

УТВЕРЖДАЮ:

Врио директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН»,



Кубряков А.И.
«29» апреля 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федерального исследовательского центра

«Морской гидрофизический институт РАН»

на диссертационную работу

Долгих Станислава Григорьевича

«Лазерно-интерференционный комплекс для исследований геосферных процессов переходных зон»,

представленную на соискание ученой степени

доктора технических наук

по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

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 разработке и созданию лазерно-интерференционного комплекса для исследований колебаний и волн в системе «атмосфера-гидросфера-литосфера» в широком диапазоне частот, и его тестированию в полевых условиях. Измерительный комплекс предназначен, в первую очередь, для исследования трансформации возмущений в широком диапазоне частот, возникающих в одной из геосфер и переходящих в другую геосферу. До настоящего времени подобные измерительные комплексы отсутствовали.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 243 наименований. Объем диссертации составляет 275 страниц текста, включая 13 таблиц и 136 рисунков.

Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, приведена информация о степени ее разработанности, сформулированы цель работы и ее научная новизна. Приведены основные результаты работы, их теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* приводятся описания лазерно-интерференционных приборов для изучения процессов, протекающих в системе «атмосфера-гидросфера-литосфера». К таким приборам относятся лазерные деформографы, лазерные нанобарографы, лазерные гидрофоны и лазерные измерители вариаций давления гидросферы. Все эти приборы созданы на основе модифицированного интерферометра Майкельсона.

Лазерные деформографы, созданные на основе неравноплечего интерферометра Майкельсона, предназначены для регистрации вариаций микродеформаций земной коры в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10 000 Гц с точностью измерения смещений на базе прибора 0.3 нм. В качестве источника света в них применяются частотно-стабилизированные гелий-неоновые лазеры с долговременной стабильностью 10^{-9} . Лазерные нанобарографы, созданные на основе равноплечего интерферометра Майкельсона, предназначены для регистрации вариаций атмосферного давления в частотном диапазоне от 0 до 10 000 Гц с точностью 50 мкПа. Лазерные измерители вариаций давления гидросферы и лазерные гидрофоны, созданные на основе равноплечего интерферометра Майкельсона, предназначены для регистрации вариаций гидросферного давления в частотном диапазоне от 0 до 10 000 Гц с точностью 50 мкПа.

Вторая глава посвящена описанию лазерно-интерференционных комплексов для измерения вариаций деформаций земной коры,

микроколебаний атмосферного и гидросферного давлений инфразвукового и звукового диапазонов.

Лазерно-интерференционные комплексы созданы при участии автора диссертации на берегах Японского и Охотского морей. На берегу Японского моря, на МЭС ТОИ ДВО РАН «м. Шульца», сформирован комплекс, в который наряду с лазерно-интерференционными приборами входят и другие установки. В частности, него входят горизонтальные лазерные деформографы с длинами измерительных плеч 52.5 и 17.5 м и ориентацией север-юг и запад-восток соответственно, лазерный нанобарограф, лазерные измерители вариаций давления гидросферы, лазерные гидрофоны, трехкомпонентный широкополосный сейсмограф, метеостанция, гидрологические зонды, профилограф, гидроакустические и сейсмоакустический излучатели. На берегу Охотского моря, базе СКБ САМИ ДВО РАН «м. Свободный», создан комплекс, в который входят горизонтальный лазерный деформограф с длиной измерительного плеча 10.5 м и ориентацией север-юг, лазерный нанобарограф, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы, метеостанция.

В третьей главе рассмотрены особенности применения лазерно-интерференционного комплекса в гидроакустических исследованиях. В первом параграфе главы рассматриваются закономерности распространения и трансформации гидроакустических колебаний на границе вода-дно с применением низкочастотных гидроакустических излучателей, лазерных деформографов и лазерных измерителей вариаций давления гидросферы. Экспериментальные исследования проводились на лазерно-интерференционном комплексе «м. Шульца» в 2004, 2009 и 2015 годах. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что применение низкочастотного гидроакустического излучателя с центральной частотой 33 Гц и берегового лазерного деформографа возможно для диагностики морского дна. Поскольку частоты сигналов, излучаемых низкочастотными гидроакустическими излучателями 20–35 Гц, т.е. длина волны в воде около

75–40 м, а в твердой среде при скорости упругих волн около 3000 м/с примерно 150–100 м, то глубина проникновения данных сигналов в земную кору значительная.

Во втором параграфе этой главы рассматриваются экспериментальные исследования, проводимые в 2007 и 2016 годах с использованием сейсмоакустических излучателей, лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы. В результате было установлено, что на частоте излучаемого сигнала около 0.3 % энергии сейсмоакустических поверхностных волн переходят в энергию гидроакустических волн. В третьей главе также было проведено исследование вероятного взаимодействия низкочастотных гидроакустических колебаний с более низкочастотными волновыми процессами. При изучении взаимодействия низкочастотных гидроакустических волн с частотами 32, 245 и 321 Гц с морскими ветровыми волнами установлено, ветровые воны не оказывают модулирующего воздействия на гидроакустические волны.

Четвертая глава посвящена анализу возникновения, развития и трансформации колебаний и волн гравитационного и инфрагравитационного диапазонов. Анализируя данные лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и мобильного лазерного измерителя вариаций давления гидросферы за 2011 и 2012 годы было выявлено, что ветровое волнение с периодами от 2 до 5 с генерируется в бухте Витязь, а ветровое волнение с периодами от 5 до 10 с приходит из открытой части Японского моря. При движении по шельфу убывающей глубины ветровая волна передает часть своей энергии дну, при этом ее спектр трансформируется, показывая перераспределение энергии в более высокочастотную область. При рассмотрении экспериментальных данных лазерного деформографа, начиная с 2000 года, в диапазоне периодов 25 до 50 с установлено, что амплитуды гравитационных и инфрагравитационных волн примерно одинаковы, а периоды этих волн не зависят друг от друга.

Также в четвертой главе рассматриваются колебания дна и морские внутренние волны, обусловленные изменениями атмосферного давления. При анализе данных комплексных экспериментов, полученных летом 2012 года, было выявлено, что синхронно с вариациями атмосферного давления наблюдаются вариации микродеформаций верхнего слоя земной коры, то есть колебания, зарегистрированные лазерным измерителем вариаций давления гидросферы, зачастую сопровождаются колебаниями давления атмосферы, зарегистрированные лазерным нанобарографом. Показано, что учет вклада вариаций атмосферного давления в микродеформации верхнего слоя земной коры очень важен.

В пятой главе анализируются деформационные аномалии, зарегистрированные лазерными деформографами, сопутствующие возникновению цунами. В последние годы разрабатывается большое количество приборов, систем и методов предупреждения о цунами. Автором в диссертационной работе предлагается деформационный метод определения степени цунамигенности землетрясений. В работе приводится сравнение записей горизонтального лазерного деформографа при регистрации сигналов цунамигенных и не цунамигенных землетрясений. При анализе данных лазерного деформографа с длиной измерительного плеча 52.5 м и ориентацией север-юг за 26 декабря 2004 года впервые была выявлена деформационная аномалия. Изучение данных лазерных деформографов в момент регистрации цунамигенных землетрясений, произошедших в период с 2010 по 2018 годы, позволило разработать метод определения степени цунамигенности землетрясений. Данный метод является наиболее эффективным и перспективным при его использовании в службах предупреждения в совокупности с другими методами. При изучении записей лазерных деформографов была определена степень расходимости, что при дальнейшем использовании позволит не только уточнить опасность возникновения цунами, но и оценить смещения дна в очаге землетрясения.

Также в пятой главе по синхронным данным лазерно-интерференционных приборов, расположенным на МЭС ТОИ ДВО РАН «м. Шульца», выявлены геосферные особенности метеоцунами. Резкое изменение атмосферного давления, зафиксированное лазерным нанобарографом, стало причиной появления в гидросфере длинных волн, зарегистрированных лазерным измерителем вариаций давления гидросферы и последующей регистрацией полуторачасовых колебаний в атмосфере, гидросфере и литосфере. Анализ данных лазерно-интерференционных приборов показал, что источник этих колебания находился в атмосфере.

Новизна исследования и полученных результатов.

Научную новизну составляют следующие положения, выносимые на защиту:

Лазерный нанобарограф и лазерный измеритель вариаций давления гидросферы, позволяющие регистрировать вариации давления атмосферы и гидросферы в широком частотном диапазоне условно от 0 Гц.

Лазерно-интерференционные комплексы, установленные на берегах Японского и Охотского морей, для мониторинга основных параметров системы «атмосфера-гидросфера-литосфера» в частотном диапазоне от 0 (условно) Гц до килогерц.

Метод экспериментального исследования характеристик гидроакустических и сейсмоакустических полей, генерируемых низкочастотными гидроакустическими и сейсмоакустическими излучателями и регистрируемые лазерно-интерференционными приборами, позволяющий изучать закономерности трансформации гидроакустических колебаний в сейсмоакустические и воздействие на них более низкочастотных морских волновых процессов на границе «вода – верхний слой земной коры».

Методика регистрации ветровых волн при их движении по шельфу убывающей глубины, позволяющая сформулировать представление о динамике и трансформации основных параметров морских ветровых волн и о взаимодействии волновых полей океана с литосферой.

Комплексный лазерно-интерференционный метод определения первоисточника геосферных процессов в системе «атмосфера-гидросфера-литосфера» при анализе колебаний и волн.

Деформационный метод определения степени цунамигенности землетрясений, основанный на выявлении деформационной аномалии на записях лазерных деформографов, позволяющий определить момент возникновения опасных гидродинамических процессов Земли.

Обоснованность и достоверность результатов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается корректной постановкой задач, подтверждается воспроизводимостью результатов в пределах точности эксперимента, согласием результатов проведенных экспериментов с данными независимых опытов в диапазоне совпадения параметров, а также сравнениями с результатами других авторов.

Практическая значимость полученных результатов.

Результаты диссертационной работы по созданию лазерно-интерференционных комплексов позволяют получить новые методы и средства дистанционного исследования океана, атмосферы и верхнего слоя земной коры, и их взаимодействия. Изложенные в диссертационной работе научные результаты, получены при выполнении госпрограмм ТОИ ДВО РАН и грантов РФФИ и РНФ. Результаты, приведенные в данной диссертационной работе, неоднократно докладывались автором на международных и российских конференциях.

Замечания по диссертации:

1. В работе, подготовленной на соискание ученой степени доктора технических наук, излишнее внимание уделено физическому анализу результатов измерений, полученных с помощью разработанного соискателем аппаратного комплекса.

2. Разработанный измерительный комплекс является уникальным и в настоящее время отсутствуют метрологические центры, где можно было бы

провести его аттестацию. Однако необходимо было привести оценочные значения его точности и обосновать их. В работе этого не сделано.

3. В задачах исследований Задача 7. «Исследовать **некоторые аспекты динамики** и трансформации ветровых морских (гравитационных морских) волн в зонах перехода геосфер.», в научной новизне п. 4 «Исучены **некоторые нелинейные аспекты** динамики и трансформации ветровых морских волн при движении их по шельфу убывающей глубины.» словосочетание «некоторые аспекты» является некорректным.

4. «Глава 4. Возникновение, развитие и трансформация колебаний и волн ветрового и инфрагравитационного диапазонов» Из названия непонятно, о каких колебания идет речь

5. В параграфе 4.1 «Некоторые аспекты динамики и трансформации ветровых морских волн» рассматривается задача набегания волн на склон с меняющейся глубиной. Решению этой задачи посвящено очень много работ. Непонятно, что получено нового, поскольку соискатель приводит только две ссылки на работы, где он является соавтором.

6. В выводах к главе 4 указано, «Было установлено, что амплитуды инфрагравитационных волн сравнимы с амплитудами гравитационных волн, а периоды инфрагравитационных волн не зависят от периодов гравитационных волн.». Здесь соискатель вновь не сравнивает свои результаты с результатами ранее проведенных исследований. Как правило, амплитуды ветровых волн и зыби значительно больше амплитуд инфрагравитационных волн. Возможно, полученный соискателем результат носит частный характер, связанный с конфигурацией акватории, где проводились измерения.

7. На стр. 184. указано «При проведении комплексных экспериментальных исследований по синхронной регистрации вариаций микродеформаций земной коры, вариаций атмосферного и гидросферного давлений нами было установлено, что основным механизмом генерации морских внутренних волн являются атмосферные возмущения, характер

изменения которых полностью идентичен вариациям гидросферного давления в шельфовой зоне Японского моря.» С этим утверждением нельзя согласиться, поскольку, как известно, существует еще ряд механизмов генерации внутренних волн.

Редакционные замечания:

1. На стр. 170 «Ветровые волны с периодами около 7.5 и 10 с пришли из открытой части Японского моря, а ветровое волнение с периодами от 2.8 до 4.2 с возникли в самой бухте Витязь».

2. На рисунках (например, рис. 4.2, 4.3), где представлены динамические спектрограммы, отсутствует шкала, показывающая каким величинам какой цвет соответствует.

3. На стр. 152 ссылка на рисунок **3.290 в.**

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

Заключение. Диссертационная работа С.Г. Долгих является законченной научно-квалификационной работой, в которой выполнены исследования, имеющие важное научное и прикладное значение, и связанные с разработкой лазерно-интерференционных комплексов для исследований геосферных процессов переходных зон. Проведенные С.Г. Долгих экспериментальные исследования геосферных процессов системы «атмосфера-гидросфера-литосфера» можно квалифицировать как научное достижение в области геофизики, которое может быть использовано при моделировании возникновения, развития и трансформации колебаний и волн широкого диапазона частот.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного 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 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых в части пункта 19. «Измерительная техника, средства, технологии, системы наблюдений и сбора геофизических данных; геофизические излучающие и измерительные системы» и пункта 14. «Измерительные системы; методы обработки и интерпретации результатов измерения геофизических полей» и удовлетворяет требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Долгих Станислав Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв подготовлен на основании заключения совместного заседания Общеинститутского научного семинара и семинара Отдела дистанционных методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» от 29 апреля 2022 года, протокол №5.

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



Запевалов 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 Запевалова Александра Сергеевича заверяю:

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ МГИ
кандидат физико-математических наук



Алексеев Дмитрий Владимирович