

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-87-98

CHARACTERISTICS OF THE HYDRODYNAMIC PORTRAITS OF ACOUSTIC FIELDS OF THE SHALLOW AREAS OF PETER THE GREAT BAY OF SEA OF JAPAN

P. A. Starodubtsev¹, N. L. Khalaev¹, E. N. Baklanov²

¹ — Pacific Higher Naval School S. O. Makarov, Vladivostok, Russian Federation

² — Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

An approach to solve the problem of improving the technological methods of forming the means of investigation of the underwater environment through comprehensive studies of acoustic fields created by objects of artificial origin against the background of noise fields from natural phenomena of shallow areas is presented. The object of research is hydrodynamic acoustics, arisen from several scientific branches, including hydrodynamics, oceanology, hydrography and acoustics of the ocean. The subject of the research is a set of consistent theoretical, analytical and experimental results in the study of the basic concepts of hydrodynamic acoustics: the sea areas of Peter the Great Bay; geographical contours, allowing on a number of parameters to carry out their deterministic or uniquely pre-defined classification; hydrodynamic portraits of acoustic fields in order to identify their distinctive parameters. The multilevel systematics of the dynamics of hydrometeorological characteristics and its influence on the acoustic fields of geographic regions makes it possible to carry out field observation in a fractal-attractor way at those points that determine the structure of the aquatic environment. In this case, the fractal-attractor method of monitoring the environment and hydrodynamic portraits of acoustic fields can be used to study the various processes in the water environment whatever their nature. According to the research results it was noted that the occurrence of random variations of physical phenomena gradients considered in the paper is balanced on average by the processes of their dissipation and the appearance of fine structures in the marine environment; long-term continuous measurements and their analysis showed that changes in the acoustic field parameters, especially the acoustic signal phase, are associated not only with the geographical area of the equipment installation, but also with the influence of tidal forces, the bottom structure and natural and anthropogenic processes; tracks as “external influences” affect acoustic waves propagation in the marine environment due to the creation of an acoustic background on them that activates the environment and makes it possible to detect irregular acoustic changes in the shelf zone; the biological factors are sometimes crucial at the analysis of the acoustic field of the shallow sea. For the shelf waters of Sea of Japan, the parameters of internal waves, fluctuations of the thermohaline wedge, Brunt-Väisälä frequencies values can be considered dependent on the complex structure and size of bays and coves in the shelf zone. This negatively affects the equipment issues solution of marine areas with formed specific portraits on seiche of internal (gravitational) waves and the instrument constructions for solution of hydrodynamic acoustics problems. Such an object-subject approach depending on the totality of the obtained characteristics allows us to solve the problem of marine areas equipment with the instrument constructions at implementation of hydrodynamic acoustics tasks and making a certain contribution to the process of improving the monitoring systems of the underwater environment in the shallow areas of Peter the Great Bay, Sea of Japan.

Keywords: hydrodynamic acoustics, sea area, geographical contour, hydrodynamic portrait, fractal-attractor method, investigation of the underwater environment, environment monitoring.

For citation:

Starodubtsev, Pavel A., Nikolai L. Khalaev, and Evgenii N. Baklanov. “Characteristics of hydrodynamic portraits of acoustic fields of shallow-area district of Peter the Great, Japan Sea.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 87–98. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-87-98.

УДК 534.87

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОРТРЕТОВ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНОВ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

П. А. Стародубцев¹, Н. Л. Халаев¹, Е. Н. Бакланов²

¹ — Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С. О. Макарова, Владивосток, Российская Федерация

² — Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Дальрыбвтуз), Владивосток, Российская Федерация

Представлен подход к решению проблемы совершенствования технологических методов формирования средств освещения подводной обстановки путем комплексных исследований акустических полей, создаваемых объектами искусственного происхождения на фоне шумовых полей от природных явлений мелководных районов. Объектом исследований является гидродинамическая акустика, возникшая из нескольких научных отраслей, в том числе гидродинамики, океанологии, гидрографии и акустики океана. Предметом исследования является набор последовательных теоретических, аналитических и экспериментальных результатов при изучении основных понятий гидродинамической акустики: морских районов залива Петра Великого; географических контуров, позволяющих по ряду параметров проводить их детерминированную или однозначно-предопределённую классификацию; гидродинамических портретов акустических полей с целью выявления их отличительных параметров. Многоуровневая систематика динамики гидрометеорологических характеристик и ее влияние на акустические поля географических районов позволяют проводить натурные исследования фрактально-аттракторным способом именно в тех точках, которые и определяют структуру водной среды. При этом фрактально-аттракторный способ мониторинга среды и гидродинамических портретов акустических полей может использоваться для исследования различных процессов в водной среде, независимо от их сущности. По результатам проведенных исследований отмечено, что возникновение случайных вариаций градиентов рассмотренных в работе физических явлений в среднем уравнивается процессами их диссипации и появлением тонких структур в морской среде; выполненные в течение длительного периода времени непрерывные измерения и их анализ показали, что изменения параметров акустического поля, особенно фазы акустического сигнала, связаны не только с географическим районом установки аппаратуры, но и с влиянием приливных сил, со структурой дна и процессов природного и антропогенного характера; трассы как «внешние воздействия» оказывают влияние на распространение акустических волн в морской среде по причине создания на них акустического фона, активирующего среду и позволяющего обнаруживать нерегулярные акустические изменения в шельфовой зоне; биологические факторы имеют порой решающее значение при анализе акустического поля мелкого моря. Для шельфовой акватории Японского моря можно считать параметры внутренних волн, флуктуации термохалинного клина и значения частот Брента – Вайсяля, зависимыми от сложной структуры и размеров акваторий заливов и бухт в шельфовой зоне. Это оказывает отрицательное влияние на решение вопросов оборудования морских районов со сформированными специфическими портретами по сейши внутренних (гравитационных) волн и на приборные конструкции для решения задач гидродинамической акустики. Такой объектно-предметный подход позволяет в зависимости от всей совокупности полученных характеристик в дальнейшем находить решение проблем оборудования морских районов приборными конструкциями при реализации задач гидродинамической акустики и внесения определенного вклада в процесс совершенствования систем освещения подводной обстановки в мелководных районах залива Петра Великого Японского моря.

Ключевые слова: гидродинамическая акустика, морской район, географический контур, гидродинамический портрет, фрактально-аттракторный способ, освещение подводной обстановки, мониторинг среды.

Для цитирования:

Стародубцев П. А. Характеристики гидродинамических портретов акустических полей мелководных районов залива Петра Великого Японского моря / П. А. Стародубцев, Н. Л. Халаев, Е. Н. Бакланов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 87–98. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-87-98.

Введение (Introduction)

Уменьшение гидролокационной заметности морских объектов, изменение принципов их обнаружения в пассивных режимах и технологических подходов к структуре формирования средств освещения подводной обстановки заставляет специалистов, работающих в области анализа акустических полей, перейти к их комплексным исследованиям. Возникшая из нескольких научных отраслей, в том числе гидродинамики, океанологии, гидрографии и акустики, гидродинамическая акустика начинает все более четко определять свои условия комплексного описания акустических полей. Как новейшее направление в гидроакустике она предлагает ряд концептуальных решений в теорию комплексных исследований, изменяющих весь алгоритм действий, начиная от замены теоретических трактовок до перехода на современный уровень математического исследования полей, лабораторного физического моделирования и конструирования типа *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)*.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Как показала практика экспериментальных исследований, проведенных авторами статьи в 2014–2017 гг. в мелководных районах залива Петра Великого (Приморский край), наиболее значимыми направлениями, формирующими современную теоретическую основу комплексных исследований в гидродинамической акустике, являются следующие:

- длительный мониторинг динамики изменения гидрометеорологических характеристик с учетом географического расположения исследуемых морских районов залива Петра Великого;
- формирование по результатам мониторинга гидрометеорологических характеристик морских районов географических контуров, позволяющих по ряду параметров проводить их детерминированную или однозначно-предопределённую классификацию;
- продолжительный анализ степени влияния атмосферы, литосферы, гидросферы на исследуемые географические контуры и получение на его основе отличительных характеристик для формирования гидродинамических портретов акустических полей;
- систематическое наблюдение в рамках гидродинамических портретов за характеристиками акустических полей залива Петра Великого с целью выявления их отличительных параметров.

Такая многоуровневая систематика (рис. 1) динамики гидрометеорологических характеристик и ее влияние на акустические поля географических районов дает возможность проводить натурные исследования именно в тех точках, которые и определяют структуру водной среды. При этом морской район не всегда совпадает с исследуемым географическим контуром. Как показали проведенные исследования, полужамкнутые морские районы являются структурой двух и более географических контуров по динамике гидрометеорологических характеристик¹.

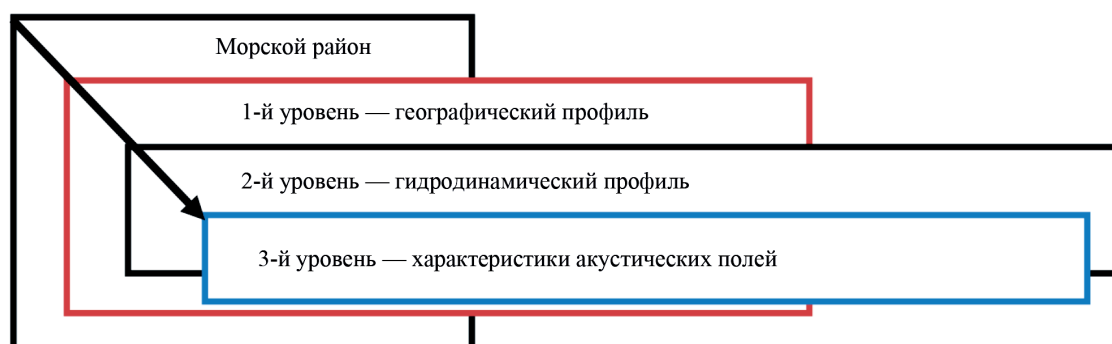


Рис. 1. Многоуровневая систематика процесса динамики гидрометеорологических характеристик

При интеграции выводов, представленных в работе [1], с направлениями формирования гидродинамической акустики, предметом дальнейших научных исследований является объяснение степени влияния динамики изменения отдельных гидрометеорологических характеристик на весь процесс ее развития. Объектом изучения являются проведенные авторами статьи экспериментальные, модельные исследования, измерения, а также структура и параметры акустического поля мелководных районов залива Петра Великого. Такой объектно-предметный подход позволяет в зависимости от всей совокупности полученных характеристик в дальнейшем решать вопрос об оборудовании морских районов со сформированными специфическими портретами теми или иными приборными конструкциями для реализации задач гидродинамической акустики с целью внесения определенного вклада в теорию процесса совершенствования систем освещения подводной обстановки в мелководных районах залива Петра Великого.

С учетом таких концептуальных решений в теории комплексных исследований акустических полей в дальнейшем можно говорить о натурных измерениях, как о достижении высших

¹ Дальнее обнаружение слабозаметных неоднородностей морской среды маломощными просветными сигналами: отчет по НИР ГБТ № 406/2008. Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2008. 161 с.

технических и организационных мероприятий при проведении научных экспериментов в рамках гидродинамической акустики.

Результаты (Results)

В пределах натурных исследований, проведенных в военно-научной школе № 37 «Низкочастотная активно-пассивная и параметрическая (просветная) гидролокация морской среды» в 2014–2017 гг. были получены многочисленные результаты, выходящие за рамки рассматриваемых в статье вопросов¹. Поэтому в дальнейшем будут представлены только некоторые их фрагменты, связанные с конкретными частными научными задачами (например, частная научная задача натурных проверок лабораторных моделей в мелководных районах залива Петра Великого). Одним из ее этапов была необходимость исследования структуры рельефа дна мелководных (шельфовых) зон и ее влияния на отличительные характеристики гидродинамических портретов акустических полей путем изучения процессов обтекания водными массами возвышенностей дна, в том числе подводных банок.

Морскими экспедициями Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного отделения РАН в 1977 г. в Японском море были обнаружены и изучены следующие аномалии дна: хребет Васильковского, хребет Берсенева, гора Петра Великого, гора Сибирь (рис. 2). Рельефные неоднородности шельфовой зоны Японского моря (рис. 3), обнаруженные в XVIII в. прошлого столетия, составили в 2014–2017 гг. основу натурных измерений гидроакустических полей [2] на протяженных низкочастотных гидроакустических трассах.

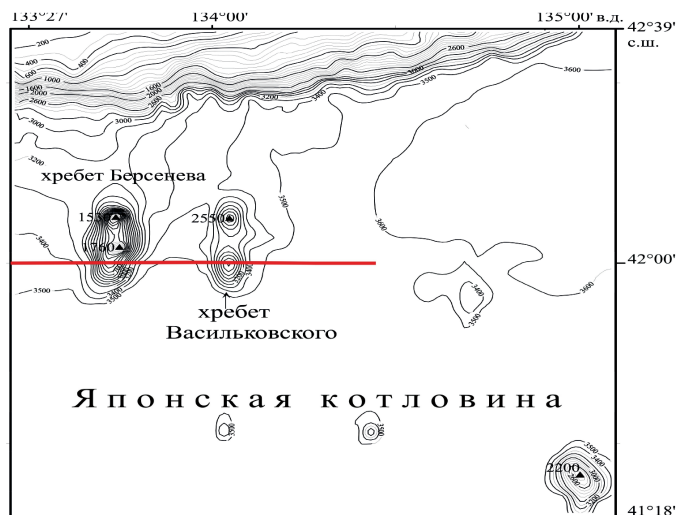


Рис. 2. Рельефные неоднородности на шельфе Японского моря

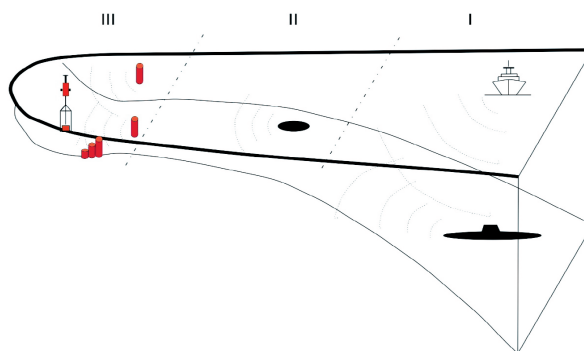


Рис. 3. Схематическое изображение шельфовой зоны Японского моря

¹ Разработка теоретических основ просветных технологий гидроакустического мониторинга океанской среды: отчет по НИР ГBT 668/2016–2017. Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный уни-верситет, 2017. 130 с.

Выполненный анализ натурных измерений полей шельфовой зоны в районе низкочастотных гидроакустических трасс как географического контура показал, что она может условно делиться на три конфигурации (рис. 3):

I. *Первый географический контур* — это материковый склон, который является переходной наклонной областью подводной окраины материка, расположенной между шельфом и его подножием, граничащим с ложем океана [3].

II. *Второй географический контур* — это материковая отмель, которая представляет собой выровненную область подводной окраины материка, примыкающую к суше и характеризующуюся общим с ней геологическим строением [3].

III. *Третий географический контур* — это закрытая бухта со специальным режимом судоходства, а именно: порты, места базирования судов, прибрежные сооружения.

Переменный рельеф дна акватории материкового склона и закрытых бухт со специальным режимом судоходства на протяжении всей экономической зоны Российской Федерации формирует в Японском море донные и приповерхностные аномалии, которые создают интересные, с точки зрения гидродинамической акустики, линейные и нелинейные эффекты. Поэтому в течение последних десяти лет на хребтах и банке Бонсдорфа были проведены все основные исследования акустического поля, представленные в статье [4] — рис. 4.

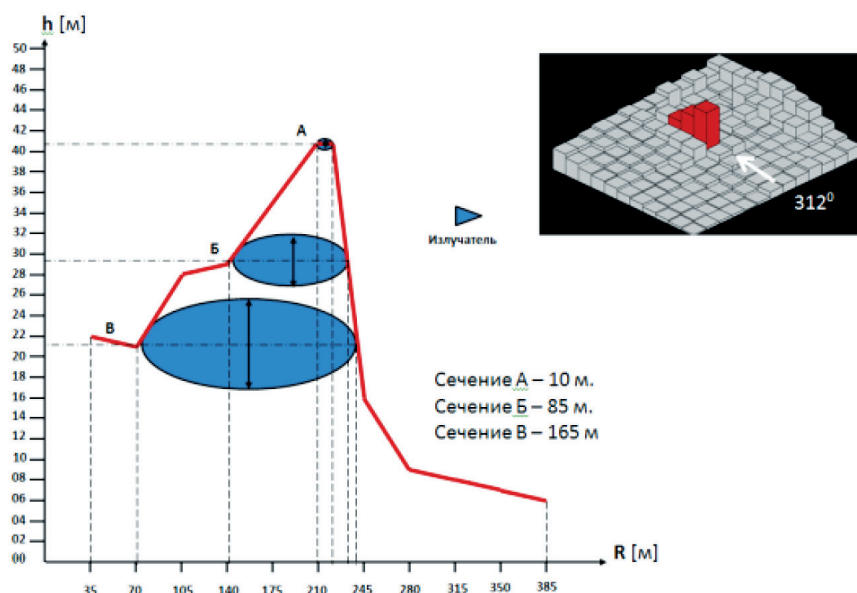


Рис. 4. Схематическое изображение по результатам эхолотирования подводной банки Бонсдорфа в районе залива Петра Великого



Рис. 5. Судно, выполняющее акустическое зондирование акватории

Исследования акустического поля осуществлялись на стационарных трассах в летне-осенний период [5] в низкочастотном диапазоне от десятков до сотен герц (Гц) в динамичной по глубине точке приема с переменной позицией излучателя на частотах, измеряемых в сотнях Гц (рис. 4–6). Это позволило сформировать гидродинамические портреты акустического поля географических контуров: материковый склон, материковую отмель, закрытую бухту на банке Бонсдорфа и периодичность их возможных изменений.

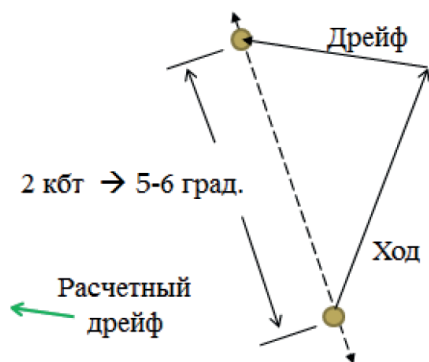


Рис. 6. Схема движения судна, проводящего зондирование акватории

В одной из бухт залива Петра Великого был сформирован следующий гидродинамический портрет акустического поля географического контура:

- по прогнозируемому вертикальному распределению скорости звука он имеет вид аномалии на глубине 8 м — рис. 7, а;
- измерения вертикального распределения скорости звука в течение двух недель с разницей в четыре, двенадцать и шестнадцать часов дали картину с аномалией от 0 до 15 м — рис. 7, б.

Такая изменчивость профиля вертикального распределения скорости звука, показанная на рис. 7, б, свидетельствует о теплообмене, при котором внутренняя энергия передается струями и потоками водной толщи в заливе и связана с динамикой изменения пространственных характеристик течений. При формировании гидродинамического поля (см. рис. 7, б) не были учтены результаты поглощения сигнала, возникающие при отражении от дна и рассеяния от поверхности [3], [6].

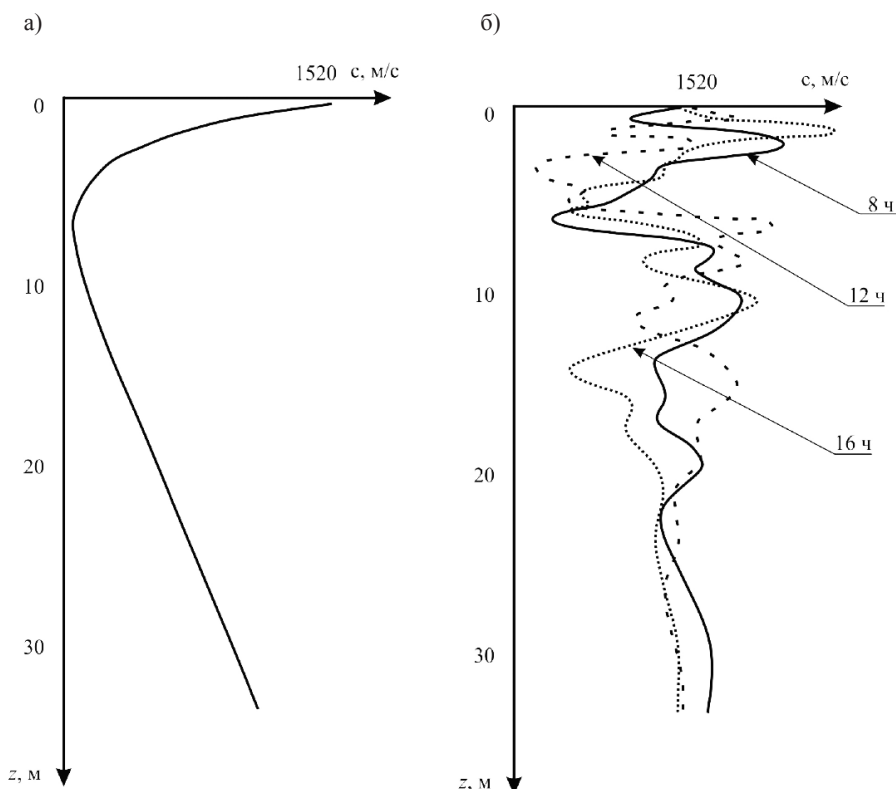


Рис. 7. Гидродинамический портрет акустического поля по значениям скорости звука:
а — по прогнозируемому вертикальному распределению;
б — по измеренному вертикальному распределению

Аномалия динамичности водной толщи (см. рис. 7, б), как показали многие эксперименты, характеризуется линейными и нелинейными эффектами, а именно:

- силами Кориолиса, приливным и отливным движением водных масс, поверхностными и внутренними волнами;
- достаточно сложной вертикальной и горизонтальной стратификацией водной среды.

Большое значение для объяснения данной изменчивости профиля вертикального распределения скорости звука имеет реальный рельеф дна в конкретном районе (в бухте).

Основными особенностями, которые характеризуют рельефную зависимость акустических полей, являются следующие [3]:

- котловинная форма, достаточно сложный рельеф дна и скальная его структура;
- выступы дна, выходящие на поверхность и создающие переотраженные звуковые волны;
- наличие на дне осадков, позволяющих формировать поперечные и продольные звуковые волны.

Как показали натурные измерения гидроакустических полей, на протяженных низкочастотных гидроакустических трассах (2014–2017 гг.) в третьем географическом контуре (закрытая бухта) не существует единой модели и технологии, позволяющих учесть влияние всех вышеуказанных особенностей на формирование акустического поля от объектов естественного и искусственного происхождения и его распространение.

Рассматривая многоуровневую систематику процесса динамики гидрометеорологических характеристик как комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на наблюдение и регистрацию данных об акустическом поле, авторами статьи был разработан и использован *нелинейный фрактально-аттракторный способ* дистанционного мониторинга закрытых бухт. В его основу были положены шумовые фракции акустического поля как элементы гидродинамического портрета.

По мнению авторов данного исследования, гидродинамический портрет аттрактора в динамической системе есть пространственная структура с передвигающимися элементами среды (носителями акустической энергии) в ходе теплового их перемещения с образованием вихревых и турбулентных потоков [7], [8]. Для удобства упрощенного объяснения сути фрактально-аттракторного способа дистанционного мониторинга закрытых бухт был взят акустический луч (рис. 8 [3]), идущий прямо и изменяющий свое направление на границах с быстрым изменением градиента скорости звука. Пренебрегая потерями сигнала, можно отметить, что пути, пройденные лучами, напоминают аттрактор, вращающийся против часовой стрелки при отсутствии бифуркаций. В теории динамического хаоса они называются *странными аттракторами*, способными при определенных параметрах к автогенерации. При этом чем больше вязкость жидкости, тем выше вероятность появления аттракторов, переходящих в автоколебательно-хаотический режим.

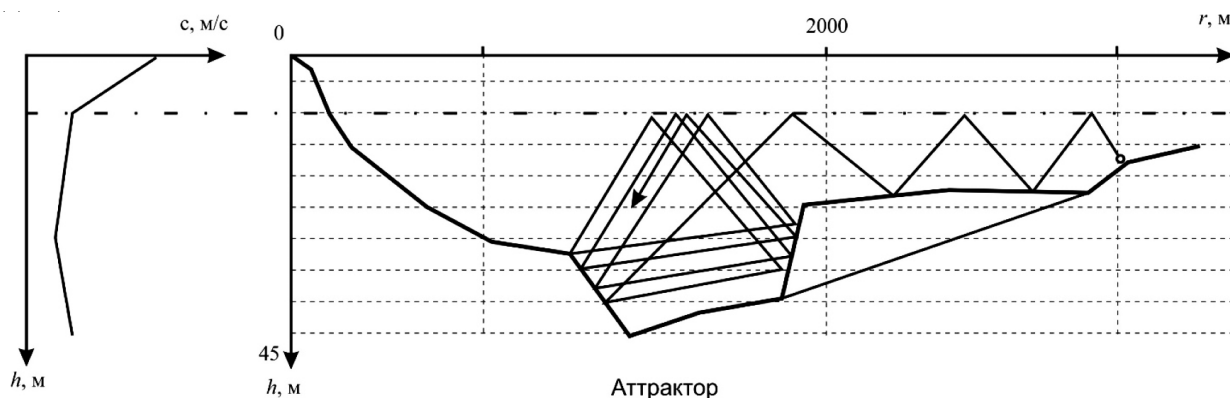


Рис. 8. Путь луча в водной среде с рельефом дна, напоминающим линзу

Для примера, выступы дна (банка Бонсдорфа), заметные на поверхности и находящиеся в области с высокими скоростями течения водных масс закрытых бухт (до 0,5 м/с), формируют аттракторы, переходящие во фрактальные области, аналогичные приведенным на рис. 9. Динамика формы аттрактора постоянно в различных масштабах монотонно убывает, затем возрастает и проявляет фрактальное «самоподобие». Эти факты дали возможность пояснить причины, послужившие основанием для обнаружения звуковых вариаций самого аттрактора и шумового поля движущегося морского объекта без визуального его наблюдения на поверхности, а интеграция

аттрактора и его динамики в виде фрактала явилась условием обнаружения акустического поля от объектов естественного и искусственного происхождения в водной среде в условиях материковой отмели и закрытых бухт [9].

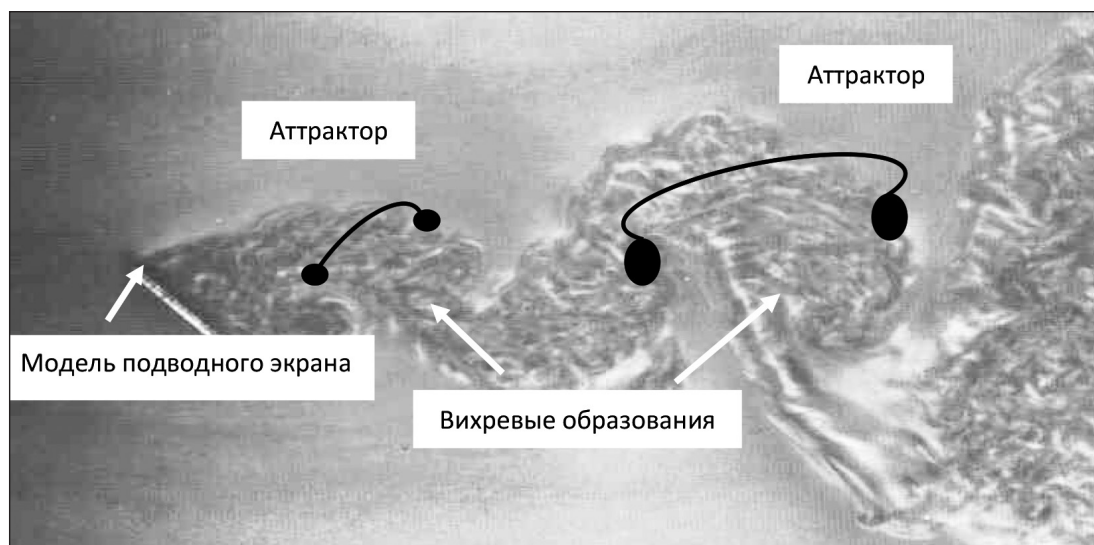


Рис. 9. Странные аттракторы, переходящие во фрактальные области

При проведении реальных измерений (2014–2017 гг.) в заливе Петра Великого был обнаружен в полосе частот от нескольких сотен герц до нескольких килогерц природный источник шумов [3]. Амплитуда сигнала от такого источника была примерно равна 110 мВ и не меняла своего тона в диапазоне частот от нескольких сотен герц до нескольких килогерц. Сам сигнал был схож по звучанию и тональной окраске с «пересыпанием крупного песка». Ранее такой звук наблюдался и фиксировался от банки Бонсдорфа (рис. 10 [3]) и представлял собой шумовой фрактал, по структуре подобный вихревым и турбулентным шумам.



Рис. 10. Шумы от банки Бонсдорфа

Для анализа таких установившихся вихревых и турбулентных шумов стационарных природных и искусственных источников в [3] были предложены современные способы вейвлет-анализа. Для томографирования данного процесса была использована «подсветка среды» для изучения природы формирования акустических полей от источников естественного и искусственного происхождения в закрытых бухтах. Разовый фрагмент такого томографирования сигналов представлен на рис. 11 [3].

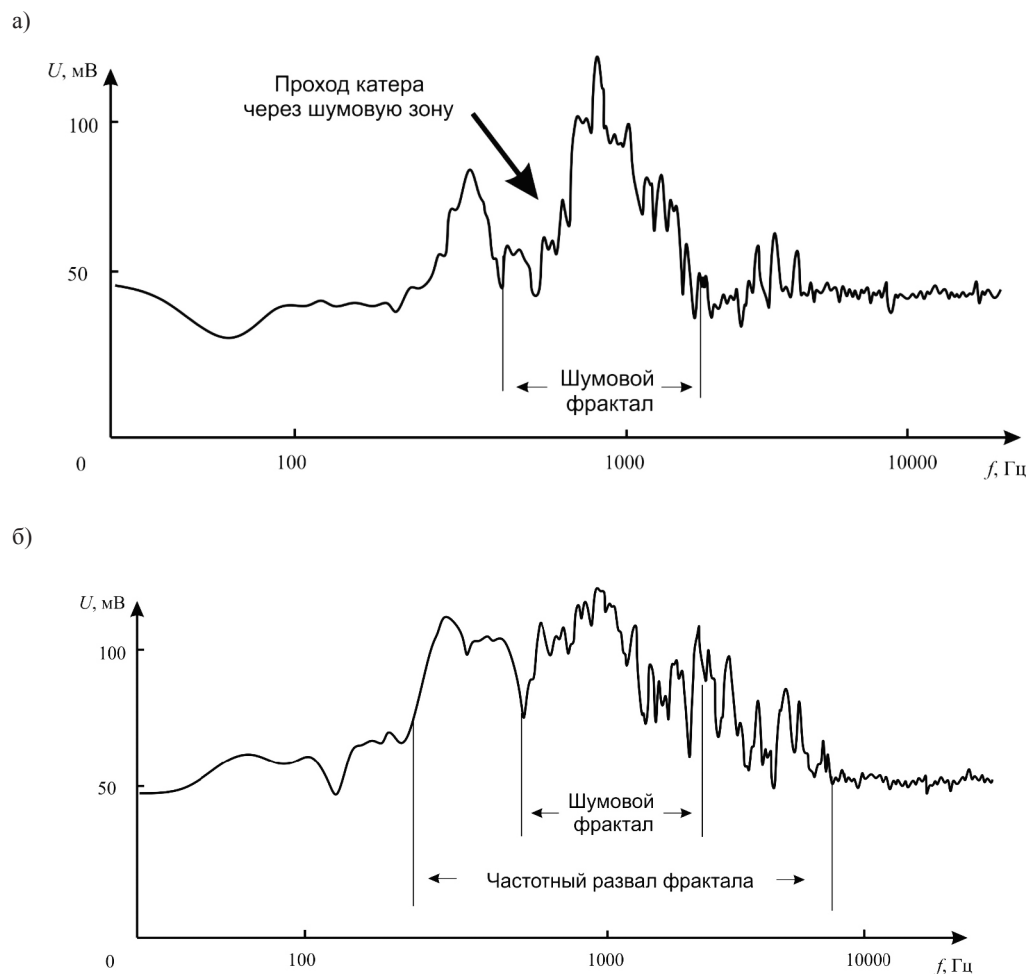


Рис. 11. Фрагменты томографирования сигналов: *а* — при прохождении быстроходным катером шумовой зоны от банки; *б* — при выходе быстроходного катера из шумовой зоны от банки

Другим интересным обстоятельством явилось то, что донные отложения большой пористости являются одной из основных характеристик грунта закрытых бухт. В такой пористой среде хорошо формируются продольные волны, по своей структуре похожие на волны Био [10]. Знание характеристик волн Био позволяет учесть возможность формирования аттракторов в придонных слоях и степень их влияния на процесс распространения сигналов от морских объектов и физических явлений.

Традиционно во всех проведенных авторами статьи экспериментах скальные донные структуры оказывали максимальное влияние на процесс формирования акустического поля в мелком море. Нормальная звуковая волна в скальном грунте относительно водной среды движется со скоростью звука около 3000 м/с и появляется в точке приема тогда, когда объект не наблюдается визуально.

Обсуждение (Discussion)

Как показали натурные исследования, возникновение случайных вариаций градиентов рассмотренных ранее физических явлений в среднем уравнивается процессами их диссипации, что неизбежно влечет за собой появление тонких структур в морской среде.

Проведенные в течение длительного периода времени непрерывные измерения и их анализ показали, что вариации параметров акустического поля, особенно фазы акустического сигнала, связаны не только с географическим районом установки аппаратуры, но и с влиянием приливных сил, со структурой дна и процессов природного и антропогенного характера на поверхности воды.

Было установлено, что трассы как «внешние воздействия» оказывают влияние на распространение акустических волн в морской среде. На них создается акустический фон, активирующий среду и позволяющий обнаруживать нерегулярные акустические изменения в шельфовой зоне. При рассмотрении вопроса состояния водной среды мелкого моря не принималось во внимание влияние биологических факторов, имеющих место в водной среде, хотя они имеют порой решающее значение при анализе акустического поля мелкого моря.

Дальнейшие расчеты, исследования и анализ измерений показали, что для шельфовой акватории Японского моря можно считать параметры внутренних волн, флуктуации термохалинного клина, значения частот Брента – Вайсяля, зависимыми от сложной структуры и размеров акваторий заливов и бухт в шельфовой зоне. Это оказывает отрицательное влияние на решение вопроса оборудования морских районов со сформированными специфическими портретами по сейши, а также на влияние внутренних (гравитационных) волн, на приборные конструкции для решения задач гидродинамической акустики.

Предложенный и теоретически обоснованный в статье фрактально-аттракторный способ мониторинга среды и гидродинамических портретов акустических полей может быть использован для исследования различных процессов в водной среде, независимо от их сущности. Его структура представляется как некая последовательность технологических операций [11], [12]:

- определение границ динамической системы с уяснением степени ее хаотичности (детерминированности);
- анализ динамической системы с выявлением аттракторных явлений и уточнением их фазовых портретов;
- определение математической модели фрактала с определением его размерности;
- выявление по фракталу всех свойств системы и модификация системы по математической модели.

Заключение (Conclusion)

Рассмотренный объектно-предметный подход позволяет в зависимости от всей совокупности полученных характеристик в дальнейшем решить вопрос об оборудовании морских районов со сформированными специфическими портретами теми или иными приборными конструкциями для реализации задач гидродинамической акустики и внесения определенного вклада в процесс совершенствования систем освещения подводной обстановки в мелководных районах залива Петра Великого.

Многоуровневая систематика динамики гидрометеорологических характеристик и ее влияние на акустические поля географических районов позволяют проводить натурные исследования именно в тех точках, которые и определяют структуру водной среды. При этом следует отметить, что морской район не всегда совпадает с исследуемым географическим контуром. Как показали проведенные исследования, полузамкнутые морские районы являются структурой двух и более географических контуров по динамике гидрометеорологических характеристик.

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам кафедры физики и общетехнических дисциплин Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С. О. Макарова и кафедры судовождения Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета (Дальрыбвтуз) за оказанную помощь при подготовке акустических приборов к проведению натурных экспериментов и обработке полученных при морских измерениях данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стародубцев П. А. Исследование процесса влияния сейши на акустическое поле замкнутых акваторий мелководных районов / П. А. Стародубцев, Н. Л. Халаев, Е. Н. Бакланов // Вестник Государственного

университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-183-190.

2. Бондарь Л. Ф. Влияние прилива на распространение звука в шельфовой зоне Японского моря / Л. Ф. Бондарь, Л. К. Бугаева, А. Н. Рутенко. // *Акустический журнал*. 2000. Т. 46. — № 5. С. 613–623.

3. Халаев Н. Л. Обнаружение акустически малозаметных морских объектов в мелком море закрытых бухт: монография / Н. Л. Халаев. — Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2016. — 298 с.

4. Мироненко М. В. Информационно-аналитическая система расчета и анализа просветного гидроакустического поля в системах мониторинга морских акваторий / М. В. Мироненко, А. М. Василенко, Л. Э. Карачун // *Датчики и системы*. — 2015. — № 9–10 (196). — С. 12–16.

5. Буренин А. В. Экспериментальные исследования особенностей распространения низкочастотных псевдослучайных сигналов из прибрежной зоны в глубокое море в условиях слабого отрицательного градиента скоростей звука на шельфе / А. В. Буренин, Е. А. Войтенко, Ю. Н. Моргунов // *Технические проблемы освоения мирового океана*. — 2015. — Т. 6. — С. 192–196.

6. Моргунов Ю. Н. Экспериментальная апробация аппаратно-программного комплекса для дистанционного измерения скорости течений и температур в мелководных акваториях / Ю. Н. Моргунов, В. В. Безответных, А. А. Голов, М. С. Лебедев // *Акустический журнал*. — 2014. — Т. 60. — № 6. — С. 623. DOI: 10.7868/S0320791914060112.

7. Моргунов Ю. Н. Исследование влияния гидрологических условий на распространение псевдослучайных сигналов из шельфа в глубокое море / Ю. Н. Моргунов, В. В. Безответных, А. В. Буренин, Е. А. Войтенко // *Акустический журнал*. — 2016. — Т. 62. — № 3. — С. 341. DOI: 10.7868/S0320791916030114.

8. Bowlin J. B. Ocean acoustical ray-tracing: Software Ray / J. B. Bowlin, J. I. Spiesberger, T. F. Duda, L. E. Freitag. — Woods Hole Oceanographic Institution, 1992.

9. Рутенко А. Н. Радиогидроакустическая станция для мониторинга параметров антропогенных импульсных и шумовых сигналов на шельфе / А. Н. Рутенко, С. В. Борисов, Д. Г. Ковзель, В. А. Гриценко // *Акустический журнал*. — 2015. — Т. 61. — № 4. — С. 500–511. DOI: 10.7868/S0320791915040097.

10. Evgrafova A. Influence of geometrical parameters on convective flows in non-uniformly heated cylindrical fluid layers / A. Evgrafova, A. Sukhanovskii, M. Kuchinskii, E. Popova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — IOP Publishing, 2017. — Vol. 208. — Pp. 012016. DOI: 10.1088/1757-899X/208/1/012016.

11. Сухановский А. Н. Структура течений в пограничном слое интенсивного циклонического вихря / А. Н. Сухановский, А. В. Евграфова, Е. Н. Попова // *XX Зимняя школа по механике сплошных сред: тез. докл.* — Пермь: Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН, 2017. — С. 329.

12. Spindel R. C. Acoustic tomography for monitoring the Sea of Japan: a pilot experiment / R. C. Spindel, J. Na, P. H. Dahl, S. Oh, C. Eggen, Y. G. Kim, V. A. Akulichev, Yu. N. Morgunov // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. — 2003. — Vol. 28. — Is. 2. — Pp. 297–302. DOI: 10.1109/JOE.2003.811896.

REFERENCES

1. Starodubtsev, Pavel A., Nikolai L. Khalaev, and Evgenii N. Baklanov. "Investigation of the process of the seishi influence on the acoustic field of closed shallow water areas." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180- 2018-10-1-183-190.

2. Bondar L. F. Influence of the tide on the sound propagation in the shelf zone of the sea of Japan/ Bondar L. F., Bugaeva L. K., Rudenko A. N. // *Acoustic journal*. 2000. Vol. 46. - № 5. P. 613-623.

3. Khalaev, N.L. *Obnaruzhenie akusticheskii malozametnykh morskikh ob"ektov v melkom more za-krytykh bukht: monografiya*. Vladivostok: Izdatel'stvo VGUES, 2016.

4. Mironenko, Mihail V., Anna M. Vasilenko, and Leonard E. Karachun. "Information-analytical system of calculation and analysis of translucent hydroacoustic field in monitoring of sea areas." *Sensors and Systems* 9-10 (196) (2015): 12–16.

5. Burenin, A. V., E. A. Voitenko, and Yu. N. Morgunov. "Eksperimental'nye issledovaniya osobennostei rasprostraneniya nizkochastotnykh psevdosluchainykh signalov iz pribrezhnoi zony v glubokoe more v usloviyakh slabogo otritsa-tel'nogo gradienta skorostei zvuka na shel'fe." *Tekhnicheskie problemy osvoeniya mirovogo okeana* 6 (2015): 192–196.

6. Morgunov, Y. N., V. V. Bezotvetnykh, A. A. Golov, M. S. Lebedev, K. Kim, and J.-S. Park. "Experimental testing of a hardware and software complex for remote measurement of current velocities and temperatures in shallow sea water areas." *Acoustical Physics* 60.6 (2014): 657–665. DOI: 10.1134/S1063771014060116.

7. Morgunov, Y. N., V. V. Bezotvetnykh, A.V. Burenin, and E. A. Voitenko. "Study of how hydrological conditions affect the propagation of pseudorandom signals from the shelf in deep water." *Acoustical Physics* 62.3 (2016): 350–356. DOI: 10.1134/S1063771016030118.
8. Bowlin, James B., J. I. Spiesberger, T. F. Duda, and L. E. Freitag. *Ocean acoustical ray-tracing: Software Ray*. Woods Hole Oceanographic Institution, 1992.
9. Rutenko, A. N., S. V. Borisov, D.G. Kovzel', and V. A. Gritsenko. "A radiohydroacoustic station for monitoring the parameters of anthropogenic impulse and noise signals on the shelf." *Acoustical Physics* 61.4 (2015): 455–465. DOI: 10.1134/S1063771015040090.
10. Evgrafova, A., A. Sukhanovskii, M. Kuchinskii, and E. Popova. "Influence of geometrical parameters on convective flows in non-uniformly heated cylindrical fluid layers." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 208. No. 1. IOP Publishing, 2017. 012016. DOI: 10.1088/1757-899X/208/1/012016.
11. Sukhanovskii, A. N., A. V. Evgrafova, and E. N. Popova. "Struktura techenii v pograničnom sloe intensivnogo tsiklonicheskogo vikhrya." *XX Zimnyaya shkola po mekhanike sploshnykh sred: Tezisy dokladov*. Perm': Institut mekhaniki sploshnykh sred Ural'skogo otdeleniya RAN, 2017. 329.
12. Spindel, Robert C., J. Na, P. H. Dahl, S. Oh, C. Eggen, Y. G. Kim, V. A. Akulichev, and Yu. N. Morgunov. "Acoustic tomography for monitoring the Sea of Japan: A pilot experiment." *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 28.2 (2003): 297–302. DOI: 10.1109/JOE.2003.811896.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Стародубцев Павел Анатольевич —
доктор технических наук, профессор
Тихоокеанское высшее военно-морское училище
имени С. О. Макарова
690062, Российская федерация, Владивосток,
Камский пер., 6
e-mail: spa1958@mail.ru

Халаев Николай Лукич —
кандидат технических наук, доцент
Тихоокеанское высшее военно-морское училище
имени С. О. Макарова
690062, Российская федерация, Владивосток,
Камский пер., 6
e-mail: halaevn@mail.ru

Бакланов Евгений Николаевич —
доцент
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет (Дальрыбвтуз)
690087, Российская федерация, Владивосток, ул.
Луговая, 52Б
e-mail: baklanoven@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Starodubtsev, Pavel A. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Pacific Higher Naval
School S. O. Makarov
6 Kamskii Lane, Vladivostok, 690062,
Russian Federation
e-mail: spa1958@mail.ru

Khalaev, Nikolai L. —
PhD, associate professor
Pacific Higher Naval
School S. O. Makarov
6 Kamskii Lane, Vladivostok, 690062,
Russian Federation
e-mail: halaevn@mail.ru

Baklanov, Evgenii N. —
Associate professor
Far Eastern State Technical
Fisheries University
52-B Lugovaya Str., Vladivostok, 690087,
Russian Federation
e-mail: baklanoven@mail.ru

Статья поступила в редакцию 31 октября 2018 г.
Received: October 31, 2018.