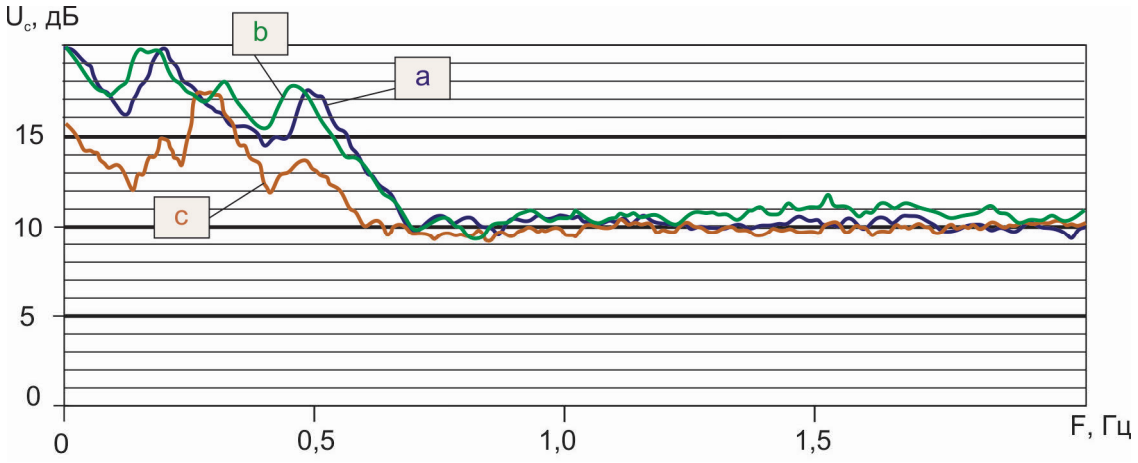

Рис. 3. Результаты регистрации процесса изменения поверхности моря после прохода объекта: a – волнение поверхности; b – волнение в момент прохода объекта; c – волнение поверхности после прохода объекта

Fig. 3. Results of recording the process of changing the sea surface after the passage of the object: a – surface roughness; b – disturbance at the moment of passage of the object; c – disturbance after the passage of the object

Внутренние волны

Ещё одной задачей в области исследования гидрофизических полей океана, имеющей прикладной характер, является изучение процесса генерации и развития *внутренних гравитационных* волн естественного и искусственного происхождения. Внутренние волны (ВВ) существенно влияют на структуру акустического поля, на характер распространения акустических волн и поэтому имеют самостоятельное значение для акустики океана, на что неоднократно указывал академик Л.М. Бреховских. Кроме этого, ВВ, порождённые движущимися телами в стратифицированной по плотности жидкости, являются ещё одним информационным и энергетическим признаком в физических полях морских объектов и должны быть включёнными в круг рассматриваемых задач из области радиофизики.

При экспериментальном изучении ВВ получили развитие как контактные, так и неконтактные («вынесенные» за пределы водной среды) методы и средства. В силу значительной пространственной протяженности явления ВВ контактные методы требуют разнесения измерительных датчиков на большие расстояния, строгой пространственной и временной их синхронизации, что иногда трудно реализовать. Этого недостатка лишены неконтактные, дистанционные методы и средства, в основе которых лежат радиофизические принципы, например, радиолокационное зондирование морской поверхности. Результаты, полученные в рамках этого научного направления, показали, что они, в частности, могут весьма эффективно обеспечить необходимую периодичность глобальных наблюдений за состоянием морской поверхности и выявление на ней аномалий различного происхождения [6]. Следовательно, данные методы вполне пригодны и для обнаружения аномалий морской поверхности, обусловленных результатом взаимодействия поверхностных (ветровых) и внутренних волн. Особо интересен случай, когда ВВ являются продуктом искусственного происхождения, т.е. когда их генерирует движущийся в стратифицированной морской среде объект, информацию о котором желательно передать в воздушную среду.

Безусловно, для реализации такого подхода необходимо выяснение многих сопутствующих ему вопросов. Каковы параметры ВВ и других возмущений, обусловленных движением объекта в реальной морской среде? Каков результат их воздействия на практиче-

ски постоянно существующие ветровые волны, «ответственные» за формирование рассеянных морской поверхностью радиолокационных сигналов. При этом главным является то, какой «отклик» будет иметь зондирующий сигнал от рассеяния на образовавшейся в результате такого взаимодействия аномалии морской поверхности? Ответ на этот вопрос позволит решить задачу синтеза измерительной аппаратуры, а также составить рабочую методику и программу экспериментальных исследований.

Используя различные подходы и предпосылки в объяснении эффектов взаимодействия внутренних и поверхностных волн, данная задача была решена на инженерном уровне для некоторых моделей океана и типового источника ВВ [7, 8, 9]. Возмущения водной среды, вызванные движением погруженного тела, приводят к поперечным деформациям η водной поверхности. Эти деформации вызываются как перемещениями самого тела (дипольный эффект) η_d, так и действием его кильватерного следа (квадрупольный эффект) η_q. Задача о возмущениях на свободной водной поверхности, которые могут быть вызваны ВВ от движущегося в стратифицированной жидкости источника или коллапсирующего спутного течения, впервые теоретически рассмотрена Миллсом [10], частные аспекты этой задачи исследованы рядом отечественных исследователей [11]. Следуя им, в качестве источника рассмотрим тонкое тело вращения с характерным поперечным R и осевым L размерами, когда R/L << 1. В случае движения такого тела под тонким слоем скачка плотности в непрерывно стратифицированной жидкости (модель тонкого термоклина) для возмущений поверхности будем иметь

$$\begin{aligned} |\eta_d| &\approx 0{,}4\, R^2 L\, S^{1/2} (H + |h - H|)^{-9/4} N_h / \nu^{1/2} X_0^{-1/2}, \\ |h_q| &\approx 0{,}8\, R^4 S^{-5/4} (H + |h - H|)^{-11/4} (N_h / N_H)^2 (\nu / N_H)^{1/2} X_q^{-1/2}, \end{aligned} \qquad (4)$$

где R, L, h, ν – радиус, длина, глубина и скорость движения тела; S, H – толщина и глубина термоклина; N_h, N_H – частота Вейяселя–Брента на глубине h и H; X_0, X_q – расстояние, отсчитываемое соответственно от тела и от плоскости, в которой его кильватерный след (КС) начинает коллапсировать, (примерно, через время $t = 1{,}73/N_H$).

Из анализа (4) следует, что в пределах гипотез, лежащих в основе принятой модели, дипольный эффект преобладает над эффектом КС. Оба эти эффекта достигают своего максимума, если тело движется в пределах термоклина (h ≈ H), и быстро уменьшаются с увеличением h/H.

Поскольку морская поверхность в обычном своём состоянии является взволнованной, необходимо выяснить воздействие генерируемых движущимся телом ВВ на существующие поверхностные волны (ПВ), что позволит в дальнейшем определить влияние ВВ (в добавление к случайному поверхностному фону) на параметры рассеянных морской поверхностью радиолокационных сигналов.

Длину ПВ $\lambda_{пв}$ предполагаем малой по сравнению с длиной ВВ $\lambda_{вв}$. Тогда движущаяся картина распределения орбитальной скорости вблизи поверхности, связанная с ВВ, будет восприниматься ПВ как перемещающийся поток. Этот процесс опишется с помощью поля скоростей U (x, y, t), которое является функцией времени и горизонтальных координат, но не имеет вертикальной составляющей. Окончательно, рассматривая ВВ как медленно меняющиеся возмущения по отношению к более быстрым пульсациям ПВ, можно предположить, что последние как бы переносятся в направлении распространения ВВ с некоторой индуцированной скоростью. При этом происходит обмен энергии между течением и налагаемым на него упором ПВ. Решение уравнения баланса энергии для конкретных значений исходных параметров – весьма сложная задача. Вместе с тем имеемые результаты исследований в этом направлении показали, что под воздействием ВВ энергия ПВ изменяется,

прежде всего, в зависимости от соотношения величин фазовых и групповых скоростей взаимодействующих волн и взаимного расположения их векторов. Покажем это.

Для стратифицированной среды с термоклином толщиной S значения групповой C_g и фазовой C_i скоростей ВВ с частотой Ω и волновым числом $k_{вв}$ определятся из следующих соотношений [12]:

$$C_i = \frac{\Omega}{k} \approx \frac{N}{k} - \frac{N}{2k}\left(\frac{n\pi}{kS+2}\right)^2,$$
$$C_g = \frac{d\Omega}{dk} \approx \frac{NS(n\pi)^2}{(kS+2)^3}, \quad (5)$$

где n – мода ВВ, причём мода n = 0 соответствует перемещению термоклина, а моды n = 1, 2 … – его деформации. Значения же фазовой C_{i0} и групповой C_{g0} скоростей ПВ, подлежащих анализу, необходимо выбирать с учётом выполнения условий резонансного (избирательного) рассеяния радиоволн на статистически неровных поверхностях, коей и является морская поверхность [6].

Для этих условий установлено, что при $C_i < {}^1/_2 C_{g0}$ длина ПВ уменьшается, и волна исчезает при $C_i \to {}^1/_2 C_{g0}$. Напротив, когда выполняется соотношение ${}^1/_2 C_{g0} < C_i < C_{g0}$, длина ПВ увеличивается, и волна вновь исчезает при $C_i \to C_{g0}$. При различном взаимном расположении векторов скорости ВВ и ПВ их взаимодействие приводит к рассеиванию последних. Изменение направления распространения ПВ описывается следующим выражением [13]:

$$\frac{\cos\theta}{\cos_0} - d\left(\frac{\cos\theta}{\cos\theta_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \operatorname{sgn}(\sin\theta_0)\frac{\alpha(U - C_i)}{C_0}\left(1 - \cos^2\theta\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где $\alpha = \dfrac{C_t}{C_0 - C_t \sin\theta_0}$, а $\cos\theta_0$ – направляющий косинус вектора фазовой скорости ПВ при U=0.

Все последние из рассмотренных эффектов взаимодействия внутренних и поверхностных волн приводят к образованию на морской поверхности чередующихся зон с видоизменённой «геометрией» ветрового волнения. Область взаимодействия (поверхностных возмущений) ограничена гиперболами, представляющими пересечение конической поверхности постоянной фазы первой внутренней волны (соответственно от тела и от коллапса КС), т.е. определяется параметрами развивающихся ВВ. В свою очередь, пространственные параметры ВВ, например, за источником единичной интенсивности, можно легко вычислить методом стационарной фазы для заданной модели океана [12, 14].

Этим и объяснялись наблюдаемые некоторыми экспериментаторами так названные «кольцевые структуры» на экранах индикаторов РЛС при зондировании морской поверхности над траекторией движения погруженного объекта.

Заключение

В качестве основного вывода можно отметить, что представленные аналитические и экспериментальные исследования достаточны для раскрытия подхода к решению задач, сопутствующих созданию системы освещения больших акваторий Мирового океана. Задачи являются многоплановыми, сложными для решения специалистами одного профиля.

Поэтому доведение их до практической реализации требует координированного участия в теоретических и экспериментальных исследованиях специалистов нескольких научных направлений.

Список литературы

1. Методические указания по комплексному использованию спутниковой информации для изучения морей / под ред. С.В. Викторова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 2000 с.

2. Руденко, О.В. Теоретические основы нелинейной акустики / О.В. Руденко, С.П. Солуян. – М.: Наука, 1975.

3. Мироненко, М.В. Измерительные технологии акустического «просветного» метода гидролокации в решении задач мониторинга и освоения морских акваторий / М.В. Мироненко, С.П. Петроченко, Д.Д. Минаев, Л.В. Губко // Акустика океана: доклады 9-й науч. школы-семинара акад. Бреховских, совмещенной с 12-й сессией РАО. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 359–364.

4. Турмов, Г.П. Низкочастотные томографические системы мониторинга морских акваторий / Г.П. Турмов, М.В.Мироненко, В.И. Короченцев // Сб. ст. «ПМРЭВ ВТ ВМФ», ТОВВМУ им. С.О. Макарова. – Владивосток, 1999. – № 21. – С. 47–60.

5. Мироненко, М.В. Помехоустойчивость приема информации при реализации просветного метода гидролокации морских акваторий / М.В. Мироненко, С.В. Шостак, Т.А. Мироненко, Л.В. Губко // Акустика океана: доклады 9-й науч. школы-семинара акад. Бреховских, совмещенной с 12-й сессией РАО. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 381–386.

6. Ушаков, И.Е. Радиолокационное зондирование морской поверхности / И.Е. Ушаков, И.Ф. Шишкин. – М.: РИЦ «Татьянин день», 1997. – 264 с.

7. Черкесов, Л.В. Поверхностные и внутренние волны / Л.В. Черкесов. – Киев: Наукова думка, 1973.

8. Глинский, Н.Т. Внутренние волны в океанах и морях / Н.Т. Глинский. – М.: Наука, 1973.

9. Филипс, О.М. О взаимодействии внутренних и поверхностных волн / О.М. Филлипс // Изв. АН СССР – ФАО. – 1973. –Т. 9, № 9.

10. Miles, J.W. Internal waves generated by a moving Sorcy / J.W. Miles // Geophijsical Fluid Dynamics. – 1972. – № 1.

11. Смородин, А.И. О волнах на поверхности жидкости при движении погруженного эллипсоида вращения / А.И. Смородин // ПММ. – 1972. – Т. 36, вып. 1.

12. Keller, J. Internal wave wakes of a body moving in a stratified fluid / J. Keller, W. Munk // Phys. Fluids. – 1970. – Vol. 16, № 6.

13. Jargett, A.E. On the interactions of surface and internal wave / A.E. Jargett, B.A. Hughes // J. Fluid Mech. – 1972. – Vol. 52, № 1.

14. Hudimac, A.A. Ship waves in a stratified ocean / A.A. Hudimac // J. Fluid Mech. –1961. – Vol. 11, № 2.

Сведения об авторах:

Мироненко Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор,
e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,
e-mail: spa1958@mail.ru;

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru.