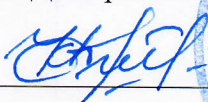


УТВЕРЖДАЮ

Исполняющий обязанности директора
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской
геологии и геофизики Дальневосточного
отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук
Ковалев Дмитрий Петрович



« 25 » августа 2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук на диссертационную работу
Иванова Михаила Павловича
«СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Михаила Павловича Иванова посвящена исследованию микросейсмических колебаний, возникающих в прибрежной зоне под воздействием морского волнения и штормовой активности. Изучение таких колебаний представляет интерес для понимания процессов взаимодействия атмосферы, океана и литосферы, а также закономерностей передачи энергии морского волнения донному и береговому основанию.

Особую актуальность имеет исследование микросейсмического поля в периоды прохождения штормов и тайфунов, когда существенно изменяются амплитудные, спектральные и статистические характеристики регистрируемых сигналов. Анализ этих изменений позволяет получать дополнительную информацию об интенсивности морского волнения и особенностях формирования первичных и вторичных микросейсм.

Важной особенностью работы является использование совместных данных лазерных деформографов, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и широкополосного сейсмометра. Применение различных измерительных систем позволяет сопоставлять изменения придонного давления с микродеформациями земной коры и сейсмическими колебаниями, а использование статистических методов – исследовать особенности микросейсмического поля как в фоновых условиях, так и при интенсивных штормовых воздействиях.

Таким образом, тема диссертационной работы М.П. Иванова является актуальной для исследований взаимодействия океана и литосферы и развития методов анализа и мониторинга микросейсмических процессов в прибрежной зоне.

Структура и содержание работы

Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 127 страниц, включая 52 рисунка и 4 таблицы. Список литературы содержит 115 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность исследования микросейсмических колебаний в прибрежной зоне, обусловленных морским волнением и штормовой активностью. Сформулирована цель работы, заключающаяся в выявлении закономерностей формирования спектральных и статистических характеристик микросейсмических колебаний в фоновых условиях и при штормовых воздействиях на основе данных лазерно-интерференционных измерительных систем и сейсмометрических наблюдений. Для достижения поставленной цели сформулированы шесть задач. Представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, описаны используемые методы исследования. На защиту выносятся три научных положения. Приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов, публикациях и личном вкладе автора. Основные результаты диссертации опубликованы в семи статьях в рецензируемых научных журналах и представлены в материалах научных конференций.

Первая глава диссертации посвящена теоретическим основам изучения ветрового волнения и связанных с ним микросейсмических колебаний. Рассмотрены физические механизмы генерации и распространения ветровых волн, основные подходы к их спектральному и статистическому описанию. Приведены представления о формировании первичных и вторичных микросейсм при взаимодействии морского волнения с дном и береговой зоной. Отдельное внимание уделено статистическим характеристикам микросейсмических сигналов, отклонениям их распределений от нормального закона, коэффициентам асимметрии и эксцесса, а также использованию распределений Гаусса и Грама - Шарлье. Описан применяемый в работе измерительный комплекс, включающий лазерные деформографы, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы и широкополосный сейсмометр. Материал первой главы формирует теоретическую и методическую основу для последующего обоснования положений, выносимых на защиту.

Во **второй главе** представлены результаты исследования микросейсмических колебаний, зарегистрированных на морской экспериментальной станции «м. Шульца» в периоды прохождения тропических циклонов различной интенсивности. На примере тайфунов «Симарон», «Конг-Рэй» и «Хагупит» выполнен спектральный анализ синхронных данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, лазерного деформографа и широкополосного сейсмометра. Определены характерные частотные диапазоны первичных и вторичных микросейсм и показаны особенности их регистрации различными приборами. Установлено, что лазерный измеритель вариаций давления гидросферы преимущественно регистрирует низкочастотные составляющие первичных микросейсм, лазерный деформограф — как первичные, так и вторичные колебания, а в данных сейсмометра наиболее выражены вторичные микросейсм. Полученные результаты позволяют сопоставить изменения микросейсмического поля с характеристиками морского волнения при штормовой активности. Глава раскрывает первое положение, выносимое на защиту.

Третья глава посвящена исследованию статистических характеристик фонового микросейсмического поля в прибрежной зоне Японского моря в условиях минимальной внешней возмущенности. На основе данных двух ортогонально ориентированных лазерных деформографов выполнен анализ амплитудных распределений сигналов, рассчитаны

среднеквадратичные отклонения, коэффициенты асимметрии и эксцесса. Проведено сравнение экспериментальных распределений с нормальным законом и распределением Грама - Шарлье. Показано, что фоновые микросейсмические колебания часто характеризуются отклонением от нормального распределения и наличием «тяжёлых хвостов», а использование распределения Грама - Шарлье в большинстве рассмотренных случаев позволяет точнее описывать экспериментальные данные. Выявлена высокая корреляция среднеквадратичных отклонений между ортогональными компонентами при значительно более слабой связи параметров формы распределений. Глава раскрывает второе положение, выносимое на защиту.

Четвертая глава посвящена спектральному и статистическому анализу микросейсмических колебаний в периоды прохождения тайфунов различной интенсивности и траекторий движения над акваторией Японского моря. Рассмотрены пять тайфунов, для которых проанализированы данные лазерных деформографов, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и широкополосного сейсмометра. Установлено увеличение амплитуды микросейсмических колебаний при штормовом воздействии и выявлено усиление спектральной энергии в диапазоне периодов 16 - 20 с, не проявляющееся в данных измерителя вариаций гидросферного давления. Выполнен вероятностный анализ деформационных сигналов, показано отклонение их распределений от нормального закона и наличие «тяжёлых хвостов», которые аппроксимируются экспоненциальной зависимостью. Сопоставление различных штормовых событий показало сходство нормированных распределений и позволило установить связь параметра экспоненциального спада хвостов с коэффициентом эксцесса. Глава раскрывает третье положение, выносимое на защиту.

В **заключении** обобщены основные результаты диссертационного исследования, соответствующие поставленной цели и задачам работы, сформулированы основные выводы по результатам спектрального и статистического анализа микросейсмических колебаний в фоновых условиях и при штормовой активности.

В целом диссертационная работа имеет логичную структуру, изложена последовательно и понятным научным языком. В тексте встречаются отдельные стилистические и редакционные неточности, которые не затрудняют понимание содержания работы.

Значимость для науки результатов диссертационного исследования

Полученные в диссертационной работе результаты имеют научное значение для развития представлений о формировании микросейсмических колебаний в прибрежной зоне и их связи с морским волнением и штормовой активностью. На основе совместного анализа данных лазерных деформографов, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и широкополосного сейсмометра выявлены особенности спектральной структуры первичных и вторичных микросейсм и показаны различия их регистрации приборами, измеряющими различные физические величины. Существенный интерес представляют результаты статистического анализа фонового микросейсмического поля и сигналов, зарегистрированных в периоды прохождения тайфунов. Установлены отклонения амплитудных распределений от нормального закона, наличие «тяжёлых хвостов», исследованы возможности их описания распределением Грама - Шарлье и экспоненциальными зависимостями. Полученные результаты дополняют существующие

представления о спектральных и статистических свойствах микросейсмического поля и особенностях его изменения при интенсивных штормовых воздействиях.

Значимость для практики результатов диссертационного исследования

Практическая значимость диссертационной работы определяется возможностью использования полученных результатов при анализе и интерпретации микросейсмических данных в задачах наблюдения за морским волнением и штормовой активностью. Проведённое сопоставление данных различных измерительных систем позволяет оценивать информативность лазерных деформографов, измерителя вариаций давления гидросферы и широкополосного сейсмометра при регистрации микросейсмических колебаний различных частотных диапазонов. Разработанные и применённые в работе методы спектрального и статистического анализа могут использоваться при обработке данных береговых геофизических наблюдений, выявлении изменений микросейсмического фона и оценке реакции прибрежной зоны на интенсивные атмосферные воздействия. Результаты работы могут быть полезны при совершенствовании методов дистанционного мониторинга состояния морской среды, особенно в условиях ограниченных возможностей проведения прямых океанографических измерений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при анализе данных береговых геофизических наблюдений и совершенствовании методов мониторинга морского волнения и штормовой активности. Полученные зависимости и подходы к спектральному и статистическому анализу микросейсмических сигналов могут применяться при обработке данных лазерных деформографов, измерителей вариаций давления гидросферы и сейсмометров для выявления изменений микросейсмического поля, связанных с интенсивными атмосферными воздействиями. Результаты работы также могут быть использованы при разработке методических подходов к дистанционной оценке параметров морского волнения в условиях ограниченного объема прямых океанографических измерений. Материалы диссертации представляют интерес для дальнейших исследований взаимодействия океана и литосферы, а также могут использоваться в образовательном процессе при подготовке специалистов в области океанологии и геофизики.

Замечания по диссертации

Диссертационная работа в целом производит положительное впечатление, вместе с тем по её содержанию имеются следующие замечания:

1. В разделе 2.2 приведены основные сведения о предварительной и спектральной обработке экспериментальных данных. При этом исходная частота дискретизации для лазерных приборов указана равной 1000 Гц, тогда как далее рассматриваются часовые реализации, содержащие 36 000 отсчётов при частоте 10 Гц. Представляется целесообразным более подробно описать последовательность перехода к данной частоте дискретизации, а также привести основные параметры используемой фильтрации и усреднения спектров. Это повысило бы воспроизводимость представленных результатов.

2. При исследовании фонового микросейсмического поля в третьей главе использованы 16 часовых фрагментов записей, полученных в 2019 - 2020 гг. Отбор выполнялся по условиям минимальной внешней возмущённости и малым амплитудам микросейсмических колебаний. Было бы полезно более подробно обосновать критерии формирования этой выборки с привлечением независимых гидрометеорологических характеристик и оценить её репрезентативность для описания фонового состояния микросейсмического поля.
3. В четвертой главе на основании анализа пяти тайфунов делается вывод об универсальности формы нормированных распределений деформаций и экспоненциальном характере спада их хвостов. С учетом ограниченного числа рассмотренных событий термин «универсальность» представляется несколько сильным. Корректнее было бы говорить об устойчивой закономерности, выявленной для исследованной совокупности событий, оставляя вопрос о её универсальности для последующей проверки на более широком объёме экспериментальных данных.
4. Обнаруженное усиление микросейсмических колебаний в диапазоне периодов 16–20 с автор связывает с возможными собственными колебаниями отдельных геологических структур Корейского полуострова. Такая интерпретация представляет интерес, однако в рамках диссертационной работы носит характер гипотезы. Для её подтверждения потребовались бы дополнительные независимые сейсмические наблюдения и анализ пространственных характеристик источника. Данное замечание относится именно к физической интерпретации выявленного эффекта и не ставит под сомнение сам факт его регистрации.

Представленные замечания носят в основном дискуссионный и рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и обоснованность основных результатов, выносимых на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Иванова Михаила Павловича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача, связанная с выявлением закономерностей формирования спектральных и статистических характеристик микросейсмических колебаний в прибрежной зоне Японского моря в фоновых условиях и при штормовой активности. Полученные результаты имеют значение для развития представлений о взаимодействии морского волнения с верхними слоями земной коры и совершенствования методов анализа микросейсмического поля. Работа соответствует специальности 1.6.17 – Океанология.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты, выводы и положения, выносимые на защиту. Результаты исследования прошли апробацию на научных конференциях и представлены в публикациях в рецензируемых научных изданиях. Полученные результаты в достаточной степени обоснованы экспериментальными данными и применением современных методов спектрального и статистического анализа.

Диссертационная работа «Статистические характеристики микросейсмических колебаний, вызванных штормовой активностью» соответствует требованиям, установленным пунктами 9 - 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от

24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), а ее автор, Иванов Михаил Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Отзыв подготовлен на основании заключения лаборатории волновой динамики и прибрежных течений ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН, одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которой соответствует тематике диссертации, по результатам обсуждения диссертационной работы М.П. Иванова на заседании лаборатории (протокол № 1 от «25» августа 2026 г.).

Лица, подписавшие отзыв, согласны с включением своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Иванова М.П. и их дальнейшей обработке.

ведущий научный сотрудник
лаборатории волновой динамики и
прибрежных течений
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук
(специальность 25.00.28 – океанология)

Ковалев Петр Дмитриевич

заведующий лабораторией островных и
прибрежных энергетических систем,
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
кандидат физико-математических наук
(специальность 25.00.29 – физика атмосферы и
гидросферы)

Лоскутов Артем Владимирович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН). Адрес: ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022 ,тел.: +7 (4242) 791-517 ,e-mail: nauka@imgg.ru

Подписи П.Д. Ковалева и А.В. Лоскутова заверяю
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт морской геологии
и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
кандидат технических наук



А.А. Верхотуров

«25» августа 2026 г.