

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертационную работу Болсуновского Михаила Алексеевича «Геосферное взаимодействие в инфразвуковом диапазоне», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология

Актуальность исследований. Диссертационная работа М.А. Болсуновского направлена на решение важной научной задачи – исследование геосферного взаимодействия в инфразвуковом диапазоне, прежде всего механизмов воздействия атмосферных возмущений, вызванных катастрофическими и не катастрофическими природными процессами, на гидросферу и литосферу, а также определение первоисточников зарегистрированных геосферных возмущений. Актуальность работы определяется тем, что интенсивные атмосферные колебания способны вызывать отклик в морской среде, в том числе колебания уровня моря и метеоцунами, а также проявляться в литосфере и ионосфере. В этих условиях важным является не только факт регистрации возмущений, но и установление среды их распространения, механизма передачи энергии и первоисточника наблюдаемых колебаний. Особую значимость диссертационному исследованию придает анализ уникального природного события, мощного взрывного извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г., последствия которого были зарегистрированы различными измерительными системами на значительных расстояниях от источника. Рассмотрение таких событий имеет существенное значение для развития представлений о взаимодействии атмосферы, гидросферы, литосферы и ионосферы, а также для диагностики опасных морских явлений, включая метеоцунами.

Отличительной особенностью диссертационного исследования является комплексное использование разнородных наблюдательных данных, записей лазерного нанобарографа, лазерных деформографов, ГНСС-данных ионосферы и данных морских уровнемерных станций. Такой подход позволяет рассматривать исследуемые возмущения не в пределах одной среды, а как проявление единого межгеосферного процесса, что является важным для понимания природы инфразвуковых колебаний и их гидросферного отклика.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 101 страницу, из них 77 страниц текста, включая 64 рисунка; библиография включает 99 наименований. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 статьях в научных рецензируемых журналах, из которых 6 входят в перечень ВАК, а также представлены в 6 тезисах и материалах конференций.

Соответствие темы и содержания диссертации специальности 1.6.17 – Океанология. Работа имеет выраженный междисциплинарный характер, в ней используются данные об атмосферных, ионосферных и литосферных возмущениях, что на первый взгляд несколько расширяет рамки классической океанологии. Вместе с тем это расширение представляется оправданным, поскольку одна из центральных задач диссертации связана с анализом отклика морской среды на атмосферные возмущения инфразвукового диапазона. Океанологическая часть работы проявляется прежде всего в исследовании колебаний уровня моря по данным морских уровнемерных станций Тихого океана и Японского моря, в интерпретации этих колебаний как метеоцунами, а также в

рассмотрении механизма передачи атмосферного импульса в гидросферу. Привлечение ГНСС-данных, записей лазерного нанобарографа и лазерных деформографов в данном случае не выглядит избыточным, так как эти материалы позволяют уточнить источник и путь распространения возмущений, проявившихся затем в колебаниях уровня моря. Поэтому, на мой взгляд, содержание диссертации в целом соответствует специальности 1.6.17 – Океанология, а междисциплинарность работы скорее усиливает ее доказательную базу, чем уводит исследование в сторону от заявленной специальности.

Во введении последовательно изложены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов. Введение в целом дает достаточно полное представление о замысле работы и логике исследования. Автор обозначает, что диссертация направлена на изучение механизмов воздействия атмосферных возмущений на гидросферу и литосферу, а также на определение первоисточников зарегистрированных геосферных возмущений. При этом уже во введении заметна междисциплинарность работы, поскольку заявленная проблематика объединяет данные атмосферных, гидросферных, литосферных и ионосферных наблюдений.

В первой главе рассматриваются средства и подходы, используемые для мониторинга и зондирования различных геосфер. Описаны ГНСС-данные и возможности их применения для анализа состояния ионосферы, приведены основные сведения об ионосфере, полном электронном содержании и перемещающихся ионосферных возмущениях. Далее автор рассматривает лазерные деформографы и лазерный нанобарограф, используемые на морской экспериментальной станции «м. Шульца», а также морские уровнемерные станции, по данным которых анализируются колебания уровня моря. Завершается глава кратким рассмотрением процессов взаимодействия геосфер и явления метеоцунами. В целом первая глава носит обзорно-методический характер и подводит к пониманию того, почему в работе одновременно используются данные ГНСС-наблюдений, лазерных измерительных систем и морских уровнемерных станций. При этом глава местами выглядит скорее как описание приборной и методической базы, чем как развернутый критический обзор литературы, но для дальнейшего изложения она выполняет необходимую вводную функцию.

Во второй главе рассматривается регистрация атмосферных возмущений, вызванных мощным взрывным извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. Автор анализирует ГНСС-данные и показывает распространение ионосферных возмущений от района извержения на большие расстояния, включая район Приморского края. Отдельно приведены сведения о состоянии геомагнитной обстановки, что важно для корректной интерпретации вариаций полного электронного содержания. Далее рассматриваются записи лазерного нанобарографа и двух лазерных деформографов, расположенных на МЭС «м. Шульца». Существенным результатом главы является вывод о том, что возмущение, зарегистрированное измерительными системами, пришло не по земной коре, а было связано с атмосферным импульсом, распространившимся от места извержения. Тем самым во второй главе в основном раскрывается первое защищаемое положение, связанное с установлением среды распространения возмущений и оценкой воздействия атмосферных процессов инфразвукового диапазона на земную кору. В целом глава является одной из ключевых в работе, поскольку именно здесь автор формирует

основу для дальнейшего разделения атмосферного, литосферного и гидросферного проявлений рассматриваемого события.

В третьей главе приведен анализ данных морских уровнемерных станций Тихого океана и Японского моря после извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай. Основное внимание уделено вопросу о природе зарегистрированных колебаний уровня моря. Автор сопоставляет времена регистрации возмущений и скорости их возможного распространения и приходит к выводу, что наблюдаемые колебания не могут быть объяснены только распространением классического цунами от района извержения. Более убедительной интерпретацией в работе рассматривается возбуждение метеоцунами мощным атмосферным импульсом, двигавшимся со скоростью, близкой к скорости звука в воздухе. Данная глава раскрывает второе защищаемое положение, в котором сформулирован вывод о возбуждении метеоцунами в районах расположения морских уровнемерных станций и о механизме их генерации атмосферным импульсом. Эта часть диссертации представляет наибольший интерес именно с океанологической точки зрения, поскольку в ней анализируются колебания уровня моря, их связь с атмосферным воздействием и механизм передачи возмущения в морскую среду. Вместе с тем именно здесь особенно важно, чтобы различие между классическим цунами и метеоцунами было показано максимально строго, так как данный вывод является одним из центральных для всей диссертации.

В четвертой главе рассматривается воздействие атмосферных колебаний на гидросферу на основе сопоставления данных морских уровнемерных станций и ГНСС-данных ионосферы. Автор анализирует колебания, зарегистрированные в относительно спокойные интервалы наблюдений, и сопоставляет периоды гидросферных и ионосферных возмущений. Полученное совпадение периодов используется для обсуждения возможного общего первоисточника этих процессов и проявления атмосферных собственных колебаний в водной поверхности и ионосферном слое. Таким образом, четвертая глава раскрывает третье защищаемое положение, связанное с совпадением периодов инфразвуковых колебаний водной поверхности и собственных колебаний атмосферы, выделенных по ГНСС-данным. Глава интересна тем, что расширяет работу за пределы анализа одного катастрофического события и показывает возможность более общего подхода к изучению межгеосферных связей. При этом выводы этой главы требуют аккуратной интерпретации, совпадение периодов является важным аргументом, но само по себе не всегда исчерпывающе доказывает причинную связь, поэтому данная часть работы имеет в том числе дискуссионный характер.

В Заключении изложены основные результаты диссертационного исследования, связанные с регистрацией и интерпретацией атмосферных, гидросферных, литосферных и ионосферных возмущений, а также сформулированы выводы о механизмах их межгеосферного взаимодействия.

У меня нет принципиальных замечаний к данной работе. Автором рассмотрен достаточно широкий круг источников по теме исследования, включая работы по геосферному взаимодействию, ионосферным возмущениям, лазерно-интерференционным измерительным системам, метеоцунами и колебаниям уровня моря. Использование разнородных данных, лазерного нанобарографа, лазерных деформографов, ГНСС-наблюдений и морских уровнемерных станций, представляется обоснованным и соответствует междисциплинарному характеру поставленной задачи. Вместе с тем в работе

имеются отдельные положения, которые, на мой взгляд, требуют уточнения или носят дискуссионный характер.

Незначительные замечания дискуссионного характера:

1. В третьей главе автор приходит к выводу, что зарегистрированные после извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай колебания уровня моря не являются классическим цунами, а обусловлены метеоцунами, возбужденными атмосферным импульсом. Данный вывод представляется важным и в целом физически обоснованным, однако в тексте работы было бы желательно более последовательно показать критерии такого разделения, по временам прихода, скоростям распространения, возможным трассам распространения и локальным условиям возбуждения колебаний уровня моря.
2. В работе исследуется влияние уникального мощного взрывного извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай на различные геосферы. Вместе с тем было бы полезно кратко указать, наблюдались ли подобные проявления межгеосферного взаимодействия при других крупных вулканических извержениях и к каким последствиям они приводили.
3. В четвертой главе совпадение периодов колебаний водной поверхности и ионосферных возмущений используется для вывода о первоисточнике рассматриваемых процессов. Такое совпадение является важным аргументом, однако само по себе оно не всегда достаточно для однозначного установления причинно-следственной связи. Было бы полезно более подробно раскрыть, какие дополнительные признаки, помимо близости периодов, позволяют автору уверенно связывать эти процессы между собой.
4. Работа имеет выраженный междисциплинарный характер, что является ее сильной стороной. Вместе с тем значительная часть материала посвящена ионосферным и литосферным проявлениям возмущений. В связи с этим в отдельных разделах диссертации было бы желательно более явно акцентировать именно океанологическое содержание полученных результатов, прежде всего связь атмосферных возмущений с колебаниями уровня моря и механизмами формирования метеоцунами.
5. В автореферате и диссертации личный вклад соискателя сформулирован достаточно общо. С учетом того, что часть результатов получена в рамках коллективных исследований и опубликована в соавторстве, было бы полезно более детально обозначить, какие именно этапы обработки, анализа и интерпретации данных выполнены непосредственно автором.
6. В тексте встречаются отдельные редакционные и стилистические неточности, а также тяжеловесные формулировки. Они не влияют на существо полученных результатов, но при последующей публикации материалов работы могли бы быть устранены.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не ставят под сомнение достоверность основных полученных результатов.

Полученные в диссертационной работе результаты выглядят физически непротиворечивыми и основаны на сопоставлении данных различных измерительных систем. Использование записей лазерного нанобарографа, лазерных деформографов, ГНСС-данных и данных морских уровнемерных станций позволило автору рассмотреть исследуемые возмущения в разных средах и проследить их проявления в атмосфере,

гидросфере, литосфере и ионосфере. Обоснованность результатов, представленных М.А. Болсуновским, основывается на согласованности данных наблюдений, применении современных методов фильтрации, спектрального и статистического анализа, а также на сопоставлении полученных выводов с существующими представлениями о распространении атмосферных возмущений и механизмах формирования метеоцунами.

Автором опубликовано достаточное количество научных работ по теме исследования: материалы диссертации представлены в 7 статьях в научных рецензируемых журналах, из которых 6 входят в перечень ВАК, а также в тезисах и материалах научных конференций. Апробация работы находится на должном уровне. Автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертационного исследования, его цель, задачи, научную новизну, положения, выносимые на защиту, и основные выводы. Полученные результаты имеют практическое значение для интерпретации колебаний уровня моря, диагностики метеоцунами и анализа последствий сильных атмосферных возмущений природного происхождения.

Диссертационная работа М.А. Болсуновского является завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития океанологии и смежных направлений наук о Земле. Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и вносит вклад в развитие представлений о межгеосферном взаимодействии в инфразвуковом диапазоне. Диссертация «Геосферное взаимодействие в инфразвуковом диапазоне» соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, для ученой степени кандидата наук, а ее автор, Болсуновский Михаил Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – Океанология.

Я, Ковалев Дмитрий Петрович, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

Исполняющий обязанности директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук
07 мая 2026 года



Ковалев Дмитрий Петрович

Адрес: 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 16
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН)
Тел.: 8(4242)733735, email: d.kovalev@imgg.ru
Подпись Д.П. Ковалева заверяю
ученый секретарь ИМГиГ ДВО РАН
к.т.н. А.А. Верхотуров

