

## Моделирование метеоцунами на Дальнем Востоке России

Д. Е. Золотухин

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН Южно-Сахалинск, Россия*

e-mail: [DimZol@rambler.ru](mailto:DimZol@rambler.ru)

In this paper we consider the simulation of meteotsunami in the Sakhalin-Kuril region. The analysis of field data of meteotsunami provided by Sakhalin management on hydrometeorology and environment monitoring. In the numerical simulation used the computational model, proposed by V.N. Khramushin and software suite developed by Special Design Bureau of Automation Systems for Marine Research, FEB RAS. In this paper by comparing the results of numerical simulation of the real meteotsunami with relevant field data the estimation of the suitability of the numerical model of the "small circle" of a cyclone for the prediction of the meteotsunami caused by cyclones and calculation of their characteristics.

### Введение

Цунами – это длиннопериодные волны, возникающие в морях и океанах по ряду причин [1]. Согласно исторической базе данных [2], в Тихом океане основной вклад в образование цунами вносят землетрясения – 79 %, 6 % – оползни, 5 % – извержения вулканов, для 7 % источник неизвестен, и лишь 3 % цунами образовались по метеорологическим причинам. Такие цунами, образующиеся под воздействием атмосферных процессов (скачки атмосферного давления, тайфуны, ураганы, шторма, холодные фронты), называются метеоцунами.

Метеоцунами – это волновые движения моря, имеющие те же периоды, что и волны цунами сейсмического происхождения, и амплитуды порядка десятков сантиметров, редко метров. Они воздействуют на побережье сходным с обычными цунами разрушительным образом [3, 4].

В настоящей работе рассматриваются метеоцунами, вызванные движением тропических циклонов (тайфунов). В среднем, на Дальнем Востоке России в год наблюдается один - два циклона. За последние 40 лет наибольшее количество выходов тропических циклонов отмечалось в 1981 и 2011 годах - пять циклонов [5]. Поэтому моделирование циклонов, в том числе с целью получения картины метеоцунами, является актуальной задачей.

Эффективным инструментом для исследования механизма формирования и трансформации штормовых нагонов и метеоцунами, расчета их режимно - статистических характеристик и прогнозирования является численное гидродинамическое моделирование.

В данной работе при моделировании метеоцунами был использован разработанный в 1997 году специальным конструкторским бюро систем автоматизации морских исследований ДВО РАН (СКБ САМИ ДВО РАН) комплекс вычислительных процедур (программный комплекс) [6] и предложенная В. Н. Храмушиным модель «малого круга» циклона [7].

### 1. Цели и задачи

Целью данной работы является оценка пригодности численной модели «малого круга» циклона для прогноза метеоцунами, вызываемых циклонами, и расчета их характеристик.

Для реализации цели настоящей работы были поставлены и решены следующие задачи:

Анализ натуральных данных по метеоцунами, предоставленных Сахалинским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ СахУГМС).

Численное моделирование реальных метеоцунами и сравнение полученных результатов с данными натуральных наблюдений.

## 2. Материалы исследований

В данной работе рассматривались метеоцунами 8.10.2006, 20-21.02.2009, и 3-4.12.2011 на южных Курильских островах, а также метеоцунами 2-3.12.1978 и 20-21.10.1982 на о. Сахалин. Данные натурных наблюдений представлены СахУГМС в виде мареограмм метеоцунами в отдельных населенных пунктах Сахалинской области и соответствующих им гидрологическо-синоптических карт (ГСК).

## 3. Численная модель

В данной работе был использован разработанный в 1997 году специальным конструкторским бюро систем автоматизации морских исследований ДВО РАН (СКБ САМИ ДВО РАН) комплекс вычислительных процедур (программный комплекс) [8].

Для моделирования кинематики волновых фронтов в данной работе была разработана специальная четырехточечная расчетная схема, в которой используются производные по направлению. В качестве вычислительной модели была выбрана модель длинных волн. Данная вычислительная модель построена таким образом, чтобы все дополнительные физические характеристики, такие, как сферичность и вращение Земли, трение о морское дно и воздействие атмосферы, могли бы отделяться или добавляться к основным уравнениям (линейным уравнениям длинных волн) в любое время в процессе моделирования по команде исследователя. Такие уравнения можно определить как разделяющиеся по физическим процессам [9], [10].

Для моделирования взаимодействия атмосферы и океана реализованы алгоритмы, которые допускают использование реальных или прогнозируемых полей атмосферного давления и ветра. В действующей версии программы для моделирования метеоцунами и ветровых нагонов была реализована предложенная В. Н. Храмушиным модель «малого круга» циклона [7]. В данной модели модельный циклон движется по гладкой (сплайновой) траектории между заданными точками. Границы циклона задаются с помощью «малого круга», очерченного на поверхности сферической Земли. Динамическое взаимодействие океана и атмосферы задается только внутри этого «малого круга», путем плавного изменения давления в зависимости от расстояния до центра циклона. При необходимости задается также вихревое поле ветра, спирально сходящееся к центру циклона.

В данной работе метеоцунами моделировались путем прохождения «малого круга» модельного циклона по гладкой (сплайновой) траектории вдоль маршрута движения реального циклона, определяемого при помощи ГСК (то есть, траектория движения модельного циклона строилась между реальными координатами центра циклона, определяемыми с помощью ГСК, с шестичасовым интервалом). Радиус «малого круга» определялся в соответствии с реальными размерами циклона. По завершении маршрута модельного циклона происходило его разрушение, вызывающее волны, сходные с волнами цунами. Приливный режим не моделировался.

Определяющими параметрами численного моделирования циклона являются:

Время  $t$  в днях и часах, на которые задаются параметры циклона.

Географические координаты центра циклона  $\phi, \lambda$ ;

Диаметр циклона до выравнивания давления  $D$ ;

Перепад давления в центре циклона  $P$ ;

Максимальная скорость ветра на  $1/3$  радиуса циклона  $V$ .

Значение коэффициента поверхностного напряжения во всех численных экспериментах в данной работе принималось  $\mu=0,002$ .

## 4. Ход численного моделирования и полученные результаты

В данной работе было выполнено пять вычислительных экспериментов. Параметры вычислительных экспериментов представлены в таблице 1. Ход численного моделирования метеоцунами 8.10.2006 можно видеть на рисунке 1.

Таблица 1. Параметры вычислительных экспериментов

№ эксп.	t, ч	φ, с. ш.	λ, в. д.	D, км	P, мб.	V, м/с
1	00h, 8.10.2006	42°	148°	250	43	32,5
	06h, 8.10.2006	43°30'	148°	250	43	32,5
2	18h, 20.02.2009	44°	148°	200	43	25
	00h, 21.02.2009	45°	149°	200	48	25
3	18h, 3.12.2011	42°	145°	250	28	20
	00h, 4.12.2011	43°	148°	250	28	20
4	09h, 2.12.1978	49°30'	140°	250	28	22,5
	15h, 2.12.1978	50°30'	144°	250	23	22,5
5	15h, 20.12.1982	44°	140°	200	23	27,5
	21h, 20.12.1982	46°30'	140°30'	200	28	27,5

. Результаты численного моделирования метеоцунами 8.10.2006 (для поселка Малокурильское) следующие:

Максимальная высота волны (от гребня до подошвы) - 1,02 м, первое вступление - 6:30, 8.10.2006 (реально максимальная высота волны ~ 0,7 м, первое вступление – 0:00 8.10.2006).

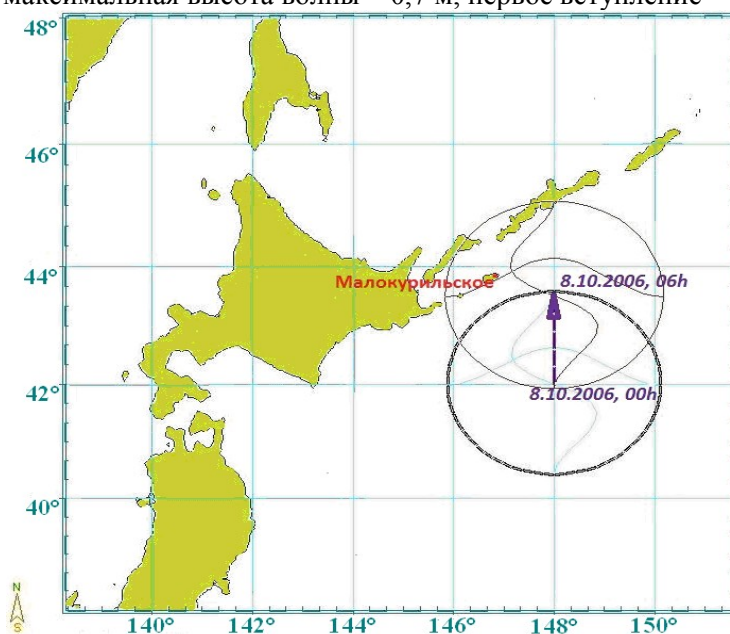


Рис. 1. Численное моделирование метеоцунами 8.10.2006

Таким образом, модельная волна близка по высоте к реальной, но разница во времени первого вступления волны достаточно существенна. Это хорошо видно при сравнении реальных (вверху) и модельных (внизу) мареограмм для поселка Малокурильское, представленных на рисунке 2. Для реальных мареограмм отсчет уровня моря ведется от среднего значения.

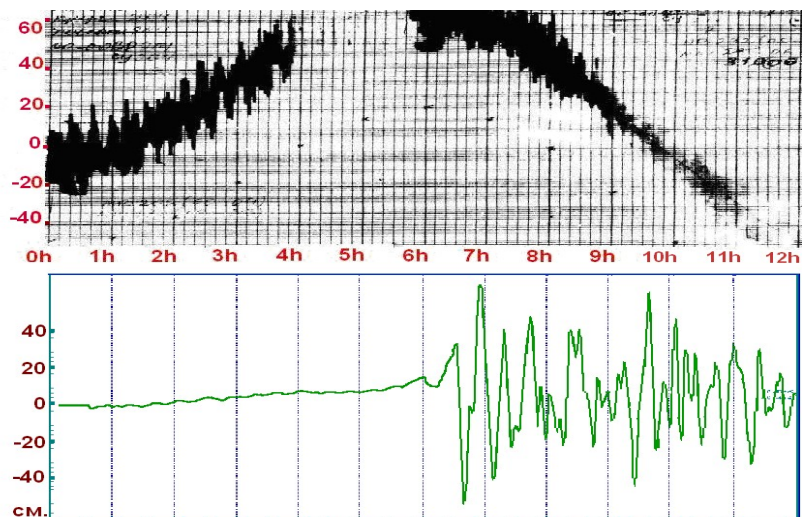


Рис. 2. Модельные и реальные мареограммы (Малокурильское, 8.10.2006)

Результаты численного моделирования метеоцунами 20-21.02.2009 (для поселка Малокурильское) следующие:

Максимальная высота волны (от гребня до подошвы) - 0,62 м, первое вступление – 01:00, 21.02.2009; реально максимальная высота волны ~ 0,4 м, первое вступление – 00:00, 21.02.2009. Таким образом, модельная волна близка по высоте и времени первого вступления к реальной. Это хорошо видно при сравнении реальных (вверху) и модельных (внизу) мареограмм для поселка Малокурильское, представленных на рисунке 3.

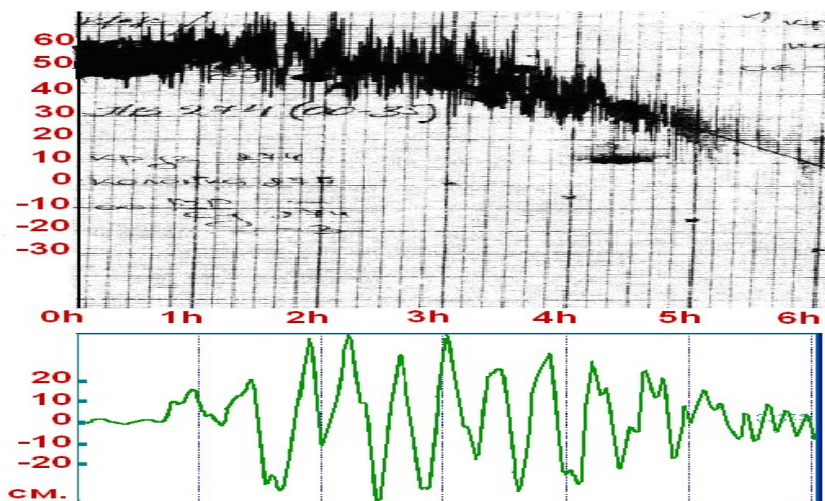


Рис. 3. Модельные и реальные мареограммы (Малокурильское, 21.02.2009)

Результаты численного моделирования метеоцунами 3-4.12.2011 (для поселка Малокурильское) следующие:

Максимальная высота волны – 0,5 м, первое вступление – 1:00, 4.12.2011; реально максимальная высота волны ~ 0,35 м, первое вступление – 12:30 3.12.2011. Таким образом, модельная волна близка по высоте к реальной, но разница во времени первого вступления волны достаточно существенна. Это хорошо видно при сравнении реальных (вверху) и модельных (внизу) мареограмм для поселка Малокурильское, представленных на рисунке 4.

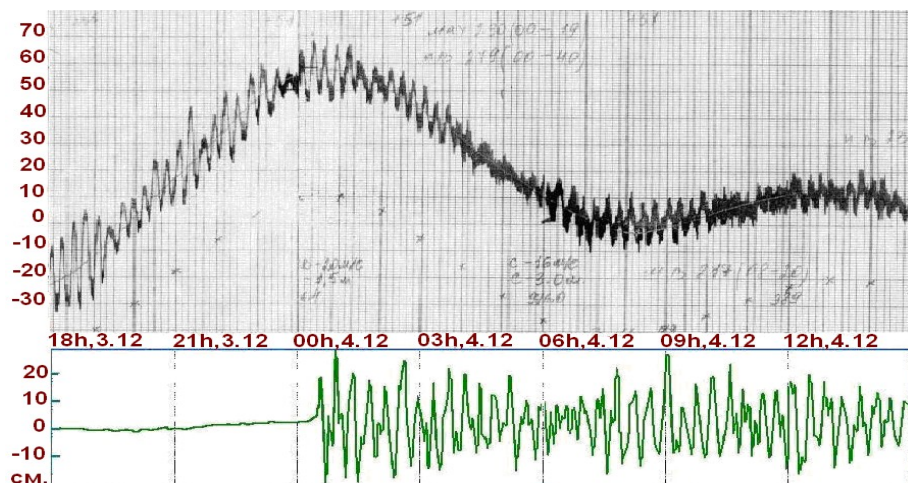


Рис. 4. Модельные и реальные мареограммы (Малокурильское, 3-4.12.2011)

Результаты численного моделирования метеоцунами 2-3.12.1978 следующие: максимальная модельная высота волны в городе Холмск – 0,74 м, Невельск – 0,74 м; первое вступление в г. Холмск – 13:00 2.12. Реально максимальная высота волны в городе Холмск – 0,6 м, Невельск – 0,5 м; первое вступление в городе Холмск – 13:30 2.12.

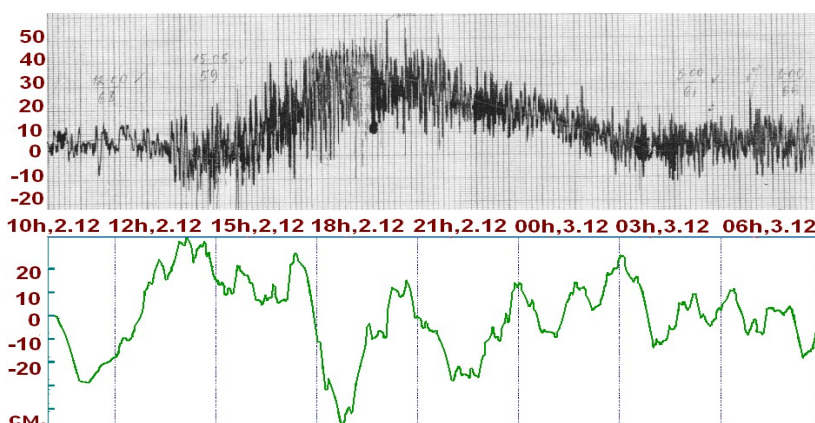


Рис. 5. Модельные и реальные мареограммы (Холмск, 2-3.12.1978)

Таким образом, модельная волна для города Холмск близка по высоте и времени первого вступления к реальной. Это хорошо видно при сравнении реальных (вверху) и модельных (внизу) мареограмм для города Холмск, представленных на рисунке 5. Но частота модельного волнения существенно занижена по сравнению с реальным.

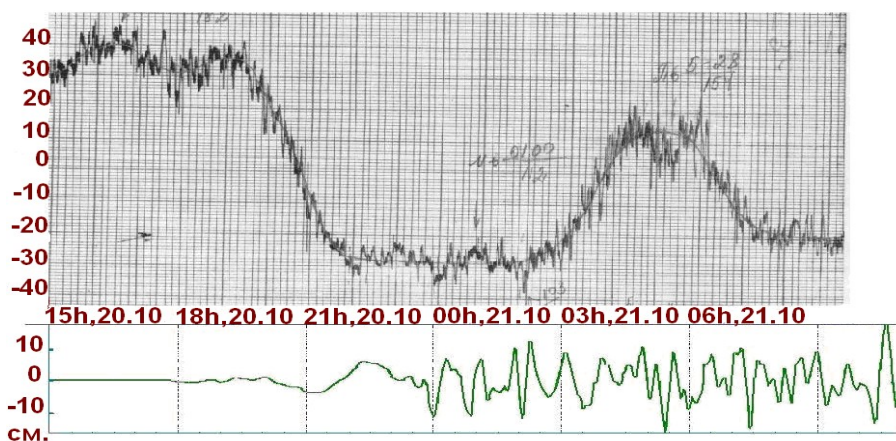


Рис. 6. Модельные и реальные мареограммы (Корсаков 20-21.10.1982)

Результаты численного моделирования метеоцунами 20-21.10.1982: максимальная модельная высота волны в населенном пункте Холмск – 0,50 м, Невельск – 0,57 м, Корсаков - 0,30 м, Крильон – 0,36 м.; первое вступление в городе Корсаков – 22:00 20.10. Реально максимальная высота волны в населенном пункте Холмск – 0,42 м, Невельск – 0,47 м, Корсаков - 0,25 м, Крильон – 0,45 м; первое вступление в городе Корсаков – 15:30 20.10.

Таким образом, модельная волна в рассмотренных населенных пунктах близка по высоте к реальной, но разница во времени первого вступления волны для города Корсаков достаточно существенна. Это хорошо видно при сравнении реальных (вверху) и модельных (внизу) мареограмм для города Корсаков, представленных на рисунке 6.

## Заключение

В данной работе численное моделирование метеоцунами выполнялось путем разрушения «малого круга» модельного циклона. Сравнение результатов численного моделирования с данными наблюдений показало, что модель «малого круга» циклона дает хорошее сходство формы модельных и реальных мареограмм (за исключением случая 2-3.12.1978, что, очевидно, связано с разрушением модельного источника о берег о. Сахалин) и незначительную разницу максимальной высоты модельной и реальной волны. Серьезным недостатком данной модели является существенное различие между временем первого вступления волны модельного и реального метеоцунами. Оно объясняется зависимостью времени возникновения модельного метеоцунами от момента развала «малого круга» модельного циклона.

В целом, численное моделирование циклонов дает возможность оценить высоты вызванных ими метеоцунами на побережье. Сходство формы модельных и реальных мареограмм имеет меньшее значение. Данный результат позволяет использовать модель «малого круга» циклона для оценки угрозы метеоцунами в портах Сахалинской области.

## Список литературы

- [1] Левин Б. В., Носов М. А. Физика цунами и родственных явлений в океане. Научное издание. – М.: «Янус-К», 2005. – 360 с.
- [2] <http://tsun.sccc.ru/htdbpac/>
- [3] Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
- [4] Макаренко Е. В., Ивельская Т. Н. Метеоцунами в портах сахалинской области по данным наблюдений телеметрической сети Службы предупреждения о цунами. // Мореходство и морские науки – 2011: избранные доклады Третьей Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (15-16 февраля 2011 г.) / Под ред. В. Н. Храмушина. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. С. 205-211.
- [5] <http://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/4475-17012012-30->
- [6] Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений: - Владивосток: Дальнаука, 2008. – 176 с.
- [7] Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Непоп К. И., Королев Ю. П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России.– Южно-Сахалинск, 1997. – 273 с.
- [8] Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. - Владивосток: Дальнаука, 2008. – 176 с.
- [9] Андерсен Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М., Мир. 1990. Т. 1 и 2. 726 с.
- [10] Белоцерковский О. М. Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М: Наука. 1982. 370 с.