

Российская академия наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук

Научный совет
по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики



ГА-2016
~~~~~

ТРУДЫ XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ПРИКЛАДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ГИДРОАКУСТИКИ И ГИДРОФИЗИКИ**

Санкт-Петербург  
2016

УДК 681.88/89  
ББК 32.875  
Т 78

**Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики».** – Санкт-Петербург, 2016. – 516 с.

ISBN 978-5-00-105015-5

В сборнике трудов представлены доклады о достижениях отечественных и зарубежных ученых в области гидрофизики и гидроакустики. Особое внимание уделено результатам фундаментальных исследований и их внедрению при решении прикладных проблем, в том числе при разработке технологий мониторинга Мирового океана с целью исследования и освоения его ресурсов, предупреждения природных катастроф и чрезвычайных ситуаций, при изучении рельефа прибрежных акваторий и экономических зон, при обосновании методов и средств борьбы с подводным терроризмом и минной опасностью, при разработке датчиков и систем контроля и управления производственными процессами.

Для научных работников и инженеров, а также для широкого круга специалистов, интересующихся подводной акустикой и гидрофизикой.

Конференция проводилась в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском научном центре Российской академии наук (СПбНЦ РАН) с 24 по 26 мая 2016 г.

#### **Организации-соучредители:**

Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики СПбНЦ РАН  
ОАО «Концерн «МПО - «Гидроприбор»      АО «Концерн «Океанприбор»

#### **Организационный комитет:**

##### **Председатель:**

д-р техн.наук А.А.Родионов  
(СПбНЦ РАН)

##### **Сопредседатель:**

канд.физ.-мат.наук С.А.Смирнов  
(АО «Концерн «Океанприбор»)

##### **Члены оргкомитета:**

канд.техн.наук Барбанель Б.А. (акад. РАЕН), д-р техн.наук Белов Б.П. (СПбГМТУ), Боровская А.В. (СПбНЦ РАН), д-р техн.наук Вергешев С.М. (ПГУ), канд.техн.наук Говорухин В.П. (СПБО СПП РАН), канд.техн.наук Гурьев А.В. (СПбФ ИО РАН), д-р техн.наук Гурьев Ю.В. (ВМИИ), д-р физ.-мат.наук Долин Л.С. (ИПФ РАН), д-р физ.-мат.наук Емельянов В.Н. (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова), канд.техн.наук Зенченко С.С. (ФГУП «Крыловский научный центр»), канд.физ.-мат.наук Зимин А.В. (СПбФ ИО РАН), канд.биол.наук Иванов М.П. (СПбГУ), канд.техн.наук Каверинский А.Ю. (ФГУП ЦКБ МТ «Рубин»), Кедрова Е.В. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р техн.наук Максимов В.В. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р техн.наук Малый В.В. (СПИИ РАН), акад. Нигматулин Р.И. (ИО РАН), канд.техн.наук Погудин К.Г. (ОАО «Концерн «МПО - Гидроприбор»), Покровская Н.Е. (СПбФ ИО РАН), канд.техн.наук Попов В.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), акад. Румянцев В.А. (ИНОЗ РАН), канд.техн.наук Селезнев И.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), канд.физ.-мат.наук Смирнов С.А. (АО «Концерн «Океанприбор»), д-р воен.наук Трушенков В.В. (ОАО «Концерн «МПО - Гидроприбор»), Тукиянен А.Н. (ОАО «СПМБМ «Малахит»), чл.-кор. РАН Филатов Н.Н. (ИВПС КарНЦ РАН), канд.техн.наук Черницкий В.В. (СПбФ ИО РАН), д-р техн.наук Щеголихин В.П. (1 ЦНИИ МО), чл.-кор. РАН Якушенко Е.И. (ВМИИ)

#### **Авторы-составители:**

д-р техн.наук Б.П.Белов, д-р техн.наук А.А.Родионов,  
канд.физ.-мат.наук С.А.Смирнов, д-р физ.-мат.наук Ф.Ф.Легуша

#### **Рецензенты:**

д-р техн.наук Б.П.Белов, д-р техн.наук А.В.Богородский, канд.техн.наук С.Б.Егоров, канд.физ.-мат.наук А.В.Зимин, д-р техн.наук Ю.А.Коваленко, д-р физ.-мат.наук Ф.Ф.Легуша, канд.техн.наук Г.В.Лоскутова, канд.техн.наук Д.А.Никитин, д-р техн.наук Д.Б.Островский, д-р техн.наук А.А.Родионов, канд.физ.-мат.наук М.А.Родионов, канд.геогр.наук Д.А.Романенков, д-р физ.-мат.наук В.А.Рябченко, д-р техн.наук И.А.Селезнев

ISBN 978-5-00-105015-5

© Коллектив авторов, 2016

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ЦУНАМИ В БУХТЕ

И.С.Нуднер<sup>1,2</sup>, д-р техн.наук, В.В.Лебедев<sup>1</sup>, канд.техн.наук, К.К.Семенов<sup>1,3</sup>, канд.техн.наук, Н.Д.Беляев<sup>1,3</sup>, канд.техн.наук, С.А.Бейзель<sup>4</sup>, канд.физ.-мат.наук, Л.Б.Чубаров<sup>4</sup>, д-р физ.-мат.наук  
<sup>1</sup>23 ГМПИ – филиал АО «31 ГПИСС», Санкт-Петербург, Россия  
<sup>2</sup>Балтийский государственный технический университет «Военмех», Санкт-Петербург, Россия  
<sup>3</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, России  
<sup>4</sup>Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

## STUDIES OF TSUNAMI WAVES PROPAGATION IN A BAY

I.S.Nudner<sup>1,2</sup>, Dr., V.V.Lebedev<sup>1</sup>, Ph.D., K.K.Semenov<sup>1,3</sup>, Ph.D., N.D.Belyaev<sup>1,3</sup>, Ph.D., S.A.Beisel<sup>4</sup>, Ph.D., L.B.Chubarov<sup>4</sup>, Dr.  
<sup>1</sup>23 State Marine Design Institute – Branch of «31 State Design Institute of Special Construction», St.-Petersburg, Russia  
<sup>2</sup>Baltic State Technical University, St.-Petersburg, Russia  
<sup>3</sup>Peter the Great St.-Petersburg Polytechnic University, St.-Petersburg, Russia  
<sup>4</sup>Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia

*В работе представлены результаты численного и физического моделирования распространения волны цунами в бухте. Исследован вопрос возникновения волн цунами и оценки их параметров. Определены возвышения свободной поверхности в различных точках акватории и величина наката на берег. Проведено сопоставление экспериментальных и расчетных значений исследуемых параметров.*

*The paper presents the results of numerical and physical modeling of tsunami waves in the bay. The occurrence of tsunamis was studied and its parameters are evaluated. The elevation of the water free surface was estimated at various points in the water area and the run-up on the beach was determined. The comparison of the experimental and numerical results of the studied parameters was performed.*

Исследования распространения волн цунами на акваториях бухт в настоящее время проводятся, как правило, с помощью математического моделирования. Выполнение численных расчетов требует учета особенностей явления распространения волн и их взаимодействия с сооружениями и берегом. Такие факторы, как диссипация и отражения волн, определяются обычно с привлечением экспериментальных данных. В некоторых случаях для акваторий сложных конфигураций, а также с особо ответственными объектами необходимо проведение физического моделирования [1].

В настоящей работе приводятся результаты численного и физического моделирования распространения волн цунами в конкретной бухте с заданным рельефом дна. Численные исследования выполнены научным коллективом Института вычислительных технологий СО РАН, экспериментальное исследование выполнено в гидроволновом бассейне лаборатории 23 ГМПИ – филиала АО «31 ГПИСС».

Батиметрия бухты, схема экспериментальной установки, размещение на ее территории волномеров (обозначены литерой В) указаны на рис. 1.

Установка представляла собой выгороженную часть волнового бассейна размерами 36,00×16,25 м, на которой из тщательно затертого цементного раствора был создан рельеф дна до натуральных значений глубин 20 м и берега части бухты и мыса в масштабе 1:50 (рис. 1). Соответствие создаваемого рельефа модели было проверено сканированием созданной батиметрии с помощью измерительного сканера поверхностей IMAGER 5010С. Результаты сканирования показали хорошее соответствие рельефа модели заданной батиметрии.

Генерация волны выполнялась с помощью специального волнопродуктора [2, 3], представляющего собой резервуары, которые путем создания вакуума с помощью насоса заполнялись водой до определенного объема. Путем срыва вакуума из резервуаров выпускался определенный объем воды с той или иной скоростью, что тем самым моделировало возникновение волны цунами. Пример такой волны приведен на рис. 2 (створ  $x = 0$ , см. рис. 1). В качестве  $\eta_c$  обозначена отметка вершины волны относительно уровня воды, сформировавшегося непосредственно перед ее приходом волны.

Эксперименты выполнялись для двух значений уровня моря, определенных по нормативным документам:  $d_1 = 0,457$  м и  $d_2 = 0,442$  м на модели на входе в бухту, что соответствовало отметкам  $\Delta d_1 = 0,057$  м и  $\Delta d_2 = 0,042$  м относительно нуля, представленного на рис. 1. Возвышение водной поверхности измерялось в точках акватории В1–В8 (рис. 1).

В результате выполненных исследований были получены данные о трансформации волны цунами в различных точках бухты. Для этого были построены кривые, связывающие возвышение  $\eta_{ci}$  гребня волны в точках  $V_i$  (рис. 1) с относительным возвышением гребня волны на входе в бухту. Каждая вычисленная аппроксимирующая зависимость была проверена на соответствие опытным данным методами математической статистики.

В качестве отметки гребня волны цунами на входе в бухту взято среднее значение по показаниям волномеров В1, В2 и В4 (рис. 1):  $\eta_{c0} = \frac{1}{3} \cdot (\eta_{c1} + \eta_{c2} + \eta_{c4})$ . По полученным результатам измерений

значений  $\eta_{ci}$ ; методом наименьших квадратов построены аппроксимации зависимостей  $\eta_{ci} = f_i(\eta_{c0})$  для  $i = 5, 6, 7, 8$ , представленные на рис. 3, 4.

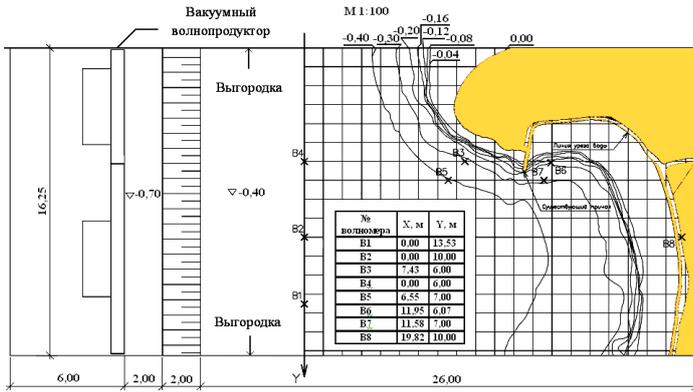


Рис. 1. Модель бухты и размещение волномеров в выполненных опытах.

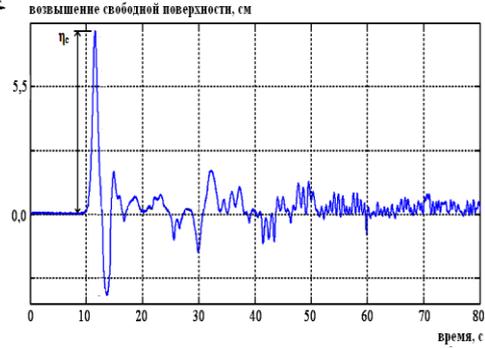


Рис. 2. Пример созданной в экспериментах волны цунами.

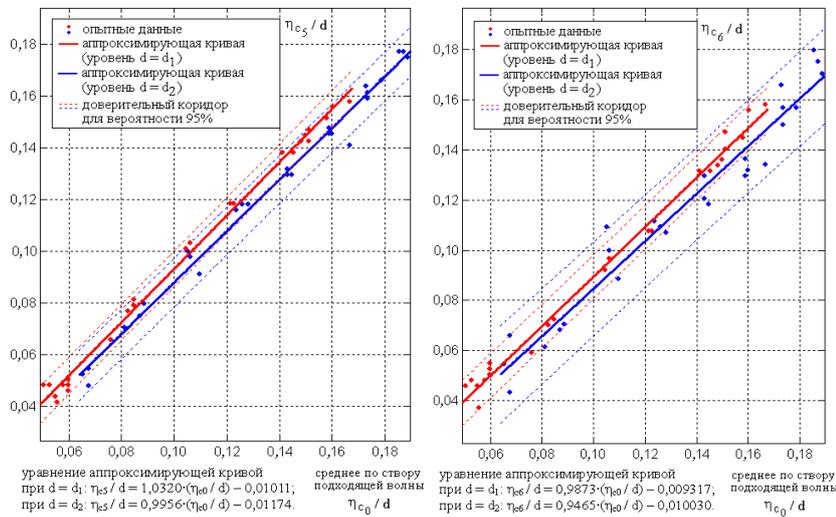


Рис. 3. Кривые зависимости относительной величины превышения гребня волны над уровнем спокойного моря в точках B5 (слева) и B6 (справа) от относительной величины превышения гребня волны цунами над уровнем спокойного моря на входе в бухту.

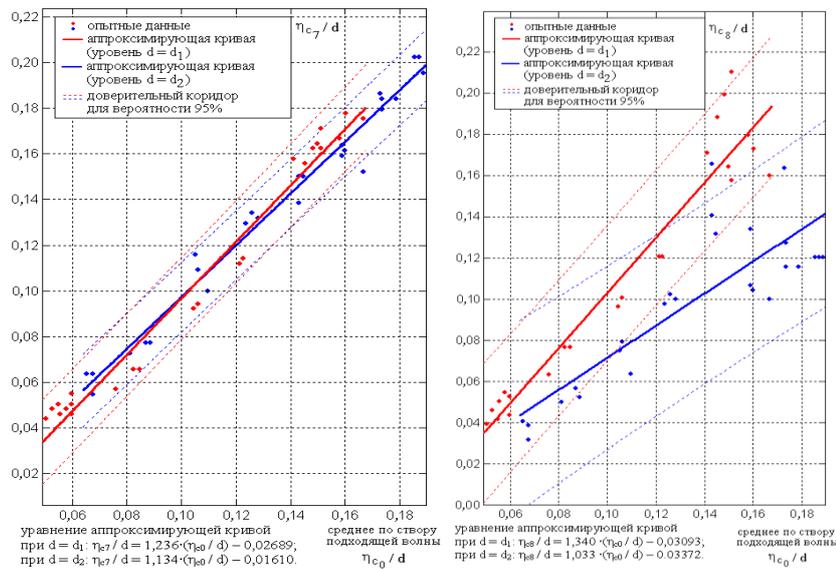


Рис. 4. Кривые зависимости относительной величины превышения гребня волны над уровнем спокойного моря в точках B7 (слева) и B8 (справа) от относительной величины превышения гребня волны цунами над уровнем спокойного моря на входе в бухту.

Рис. 4 содержит показания волномера В8, установленного на берегу бухты (на отметке +0,055 м относительно нуля модели), и характеризует накат волны.

С целью уточнения параметров входящих в бухту волн были проведены расчетные исследования. Вначале был определен потенциально наиболее опасный для бухты очаг сейсмической активности и по историческим данным оценена возможная магнитуда землетрясения (9,0). Численное моделирование было выполнено с применением математических моделей, реализованных в программных модулях [4, 5], ранее тщательно верифицированных на представительных тестовых задачах и хорошо зарекомендовавших себя при решении задач распространения волн цунами. Волна на входе в бухту, определенная по результатам расчета, представлена на рис. 5.

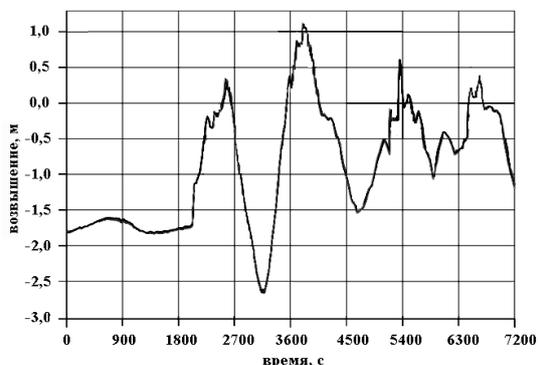


Рис. 5. Мареограмма на входе в модельную бухту (точка В2 на рис. 1) возможных волн цунами.

Расчет наката волны на берег был выполнен по методу крупных частиц [6], результаты представлены на рис. 6 (см.вклейку). Величина возвышения в точке, соответствующей размещению на экспериментальной установке волномера В8, составляет при глубине  $d_1$  величину  $\eta_{c8}/d = 0,070$  (в пересчете на модельные значения; при  $\eta_{c0}/d=0,066$ ), а при глубине  $d_2$  – величину  $\eta_{c8}/d = 0,039$  (при  $\eta_{c0}/d = 0,068$ ). При сравнении с данными графика рис. 4 получаем удовлетворительное соответствие.

В работе представлены результаты численных и экспериментальных исследований распространения волны цунами в бухте с заданной батиметрией (рис. 1). Выполнено математическое моделирование для оценки возможных параметров волн цунами, приходящих в бухту. Исследован накат на берег. Сравнение значений высоты наката, полученных расчетом и в эксперименте, демонстрирует удовлетворительное соответствие результатов численного и физического моделирования.

*Работы по численному моделированию волны цунами в бухте частично поддерживались проектом IV.38.2.1 программы фундаментальных исследований IV.38.2.*

#### Литература

1. Беляев Н. Д., Лебедев В. В., Нуднер И. С., Мишина А. В., Семенов К. К., Щемелинин Д. И. Экспериментальные исследования воздействия волн типа цунами на грунт у оснований морских гравитационных платформ // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6 (50). С. 4-12. doi: 10.5862/МСЕ.50.
2. Камынин Е. Ю., Максимов В. В., Нуднер И. С., Семенов К. К., Хакимзянов Г. С. Исследование взаимодействия уединённой волны с частично погруженным неподвижным сооружением // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2010. Т. 3. № 4. С. 39-54.
3. Афанасьев К. Е., Максимов В. В., Нуднер И. С., Семенов К. К., Стуколов С. В. Численное моделирование работы опытового волнопродуктора одиночных волн // Труды XI Всероссийской конференции "Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики". СПб.: Наука, 2012, 504 с. С. 201-203.
4. Чубаров Л.Б., Бабайлов В.В., Бейзель С.А. Программа расчета характеристик воды цунами сейсмического происхождения MGC // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011614598. 2011.
5. Рычков А.Д., Бейзель С.А., Чубаров Л.Б. Программа для ЭВМ: Модуль расчета наката волн цунами на берег RunUp-LP // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2013617980. 2013.
6. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М. Наука, 1982. 392 с.

#### ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ ПО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В.В.Горбачкий, канд.техн.наук, Е.С.Лебедева, Н.Н.Шпилёв  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

#### FEATURES OF HYDROPHYSICAL PROCESSES IN COASTAL SEA WATER AREAS ON SATELLITE OBSERVATIONS

V.V.Gorbatskiy, Ph.D., E.S.Lebedeva, N.N.Shpilev  
Krylov State Research Centre, St.-Petersburg, Russia

*Рассматриваются полученные с помощью спутника Sentinel 1 в Чёрном море высоконтрастные неоднородности радиолокационного сигнала, «визуализирующие» с высоким пространственным разрешением динамические процессы на морской поверхности: вихревые структуры, струи, гравитационные волны. Выполнено сопоставление*