

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского  
центра «Морской гидрофизический  
институт РАН»  
член-корреспондент РАН



  
Коновалов С.К.

« 22 » января 2025 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра  
«Морской гидрофизический институт РАН»  
на диссертационную работу

**Чупина Владимира Александровича**

«Трансформация волновых процессов искусственного и природного  
происхождения в зоне перехода геосфер»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 1.3.7 – Акустика

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН).

**Актуальность темы работы.** Диссертационная работа посвящена изучению распространения и трансформации низкочастотных волновых процессов природного и искусственного происхождения в зоне перехода геосфер «морское дно – земная кора» и использованию высокочувствительных разнонаправленных измерительных установок, работающих на основе лазерно-интерференционных методов. Понимание механизмов трансформации волн в переходных зонах имеет критически важное значение для решения ряда современных задач. Использование

наземного дистанционного зондирования для изучения волновых процессов различной природы позволяет не только глубже понять их природу, но и разработать новые подходы к прогнозированию и предотвращению опасных событий. В целом актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного подхода к изучению волновых процессов в геосферах и их трансформации в переходных зонах, что позволяет внести значительный вклад в развитие методов исследования природных явлений, повысить уровень безопасности и эффективности в освоении природных ресурсов, а также создать технологические решения, способствующие устойчивому развитию и защите окружающей среды.

**Структура и содержание работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 205 наименований. Объем диссертации составляет 238 страниц текста, включая 17 таблиц и 97 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи работы, а также сформулирована ее научная новизна. Описаны основные результаты исследований, их теоретическая и практическая значимость, а также представлены ключевые положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* приводится описание экспериментального сейсмоакустико-гидрофизического комплекса, применяемого при участии автора диссертации во всех защищаемых в работе исследованиях. В состав комплекса включены пространственно-разнесенная система береговых лазерных деформографов и низкочастотные гидроакустические излучающие системы. Основными измерительными устройствами комплекса являются стационарный и мобильный лазерные деформографы, построенные по принципу неравноплечего интерферометра Майкельсона, предназначенные для высокочувствительной регистрации микродеформаций земной коры в широком частотном диапазоне. Стационарный лазерный деформограф состоит из двух ортогональных измерительных осей, что позволяет проводить

исследования амплитудной модуляции сигналов. Мощные низкочастотные гидроакустические излучающие системы с электромеханическим преобразователем, имеющие частоты эффективного излучения 22 и 33 Гц, позволяют исследовать распространение и трансформацию тональных и фазоманипулированных акустических сигналов без использования больших судов. Приводится описание конструкции гидроакустических излучателей и методика их эффективного применения с использованием зависимости излучаемой мощности от заглубления. Также приводится информация о возможности модернизации основной конструкции одного из излучателей для его применения в буксируемом варианте и генерации сейсмоакустических сигналов на берегу. Приведен результат калибровки гидроакустического излучателя с частотой излучения 22 Гц, демонстрирующий уверенный прием генерируемого им сигнала береговым лазерным деформографом.

*Вторая глава* посвящена исследованиям трансформации гидроакустических волн в сейсмоакустические волны на границе геосфер.

В первом параграфе главы исследуются особенности распространения низкочастотных гидроакустических волн на шельфе убывающей глубины при их последующей трансформации в сейсмоакустические волны. Проведен ряд экспериментальных исследований с измерением плотности энергии тонального гидроакустического излучения в разных точках акватории. На основании полученных данных построены профили распределения гидроакустического давления на частоте излучения по результатам вертикального зондирования на разных частотах, а также результат трансформации гидроакустического сигнала в сейсмические волны поверхностного типа. По результатам измерений сделаны выводы о характере распространения гидроакустических волн разной частоты и о количестве гидроакустической энергии, трансформирующейся в сейсмоакустические волны на границе «вода-дно».

Во втором параграфе приводятся результаты исследования сезонной зависимости трансформации энергии гидроакустических волн на границе

геосфер. Дается описание идентичных экспериментов, проведенных автором в разное время года в одной и той же акватории. По результатам анализа экспериментальных данных трансформированной энергии гидроакустического излучения, зарегистрированной береговым лазерным деформографом, установлена значительная сезонная изменчивость трансформации энергии гидроакустического излучения.

В третьей главе исследуются особенности регистрации сейсмоакустических сигналов, генерируемых различными гидроакустическими источниками, с использованием двухкоординатного лазерного деформографа и расширения возможности измерительного комплекса с помощью пространственно-разнесенных измерительных станций. На примере конкретного судна, проходящего по маршруту вблизи измерительного полигона, показана возможность определения пеленга на значительном расстоянии от береговой линии. Приводятся результаты определения направления на источник излучения с использованием различных вариантов распространения гидроакустических колебаний от источника излучения до лазерного деформографа. При использовании мобильного лазерного деформографа был создан пространственно-разнесенный измерительный комплекс. При описании проведения экспериментальных исследований по регистрации источника гидроакустического излучения показаны результаты регистрации сейсмоакустического сигнала пространственно-разнесенной и разнонаправленной системами лазерных деформографов. Для модификации гидроакустического излучателя с возможностью буксировки приведены результаты локализации его местоположения в акватории с использованием двухкоординатного лазерного деформографа. Показана ошибка определения направления, зависящая от пространственного положения осей лазерного деформографа и особенностей измерения в шельфовой области моря. На основании многочисленных экспериментальных работ автор показал возможность регистрации и пространственного определения источников

низкочастотного гидроакустического излучения береговыми измерительными средствами.

*Четвертая глава* посвящена созданию технологии томографии земной коры в шельфовой области моря на основе применения низкочастотных гидроакустических излучателей и береговых лазерных деформографов. Для проведения исследования была определена единая методика экспериментальных исследований с радиальной и масштабной структурой распределения станций излучения и последующей обработки полученных данных. После автокорреляционной обработки принятого сигнала, в результате которой было определено время прихода отражений излученного сигнала, удалось провести анализ структуры морского дна в зоне размещения гидроакустического излучателя. Рассматривается распространение каждого прихода излученного сигнала с определением вероятных путей их распространения с учетом геологических особенностей региона. Увеличение мощности источника излучения позволило проводить томографию морского дна на более масштабных расстояниях, что также было показано в главе. Приводятся несколько примеров реализации метода томографии морского дна как на открытой воде, так и на покрытых льдом акваториях. В каждом примере автор приводит интерпретацию состава участков морского дна по трассе распространения акустического сигнала с учетом скорости каждого прихода. В заключении главы показаны результаты экспериментов с применением буксируемого источника излучения. В экспериментах судно приближалось или удалялось от берегового приемника сигнала, а также двигалось по круговой траектории с одинаковым удалением от приемника. В результате первой части эксперимента был уточнен разрез морского дна бухты Витязь по трассе излучения. В результате второй части эксперимента показана возможность построения модели верхнего слоя земной коры морского дна с возможным последующим построением пространственной модели морского дна.

В пятой главе анализируются микросейсмические колебания, вызываемые перемещающимися в регионе тропическими циклонами. Приводится общая характеристика категорий тайфунов и особенностей их траекторий при прохождении вблизи дальневосточного региона России. Показан первый результат, когда было сделано открытие микросейсмических колебаний «голос моря». Для демонстрации приведены записи синхронных данных различных приборов с анализом метеорологических параметров, регистрируемых на полигоне наблюдения. Дальнейшее исследование архивных данных позволило показать, что данные микросейсмические колебания не являются аномальными и регистрируются лазерным деформографом во многих других случаях. Приводится описание результатов регистрации микросейсмических колебаний «голос моря», анализ их зависимости от проявлений первичных и вторичных микросейсм, а также от ветра непосредственно на измерительном полигоне. Выявлена четкая зависимость между колебаниями, вызванными морскими волнами зыби, при отсутствии воздействий ветра в точке измерения. Дальнейшее описание данных регистрации микросейсмических колебаний, зарегистрированных в общей сложности от десяти тайфунов, позволило описать зависимость диапазона частот микросейсм «голос моря» от траектории перемещения тропического циклона и выделить четыре группы тайфунов. Применение методики использования двухкоординатного лазерного деформографа для определения направления на источник излучения совместно с архивными данными GFS позволило определить области генерации микросейсмических колебаний «голос моря» в прибрежных областях Японского моря.

#### **Новизна исследования и полученных результатов.**

Научную новизну составляют следующие положения, выносимые на защиту:

Сейсмоакустико-гидрофизический комплекс на основе двухкоординатного лазерного деформографа, позволяющий регистрировать

сейсмоакустические сигналы, генерируемые различными искусственными и природными источниками излучения в близлежащей акватории.

Результаты исследования трансформации гидроакустических волн в сейсмоакустические волны на границе геосфер и сезонная изменчивость характеристик трансформации гидроакустической энергии.

Результат регистрации стационарных и движущихся источников гидроакустического излучения двухкоординатным лазерным деформографом и системой пространственно-разнесенных лазерных деформографов.

Метод томографии морской земной коры на основе применения береговых лазерных деформографов и гидроакустических излучателей на открытых акваториях и акваториях, покрытых льдом.

Результат регистрации инфразвуковых микросейсмических колебаний, вызываемых длительным воздействием тропических циклонов на морскую акваторию и определение области их генерации.

#### **Обоснованность и достоверность результатов.**

Обоснованность и достоверность полученных результатов обусловлены корректной постановкой задач, воспроизводимостью данных в пределах точности эксперимента, соответствием результатов независимым опытам при совпадении параметров, а также их сопоставлением с данными, представленными другими авторами.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

Результаты диссертационной работы по изучению трансформации волновых процессов искусственного и природного происхождения в зоне перехода геосфер применялись при выполнении госпрограмм ТОИ ДВО РАН, грантов РФФИ и РНФ, Мегагранта. Результаты, приведенные в данной диссертационной работе, неоднократно докладывались автором на международных и российских конференциях.

#### **Замечания по диссертации:**

1. В работе отмечается, что была установлена сезонная изменчивость коэффициента трансформации гидроакустических волн в

сейсмоакустические волны, однако не представлено объяснение, почему так происходит.

2. Во второй главе приводятся результаты проведенных в акватории бухты Витязь исследований трансформации энергии гидроакустических волн в энергию сейсмоакустических волн. Можно ли эти результаты применять к другим акваториям?

3. Выполнен большой объем экспериментальных исследований с использованием гидроакустических излучателей, но влияние ветровой обстановки и гидрологических условий на гидроакустические сигналы не рассматривается. Как влияет изменение гидрологических условий на распространение гидроакустических волн?

4. В тексте явно не указаны ограничения методов исследования с применением сейсмоакустико-гидрофизического комплекса.

5. Соискателем открыто новое явление, получившее название микросейсм «голос моря». Первичным источником этого явления, по-видимому, являются морские поверхностные волны. Следовало бы описать возможный механизм возникновения микросейсм «голос моря» хотя бы в виде гипотезы.

#### **Редакционные замечания:**

1. В главе 5 нарушена нумерация рисунков. Один и тот же номер присвоен разным рисункам: рисунок 5.8 – стр. 180 и 193, рисунок 5.9 – стр. 180 и 195, рисунок 5.10 – стр. 187 и 196.

2. На рисунках 5.8 и 5.9 (стр. 179 и 180 соответственно), где представлены динамические спектрограммы данных лазерного деформографа, отсутствуют шкалы, показывающие каким величинам какой цвет соответствует.

Отмеченные недостатки не умаляют полученные в диссертации результаты и выводы и не влияют на общую положительную оценку работы.

**Заключение.** Диссертационная работа Владимира Александровича Чупина является законченной научно-квалификационной работой, в которой



выполнены исследования, имеющие важное научное и прикладное значение, и связаны с распространением и трансформацией низкочастотных волновых процессов природного и искусственного происхождения в зоне сопряжения гидросферы и литосферы. Проведенные В.А. Чупиным экспериментальные исследования и анализ трансформации гидроакустических волн в сейсмоакустические волны на границе геосфер можно квалифицировать как научное достижение в области акустики, которое может быть использовано при моделировании трансформации волновых процессов искусственного и природного происхождения в зоне перехода геосфер.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842. В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя. Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.7 – Акустика, в части пункта 2. «Экспериментальные методы и устройства для излучения и приёма акустических волн» и пункта 8. «Акустика природных сред (атмосферы, земной коры, океана). Атмосферная акустика. Гидроакустика. Геологическая акустика» и удовлетворяет требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Чупин Владимир Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв подготовлен на основании заключения совместного заседания Общеинститутского научного семинара и семинара Отдела дистанционных методов исследований Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» от 22 января 2025 года, протокол № 1.

Главный научный сотрудник отдела дистанционных методов исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН», доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник



Запвалов Александр Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН».

Адрес: 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Телефон: +7 8692 54 52 41

E-mail: office-mhi@mhi-ras.ru

Сайт: mhi-ras.ru

Подпись Запвалова Александра Сергеевича заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ МГИ

кандидат физико-математических наук



Алексеев Дмитрий Владимирович

