

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской
академии наук
доктор физико-математических наук

Л.М. Богомолов

« 12 »

август

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения
Российской академии наук на диссертационную работу

Белоконь Александры Юрьевны

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
И ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН ЦУНАМИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.6.17 – океанология

Диссертационная работа Белоконь А. Ю. выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ), г. Севастополь.

На отзыв ведущей организации были представлены диссертация (объемом 163 стр.) и автореферат (24 стр.). Текст диссертации состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 178 наименований (из них 59 - зарубежные) и четырех приложений.

Диссертация посвящена исследованию распространения волн цунами в прибрежной зоне на основе результатов численного моделирования.

Во **Введении** диссертации обоснована актуальность и степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи работы, методы исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту. Приведена информация о теоретической и практической значимости работы, связи с научными программами, сведения о степени достоверности и апробации результатов исследования, личный вклад автора.

Раздел 1 посвящен общим характеристикам волн цунами. Изложена информация о причинах возникновения волн цунами и их проявлении в прибрежной зоне. Здесь же приведен обзор литературных источников, посвященных аналитическим решениям наката на берег волн цунами в узких бухтах и каналах. Показано, что наличие боковых границ в бассейне может привести к концентрации волновой энергии и, как следствие, образованию значительных заплесков. Приведен обзор исследований цунами в Азово-Черноморском регионе и обсуждается проявление черноморских цунами в прибрежной зоне. Показана необходимость проведения детальных численных экспериментов по определению возможных высот волн при распространении цунами в этом регионе.

В Разделе 2 проведен анализ распространения волн цунами в каналах и узких бухтах переменного поперечного сечения. Исследовалось проявление нелинейных эффектов и влияние крутизны переднего склона волны на характеристики распространения и наката волн цунами бухтах и каналах. Показана трансформация волны цунами при распространении в узких бухтах переменного сечения с последующим накатом на берег. Получены оценки расстояния, которое волна проходит до обрушения. Изучено влияние геометрии бассейна на амплитудные характеристики волн. Построены зависимости высот наката волн на берег и глубины осушения дна от угла наклона берега в бухтах с различной формой поперечного сечения.

В Разделе 3 исследовались изменения амплитудных характеристик одиночных волн в бухтах с U-образной формой поперечного сечения. Проведено сопоставление результатов численного моделирования с аналитическими

решениями и изучено влияние формы поперечного сечения бассейна на изменения высоты одиночной волны; даны оценки высот наката волн на берег и глубины осушения дна в вершине бухт в зависимости от соотношения длины бухты к длине волны. Исследованы особенности распространения волн цунами в бухтах и заливах модельной и реальной геометрии. В качестве реальной акватории рассмотрены Феодосийский залив, Балаклавская и Геленджикская бухты.

Раздел 4 посвящен исследованию волн цунами в Азово-Черноморском регионе по результатам численного моделирования. Выявлены наиболее цунамиопасные участки побережья при распространении волн из гипотетических очагов цунами, вызванных землетрясением магнитудой 7. Рассчитаны высоты наката волн на берег при цунами, вызванном Ялтинским землетрясением 12 сентября 1927 г. Проведено численное моделирование с высоким пространственным разрешением проникновения волн цунами в Балаклавскую бухту. Исследование показало, что цунами инициируют в бухте сейшевые колебания уровня моря с периодом, который соответствует моде Гельмгольца.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы, соответствующие выводам по каждому разделу.

В **Приложениях** приводятся конечно-разностные вычислительные схемы.

Задача о распространении плоских волн над наклонным дном, волн в каналах известна почти 200 лет. В рамках этой задачи получены общие закономерности изменения амплитуды, массовой скорости волн при распространении (известный закон Грина). Дальнейшее продолжение исследования задачи представлено в работах, обзор которых приведен в диссертации. Опубликованные аналитические решения не всегда могут дать точное описание изменения амплитудных характеристик волн в случае сложной геометрии бассейна. Вопрос об особенностях распространения волн в узких каналах и бухтах остается недостаточно изученным в силу влияния многих параметров на амплитудные характеристики волн. Побережье Черного моря не

относится к явно цунамиопасным. Однако исторические и полевые исследования показывают, что побережье могло подвергаться сильным и разрушительным цунами. Поэтому исследование распространения и трансформации волн в узких каналах, взаимодействия их с берегами является **актуальной** задачей. Анализ распространения волн цунами и их взаимодействия с береговыми склонами является **практически важной** задачей в связи с постоянным развитием береговой зоны. Несмотря на то, что волны цунами в Азово-Черноморском регионе нельзя назвать катастрофическими, тем не менее, они могут нанести серьезный ущерб прибрежной инфраструктуре и экологии побережья. Особенно важными являются исследования, направленные на изучение характера воздействия волн цунами на отдельные участки побережья и определение наиболее опасных зон.

В связи с малым объемом информации о событиях цунами в Азово-Черноморском регионе выбран **метод исследования**, основанный на численном моделировании с использованием метода конечных разностей решения уравнений гидродинамики длинных волн.

Научная новизна диссертационной работы представлена несколькими положениями, которые, в сущности, состоят в следующем:

Получило развитие исследование распространения волн цунами в узких бухтах и каналах. Хотя ряд задач на такую тему решались ранее, остаются важными детали и эффекты трансформации волн, проявившиеся в конкретных конфигурациях каналов, проанализированных автором. Они дополняют уже известные общие представления.

Установлены зависимости максимальных заплесков волн цунами на берег от крутизны волны, параметра нелинейности и берегового уклона в сужающихся бухтах с разной формой поперечного сечения.

Получены новые закономерности распространения волн цунами в бухтах и заливах Черного моря (Феодосийский залив, Геленджикская и Балаклавская бухты).

Впервые проведено численное моделирование распространения с последующим накатом на побережье волн цунами, вызванного Ялтинским землетрясением 12 сентября 1927 г., а также численное моделирование проникновения волн цунами в Балаклавскую бухту и наката волн на берег.

Научная и практическая значимость работы. Полученные результаты имеют, несомненно, важное значение для совершенствования методов проведения цунамирайонирования побережья Азово-Черноморского региона, а также при разработке методических рекомендаций по проектированию зданий и сооружений для обеспечения их безопасности в цунамиопасных районах. Результаты диссертационной работы позволяют дать оперативную оценку особенностей проявления волн цунами в прибрежной зоне, в особенности в бухтах и заливах, для выявления наиболее уязвимых для цунами участков побережья, а это имеет определяющее значение при проведении мероприятий по предотвращению негативных последствий от разрушительного воздействия цунами. Выполненные исследования распространения волн цунами в Феодосийском заливе, Геленджикской и Балаклавской бухтах расширяют представление о закономерностях распространения волн в акватории Черного моря. Результаты численного моделирования цунами, вызванного Ялтинским землетрясением 12 сентября 1927 г., позволяют судить о высоте заплесков волн в случае повторения подобного события. Оценки затопления побережья Балаклавской бухты при прохождении волн цунами являются особенно важными в связи с проектированием и строительством здесь марины. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть полезны при проведении мероприятий, направленных на уменьшение негативных последствий от разрушительного воздействия цунами и при разработке правил по строительному проектированию в цунамиопасных районах. В настоящее время цунамирайонирование произведено для побережья Курильских островов, наиболее подверженного воздействию цунами. Расчет максимальных высот волн выполнен на урезе воды и для достаточно протяженных участков побережья. Вместе с тем возникает задача так называемого микроцунамирайонирования, т. е.

более детального расчета высот и дальностей затопления от цунами. Способ, примененный соискателем для расчета цунами в Балаклавской бухте с использованием модели SWASH, позволит решать эту задачу для других побережий, включая побережье Курильских островов.

Личный вклад. Во всех работах автор диссертации принимала участие в постановке задач, выполняла большинство численных расчетов, участвовала в обсуждении и интерпретации полученных результатов. Соискателем выполнен аналитический обзор имеющихся литературных данных об особенностях распространения и наката волн цунами на берег в узких бухтах и каналах и о событиях цунами в Азово-Черноморском регионе. Соискатель лично представляла результаты работы на всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Достоверность проведенных в диссертационной работе исследований обеспечивается корректным использованием математических моделей, которые учитывают все основные факторы, влияющие на характер исследуемых явлений; применением хорошо апробированных численных алгоритмов; сопоставлением результатов численного моделирования с аналитическими решениями и результатами других численных моделей; соответствием и непротиворечивостью полученных результатов в сравнении с результатами других исследований.

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание и удовлетворяет 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.

Список публикаций соискателя по теме диссертации состоит из 29 научных работ, из их 12 статей в рецензируемых научных журналах, 5 статей в рецензируемых сборниках научных трудов, 12 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 10 работ в рецензируемых российских и зарубежных научных

изданиях, что является достаточным количеством при защите кандидатской диссертации.

Материалы диссертации прошли апробацию на 12 конференциях всероссийского и международного уровня.

Вместе с тем, к работе имеются некоторые **замечания**, которые состоят в следующем.

1. Недостаточно подробно выполнен обзор источников, в которых рассматривались особенности распространения и наката длинных волн на береговой откос в узких каналах.
2. Не представлено обоснование выбора модели, используемой в диссертационной работе для проведения расчетов.
3. В тексте работы явно не отражено, какова скорость длинных волн в каналах различных форм поперечного сечения в одномерном приближении. Определяется ли она максимальной глубиной канала или площадью поперечного сечения.
4. В тексте не раскрыто, в чем заключаются различия в применении алгоритма затопления-осушения берега и модели SWASH.
5. Диссертационная работа посвящена исследованию волн цунами с помощью численного моделирования. Хотелось бы видеть сравнение точности и эффективности различных численных схем.
6. В третьем и четвертом разделах при постановке задач используются разные системы уравнений. Нет пояснения, чем они отличаются друг от друга и чем обусловлен выбор той или иной системы уравнений. То же касается донного трения – в задачах оно задается по-разному.
7. В используемых уравнениях мелкой воды не учитывается сила Кориолиса. Существенно ли ее влияние на распространение цунами в масштабах Азово-Черноморского бассейна?

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку выполненной работы.

Диссертация является завершенным научным исследованием, полностью соответствующем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Белоконь Александра Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на секции «Геофизика и геодинамика» Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук 31 марта 2022 года.

Отзыв составили

ведущий научный сотрудник лаборатории цунами

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Институт морской геологии

и геофизики Дальневосточного отделения

Российской академии наук,

кандидат физико-математических наук, доцент

Королёв Юрий Павлович

ведущий научный сотрудник лаборатории цунами

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Институт морской геологии

и геофизики Дальневосточного отделения

Российской академии наук,

кандидат физико-математических наук

Лоскутов Артём Владимирович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУН ИМГиГ ДВО РАН)

ул. Науки, 1Б

г. Южно-Сахалинск, 693022

тел.: +7 (4242) 791-517

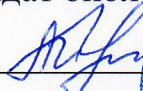
e-mail: nauka@imgg.ru

Подписи Ю.П. Королёва и А.В. Лоскутова заверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения

Российской академии наук

кандидат биологических наук

 А.В. Кордюков

«12»  2022 г.

