



СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Пелиновский Е.Н., Талипова Т.Г.</i> Безотражательное распространение волн в сильно неоднородных средах	4
<i>Чаликов Д.В.</i> Трансформация гармонических волн на глубокой воде	14
<i>Волков К.Н., Емельянов В.Н., Курова И.В.</i> Моделирование крупных вихрей в задачах гидрофизики и гидроакустики	22
<i>Карлин Л.Н., Рябченко В.А., Ванкевич Р.Е., Еремина Т.Р., Исаев А.В., Неелов И.А.</i> Испытание оперативной океанографической системы при прогнозе гидродинамических характеристик в Финском заливе Балтийского моря	39
<i>Никифоров С.Л., Попов В.А., Попов О.Е., Селезнев И.А.</i> Концепция создания единой базы геоакустических данных морского дна и технологии геоакустического моделирования	49
<i>Долин Л.С.</i> Лидарный метод измерения частотно-контрастной характеристики водных слоев	62
<i>Дашевский О.Ю., Нежевенко Е.С.</i> Методы апертурного синтеза гидроакустических антенн в пассивном режиме и их испытание на тестовых и реальных сигналах	72

Конференции

XXII семинар «Струйные, отрывные и нестационарные течения» (<i>Матвеев С.К., Усков В.Н.</i>)	86
--	----

Из истории науки

Г.И. Марчук о физике атмосферы и океана	87
---	----

Поздравляем!	91
---------------------------	----

Хроника	94
----------------------	----

Правила представления материалов в редакцию.....	97
--	----

CONTENTS

Articles

<i>Pelinovsky E.N., Talipova T.G.</i> Non-reflective Wave Propagation in Strongly Inhomogeneous Media	4
---	---

It is well known that wave dispersion in inhomogeneous media leads to energy flux weakening on large distances. The more interesting cases are when inhomogeneity does not prevent wave propagation. This problem is studied here for internal waves in the ocean. Firstly, the penetration of internal waves into a deep ocean, stratified with density and current, is discussed, and it is shown that there is sufficient number of stratification profiles allowing non-reflected wave propagation into the ocean bulk. Further the internal wave propagation in two-layer stratified ocean of variable depth is investigated. The set of bottom profiles where the wave energy is not scattered, is also found.

Key words: non-reflected wave propagation, internal waves, non-reflected stratification and bottom profile.

<i>Chalikov D.V.</i> Harmonic Wave Deep Water Transformation	14
--	----

Precise numerical model of potential; surface waves is used to investigate the wave field evolution, initially assigned as a train of harmonic waves. It is shown that harmonic wave of any amplitude quickly generates the new modes, which undergo the complicated evolution. These modes can be referred neither to bound waves nor to free waves.

Key words: harmonic waves, instability, numerical modelling, Stokes waves.

<i>Volkov K., Emelyanov V., Kurova I.</i> Large-eddy Simulation in Hydrophysical and Hydroacoustic Problems	22
---	----

Applications of large-eddy simulation (LES) technique to the solution of problems of hydrophysics and hydroacoustics are considered. Solutions of some model problems (free mixing layer, free sub-sonic non-isothermal turbulent jet flowing out of circular nozzle into submerged space, and aero-optical effects in turbulent flows) are presented. The results obtained are compared to the data calculated with the numerical solution of the Reynolds-averaged Navier–Stokes equations and equations of the k – ϵ turbulence model, as well as to the available experimental data. The conclusions related to the perspectives of use of this technique in the problems of hydrophysics and hydroacoustics are made.

Key words: turbulence, large-eddy simulation, computational fluid dynamics, jet, mixing layer.

<i>Karlin L.N., Ryabchenko V.A., Vankevich R.E., Eremina T.R., Isaev A.V., Neelov I.A.</i> Testing an Operational Oceanographic System Testing by Means of Forecasting of Hydrodynamical Characteristics in the Gulf of Finland of the Baltic Sea	39
--	----

An operational system for forecasting of hydrodynamic characteristics in the Gulf of Finland GULFOOS (the Gulf of Finland Operational Oceanographic System) has been developed. The system is based on the hydrodynamic module of St. Petersburg Baltic Eutrophication Model. The system has been working in the operation mode from May 2009 using data from short-term weather forecasts for the North-West Region of Russia and forecasts of boundary conditions at the entrance in the Gulf of Finland. 48-hour model forecasts were compared to observed vertical temperature and salinity profiles and water level in Kronshtadt. The comparison showed that the model system simulates the observations quite well.

Key words: operational oceanography, hydrodynamic forecast, the Gulf of Finland.

<i>Nikiforov S.L., Popov V.A., Popov O.E., Seleznev I.A.</i> The Concept of Common Sea-Bottom Geoacoustic Database Creation and Geoacoustic Modeling Techniques	49
---	----

The authors consider some problems of supporting Russia sea activity in the important water areas of the World ocean, which cause creation of geoacoustic databases and the geoacoustic models of a sea-bottom required for all carriers of sonar means of underwater conditions imaging for operative forecasting of surveillance conditions in the navigation area and supporting efficient operation of adaptive hydroacoustic information processing algorithms. The concept of common water areas sea-bottom database creation and sea bottom geoacoustic modeling techniques are offered. Data about structure of a perspective integrated sonar system of sea-bottom monitoring and problems solved with its help are cited.

Key words: geoacoustic model, database, sonar means, acoustic characteristics, offshore area.

<i>Dolin L.S.</i> Lidar Methods for Measurement of Modulation Transfer Function of Water Layers	62
--	----

We develop algorithms for retrieval of the water layer modulation transfer function (MTF) from the radiance of backscattered laser pulse. A lidar diagram is developed for remote measuring of the MTF. The water optical properties are then retrieved from measured MTF. We also propose a laser imaging system for sea bottom observation which corrects image distortion caused by light scattering in the water.

Key words: lidar, imaging, water, modulation transfer function, image correction.

<i>Dashevskii O.Yu., Nejevenko E.S.</i> Passive Aperture Synthesis Techniques for Towed Arrays and Their Probation with Test and Real Signals	72
--	----

The paper contains a brief review of aperture synthesis techniques for towed arrays operating in passive mode. A technique is suggested that is able to process wideband signals, also from multiple sources (as opposed to known techniques). The results of experimental studies of aperture synthesis are presented, obtained both from computer-generated signals (SynApp program has been developed for this purpose), and from signals of a real underwater towed array.

Key words: hydroacoustics, aperture synthesis, beamforming, modeling.

УДК 534.22; 551.46; 551.35

© С.Л. Никифоров¹, В.А. Попов², О.Е. Попов³, И.А. Селезнев²¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва²ОАО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург³Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, Москва

mail@oceanpribor.ru

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ БАЗЫ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОРСКОГО ДНА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены отдельные задачи обеспечения морской деятельности России в важных акваториях Мирового океана, обуславливающие создание геоакустических баз данных и геоакустических моделей морского дна, необходимых всем носителям гидроакустических средств освещения подводной обстановки для оперативного прогнозирования условий наблюдения в районе плавания и обеспечения эффективной работы адаптивных алгоритмов обработки гидроакустической информации. Предложены концепция создания единой базы данных дна морских акваторий и технология его геоакустического моделирования. Приведены задачи, решаемые перспективным комплексом гидроакустических средств.

Ключевые слова: геоакустическая модель, база данных, гидроакустические средства, акустические характеристики, морская акватория.

Создание геоакустических баз данных и геоакустических моделей морского дна является одним из актуальных направлений прикладной гидроакустики. Прямых измерений акустических параметров морского дна недостаточно для решения этих задач. Наиболее рациональным методом геоакустического моделирования представляется геологический подход на основе типизации морского дна, так как для описания свойств дна необходимы данные (как минимум) по рельефу, осадкам и их физическим свойствам, акустическим параметрам, в том числе скоростям продольных и поперечных волн, коэффициентам поглощения и донного рассеяния. Не стоит ожидать равномерной и детальной изученности Мирового океана и при построении моделей морского дна (особенно для крупных акваторий в условиях дефицита исходных данных); необходимо использовать всю имеющуюся информацию о природных геолого-геоморфологических факторах.

Одним из основных направлений морской деятельности России является освоение минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана и разработка новых технических средств и передовых технологий для изучения геолого-геоморфологических, гидроакустических, гидрографических характеристик Мирового океана, в первую очередь, шельфовой зоны как наиболее перспективной для освоения минеральных ресурсов. Важнейшей целью создания геоакустических баз данных морского дна является научное обеспечение морской деятельности Российской Федерации в Мировом океане результатами фундаментальных и прикладных исследований по геоакустике и гидрофизике, а также производственно-технологическими разработками по созданию гидрофизических средств, в том числе двойного назначения. Освоение ресурсов морей и океанов, сохранение и развитие научного потенциала ВМФ и взаимодействующих ведомств, требует создания специальных карт, возрождения базы производства отечественных океанографических при-

боров и формирования единой автоматизированной информационной системы, состоящей из базы геолого-геоморфологических, геоакустических и гидрографических данных о морской среде и дне, а также информационно-справочной системы, представляющей пользователям запрашиваемую информацию по любому району с заданными координатами. Указанные данные необходимы всем носителям гидроакустических средств освещения подводной обстановки для оперативного прогнозирования условий наблюдения в районе плавания и обеспечения эффективной работы адаптивных (согласованных со средой) алгоритмов обработки гидроакустической информации. **Отсутствие учета реальных геоакустических параметров морского дна в гидроакустических комплексах (ГАК) освещения подводной обстановки существенно увеличивает погрешность расчетов акустического поля в адаптивных алгоритмах обработки информации**, а также при прогнозных оценках эффективности ГАК. Из-за отсутствия достоверных геоакустических моделей и баз данных становится проблематичным применение в проектируемых ГАК современных методик расчета передаточной функции среды, учитывающих пространственную изменчивость условий распространения звука в морской среде.

На кораблях и судах РФ, вооруженных гидроакустическими комплексами, подробные базы данных о параметрах морского дна, а также средства для их оперативного мониторинга в районах предполагаемых действий до настоящего времени отсутствуют. Вместе с тем расчеты первичного и вторичного гидроакустического поля морских объектов (целей) в реальной океанической среде (с учетом влияния гидроакустического канала на распространяющийся сигнал) должны включать в себя и учет влияния характеристик морского дна, в том числе подробного описания его рельефа и свойств осадков. Данный компонент прогнозных расчетов является необходимым условием обеспечения заданной точности оценки эффективности современных гидроакустических средств, обладающих дальностью действия от единиц до сотен километров. Перепады глубины по трассе распространения и акустические характеристики дна существенно влияют на дистанции обнаружения целей этими системами. Зона действия гидроакустических систем может захватывать обширные акватории, в то время как подробная информация о глубинах и акустических свойствах дна имеется, как правило, только для районов интенсивного судоходства, прибрежных районов и районов добычи полезных ископаемых [1–3 и др.].

Использование геоакустических баз данных актуально и при решении глобальных политических задач – определении внешней границы арктического континентального шельфа РФ, где согласно требованиям Конвенции ООН по морскому праву необходимо, кроме всего прочего создание модели рельефа для определения состава и структуры поверхности дна и геоморфологического обоснования [4].

Концепция создания единой базы геоакустических данных дна важных морских акваторий

В соответствии с решаемыми задачами оптимальный вариант базы геоакустических данных по морскому дну должен включать следующие необходимые системы:

– системы сбора и хранения первичных данных обследований и построения карт в соответствии с требованиями гидрографии. Основными требованиями являются: необходимость хранения первичных данных, полученных непосредственно в ходе съемки; наличие исчерпывающей информации об условиях проведения съемки и характеристиках используемой при съемке аппаратуры. Должна быть обеспечена возможность формирования цифровых карт и баз данных по результатам первичных наблюдений. Важной особенностью первичных данных является их фрагментарность, однако, их объем должен быть достаточен для автоматической компьютерной обработки данных. Это подразумевает наличие подробной информации об отдельных ограниченных акваториях мо-

рей, представляющих практический интерес с точки зрения проведения строительных работ, освоения шельфа и т.п.;

- системы цифровых моделей отдельных акваторий в виде баз данных по рельефу и структуре дна. Построение цифровых моделей происходит в условиях резкого дефицита данных. Особенностью цифровых моделей является недопустимость фрагментарности, т.е. информация о дне в виде трехмерной цифровой модели дна и верхнего слоя грунтов должна быть для всей акватории. Учет рельефа и структуры дна моря представляет значительный интерес для пользователей (создающих или эксплуатирующих гидроакустические средства подводного наблюдения) и является важным фактором повышения качества как прогноза потенциальной дальности действия этих средств (в системах гидрологических расчетов), так и обработки гидроакустической информации (в виде оценки передаточной функции морской среды);

- системы хранения, систематизации и интегрирования вновь поступивших данных в цифровые геоакустические модели.

Совмещение достаточно разнородных требований к структуре единой базы геоакустических данных делает весьма сложной задачу ее создания для всего объема имеющейся информации о дне морей.

В Российской Федерации, к сожалению, отсутствует единый центр хранения и обработки всей геологической, геофизической, геоморфологической, гидрографической, гидрофизической информации в части описания морского дна и водной толщи. На сайте ФГУП НТЦ Информрегистр (<http://www.inforeg.ru/>) можно провести поиск зарегистрированных баз и банков данных по ключевым словам. Например, по ключевому слову «Геология» пользователь получает список из более 320 (!) баз данных.

Существенными недостатками, влияющими на эффективность информационного обеспечения морской деятельности, являются:

- отсутствие единых стандартизированных подходов к созданию баз данных по акустическим характеристикам морского дна, предназначенных для решения гидроакустических задач;

- наличие большого количества технико-программных решений в части доступа к данным, способов хранения, сжатия, визуализации данных, использование далеко не всегда апробированных методов анализа и прогноза параметров состояния морей и океана;

- жесткая регламентированность и техническая обособленность информационных потоков, которая затрудняет доставку необходимого набора ресурсов в нужное место и в необходимые сроки и не позволяет пользователям выполнять совместный анализ различной информации для принятия решений в реальном масштабе времени в процессе морской деятельности;

- низкая эффективность использования дорогостоящих данных и применяемого вычислительного оборудования в связи с необходимостью адаптирования или наращивания средств пользователя для обработки информации в интересах принятия решений.

Прямых измерений акустических параметров морского дна крайне мало. Поэтому необходимо использование всех возможных дополнительных геолого-геоморфологических данных, которых за всю многолетнюю историю морских исследований накоплено уже достаточно много.

Основу базы данных составляют первичные параметры, характеризующие строение рельефа дна (гидрография и геоморфология), строение поверхностных осадков, осадочной толщи и их физические свойства (геология и геофизика), акустические свойства водной среды и морского дна (гидрофизика и геоакустика), т.е. создание достоверных баз данных возможно на стыке нескольких отраслей знаний.

Технологии геоакустического моделирования морского дна

В условиях дефицита данных одним из главных источников информации для наполнения баз данных о геоакустических характеристиках морского дна на крупные акватории являются результаты геоакустического моделирования. Под «геоакустическим моделированием» понимается создание модели распределения акустических параметров для конкретной области морского дна с использованием всей информации об этой области и дне Мирового океана [5].

Характеристики акватории, необходимые для формирования геоакустической модели:

- генеральный рельеф;
- характер распределения поверхностных осадков;
- строение осадочной толщи и физические свойства грунтов;
- вертикальные профили скорости продольных и поперечных звуковых волн, плотности и коэффициента поглощения;
- статистические характеристики неоднородности акустических свойств дна;
- коэффициенты донного рассеяния.

В общем случае отдельные компоненты геоакустической модели могут быть представлены рядом поверхностей или «послойных файлов», а их интегрирование в одну модель можно осуществлять при помощи программного пакета ArcGIS.

Понимание причин возникновения тех или иных форм рельефа и структур морского дна лежит в основе геоакустического моделирования морского дна. При моделировании рельефа крупных акваторий в условиях резкого дефицита отметок глубин *создание моделей должно строиться не на формальном принципе сопоставления глубин, а на научном понимании природных процессов*, которые привели к его образованию. Геологический подход на основе морфологической, литологической и структурной типизации и районирования – наиболее рациональный путь геоакустического моделирования [5]. Систематизация, типизация, районирование, а также прогнозирование недостающей информации имеют решающее значение. На морском дне можно выделить области, в каждой из которых изменения геолого-геоморфологических параметров относительно невелики. Эти области дна разделены геологическими границами, и любая из них может быть описана акустическими, геологическими, геофизическими, геохимическими, биологическими и другими параметрами, которые, в целом, взаимосвязаны. Представление морского дна как совокупности типичных геологических объектов дает возможность наиболее полно использовать информацию о морском дне. Основное различие между геоакустическим районированием и типизацией состоит в том, что при типизации главный критерий - качественные различия, а при районировании – количественные.

Рельеф шельфа формируется в результате непрерывного, исторически обусловленного развития природных эндогенных, экзогенных и, отчасти, антропогенных процессов. Эндогенные факторы, связанные с внутренней «глубинной» энергией Земли, определяют формирование наиболее крупных его элементов: впадин, возвышенностей, желобов и т.п. Экзогенные факторы (или внешние факторы, обусловленные энергией Солнца) создают формы рельефа, которые значительно меньше по размерам и осложняют современный облик структурной поверхности шельфа. Как правило, геологические структуры, в большей или меньшей степени, переработаны современными и древними экзогенными процессами. По морфометрическим признакам, рельеф шельфа, с некоторой долей условности, можно разделить на следующие группы (см. таблицу).

Направленность экзогенных рельефообразующих процессов и интенсивность их проявления изменяются во времени и пространстве, что во многом определило наличие различных типов рельефа и многообразие осадков как на поверхности дна, так и по разрезу осадочной толщи. В связи с этим следует различать экзогенные факторы, влияющие

на процессы образования рельефа в настоящее время (современные) и в прошлые эпохи (палеогеографические). Современный рельеф шельфа арктических морей образован в результате чередования ледниковых и межледниковых природных обстановок и сопутствующих им колебаний уровня Мирового океана, которые привели к формированию на структурах дочетвертичного фундамента морфогенетических комплексов ледникового, ледниково-морского, морского и субаэрального происхождения. На обширном шельфе российской Арктики происходили неоднократные понижения и повышения уровня океана, преимущественно связанные с глобальными изменениями климата и развитием огромных оледенений в холодные эпохи. На эволюцию современного рельефа шельфа наибольшее влияние оказало последнее (вюрмское) оледенение, которое сопровождалось сильным похолоданием, развитием покровных ледников и глубокой регрессией Мирового океана. Уровень моря понизился до 100–130 м, а в районах тектонического погружения (баренцево-карский шельф) – до 150–160 м от современных значений. С точки зрения палеогеографического развития в Северном Ледовитом океане существуют два основных типа шельфов: гляциальный, подвергавшийся воздействию четвертичных покровных ледников и перигляциальный – не подвергавшийся их существенному воздействию. К первому типу относятся шельфы Норвежского и Баренцева морей, окраина Канадского Арктического архипелага и Гренландии; ко второму – шельфы арктических морей от Карского до Бофорта [6–8].

Таблица

Морфометрические характеристики рельефа шельфа

Морфометрические группы рельефа	Структурно-геоморфологическая принадлежность	Размер
Мегарельеф	Шельф в целом, как крупнейший структурный элемент в планетарном плане	В Арктике – ширина от береговой линии до бровки шельфа – тысяча км и более, перепад высот, как правило, около 200 м. В Баренцевом море перепад глубин, учитывая своеобразие структурного строения, до 400 м.
Макрорельеф	Протяженные равнины, крупные структурные поднятия и депрессии, как правило, структурно обусловленные (Адмиралтейский вал, Южно-Новоземельский желоб и т.д.)	Протяженность – сотни км, перепад высот до 100 м и более (в Баренцевом море – 300 м и более).
Мезорельеф	Как правило, экзогенные формы рельефа, формирование и развитие которых связано с особенностями палеогеографии, или проявления современных процессов, а также неотектоники (затопленные бары, моренные валы, горсты, грабены и пр.)	Протяженность до 100 км (обычно первые десятки км и менее). Перепад высот – десятки метров.
Микрорельеф	Исключительно экзогенный рельеф, связанный с проявлением современных процессов (знаки ряби, биотурбационные признаки и т.д.)	Относительная высота (глубина) – как правило, не более метра.

Таким образом, практически вся площадь арктического шельфа являлась ареной широкомасштабных экзогенных преобразований. С регрессивными этапами развития рельефа связаны существенная переработка, дифференциация донных осадков гидрогенными (преимущественно волновыми и флювиальными) процессами, а также формирование различных ледниковых, волновых аккумулятивных и абразионных, эоловых и других экзогенных (скульптурных) форм рельефа. Благодаря деятельности покровных

ледников существенные изменения претерпели первично тектонические и эрозионные формы рельефа, что привело к формированию фиордовых, фиардовых и шхерных берегов, а на шельфе – подводных фиордовых долин, окраинных желобов и т.д.

В настоящее время на прибрежном мелководье (подводном береговом склоне) доминируют волновые процессы, в то время как на более мористых участках преобладают процессы аккумуляции. В целом, прибрежное мелководье является наиболее динамичной областью и за время сильных штормовых явлений она может быть кардинально преобразована в течение нескольких часов и суток, а в условиях возможного потепления климата интенсивность подобных воздействий будет увеличиваться. Средняя и нижняя зоны шельфа характеризуются преобладанием современных аккумулятивных процессов, во многом связанных с процессами осаждения взвеси (нормального осадконакопления). Эти процессы контролируются течениями, циркуляционными вихрями, экстремальными волнениями и т.д. В сильно ледовитых районах велика роль подледного осадконакопления (Восточно-Сибирское море), доля которого постепенно уменьшается в связи с деградацией ледового покрова Арктики. Средняя и нижняя части шельфа достаточно статичны и изменения (динамика) рельефа, по сравнению с водной толщей, происходят достаточно медленно. Исключение составляют Горло Белого моря и Горло Чешской губы (где очень значительные приливные движения), а также Берингов пролив. Значительное воздействие течений на формирование рельефа отмечается в проливах (Лонга, Карские Ворота и др.), а также крупных эстуариях (Хатанга) и, вероятно, в крупных желобах в районе бровки шельфа.

Рассмотрим подробно *технологии создания модели рельефа дна на примере Баренцева моря*. Основой для создания модели рельефа дна являются навигационные карты различных масштабов, где на каждой карте в дополнение к существующим проводятся новые изобаты через определенный шаг. Сечение этих дополнительных изобат определяется возможно полным отображением имеющихся эндогенных и экзогенных форм рельефа, которые выделяются при комплексном анализе всей доступной информации по дну. Далее производилось сканирование растровой информации, обработка растровых образов, векторизация и трансформация векторных слоёв в реальные географические координаты, пересчет векторных слоёв отдельных листов карт из исходной проекции Меркатора в проекцию North_American_1927, Spheroid Clarke_1866 (decimal degrees), редактирование, сбивка листов, внесение изменений, корректировка цифровых моделей карт, проверка информации атрибутивных таблиц в Arc View и создание цифровой модели (рис. 1).

Проверка сопоставления цифровой модели рельефа с натурными данными проводилась в 21 рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в одном из районов южной части Баренцева моря в период с 05 по 16 июня 2005 г. Технические средства и средства измерений включали: штатные системы НИС «Академик Сергей Вавилов», в том числе аппаратуру спутникового позиционирования – «GPS», «РЛС», бортовой комплекс средств связи; параметрический профилограф «Atlas Parasound», гидрографический и навигационный эхолоты и зонды для измерения гидрофизических характеристик.

Натурный эксперимент проводился в условиях резко расчлененного рельефа с перепадом глубин более 100 м. Сигналы эхолота-профилографа вместе с навигационной информацией, временем и глубиной, записывались в цифровом виде. При обработке сигнала учитывалась реальная поправка на прохождение по профилю скорости звука.

В тех же координатах и с той же частотой была сделана выборка глубин из созданной модели рельефа (рис. 2).

Среднее значение разностей измеренного рельефа и рельефа, полученного из базы данных, составило около 4–6 %. В указанную разность входят инструментальная, картографическая и гидрографическая погрешности.

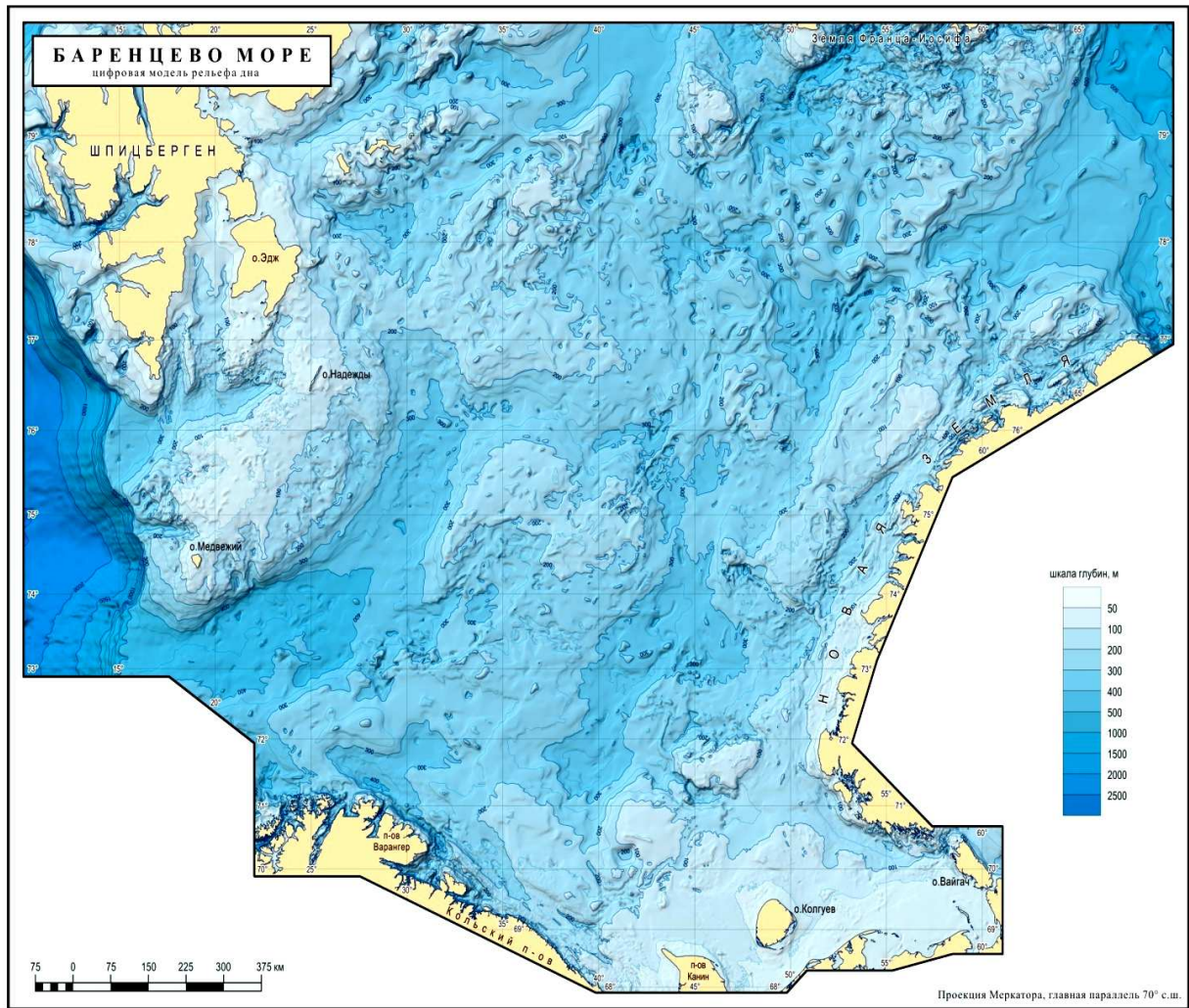


Рис. 1. Цифровая модель рельефа Баренцева моря (картографическая версия).

Сравнение данных профилирования морского дна при проведении натурального эксперимента с аналогичными профилями, построенными по модели, свидетельствует о хорошем соответствии в строении генерального рельефа.

В распределении поверхностных отложений и, в значительной степени, строении верхней осадочной толщи наблюдается отчетливая связь с современной поверхностью рельефа дна и его отдельными формами. Поэтому картирование поверхностных осадков проводилось по карте рельефа.

Основой первичных данных о поверхностных отложениях являлись пробы, полученные в натуральных условиях с помощью дночерпателей и геологических трубок различных типов и модификаций (для характеристики осадочной толщи дополнительно используются данные сейсмоакустического профилирования и бурения). В лабораторных условиях, как правило, определялись: гранулометрия, минералогия осадков и их физические свойства (плотность, пористость, вязкость, упругость, влажность и пр.), а также другие параметры, что позволяет рассчитать значения скорости распространения продольных и поперечных акустических волн [1, 9].

Поскольку отбор проб осадков проводится в ограниченном числе точек, то основной задачей обработки геолого-геоморфологической информации является обобщение точечных натуральных данных на площадь района обследования. Геоакустические параметры, измеренные по образцам осадков, можно связывать с типом осадка. Такой подход позволяет экстраполировать полученные данные на большие площади дна. Однако

на дне, как правило, преобладает смешанный тип осадков и в дальнейшем данная классификация потребует существенных уточнений и, желательно, проведения акустических исследований в натурных условиях. Для создания карт поверхностных осадков применялась методика аналогичная той, что использовалась при создании цифровой модели рельефа.

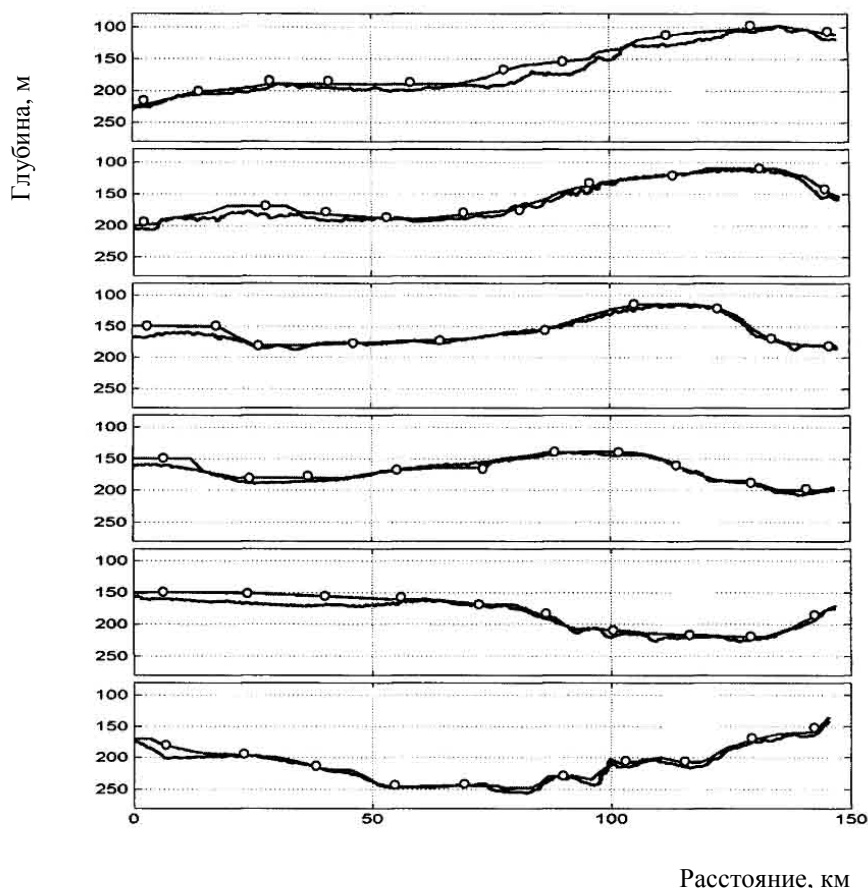


Рис. 2. Фрагменты профилей рельефа морского дна для шести акваторий Баренцева моря:
(—) - профиль, полученный в ходе натурального эксперимента;
(—○) - профиль из базы данных геоакустической модели.

Природные процессы в прошлом сформировали, в целом, слоистую толщу морских осадков различной мощности и выраженности. Для характеристики осадочной толщи необходимо проведение комплексного анализа сейсмоакустических (параметрическое профилирование, глубинное сейсмическое зондирование и т.п.) и геологических данных (бурение, описание геологических трубок и пр.). Формирование основных акустических границ, в целом, связано с крупными, а подчас глобальными, палеогеографическими событиями.

Данные бурения позволяют получить геологические параметры слоя по вертикали (включая возраст и данные по физическим свойствам осадков), а результаты сейсмического профилирования позволяют описать изменения мощности каждого слоя в пространстве. Таким образом, возможно построение серии поверхностей изопакит (карт мощностей) для разных возрастных срезов (например, мощностей голоценовых, четвертичных отложений и т.д.) (рис. 3).

Методика создания модели древних поверхностей, с учетом изменения их мощностей в пространстве, аналогична построению модели рельефа морского дна. Все методи-

ки создания цифровых моделей сводятся к тому, что на выходе образуется однородная информация, связанная друг с другом посредством географической привязки. Это позволяет, во-первых, легко добавлять новые тематические слои, а во-вторых, при изменении параметров (тем) можно легко менять другие, взаимосвязанные параметры.

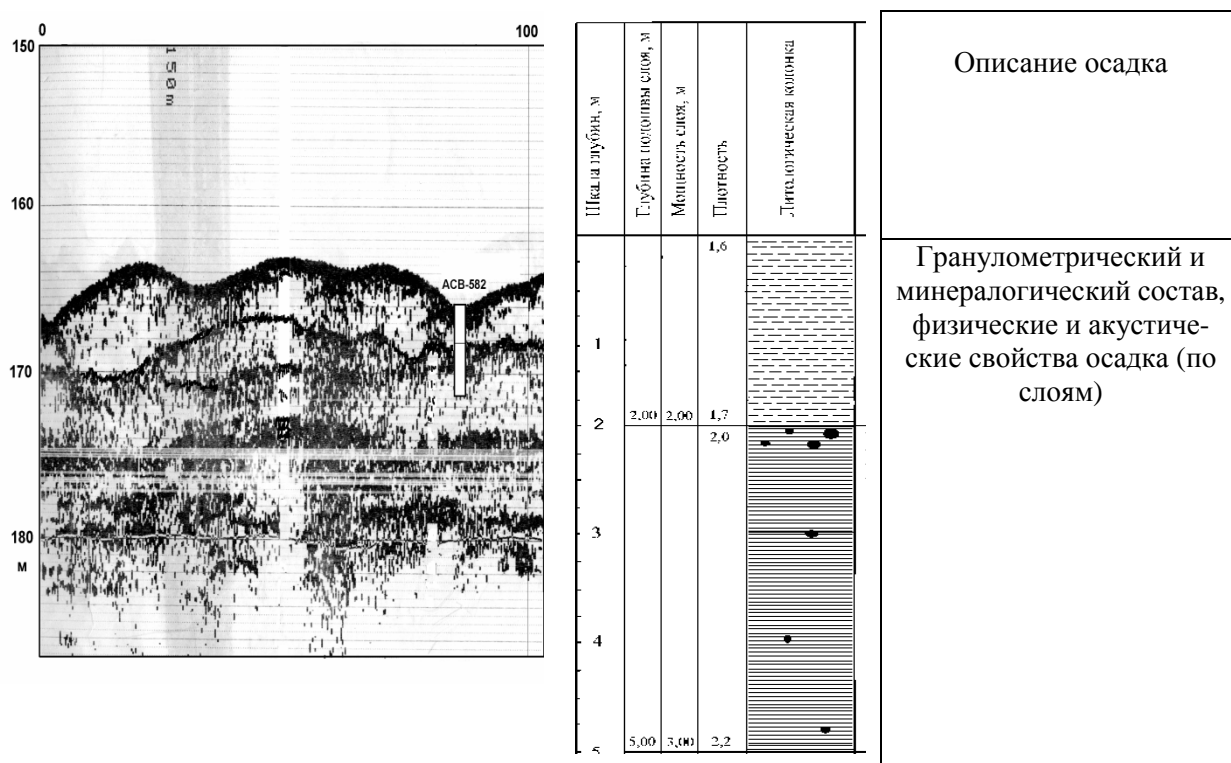


Рис. 3. Пример возможного совмещения данных геологического опробования (керна, колонки отложений) и параметрического профилирования для характеристики основных осадочных слоев.

Следует отметить, что до настоящего времени недостаточно проработан вопрос об источниках первичной информации по частотно-угловым зависимостям коэффициентов донного рассеяния, что необходимо для расчёта донной реверберации. Косвенно эти коэффициенты можно связать с микрорельефом, акустическими свойствами поверхностных осадков и параметрами их неоднородности, количеством грубообломочного материала, бентической фауны и флоры, а также процессами биотурбации.

Предлагаемая концепция дает возможность разработать эффективный алгоритм, описывающий все этапы геоакустического моделирования морского дна. Представляется крайне перспективной реализация геоакустического моделирования морского дна на основе информационной системы, использующей современные достижения в области аппаратных и программных средств.

Перспективный комплекс гидроакустических средств мониторинга морской акватории и дна

Для дистанционного изучения рельефа морского дна, получения акустических изображений донной поверхности и определения характеристик грунта традиционно используются эхолоты, гидролокаторы бокового и кругового обзора, многолучевые эхолоты и профилографы. В ОАО «Концерн «Океанприбор» выполняется опытно-конструкторская работа по созданию комплекса аппаратуры, решающего задачи мони-

торинга морского дна и обладающего конкурентоспособными характеристиками по сравнению с мировыми аналогами.

В состав комплекса гидроакустических средств «Карта» входят:

- многолучевой эхолот, реализующий мониторинг поверхности дна и трехмерную съемку рельефа дна методом бокового обзора;
- гидролокатор бокового обзора для мониторинга поверхности дна и поиска на поверхности дна с аппаратурой, реализующей алгоритмы повышения разрешающей способности методом синтезированной апертуры;
- профилограф для изучения тонкой структуры верхних слоев осадочных пород с линейной широкополосной и параметрической антеннами;
- единая система сбора информации от гидроакустических систем комплекса и от датчиков движения и навигации с архивированием данных в цифровой форме в международно-признанном формате;
- погружаемый измеритель скорости звука с датчиком глубины;
- аппаратура и программное обеспечение обработки и отображения информации, формирования трехмерного отображения водной среды и рельефа дна.

Создаваемый комплекс гидроакустических средств должен решать следующие задачи:

- трехмерная съемка рельефа дна;
- поиск крупноразмерных и малоразмерных объектов на дне;
- обзор поверхности дна с высоким разрешением;
- стратификация верхних слоев осадочных пород с высоким разрешением и определение толщи и типа грунта;
- архивирование информации;
- формирование отчетных материалов поиска, съемки рельефа дна и грунтовой съемки;
- планирование съемки рельефа дна, грунтовой съемки и поиска объектов на дне.

Оптимальным для современного этапа развития судовых радиоэлектронных средств является объединение гидроакустических средств и информационных датчиков в единый комплекс. В качестве интегрирующего элемента для создания комплекса может быть единая система сбора и обработки информации.

Комплексирование производится на основе создания единого пульта управления и отображения информации, использования единого накопителя для регистрации информации, использования единых средств для ввода навигационной информации и параметров движения и объединения ее с гидроакустической информацией для архивирования и формирования отчетных материалов по результатам съемки, использования единой системы электропитания для формирования напряжений необходимого качества и распределения по потребителям.

Такое построение позволяет существенно упростить структуру судовой системы информационного обмена: информация от датчиков и гидроакустических систем поступает только на пультный прибор комплекса, где и происходит формирование информационных массивов, предназначенных для архивирования.

При проектировании комплекса в качестве базовых приняты следующие критерии:

- построение гидроакустических средств, решающих самостоятельные задачи, функционально законченными с целью возможности выделения их в самостоятельные изделия;
- обеспечение возможности самостоятельной поставки каждого функционально законченного элемента (при добавлении пультного прибора);
- унификация интерфейса управления и отображения для различных гидроакустических средств;

- использование стандартных интерфейсов для организации управления составными частями и передачи данных;
- архивирование информации в международном формате;
- унификация аппаратуры, конструктивных решений и технологий для создания и изготовления составных частей комплекса.

Комплекс разрабатывается как базовый. Это достигается реализацией модульного принципа построения его аппаратуры и программного обеспечения, а также технической, программной и информационной совместимостью всех его составных частей. Комплекс должен предусматривать возможность формирования (методом агрегатирования) различных модификаций для оснащения гидрографических и исследовательских судов, береговых центров обработки.

Модульное построение комплекса и его трехуровневая архитектура (первичные датчики, система сбора информации реального времени, система апостериорной обработки) придают структуре возможность на основе базового варианта формировать различные комплектации и модификации, удовлетворяющие требованиям заказчиков. Применение стандартных интерфейсов для связи между подсистемами комплекса и для связи с внешними системами создает условия для отдельной модернизации отдельных подсистем, а также позволяет включать в состав комплекса и интегрировать с ним системы мониторинга других разработчиков.

Комплекс должен решать следующие задачи на шельфе в диапазоне глубин от 50 до 2000 м:

- проведение съемки рельефа дна по категории 1 (в соответствии с требованиями МГО) и выделение неровностей рельефа дна типа куб со стороной 5...10 % от глубины;
- стратификация грунта дна и дистанционную классификацию типа верхнего слоя донных осадков;
- поиск крупноразмерных и малоразмерных объектов на дне на глубинах до 1000 м.
- допоиск и обследование обнаруженных объектов, инженерных сооружений на дне;
- планирование и обработку результатов съемки рельефа дна и грунтовой съемки;
- формирование отчетных материалов по съемке рельефа дна и грунтовой съемке в формате (виде), соответствующем общепризнанным стандартам.

Создаваемый комплекс предназначен для размещения на надводном судне, проектируется с учетом эксплуатации в условиях северных морей и может обеспечивать решение указанных задач в интересах:

- обеспечения инженерных работ на шельфе;
- составления карт;
- обеспечения геологических изысканий на шельфе;
- инспекции оборудования, размещенного на дне (трубопроводов и т.п.);
- поиска крупноразмерных объектов на грунте;
- обеспечения аварийно-спасательных операций.

Техническими особенностями реализации гидроакустических средств комплекса является:

- использование технологии формирования (излучения) и обработки широкополосных (ЛЧМ) сигналов в гидролокаторе бокового обзора и профилографе для повышения энергетического потенциала и разрешающей способности по дистанции (глубине);
- использование метода синтезированной апертуры для обеспечения высокой разрешающей способности (0,1-0,2 °) в гидролокаторе бокового обзора;

– построение профилографа как измерительной системы и обработка сигналов профилографа для формирования классификационных признаков с целью решения задачи дистанционной классификации верхнего слоя донных осадков и оценки залегания плотных грунтов.

Информация по параметрам крена, дифферента, вертикальных перемещений судна, а также о вертикальном распределении скорости звука используется для автоматической коррекции данных, измеренных многолучевым эхолотом. Объединение информации от многолучевого эхолота и датчика системы DGPS в процессе съемки обеспечивает формирование цифровой модели рельефа дна.

Наличие в составе комплекса автоматизированного рабочего места для апостериорной (камеральной) обработки информации позволяет оперативно на судне формировать отчетные материалы.

Таким образом, в базе геоакустических данных по морскому дну представлены три взаимосвязанные системы: (1) сбора и хранения первичных данных обследований и построения карт в соответствии с требованиями гидрографии; (2) цифровых моделей отдельных акваторий в виде баз данных по рельефу и структуре дна; (3) хранения, систематизации и интегрирования вновь поступивших данных в цифровые геоакустические модели.

Цифровое моделирование рельефа является главной составляющей при создании морских геоинформационных систем, отражающих различные характеристики шельфов. Характеристики акватории, необходимые для формирования геоакустической модели, должны быть следующие: генеральный рельеф; характер распределения поверхностных осадков; строение осадочной толщи и физические свойства грунтов; вертикальные профили скорости продольных и поперечных звуковых волн, плотности и коэффициента поглощения; статистические характеристики неоднородности акустических свойств дна; коэффициенты донного рассеяния.

Природные процессы в прошлом сформировали, в целом, слоистую толщу морских осадков различной мощности и выраженности. Формирование основных акустических границ, в целом, связано с крупными, а подчас глобальными, палеогеографическими событиями. Данные бурения позволяют получить геологические параметры слоя по вертикали (включая возраст и данные по физическим свойствам осадков), а результаты акустического профилирования позволяют описать изменения мощности каждого слоя в пространстве. Геоакустическая модель также состоит из ряда послойных файлов, которые характеризуют выделенные слои осадков, причем по мере детализации натурального исследования возможно их неограниченное увеличение в модели, что несомненно повышает достоверность информации, представляемой пользователям.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта от 14 июня 2007 г. № 02.515.11.5035 с Роснаукой и частично РФФИ (№ 09-05-00299).

Литература

1. Гамильтон Э.Л. Геоакустические модели морского дна / В кн. Акустика морских осадков. Под ред. Л.Хэмптона. Пер. с англ. М.: Мир, 1977.
2. Авилов К.В. Псевдодифференциальные параболические уравнения распространения звука в океане, плавно неоднородном по горизонтали, и их численное решение // Акуст. журн. 1995. № 1. С.5–12.
3. Авилов К.В. Современные численные модели звуковых полей в Океане и их приложение к решению практических задач гидроакустики // Тр. VIII Межд. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб: Наука, 2006. С.5–10.

4. *Фридман Б.С.* Результаты гидрографических исследований и картографирование рельефа дна Арктического бассейна для определения внешней границы континентального шельфа России в Арктике. СПб.: Наука, 2007. С.208.
5. *Аверьянов С.Б., Ильин А.В.* Концепция геоакустического моделирования дна океана. Проблемы геоакустики: методы и средства. Сб. тр. // Под ред. В.С.Ямщикова. М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 1996. С.54–57.
6. *Павлидис Ю.А., Ионин А.С., Щербаков Ф.А., Дунаев Н.Н., Никифоров С.Л.* Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. М., ГЕОС, 1998. С.187.
7. *Ионин А.С.* Рельеф шельфа Мирового океана. М.: Наука, 1992.
8. *Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л.* Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. М.: Наука, 2007. 455 с.
9. *Buckingham M.J.* Compressional and shear wave properties of marine sediments: Comparisons between theory and data // J. Acoust. Soc. Am. 117. 2005. P.137–152.

Статья поступила в редакцию 19.07.2010 г.

