

Разработка системы оценки параметров цунами у прибрежных территорий

А. Е. Иванова, А. А. Романенко

*Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Проблема своевременного предупреждения населения об опасности цунами всё еще является актуальной на прибрежных территориях всего мира. Несмотря на то что цунами довольно редкое явление, его последствия могут быть катастрофическими. В Академгородке многие годы занимаются разработкой и реализацией алгоритмов численного моделирования цунами, используемых для расчета параметров цунами у береговой линии. Целью данной работы является объединение существующих реализаций алгоритмов, написанных на разных языках программирования (C++, Си, Python, Kotlin, Fortran и т. д.), в единую систему. Разработанная система позволит, принимая на вход данные о сейсмическом событии, рассчитывать параметры цунами у защищаемой береговой линии. В статье рассмотрены основные этапы работы системы, такие как мониторинг сейсмической активности, извлечение данных с DART станций, фильтрация приливной компоненты, расчет времени добегания волны и непосредственно моделирование, и промежуточные шаги, связанные с преобработкой и трансформацией данных. Особое внимание уделяется разработке архитектуры системы, взаимодействие между модулями построено таким образом, чтобы в дальнейшем реализации алгоритмов могли дорабатываться и беспрепятственно встраиваться в систему.

Ключевые слова

цунами, DART, моделирование, время прихода волны, фильтрация приливной компоненты, единичный источник, MOST

Для цитирования

Иванова А. Е., Романенко А. А. Разработка системы оценки параметров цунами у прибрежных территорий // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17, № 1. С. 28–41. DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-1-28-41

Development of a System for Estimating Tsunami Parameters in Coastal Areas

A. E. Ivanova, A. A. Romanenko

*Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The problem of timely warning the population about the danger of a tsunami is still relevant in the coastal areas around the world. Despite the fact that the tsunami is quite rare, the consequences could be disastrous. To assess the scale of possible damage, it is necessary to have information about the height and speed of the wave at the coastline. Scientists in Akademgorodok for many years engaged in the creation and implementation of tsunami waves modeling algorithms used to calculate the parameters of the tsunami near the coastline.

The main purpose of this article is to integrate existing implementations of algorithms written in different programming languages (C ++, C, Python, Kotlin, Fortran, etc.) into a one system. This system will allow to calculate tsunami parameters at the protected coastline accepting seismic event data at the input. The article considered the main stages of the system, such as monitoring seismic activity, extracting data from the DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) stations, tidal components filtration and tsunami waves modeling, and intermediate steps associated with preprocessing and transformation of data. Special attention is paid to the development of the system architecture. The interaction between the modules is designed in such a way that new implementations of the algorithms can be easily integrated into the system.

Keywords

tsunami, DART, tsunami waves modeling, tidal component filtering, MOST

For citation

Ivanova A. E., Romanenko A. A. Development of a System for Estimating Tsunami Parameters in Coastal Areas. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2019, vol. 17, no. 1, p. 28–41. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-1-28-41

Введение

В настоящее время единственный метод защиты от цунами и его последствий – своевременное предупреждение населения прибрежных территорий о надвигающейся опасности. Для оценки масштаба возможных разрушений необходимо обладать данными о высоте и скорости волны у береговой линии. Для решения этой задачи применяются методы математического моделирования. При прогнозировании такого рода событий критическую важность имеет время, которое необходимо затратить для моделирования цунами с момента получения первых данных о землетрясении.

В новосибирском Академгородке, и в частности в НГУ, давно занимаются решением этой задачи. На данный момент реализовано множество алгоритмов, каждый из которых решает одну из подзадач. Данные алгоритмы постоянно совершенствуются, увеличивается скорость работы [1]. При этом эффективность того или иного алгоритма оценивается на основании тестирования на синтетических и /или исторических данных.

Полный путь от сырых данных об эпицентре землетрясения до получения параметров волны у побережья состоит из 4 основных шагов (извлечение данных о профиле волны, которая проходит через некоторый регистратор, фильтрация приливной компоненты, расчет начальной деформации водной поверхности в зоне источника цунами, моделирование распространения волны по открытой воде). Помимо этого, существуют промежуточные шаги, связанные с обработкой и трансформацией данных для передачи на вход следующему алгоритму. В такой ситуации ручное тестирование любого из основных алгоритмов является довольно трудоемким в плане подготовки тестовых данных. Также все шаги не тестируются в совокупности.

Решением этой проблемы является создание системы по предупреждению опасности цунами, объединяющей разработанные алгоритмы. Такая система позволит в автономном режиме следить за сейсмической активностью и выдавать предупреждение в случае возникновения опасности цунами для прибрежной территории, а также проводить сквозное тестирование новых алгоритмов.

Цель данной работы – разработать систему, которая позволит в автоматическом режиме, принимая на вход данные о некотором сейсмическом событии, рассчитывать параметры цунами у прибрежных территорий. Дополнительным условием является то, что разные этапы алгоритма должны быть изолированы и могут реализовываться на разных языках программирования. Алгоритмы будут совершенствоваться, и система должна уметь реагировать на эти изменения.

Рассмотрим основные шаги моделирования цунами.

Этапы получения параметров цунами у побережья

Отслеживание сейсмической активности

Причинами возникновения цунами могут стать: подводные землетрясения; вулканическая активность; подводные оползни; падение в воду обломков скал и т. д. Согласно глобальной

исторической базе данных о цунами¹, с 1900 г. более 80% вероятных цунами были вызваны землетрясениями. Но далеко не каждое подводное землетрясение сопровождается цунами. Цунамигенным (т. е. порождающим катастрофическую волну) может быть лишь землетрясение с большой энергией (магнитуда более 7,8). Если же магнитуда меньше 6, то вероятность цунами близка к нулю [2]. В связи с этим начало деятельности по предупреждению населения об опасности цунами начинается с отслеживания сейсмической активности.

На данный момент существует множество сервисов, которые представляют информацию о сейсмических событиях в реальном времени. Примером такого сервиса является сайт Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS).

Извлечение данных о профиле волны с DART станции

У каждого государства, которое подвержено опасности цунами, существуют программы по минимизации последствий от такого рода опасности. Наиболее интенсивно такие программы развиваются в США и Японии.

В рамках Национальной программы США по предотвращению опасности цунами была построена сеть из DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) станций², расположенных вблизи цунамигенных регионов (рис. 1). В данной работе для рассмотрения была выбрана именно программа США, так как она наиболее активно развивается и предоставляет открытые данные со станций в реальном времени на сайте Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)³.

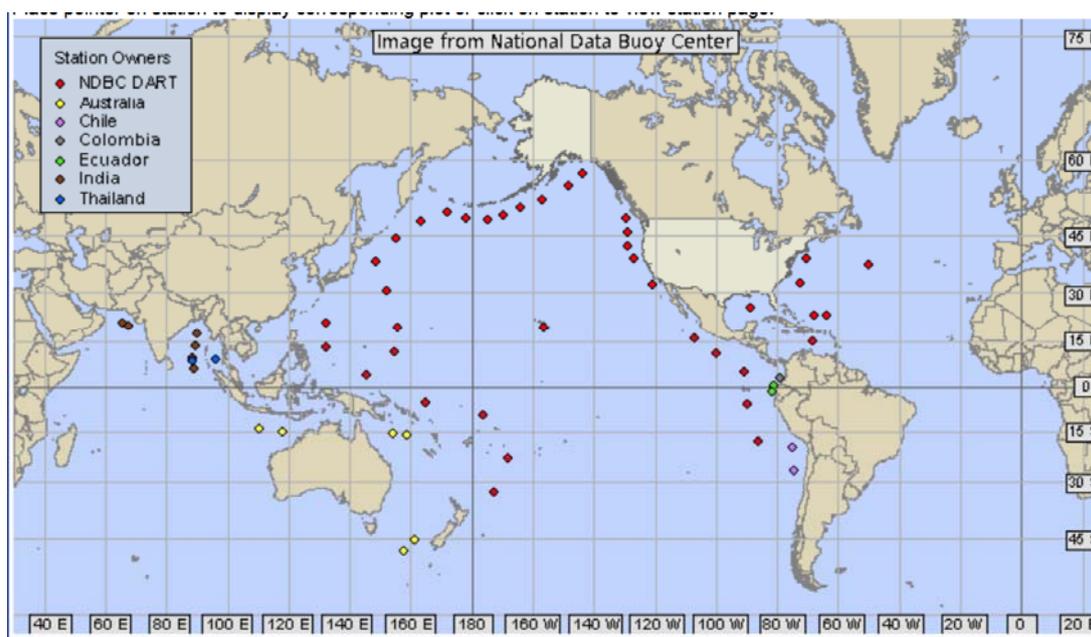


Рис. 1. Схема расположения DART станций
Fig. 1. DART stations location

¹ National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC / WDS). Global Historical Tsunami Database. DOI 10.7289/V5PN93H7

² National Oceanic and Atmospheric Administration Center for Tsunami Research. URL: <https://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml>

³ National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: <https://www.noaa.gov/>

DART станция состоит из двух основных частей – датчика давления, который крепится к морскому дну, и поверхностного буя. Датчик давления измеряет изменение высоты водяного столба и с помощью телеметрии сообщает поверхностному бую данные [3], которые через спутник передаются в центр обработки данных (рис. 2).

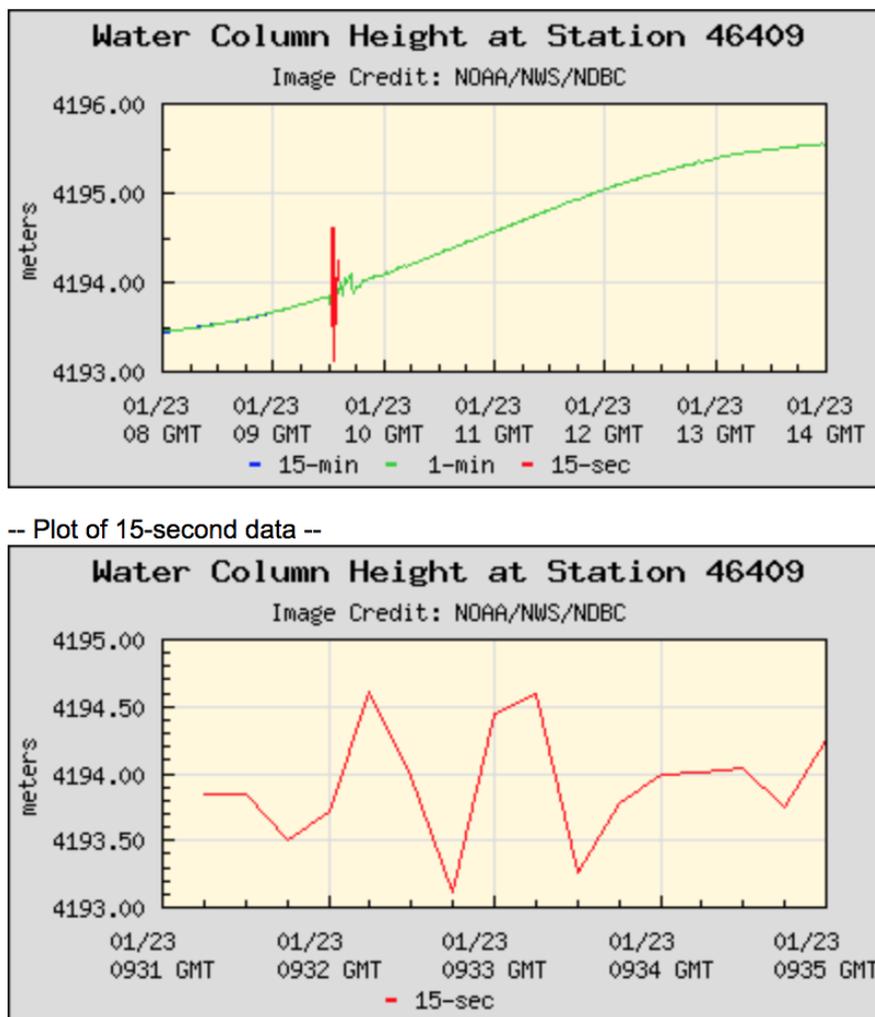


Рис. 2. Пример данных с DART станции 46409 для землетрясения, произошедшего 28 сентября 2018 года

Fig. 2. Data sample from DART stations 46409 for the earthquake that occurred on September 28, 2018

Система имеет два режима – «стандарт» и «событие». В обычном режиме датчик регулярно собирает информацию об уровне моря и сообщает результаты измерения при относительно низких частотах передачи (каждые 15 минут). Это экономит электроэнергию и, следовательно, время автономной работы и продлевает срок службы. Система переходит в режим «события», когда датчик давления фиксирует волну Релея, поверхностную сейсмическую волну. Затем он начинает сообщать информацию об уровне моря с частотой измерения 15 секунд, а затем с частотой в 1 минуту. Система возвращается в стандартный режим через 4 часа, если дальнейшие сейсмические события не обнаружены.

Фильтрация приливной компоненты

Профиль волны, поступающий с DART станции, является суперпозицией волны от источника цунами и приливной компоненты и не может быть использован для дальнейших шагов. Ветровые волны станция не фиксирует, поскольку они не оказывают давления на датчик, который расположен на дне. Чтобы получить доступ к реальному профилю волны цунами, необходимо отфильтровать приливную компоненту.

Для фильтрации приливной компоненты в рамках стажировок иностранных студентов на ФИТ НГУ Jessy Bogalho разработал скрипт на Python. На вход данный алгоритм принимает начало и конец временного интервала для извлечения данных и номер DART станции.

Данные с DART станции в реальном времени размещаются на сайте Национального управления океанических и атмосферных исследований США⁴. Для получения данных о профиле волны необходимо обладать информацией о номере станции и времени прохождения волны через нее.

Специализированного API для получения данных с DART станции не предусмотрено, поэтому необходимо производить ручной разбор HTML страницы. Для этого используется библиотека BeautifulSoup⁵.

Алгоритм фильтрации приливной компоненты волны использует данные с датчика DART за несколько дней до события и во время прохождения волны цунами через станцию включительно.

Этапы работы алгоритма:

1) предобработка данных – удаление дубликатов, восстановление пропусков в данных, исправление некорректных значений, удаление данных после прохождения цунами (после возврата к 15 минутной частоте измерения);

2) интерполяция данных о высоте волны для приведения к одному шагу измерения;

3) построение функции экстраполяции по данным до события и применение ее на интервале прохождения цунами;

4) на интервале прохождения цунами вычитаем из реальной функции экстраполированную, тем самым получая чистый сигнал, без приливной компоненты.

Результатом работы алгоритма являются 2 набора чисел: первый содержит данные о времени измерения, а второй – соответствующую этому времени высоту волны в точке расположения DART станции.

Расчет времени добегания волны

Для извлечения данных о профиле волны цунами с DART станции необходимо понимать, когда начинать снимать сигнал, т. е. когда волна достигнет станции. Время движения волны в океане неравномерно, поскольку зависит от профиля дна. Это ставит перед нами дополнительную задачу.

Для расчета времени добегания волны используется алгоритм, описанный А. Г. Марчуком [4]. В качестве шаблона соседних вершин используется шаблон, состоящий из 16 точек (рис. 3), описанный в [5].

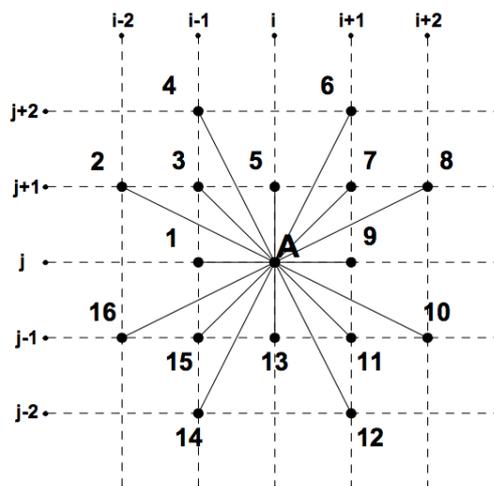
Расчет времени добегания волны до рассматриваемой вершины строится путем минимизации суммы времени добегания волны от очага до соседних вершин (в которые волна уже дошла) и от этой соседней вершины до рассматриваемого узла [4].

⁴ NOAA, National Weather Service, Tsunami Warning System. URL: <https://www.tsunami.gov/>

⁵ Python library BeautifulSoup. URL: <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/>

Рис. 3. Шестнадцатиточечный шаблон для расчета времени пробега волны цунами

Fig. 3. Sixteen-point neighbor pattern



Скорость распространения волны зависит только от глубины воды и вычисляется по формуле Лагранжа:

$$v = \sqrt{g * H},$$

где g – ускорение силы тяжести, а H – глубина.

Время движения волны цунами между соседними узлами расчетной сетки равно расстоянию между ними, деленному на среднее арифметическое скоростей цунами в этих точках [4], т. е.

$$T = \frac{2L}{\sqrt{g * H_1} + \sqrt{g * H_2}},$$

где L – расстояние между узлами сетки, а H_1 и H_2 – значение глубины в соответствующих точках.

Расчет начальной деформации

Пакет MOST, который используется для моделирования цунами, может работать в двух режимах – принимая на вход параметры землетрясения (например, длину и ширину разлома, угол разлома и т. д.) или деформацию водной поверхности после сейсмического события⁶. С практической точки зрения больше применим второй вариант, так как узнать вышеперечисленные характеристики в момент, когда произошло землетрясение не представляется возможным (сейсмические наблюдения позволяют определить лишь координаты эпицентра землетрясения и оценить магнитуду – количество выделившейся энергии).

Для восстановления формы первоначального возмущения водной поверхности используется метод предварительных вычислений. Запись с DART станции аппроксимируется линейной комбинацией синтетических (расчетных) мареограмм [6]. Для получения этих рас-

⁶ The National Oceanic & Atmospheric Administration, Pacific Marine Environmental Laboratory. Method of Splitting Tsunami (MOST) Software Manual. 2006.

четных мареограмм наиболее сейсмогенные районы океана были покрыты системой «эталонных» (единичных) источников – прямоугольников размером 50×100 км (рис. 4).

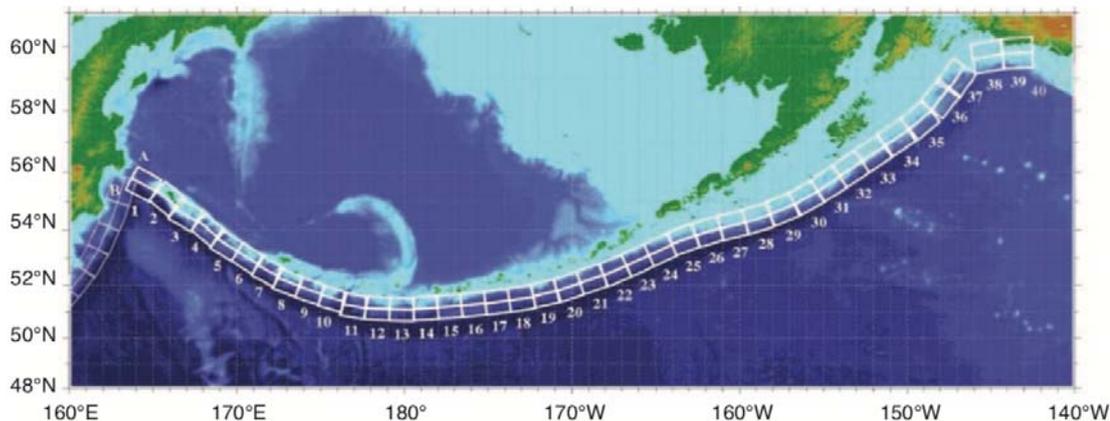


Рис. 4. Аляскинско-Алеутская зона субдукции
Прямоугольниками отмечено расположение единичных источников

Fig. 4. Aleutians-Alaska Subduction Zones unit sources

Затем в каждый единичный источник была помещена предварительно выбранная характерная форма возмущения морского дна и численно определены параметры волны от такого возмущения.

В работах В. Титова было показано, что сигнал от (неизвестного) источника цунами можно с удовлетворительной точностью приблизить линейной комбинацией синтетических сигналов, вычисленных заранее, от «эталонных» источников [6].

Далее по полученным коэффициентам в разложении реального сигнала необходимо сформировать деформацию для рассматриваемого события и передать его на вход алгоритму расчета распространения волны цунами, который по сути тот же самый, что и для расчетов профилей волны от единичных источников.

Моделирование

Для моделирования используется пакет MOST (Method of Splitting Tsunami), который представляет собой набор программ численного моделирования, способных имитировать три процесса эволюции цунами: землетрясение, распространение волны и расчет наката волны на берег.

Вышеперечисленные шаги составляют каркас системы моделирования цунами, однако для полной работы системы как единого целого необходимы еще и промежуточные этапы, которые будут решать задачи предобработки данных и обеспечивать интеграцию между различными реализациями основных алгоритмов. Полный алгоритм работы системы можно рассмотреть на схеме (рис. 5).

Архитектура системы

Основной целью работы является объединение существующих алгоритмов в единую систему. Так как существующие алгоритмы реализованы на разных языках программирования (Fortran, C++, C, Python) и в будущем будут изменяться, необходимо обеспечить легкое внедрение нового алгоритма в общую систему.

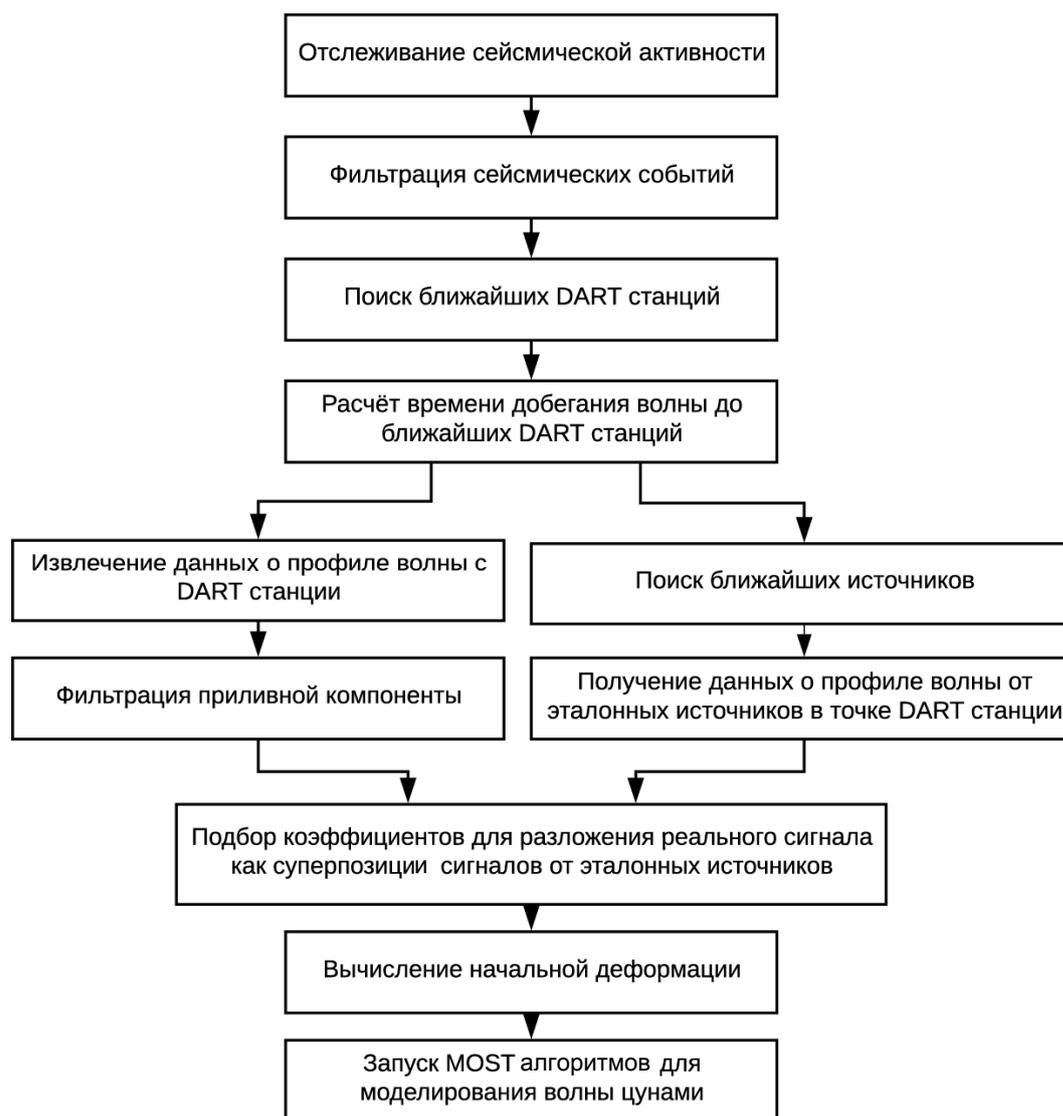


Рис. 5. Алгоритм работы системы

Fig. 5. The algorithm of the system

Для этого предлагается изолировать все элементы системы друг от друга, но четко зафиксировать контракт общения между ними (рис. 6). Для такого рода взаимодействия хорошо подходит микросервисная архитектура. Каждый отдельный алгоритм инкапсулирован в микросервисе, общение происходит через REST API.

Для удобства поставки модули упакованы в docker-контейнеры⁷, а для запуска всех контейнеров как единой системы используется docker-compose⁸. Это решение позволяет не за-

⁷ What is a docker-container. URL: <https://www.docker.com/resources/what-container>

⁸ Docker-compose is a tool for defining and running multi-container Docker applications. URL: <https://docs.docker.com/compose/>

думываться о подготовке среды для запуска приложения на новом сервере, так как каждый контейнер уже включает в себя всё необходимое для работы приложения: библиотеки, системные инструменты, код и среду исполнения [7].

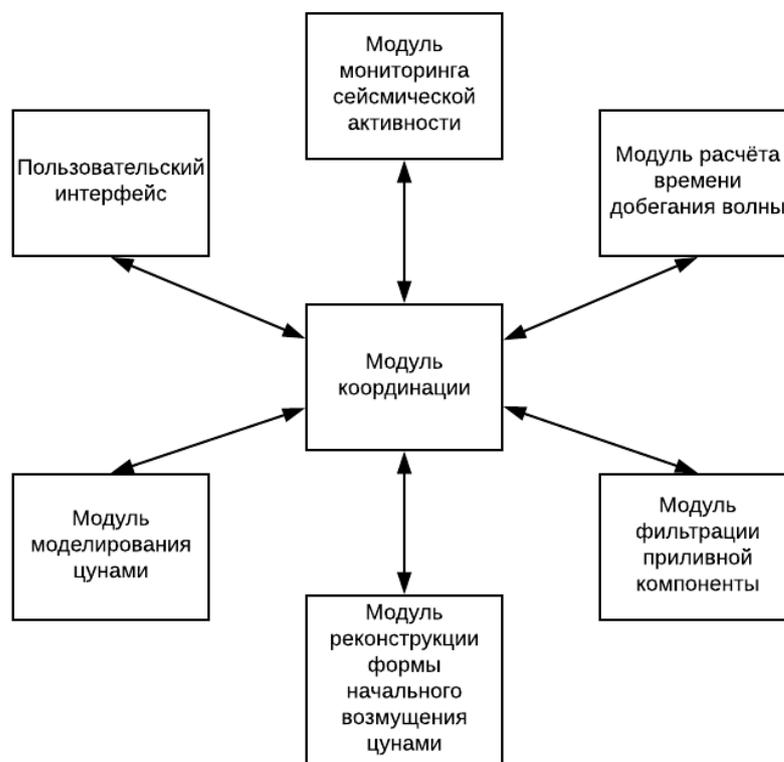


Рис. 6. Схема взаимодействия модулей системы
Fig. 6. The interaction scheme of the system modules

Рассмотрим подробнее назначение каждого модуля и общий алгоритм работы системы.

1. *Модуль мониторинга сейсмической активности.* Компонентом системы, инициирующим начало основной работы, является подмодуль отслеживания сейсмической активности в океане. Данный подмодуль периодически опрашивает систему мониторинга сейсмической активности. В настоящий момент используются данные с сайта Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS) ⁹. В дальнейшем возможно использование других источников.

При старте приложения запускается периодическая задача, которая опрашивает сервис USGS для получения данных о новых сейсмических событиях. Данная информация представлена в формате ATOM ¹⁰ с использованием стандарта GeoRSS ¹¹, для разбора используется библиотека Rome ¹².

⁹ USGS. Earthquake Hazards Program. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

¹⁰ The Atom Syndication Format. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4287>

¹¹ Geographically Encoded Objects for RSS feeds. URL: <http://www.georss.org/>

¹² Java framework for RSS and Atom feeds. URL: <https://github.com/rometools/rome>

Полученные данные фильтруются по локации землетрясения - для моделирования цунами имеет смысл рассматривать только те события, которые произошли в море или океане. Также не имеет смысла обрабатывать события с низкой магнитудой.

2. *Модуль расчета времени добегания.* При обнаружении релевантного события для начала моделирования необходимо получить данные с DART станции (в дальнейшем можно использовать несколько источников, например, кабельные системы, GPS буи).

Для ускорения поиска ближайшей станции данные о расположении DART станций были извлечены из сети Интернет и сохранены в локальной базе данных.

Для расчета времени добегания волны используется алгоритм описанный А. Г. Марчуком в статье «Минимизация погрешностей при численных расчетах волновых лучей и фронтов цунами» [4].

На начало работы над системой уже существовала реализация данного алгоритма на C++. Однако она не вполне подходила для применения в работе – алгоритм был рассчитан для работы с батиметрической картой (картой, изображающей подводный рельеф) по равномерной сетке в формате GBR98. Батиметрия, которая используется для основного алгоритма системы MOST, построена на прямоугольной, но не квадратной сетке.

На данный момент алгоритм портирован на язык Kotlin и доработан для работы с прямоугольной сеткой, протестирован и отлажен на исторических событиях.

3. *Модуль фильтрации приливной компоненты.* Профиль волны, полученный с DART станции, не может быть использован в чистом виде для выполнения дальнейших шагов, так как он содержит приливную компоненту.

Существующая реализация алгоритма фильтрации приливной компоненты на Python, выдавала неплохой результат, однако в процессе обработки сигнала изменялся временной интервал измерений. Таким образом, на выходе программа выдавала корректные результаты в плане высоты волны, но неверные соответствия времени измерения (рис. 7).

На данный момент программа доработана и протестирована на нескольких исторических событиях. Для поднятия веб-сервера на Python был использован фреймворк Flask¹³.

4. *Модуль реконструкции начального возмущения водной поверхности.* Для разложения реального сигнала как линейной комбинации сигналов от синтетических источников П. Татаринцевым был реализован алгоритм на C++ [8]. Данный алгоритм принимает на вход два текстовых файла, которые содержат реальный профиль волны и расчетные мареограммы от нескольких ближайших эталонных источников в месте расположения DART станции. Результатом работы алгоритма является текстовый файл, в котором каждому эталонному источнику соответствует коэффициент в разложении реального сигнала.

Такой вариант входных и выходных файлов прост в разработке, но является неподходящим для интеграции с другой системой. В связи с этим данная реализация была изменена на общение с модулем координации через REST API.

На вход алгоритм принимает отфильтрованный сигнал с DART станции (без приливной компоненты) и данные синтетических (расчетных) мареограмм от базисных источников. Результатом работы алгоритма являются коэффициенты, соответствующие базисным источникам, линейная комбинация которых приближает реальный сигнал с определенной точностью. Для обработки событий в реальном времени необходимо иметь базу данных синтетических мареограмм. Получение расчетных мареограмм производится с использованием пакета MOST для моделирования волны цунами от эталонного источника. Результатом работы MOST является файл формата NetCDF (Network Common Data Form), содержащий информацию о высоте волны и скорости по направлениям x и y для каждого узла батиметрии в зависимости от времени. NetCDF – это бинарный формат файлов, предназначенный для создания, доступа и публикации научных данных. NetCDF является самоописательным фор-

¹³ Lightweight web application framework. URL: <https://github.com/pallets/flask>

матом, это значит, что в файл входит информация о содержащихся в нем данных, включая указание на единицы измерения. Для работы с файлами формата NetCDF используется библиотека NetCDF Java¹⁴.

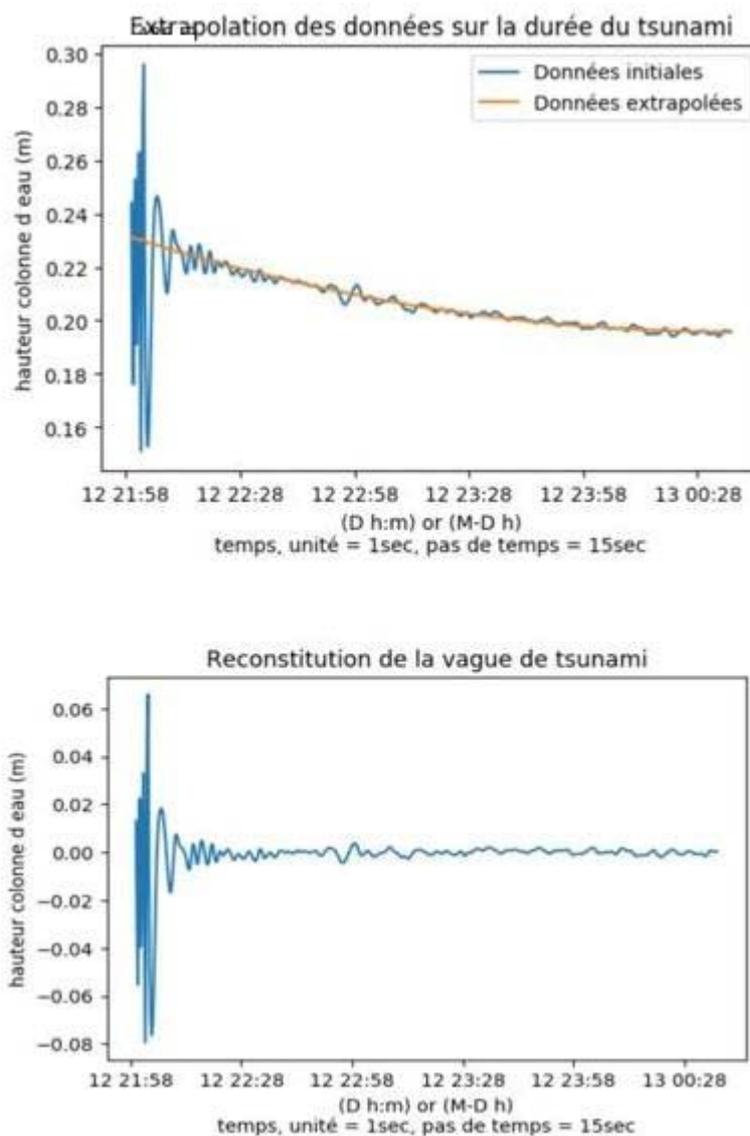


Рис. 7. Результат фильтрации приливной компоненты

Fig. 7. The result of filtering tidal components

¹⁴ NetCDF Java library. URL: <https://www.unidata.ucar.edu/software/thredds/current/netcdf-java/>

Полный расчет деформации водной поверхности океана от одного эталонного источника занимает на дисковом пространстве порядка 2 Гб данных. Это ставит перед нами дополнительную задачу – обеспечить оптимальное хранение расчетных мареограмм. Если тщательно проанализировать задачу, становится ясно, что хранение данных о профиле волны для всех точек океана совсем не обязательно. Для подсчета коэффициента интересны только данные в точках расположения DART станций.

Таким образом, проделав предварительную работу по извлечению из NetCDF файлов расчетных мареограмм данных о профиле волны в точках расположения DART станций, можно уменьшить объем хранимой информации на диске и увеличить скорость обработки сейсмического события. Но следует учитывать, что такого рода база данных требует периодического обновления для поддержания ее в актуальном состоянии, так как DART станции могут менять место своего расположения (например, после поднятия на поверхность для сервисного обслуживания).

5. *Модуль моделирования цунами.* По полученным на предыдущем этапе коэффициентам формируем деформацию для рассматриваемого события и передаем ее на вход пакету MOST. Результатом работы пакета MOST является файл в формате NetCDF, для просмотра результатов моделирования может быть использована утилита ncview (рис. 8).

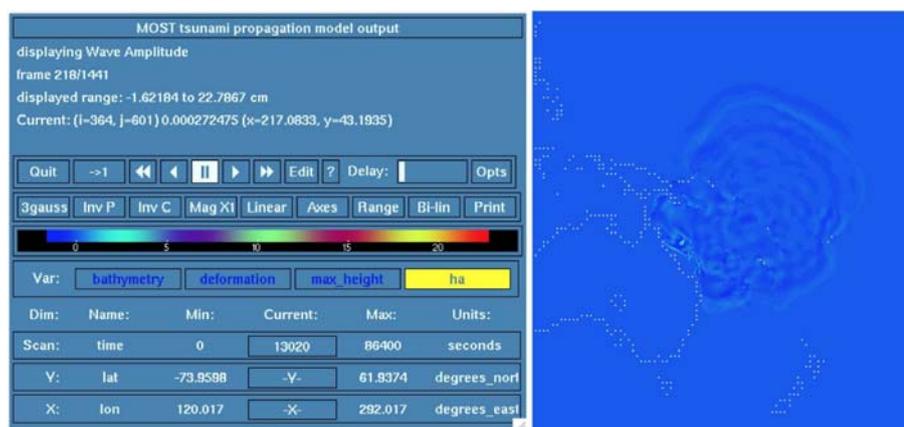


Рис. 8. Результаты моделирования распространения волны цунами в программе ncview

Fig. 8. Results of tsunami wave propagation in ncview

В дальнейшем можно доработать систему таким образом, чтобы визуализировать сравнение результатов моделирования с реальными данными о профиле волны с DART станции.

6. *Модуль координации.* Модуль, контролирующий взаимодействие всех частей системы, разработан на языке Kotlin. Это статически типизированный язык программирования, работающий поверх JVM. Данный модуль отвечает за все промежуточные шаги между основными этапами моделирования цунами, такие как поиск ближайших к эпицентру сейсмического события DART станций и единичных источников, разбор NetCDF файла для извлечения профиля волны в точках расположения DART станций, формирование композитной деформации водной поверхности из деформаций от единичных источников по коэффициентам в разложении реального сигнала и т.д.

Заключение

Результатом работы является программное средство для оценки параметров цунами. Данная система позволит в автоматическом режиме анализировать волну цунами от получения данных о сейсмическом событии до моделирования поведения волны у прибрежной территории.

Все этапы работы системы изолированы в отдельные модули, что позволяет легко тестировать и отлаживать новые реализации этапов алгоритма, отслеживая, как те или иные изменения повлияют на весь алгоритм моделирования.

Работа над данным проектом еще не закончена, в дальнейшем планируется закончить интеграцию всех модулей системы, а также разработать пользовательский интерфейс для работы с системой.

Список литературы / References

1. **Lavrentiev M. M., Romanenko A. A.** Real Time Tsunami Data Inversion. In: Proceedings of The International Conference dedicated to the 80th anniversary of the birthday of Academician Mikhail Mikhailovich Lavrentiev. Novosibirsk, 2012, p. 311–312.
2. **Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И.** Цунами: предупреждение и защита. М., 2006.
Vorobiev Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Tsunami: preduprezhdenie i zashchita [Tsunami: warning and protection]. Moscow, 2006. (in Russ.)
3. **Meinig Ch., Stalin S. E., Nakamura A. I., González F.** Proceedings of OCEANS-2005 MTS/IEEE. In: Technology Developments in Real-Time Tsunami Measuring. Washington, 2005.
4. **Марчук А. Г.** Минимизация погрешностей при численных расчетах волновых лучей и фронтов цунами // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, № 3. С. 27–36.
Marchuk A. G. Minimizing computational errors of tsunami wave-ray and travel time. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2013, vol. 11, no. 3, p. 27–36. (in Russ.)
5. **Карев В. Ю., Судаков А. Н., Чубаров Л. Б.** Методы расчета карт изохрон. Методы интерпретации экспериментальных данных и численные расчеты. Красноярск: Изд-во КГУ, 1987. С. 75–81.
6. **Karev V. Yu., Sudakov A. N., Chubarov L. B.** Metody rascheta kart izohron [Methods for calculating isochron maps]. In: Methods of interpretation of experimental data and numerical calculations. Krasnoyarsk, KSU Press, 1987, p. 75–81. (in Russ.)
7. **Gica E., Spillane M., Titov V., Chamberlin C., Newman J.** Development of the Forecast Propagation Database for Noaa's Short-Term Inundation Forecast for Tsunamis (Sift). In: NOAA Technical Memorandum OAR PMEL-139, 2008.
8. **Mouat A.** Using Docker: Developing and Deploying Software with Containers. 1st ed. O'Reilly Media, 2016.
9. **Романенко А. А., Татаринцев П. В.** Алгоритм восстановления формы начального возмущения в источнике цунами // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, № 1. С. 113–123.
Romanenko A. A., Tatarintsev P. V. Algorithm for reconstruction of initial sea face disturbance at tsunami epicenter. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2013, vol. 11, no. 1, p. 113–123. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию
Received
20.11.2018

Сведения об авторах / Information about the Authors

Иванова Анастасия Евгеньевна, магистрант факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета (ул. Пирогова, 1, 630090, Новосибирск, Россия)

Anastasia E. Ivanova, Master's Student, Faculty of Information Technologies, Novosibirsk State University (1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

adymova05@gmail.com

Романенко Алексей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета (ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия)

Alexey A. Romanenko, Candidate of Science (Technology), Associate Professor, Deputy Dean of Faculty of Information Sciences, Novosibirsk State University (1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

arom@ccfit.nsu.ru