



УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН»,
член-корреспондент РАН


Коновалов С.К.

«14» марта 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Морской гидрофизический институт РАН»
на диссертационную работу
Зайцева Андрея Ивановича

«Моделирование нелинейных длинных волн типа цунами в рамках теории мелкой воды и ее дисперсионных обобщений с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ).

На отзыв ведущей организации были представлены:

- диссертация – 1 том объемом 268 листов;
- автореферат – брошюра объемом 36 печатных листов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (268 наименований).

Актуальность темы работы. Цунами представляют собой длинные волны, возникающие в море вследствие подводных землетрясений, извержений подводных вулканов, подводных оползней, резкого изменения метеорологических условий и др. Около 80% цунами возникают на периферии Тихого океана. При средней глубине океана 4 км скорость

распространения цунами составляет около 200 м/с. Имея высоту в открытом океане 1–2 м, на мелководье цунами могут увеличиваться до десятков метров и уходить вглубь суши на несколько километров. Крупнейшее катастрофическое событие в Индийском океане 26 декабря 2004 г. оказалось наиболее разрушительным за всю историю человечества: погибло более 200 тыс. человек. Проблема цунами актуальна и для России, причем не только для Дальнего Востока, но и для Черного и Каспийского морей.

В настоящее время возрастает роль Мирового океана в различных отраслях экономики большинства стран. В связи с этим увеличивается риск морских природных катастроф. Как следствие, возникает необходимость разработки соответствующих управленческих решений, направленных на смягчение последствий природных катастроф и уменьшение риска для населения. Для этого необходимо иметь физические и математические модели, позволяющие воспроизводить возможные последствия катастроф, а также проводить непрерывный мониторинг окружающей среды.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи работы, научная новизна полученных результатов, выносимые на защиту положения, практическая значимость результатов, а также представлены способы апробации работы, список публикаций по теме диссертации и личный вклад автора.

Основная цель работы формулируется как разработка надежных вычислительных инструментов для решения уравнений гидродинамики длинных волн и использование этих инструментов для моделирования морских природных катастроф и их последствий.

В первой главе обсуждаются математические аспекты описания распространения длинных волн типа цунами. Подробно представлена авторская разработка диссертанта – программный комплекс НАМИ-ДАНС (NAMI-DANCE), использующий технологии параллельных вычислений MPI и OpenMP. В его основу положены нелинейные уравнения теории мелкой

воды, учитывающие вращение Земли и донное трение. Комплекс допускает различные способы описания дисперсионных эффектов, которые необходимо учитывать при моделировании волн с масштабами, сравнимыми с глубиной бассейна. В комплексе реализована параметризация дисперсионных эффектов, основанная на использовании численной дисперсии. Проведено тестирование комплекса на ряде примеров, для которых известны аналитические решения или численные решения в рамках более общих моделей. Выявлено хорошее соответствие результатов моделирования с данными модели FUNWAVE, основанной на полных нелинейных уравнениях Буссинеска. Даны результаты сравнительного анализа, выполненного в рамках работы международной рабочей группы с использованием существующих 13 программных кодов расчета цунами, включая авторский комплекс. Показано, что используемый вычислительный комплекс дает лучшее описание поля скорости течений по сравнению с другими моделями.

Вторая глава диссертации посвящена моделированию исторических и гипотетических событий цунами с помощью программного комплекса НАМИ-ДАНС. Приведены результаты численного моделирования двух наиболее разрушительных цунами последних лет (Чилийского, 2010 г. и Японского, 2011 г.) и цунами, имевших место на о-ве Сахалин. Проведен анализ влияния экранирующих свойств Курильских островов на проникновение цунами из Тихого океана в Охотское море. Сравнение показывает удовлетворительное совпадение результатов моделирования с данными наблюдений для Чилийского и Японского событий. Изучена генерация цунами глубоководными землетрясениями на примере события 24 мая 2013 г. в Охотском море. Полученные результаты расчетов находятся в согласии с наблюдаемыми колебаниями уровня моря на о-ве Итуруп. Дана оценка опасности воздействия цунами на побережье Египта с помощью метода РТНА (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment), основанного на статистическом анализе большого числа землетрясений с последующим расчетом волн цунами для каждого события. Описаны результаты модельных расчетов волн цунами от гипотетических очагов в Черном море. Получено

распределение высот волн вдоль Российского побережья, которое можно использовать для сравнительного анализа защищенности отдельных пунктов.

Третья глава посвящена исследованиям силового воздействия волн цунами на сооружения, а также вызванным цунами морфологическим изменениям дна и береговой зоны. Приведены результаты моделирования цунами с высоким пространственным разрешением в Мраморном море в районе порта Хайдропаша (г. Стамбул). Также выполнены расчеты зон затопления для побережья г. Фетхие. Исследуемая область расположена в юго-западной части Турции, и имеет выход в восточную часть Средиземного моря. Численное моделирование наихудшего сценария развития цунами для данного региона позволило получить подробную карту максимального затопления исследуемой области. Для оценки воздействия цунами на дно автор использует число Рауза, представляющее собой отношение скорости оседания взвешенных частиц к скорости трения в придонном слое. Показано, что использование числа Рауза при решении гидродинамических задач позволяет определять зоны возможного транспорта наносов без использования уравнения деформаций дна. Выполнено численное моделирование волновых движений в бассейне L-образной формы, вызванных набеганием уединенной волны. Установлено, что наибольшее усиление волновых движений происходит в зоне сопряжения двух прямоугольных участков бассейна. Здесь же формируется область наиболее интенсивного движения донных наносов.

Четвертая глава посвящена исследованию волн типа цунами, вызванных оползнями и движущимся атмосферным возмущением. Для исследования генерации волн оползнями используется двухслойная модель Имамтуры. Выполнена модификация численной схемы указанной модели для учета дисперсионных свойств волн оползневого происхождения. Приведены результаты моделирования гипотетического цунами, генерируемого движением подводного оползня в районе дельты реки Нил в восточной части Средиземного моря. Для моделирования метеоцунами используется модификация вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС, включающая атмосферное давление. С учетом реального распределения атмосферного

давления проведено численное моделирование аномальных волн, возникший в пляжной зоне г. Одесса 27 июня 2014 г. Результаты численных экспериментов подтверждают возможность того, что возникший аномальный подъем уровня моря мог быть вызван атмосферным фронтом, перемещающимся со скоростью близкой к скорости длинных волн.

Пятая глава посвящена инструментальным измерениям морских явлений типа цунами в районе о. Сахалин. Приводится методика обработки инструментальных наблюдений поверхностных волн в Охотском море. Выполнен анализ записей колебаний уровня моря с использованием донных датчиков давления. По результатам измерений в районе мыса Свободный в реальных условиях было зарегистрировано 76 волн с высотой более 0.5 м, попадающих под определение аномальных волн. Проанализированы данные наблюдений аномально больших волн у южной оконечности о. Сахалин, полученные с помощью донной станции. За время наблюдений зарегистрировано ~ 400 аномально больших волн, высота которых в два и более раза превышает высоту значительных волн. Приведены результаты численного моделирования волн цунами в районе о. Сахалин, наблюдавшихся 2 августа 2007 г. Получено удовлетворительное соответствие расчетных и наблюденных высоты волн.

В Заключении приведены основные результаты диссертационной работы, среди которых можно выделить следующие:

1. Разработан вычислительный комплекс НАМИ-ДАНС, позволяющий учитывать дисперсионные эффекты при распространении длинных волн. В комплексе реализован оригинальный подход, заключающийся в использовании численной дисперсии вместо физической, что позволяет сохранить быстроедействие, характерное для решения уравнений мелкой воды без дисперсии.

2. Предложена методика использования значений числа Рауза, характеризующего интенсивность движения донных наносов, для идентификации зон размыва дна при вхождении длинной волны в бассейн сложной формы.

3. Получены оценки воздействия цунами на конструкции малого диаметра. Рассчитаны волновые характеристики при наличии защитных структур в прибрежной зоне и жилой застройки на берегу.

4. Выполнено численное моделирование цунами при глубокофокусном землетрясении 24 мая 2013 г. в Охотском море с магнитудой 8.3, гипотетического оползневое цунами в районе дельты реки Нил в Средиземном море и цунами, вызванного сильным землетрясением на юге о. Сахалин 2 августа 2007 г. Показано, что при гипотетическом оползневом цунами в районе дельты реки Нил в Средиземном море высоты волн на ближайшем побережье могут достигать 12 м.

5. С учетом реального распределения атмосферного давления проведено численное моделирование аномальных волн, возникший в районе г. Одесса 27 июня 2014 г. Результаты моделирования подтверждают возможность возникновения аномального подъем уровня моря атмосферным фронтом, перемещающимся со скоростью близкой к скорости длинных волн.

6. Впервые получены оценки сравнительной цунамиопасности для Черноморского побережья России, основанные на результатах численного моделирования цунами с источниками, равномерно распределенными в бассейне Черного моря.

7. Впервые получены данные регистрации аномально больших волн в прибрежной зоне юго-восточной части острова Сахалин

Обоснованность и достоверность результатов. Обоснованность полученных в работе результатов вытекает из корректного использования современного математического аппарата вычислительной гидродинамики, сопоставления результатов численного моделирования с данными натурных и лабораторных экспериментов, а также сравнениями с результатами других авторов.

Практическая значимость полученных результатов. Создан и верифицирован комплекс программ, позволяющий проводить моделирование последствий морских природных катастроф типа цунами. Предложены

методы оценки силовых характеристик волновых потоков, необходимые для планирования защиты прибрежной инфраструктуры от морских природных катастроф и для разработки мероприятий по смягчению их последствий.

Разработанный автором вычислительный комплекс НАМИ-ДАНС, внедрен в службу предупреждения цунами Малайзии и Турции, а также взят на вооружение специалистами из ряда стран: Турция, Россия, Индия, Шри-Ланка, Малайзия.

Результаты диссертации использованы при подготовке официального документа СВОД ПРАВИЛ СП.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования», утвержденного Минстроем России в 2017 г.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертации были представлены на 11 всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 38 работ, в т. ч. 29 статей в журналах из перечня ВАК, SCOPUS и Web of Science.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Считаю целесообразным продолжение и развитие исследований в данном направлении. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных исследованиях Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Института вычислительной математики РАН, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института водных проблем РАН, Морского гидрофизического института РАН, Института прикладной физики РАН, Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН и других организаций, связанных с изучением волновых процессов в Мировом океане.

Замечания по диссертации

1. Не представлена блок-схема программного комплекса НАМИ-ДАНС.

2. При рассмотрении задачи об оползневом цунами не обсуждается выбор плотности оползневого материала и величины коэффициента турбулентной вязкости в нижнем слое.

3. При решении тестовых задач о генерации метеоцунами (стр. 177) скорости распространения аномалий атмосферного давления берутся существенно завышенными (40–200 м/с).

4. В задаче о генерации метеоцунами атмосферными возмущениями учитывается только градиент атмосферного давления и не обсуждается вопрос о роли касательных напряжений ветра в формировании метеоцунами.

5. На стр. 201 имеется описка в формуле (5.2.1).

6. Представляется, что материал главы 5 слабо связан с 4-мя предыдущими главами.

7. В работе нет сопоставления результатов моделирования цунами с учетом и без учета дисперсии.

8. Основные выводы диссертации излишне детализированы.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение. Диссертационная работа А.И. Зайцева является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема, имеющая важное фундаментальное и прикладное значение, – проблема разработки физико-математических моделей для моделирования морских природных катастроф и их последствий.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям, включая требования пп. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

В диссертации, в соответствии с п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», имеются все 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 п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней».

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и удовлетворяет всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Зайцев Андрей Иванович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв подготовлен на основании заключения совместного заседания Общеинститутского научного семинара ФГБУН МГИ, семинара отдела вычислительных технологий и математического моделирования ФГБУН МГИ и семинара отдела турбулентности ФГБУН МГИ от 13 марта 2018 года, протокол № 2.

Заведующий отделом вычислительных технологий и математического моделирования ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»,
доктор физико-математических наук

Фомин Владимир Владимирович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН МГИ)
299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
Телефон: (8692)54-04-52,
E-mail: secretary@mhi-ras.ru

Ученый секретарь Общеинститутского научного семинара
ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»,
Ученый секретарь ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН»
кандидат физико-математических наук



Алексеев Дмитрий Владимирович