

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

«РЕКОНСТРУКЦИЯ СТРУКТУРЫ МОРСКОГО ДНА

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГЕРЕНТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ»,

представленную Калининой Верой Игоревной

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.06 – Акустика

Диссертационная работа Веры Игоревны Калининой посвящена разработке методов реконструкции структуры морского дна при использовании в качестве зондирующих сигналов когерентных широкополосных акустических импульсов и исследованию возможностей оценки параметров донных слоев в рамках развиваемого подхода.

Целью диссертационной работы является развитие физических и численных моделей формирования когерентных сложных акустических импульсов, рассеянных в упругом слоистом дне, с учетом донной и поверхностной реверберации; разработка алгоритмов реконструкции геоакустических параметров морского дна, а также анализ статистических характеристик и исследование устойчивости к шумам восстанавливаемых параметров донных структур путем численного стохастического моделирования и на основе данных как лабораторных, так и натуральных экспериментов.

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью развития новых методов реконструкции характеристик донных слоев с целью повышения разрешающей способности и достоверности результатов восстановления. В диссертационной работе показано, что эта задача может быть решена за счет использования широкополосных когерентных источников относительно малой мощности, что обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими методами зондирования дна с использованием пневмоисточников. В случае применения маломощных широкополосных излучателей требуемого при сейсморазведке отношения сигнал/помеха можно достичь путем комбинирования методов когерентного частотного, пространственного и временного накопления, что демонстрируется в работе. В связи с этим актуальность диссертационной работы В.И. Калининой, а также полученных ею результатов, не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, трех оригинальных глав, содержащих материал, выносимый на защиту, заключения, где описываются основные результаты, и списка литературы. Список литературы состоит из 130 наименований, включая 34 публикаций автора по теме диссертации. Общий объем диссертации составляет 159 страниц и включает 67 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, описываются существующие к настоящему времени методы и средства акустического зондирования морского дна, анализируются недостатки и преимущества используемых на практике алгоритмов реконструкции характеристик донных структур.

В первой главе приводится подробное описание модели формирования сложных акустических импульсных сигналов в море в результате рассеяния в слоистом дне, учитывающая случайные неоднородности рельефа дна и наличие ветрового волнения. Обсуждается используемая в работе схема зондирования морского дна, состоящего из набора упругих слоев, когерентными сложно модулированными импульсами. Приводятся основные уравнения, на основе которых была разработана численная модель и описываются условия ее применимости. В рамках численного моделирования анализируется структура принимаемых сигналов и реверберационных компонент, формирующихся при отражении от свободной взволнованной поверхности воды и случайных неоднородностей рельефа дна. Показано, что развитая модель позволяет проводить детальное исследование взаимосвязей основных параметров задачи и на этой основе оптимизировать решающие правила, обеспечивающие максимальное накопление полезных сигналов. Особое внимание уделяется исследованию влияния аддитивных шумов, что является важным аспектом при обработке экспериментальных данных. Следует отметить, что помимо результатов численного моделирования, в первой главе анализируются и экспериментальные данные измерения шумов.

Во второй главе описывается предлагаемый в диссертации алгоритм послойной реконструкции строения морского дна при когерентном акустическом зондировании. С использованием разработанного программного комплекса, на основе методов стохастического моделирования, проводится исследование возможностей и ограничений алгоритмов реконструкции геоакустических параметров морского дна, в том числе, исследование их устойчивости к шумам, присутствующим в исходных данных. В качестве искомым параметров каждого слоя при решении обратной задачи оцениваются его толщина, плотность, продольная и поперечная скорости звука.

Для дополнительного увеличения отношения сигнал/помеха в диссертационной работе предложен алгоритм когерентного траекторного накопления, который позволяет заметно повысить достоверность результатов реконструкции, что демонстрируется в следующих главах при анализе результатов обработки экспериментальных данных.

Само решение обратной задачи оценки параметров дна осуществляется с использованием различных функционалов невязки. Приводятся описывающие их формулы, а также результаты их использования при численном моделировании, включая анализ робастности при оценке геоакустических параметров донных слоев.

Третья глава диссертационной работы В.И. Калининой посвящена экспериментальной апробации рассматриваемого метода когерентной реконструкции структуры морского дна. Следует отметить, что эксперименты проводились как в рамках

физического моделирования в лабораторных условиях в гидроакустическом бассейне, так и в реальных морских условиях в Каспийском и Черном морях.

Проведенная серия лабораторных экспериментов позволила продемонстрировать работоспособность развитого метода решения прямой задачи, а также алгоритмов решения обратной задачи при восстановлении параметров модельного слоя. На основе полученных результатов предложены методы повышения отношения сигнал/помеха за счет различных способов когерентного накопления акустических сигналов, возможности ослабления реверберационных помех и шумов при использовании импульсного стробирования, за счет выбора оптимального относительного положения излучателя и приемника, а также благодаря отключению привода механизма перемещения каретки гидрофона, который вносил заметный вклад в аддитивные помехи при измерениях. В итоге удалось повысить отношение сигнал/помеха на 40 дБ и получить восстановление характеристик исследуемого модельного слоя с требуемой точностью.

На основе обработки данных натуральных экспериментов, проведенных в Каспийском и Черном морях, в диссертационной работе демонстрируется высокая эффективность использования когерентных маломощных широкополосных излучателей для решения задач реконструкции глубинных структур дна. На экспериментальных данных, полученных в Каспийском море производится апробация предложенного метода когерентного траекторного накопления, который позволил дополнительно увеличить отношение сигнал/помеха от 10 до 15 дБ. В итоге удалось на экспериментальных данных внятно продемонстрировать преимущества рассматриваемого широкополосного зондирования дна по сравнению с использованием мощных пневмоисточников: на глубинах залегания донных слоев порядка 500 м удалось надежно выявить ранее не наблюдаемую нижнюю кромку газонасыщенных слоев (рис. 3.21). В свою очередь, обработка экспериментальных данных, полученных в мелководном районе Черного моря, показывает, что сжатие широкополосного когерентного сигнала, а также применение предлагаемых в диссертационной работе методов когерентного траекторного накопления и пространственного когерентного накопления по приемной антенне в условиях рассматриваемого эксперимента позволило дополнительно увеличить отношение сигнала/помеха на величину до 15 дБ. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности методов когерентной широкополосной сейсмоакустики в задачах восстановления геоакустических характеристик глубинных структур дна.

В Заключении диссертационной работы сформулированы основные результаты.

Представленная диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями «Положения о порядке присуждения ученых степеней», написана ясным языком, подтверждает высокий уровень научной квалификации автора, а также его глубокие знания актуальных задач морской акустики и способность получать значимые научные результаты.

Достоверность представленных результатов определяется тем, что в диссертационной работе в качестве основы для разработки физико-математических моделей и алгоритмов реконструкции использованы известные теоретические подходы, современные методы численного моделирования и обработки экспериментальных данных, а также проведена верификация новых методов на основе сравнения данных численного моделирования с реальными натурными наблюдениями.

Новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней предложен и развит новый перспективный метод реконструкции слоистой структуры морского дна, основанный на использовании когерентных акустических импульсов. Также, на основе результатов численного моделирования и обработки данных натурных экспериментов показана возможность реконструкции параметров морского дна с высокой точностью в рамках развиваемого автором подхода при совместном использовании маломощных когерентных акустических источников и апостериорной обработки когерентных сигналов, что является новым практически важным результатом. Определенной степенью новизны обладает и разработанный в диссертационной работе итерационный алгоритм послойной реконструкции геоакустических параметров морского дна, возможности которого исследованы методом стохастического моделирования.

Несомненным достоинством диссертационной работы В.И. Калининой является экспериментальная апробация алгоритмов оценки параметров морского дна с использованием когерентных акустических зондирующих импульсов в условиях физического моделирования и в натуральных условиях мелководных районов Каспийского и Черного морей.

Теоретическая и практическая значимость работы определяются важностью разработанных автором теоретических подходов описания сейсмоакустического поля в сложнопостроенной геофизической среде, образованной нестационарным водным слоем и неоднородным упругим полупространством, а также результатами, полученными при разработке практических методов восстановления геоакустических параметров глубинных структур дна на основе использования когерентных акустических источников малой мощности. Практическая значимость работы определяется в том числе и возможностью применения результатов диссертации при сейсморазведке в мелководных районах окраинных морей, в шельфовых районах, а также при контроле состояния морского дна при проведении подводных инженерных работ, особенно в тех случаях, когда требуется минимизация вредного воздействия акустических сигналов на морскую экосистему.

Следует отметить некоторые недостатки диссертационной работы:

1. Результаты апробации предложенных в диссертации методов восстановления характеристик дна по данным, полученным в ходе морских экспериментов, изложены недостаточно подробно, хотя это относится к одним из основных результатов работы. Для экспериментов в Каспийском море результаты восстановления параметров среды не приводятся вовсе. Для измерений в Черном море

приведена лишь одна Таблица 3.1, но в ней не указаны оценки точности восстановленных значений параметров дна.

2. При проведении натуральных экспериментов в режиме буксировки и излучатель, и приемная антенна будут иметь нестабильность по глубине. Данный фактор в работе детально не рассматривается, но требует своей оценки и учета как при первичной обработке экспериментальных данных, так и при дальнейшем анализе точности и достоверности получаемых решений.

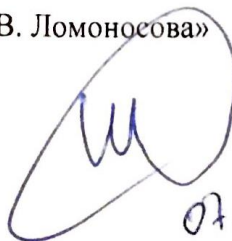
3. В работе встречаются неточности в оформлении графического материала, не всегда соблюдается единообразие используемых обозначений и величин. Например, в качестве единиц измерения времени используются с, сек, мкс, мксек и некоторые другие; вертикальная ось на рис. 1.7. имеет масштаб 10^{-13} , что соответствует «машинному» нулю, а рис. 1.11 и 3.12 абсолютно идентичны. Также имеет смысл уделять больше внимания качеству представляемого графического материала.

Отмеченные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы В.И. Калининой. Результаты работы актуальны, представляют не только теоретическое, но и практическое значение и могут быть применены при разработке и реализации схем зондирования морского дна, основанных на применении когерентных широкополосных источников. Работа выполнена на высоком содержательном уровне. Автор демонстрирует высокую квалификацию как на этапе теоретического анализа рассматриваемой проблемы, так и при разработке численных алгоритмов и обработке экспериментальных данных. Выводы и научные положения диссертационной работы представляются достоверными, обоснованными, обладают определенной степенью новизны.

Диссертационная работа в целом представляет собой законченный научный труд, основные положения диссертации в достаточной мере нашли отражение в 34 научных работах, опубликованных ведущих рецензируемых российских научных изданиях, в том числе в 11 статьях, опубликованных в журналах из списка ВАК. Работа прошла апробацию на российских и международных конференциях. Автореферат работы и публикации В.И. Калининой достаточно полно передают содержание и основные выводы работы.

Личный вклад автора в постановку задачи, получение результатов и их интерпретацию не вызывает сомнения. Соискатель продемонстрировал высокий научный уровень, глубокие знания предмета исследования, показал высокий уровень владения математическим аппаратом статистического описания сигналов и полей, а также современными методами численного моделирования. Диссертационная работа Веры Игоревны Калининой соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а сам автор, безусловно, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – акустика.

Официальный оппонент
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры акустики физического факультета Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова»



Шуруп Андрей Сергеевич

07.11.2019

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Физический факультет,
кафедра акустики
Тел.: 8-495-939-30-81
E-mail: shurup@physics.msu.ru

Я, Шуруп Андрей Сергеевич, даю свое согласие на включение своих персональных
данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую
обработку.

Подпись Андрея Сергеевича Шурупа удостоверяю:



« 7 » _____ ноября _____ 2019 г.

