

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛН ЦУНАМИ НА ПРИБРЕЖНУЮ ТЕРРИТОРИЮ

Андреев А.К., Зыскин И.А., Камаев Д.А., Шершаков В.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун», г.Обнинск, post@typhoon.obninsk.ru

Введение

С целью выявления поражающих факторов и источников чрезвычайной ситуации (ЧС) на жизнедеятельность населения, работу объектов экономики и действия сил ликвидации ЧС, обоснования и применения мер защиты осуществляется выявление и оценка обстановки, складывающейся при ЧС.

Выявление и оценка обстановки осуществляется в три этапа:

1 этап - выявления и оценка обстановки на основе заблаговременного прогноза на основе оценочных характеристик возможных ЧС;

2 этап - выявления и оценка обстановки на основе оперативных данных о ЧС;

3 этап - выявления и оценка фактической обстановки по данным разведки.

ЧС, вызываемое цунами, есть результат воздействия волн цунами на береговую зону и расположенный в ней объекты. Масштабы воздействий определяются значениями характеристик волн цунами, природными особенностями береговой зоны, особенностями застройки и режимом жизнедеятельности населения. Основными разрушительными факторами при воздействии волн цунами являются: гидростатическое воздействие, воздействие гидравлического потока, размывающее действие, транспортирующее действие. Особенности распространения волн цунами позволяют рассматривать цунами как интенсивное наводнение, происходящее в прибрежной зоне.

Обстановка в зоне воздействия волн цунами характеризуется следующим набором показателей [3]:

А. группой основных показателей, определяющих варианты реагирования на ЧС: время распространения волн цунами к берегу (время добегаания волн), максимальную высоту волны цунами у уреза воды, величину максимального заплеска;

В. группой показателей, характеризующих инженерную обстановку в районе воздействия волн цунами: количество зданий, получивших полные, сильные, средние и слабые разрушения, количество участков, требующих укреплений/обрушений поврежденных или разрушенных конструкций, количество аварий на коммунально-энергетических сетях, протяженность заваленных проездов и размытых насыпей дорог;

С. группой показателей, влияющих на объем аварийно-спасательных работ: число пострадавших, оказавшихся в зоне затопления, число людей, оставшихся без крова, потребность во временном жилье, пожарная, радиационная и химическая обстановка в районе воздействия цунами.

Перечисленные показатели являются интегральными и на основе их значений принимаются решения о мерах по противодействию последствиям ЧС, проведении аварийно-спасательных работ и их масштабе, о требуемых материальных ресурсах.

Таким образом, задача оценки обстановки в результате ЧС, вызванного цунами, заключается в оценке значений перечисленных выше показателей на основе характеристик волн цунами, которые, в свою очередь, оцениваются либо на основе моделирования процесса генерации и распространения волн (1 этап оценки), либо на основе моделирования с использованием оперативных данных о характеристиках зародившегося цунами (2 этап оценки).

Методические основы прогнозирования обстановки в результате чрезвычайной ситуации, вызванной цунами

Показатели группы А

Современная концепция оперативного прогноза высот волн цунами и времен добегаания до побережья по данным о подводном землетрясении (времени в очаге, магнитуды, координат эпицентра, глубины очага) основана на результатах предварительного математического моделирования (ПММ). Суть ПММ заключается в выполнении части расчетных работ по моделированию характеристик цунами заранее (до возникновения опасного события), создании на

основе проведенных вычислений базы данных, которая используется потом при проведении расчетов в оперативном режиме функционирования СПЦ.

Математические модели распространения волн цунами основаны на уравнениях волновой гидродинамики разного уровня сложности с набором «физико-географических» и «математических» параметров. К «физико-географическим» параметрам относятся начальные данные (форма начального возмущения свободной поверхности), форма границ (очертания берегов и сооружений) и граничные условия, батиметрия и возможный закон ее изменения (оползни, наносы, трещины, подвижки), рельеф суши, шероховатость, ветровое трение, коэффициенты турбулентного перемешивания и другие. «Математические» параметры возникают при выводе и численной аппроксимации уравнений волновой гидродинамики.

Постановка задачи на выполнение ПММ динамики волн цунами должна содержать описание характера решаемой задачи, степени детальности расчета, формы представления и объема результатов, в том числе предназначенных для длительного хранения.

ПММ осуществляется поэтапно. Сначала выполняются пробные расчеты с использованием различных вычислительных сеток (с различной детальностью батиметрии) и математических моделей различного уровня сложности (для выявления важности вкладов нелинейности, дисперсии, диссипации, учета сферичности и вращения Земли). Разные варианты вычислительных алгоритмов сравниваются между собой для достижения нужной точности. Апробируются различные численные схемы реализации вычислительных алгоритмов, так как особенности численной реализации алгоритмов порой оказывают заметное влияние на конечные результаты. После сопоставления выходной информации моделей между собой и с имеющимися натурными и историческими материалами, выбирается модель, наиболее пригодная для практического использования.

Сейсмические цунами могут быть глобальными (удаленными), региональными и локальными (близкими). Для всех перечисленных случаев применяются свои модели. Для численного моделирования поведения волны цунами у побережья применяются модели, требующие более детальную батиметрию, чем для расчетов распространения по глубокому океану, знание параметров шероховатости морского дна, а также повышение порядка конечно-разностной аппроксимации исходных уравнений волной динамики для более точного учета эффектов дисперсии и нелинейности.

К настоящему времени накоплен опыт, показывающий, что распространение волн цунами сейсмического происхождения можно с достаточной точностью моделировать в рамках приближений уравнений мелкой воды первого и второго приближений [6]. При этом установлено, что на разных пространственно-временных масштабах целесообразно использовать модели различного порядка аппроксимации. Так, распространение цунами по глубокому океану допустимо рассчитывать в рамках линейных уравнений первого и второго порядков. Однако в этих уравнениях необходимо учитывать сферичность Земли и влияние сил Кориолиса. Учет дисперсии необходим при распространении волн на значительные расстояния.

Трансформацию волны вблизи берега, а также взаимодействие с прибрежными конструкциями следует моделировать в рамках нелинейно-дисперсионных моделей с привлечением трехмерных моделей для уточнения вертикальной структуры потока. Определение зоны затопления сухого берега, а также вычисление максимальных высот волн традиционно проводится в рамках нелинейных уравнений мелкой воды.

Показатели группы В

Оценка значений группы показателей, характеризующих инженерную обстановку в районе воздействия волн цунами, основывается на результатах моделирования процесса наката волн цунами на берег и эмпирических данных о воздействии потока воды на сооружения. Пример значений параметров потока, вызывающего разрушение зданий различных типов, приведен в таблице 1, в которой символами h и V обозначены критические значения глубины затопления и скорости потока, при превышении которых возникают разрушения соответствующей степени. Аналогичные таблицы [5] разработаны для параметров потока, вызывающих разрушения стенок, набережных, оборудования портов и промышленных предприятий, мостов, дорог, транспортных средств и т.д.

Таблица 1 Параметры потока, вызывающего разрушение зданий различных типов

Тип здания	Разрушение					
	Полное и сильное		Среднее		Слабое	
	h , м	V , м/с	h , м	V , м/с	h , м	V , м/с
Сборные деревянные жилые дома	3	2	2,5	1,5	1	1

Окончание табл.1

Деревянные дома (1-2 этажа)	3,5	2	2,5	1,5	1	1
Лёгкие 1-2 этажные бескаркасные постройки	3,5	2	3	1,5	2	1
Кирпичные малоэтажные здания (1-3 этажа)	4	2,5	3	2	2	1
Промышленные здания с лёгким металлическим каркасом и здания бескаркасной постройки	5	2,5	3,5	2	2	1,5
Кирпичные дома средней этажности (4 этажа и более)	6	3	4	2,5	2,5	1,5
Промышленные здания с тяжёлым металлическим или железобетонным каркасом (стены из керамзитобетонных панелей)	7,5	4	6	3	3	1,5
Бетонные и железобетонные здания, здания антисейсмической конструкции	12	4	9	3	4	1,5

Показатели группы С

Для оценки людских потерь в результате воздействия волны цунами в системе вводятся категории зон затопления: *1 зона* - характеризуется бурным потоком воды со скоростью течения 30 и более км/час и временем затопления более 0,5 часа; *2 зона* - характеризуется быстрым течением со скоростью 15-30 км/час и временем затопления более 1 часа; *3 зона* – характеризуется средним течением со скоростью 10-15 км/час и временем затопления более 2 часов; *4 зона* - характеризуется слабым течением (разливом) со скоростью течения 6-10 км/час и временем затопления более 2 часов.

В зависимости от категории зоны затопления по эмпирическим данным установлен процент от числа населения, которое может пострадать вследствие цунами. Пример приведен в Таблице 2, в которой санитарные потери характеризуются наличием раненых, пораженных и больных, утративших трудоспособность не менее чем на одни сутки в результате чрезвычайной ситуации, и нуждающихся в госпитализации.

Таблица 2 Доля населения, которое может пострадать вследствие цунами

Категории зоны затопления	Общие потери (%)		Из числа общих потерь (%)			
	днем	ночью	безвозвратные		санитарные	
			днем	ночью	днем	ночью
1	60	90	40	75	60	25
2	13	25	10	20	90	80
3	5	15	7	15	93	85
4	2	10	5	10	95	90

Оценка числа людей, оставшихся без крова, и потребность во временном жилье производится на основе оценки степени разрушений строений жилого фонда (показатели группы В).

Прогнозирование обстановки в результате чрезвычайной ситуации, вызванной цунами, на основе моделирования наката волн цунами на берег

В практической деятельности для прогнозирования последствий воздействия волн цунами на береговую зону применяются процедуры, использующие упрощенные и усредненные по защищаемой территории оценки характеристик наката на берег по данным о высоте волны на линии уреза [3]. Современные знания о процессах генерации и распространения волн цунами, имеющиеся в настоящее время методы моделирования этих процессов и возможности вычислительной техники, позволяют решать задачу прогнозирования процессов наката волн цунами на берег по данным о произошедшем подводном землетрясении. В результате моделирования с использованием современных подходов (прежде всего ПММ) могут быть получены распределения в виде сеток с требуемым шагом: максимальных значений глубин затопления, максимальных значений модулей скорости течения, а также поле скоростей течения. Перечисленные характеристики наката позволяют решить задачу оценки значений показателей групп В и С с учетом особенностей проявления наката в различных частях защищаемой территории. Например, прогноз степени разрушения зданий может осуществляться для каждого здания с учетом особенностей его расположения.

Требования к точности моделирования наката определяются точностью данных, используемых при прогнозировании. Например, критические значения глубины затопления и скорости течения, вызывающие разрушение зданий различных типов (таблица 1), приведены с

точностью до 0,5 м и м/с соответственно. Поэтому такая же точность должна предъявляться к результатам моделирования характеристик наката.

Для проведения расчетов на основе моделирования наката с целью оценки последствий воздействия цунами нам береговую зону необходима информация, характеризующая защищаемую территорию: данные о местонахождении населения, строениях, инженерных сооружениях и т.д., а также любая дополнительная необходимая информация, которая позволяет по характеристикам наката волн цунами, провести оценку последствий воздействия цунами на береговую зону. Таким образом, для каждого объекта - строения, инженерного сооружения, элемента гражданской инфраструктуры (например, пляжа, парка, зоны отдыха и т.д.) должен быть зафиксирован набор характеристик: «название объекта» - например: пирс, здание городской администрации, школа №1 и т.д.; «принадлежность к области на схеме населенного пункта» - защищаемая территория разбита на области, в пределах которых прогнозируемые значения характеристик наката заменяются средними значениями; «тип объекта» - например: здание кирпичное (4 и более этажей). Для каждого объекта должна быть зафиксированы «критические значения глубины затопления и скорости течения воды, вызывающие соответственно слабые, средние, сильные и полные разрушения (пример таблица 1).

Кроме перечисленной информации должны иметься сведения о местонахождении населения в населенном пункте и его окрестностях: защищаемая территория разделяется на районы, для каждого района устанавливается число людей, находящихся на его территории в зависимости от периода времени. Местонахождение населения представляется в виде таблиц (пример – таблица 3).

Таблица 3 Сведения о местонахождении населения

Местонахождение людей - район: «Территория рыбного порта»								
Месяц: «Май»								
Количество (чел)	Время суток (час.)							
Дни недели	0-1	1-2	...	10-11	22-23	23-24
Понедельник	20	20		500			20	20
Вторник	20	20		500			20	20
...
Воскресенье	20	20		400			20	20

Процедуру оценки последствий воздействия цунами нам береговую зону можно пояснить на примере прогнозирования степени разрушений зданий, вызванных воздействием волны цунами (рис. 1).

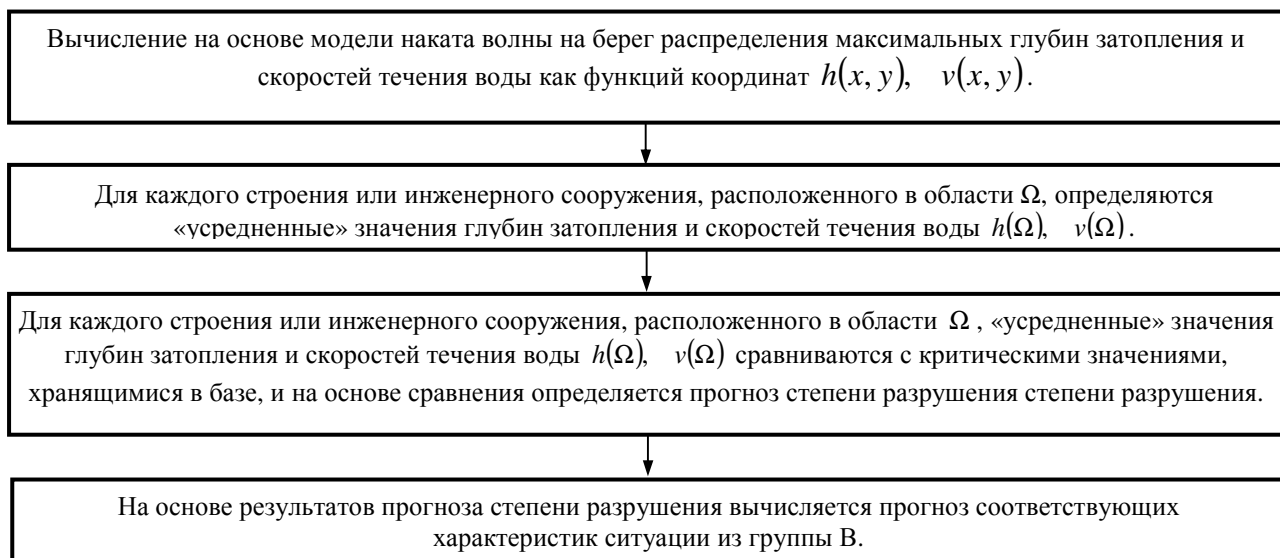


Рис.1 Схема процедуры прогнозирования степени разрушений зданий, вызванных воздействием волны цунами

Прогноз обстановки в результате чрезвычайной ситуации в службе предупреждения о цунами

Согласно действующим нормативным документам в задачи центров предупреждения о цунами (ЦЦ) входит объявление тревоги цунами в случае возникновения опасности цунами, которое

может представлять угрозу для защищаемой территории. Опасность землетрясения и возможность возникновения цунами определяется по магнитудно-географическому критерию [4]. Его недостатком является нередкое объявление ложных тревог. С целью снижения количества ложных тревог делаются попытки использования при принятии решения об объявлении тревоги цунами прогностической информации о проявлении цунами, в частности прогноз максимальной высоты волн в защищаемых пунктах. Таким образом, при объявлении тревоги в сообщении, передаваемом ЦЦ, содержится не только объявление тревоги, оценка времени прихода волн в защищаемые пункты, но и прогнозируемые максимальные значения высот волн.

Конечная цель использования прогностической информации состоит в оценке обстановки в результате ЧС, вызванного цунами. Разделение процедуры прогнозирования обстановки между ЦЦ (прогноз высоты волн по данным о землетрясении) и единой дежурно-диспетчерской службой (ЕДДС) администрации субъекта Российской Федерации (прогноз обстановки по полученным от ЦЦ данным о высоте волн) является неоптимальным и имеет ряд недостатков. Во-первых, прогностическое значение высоты волны интерпретируется по-разному лицом, принимающим решение об объявлении тревоги цунами и лицом, планирующим мероприятия по противодействию последствиям воздействия волн цунами. Во-вторых, прогностические данные о высоте волн, попавшие в средства массовой информации, могут быть восприняты населением совершенно неадекватно. В-третьих, надежность прогноза высот волн зависит от многих факторов, часть которых не всегда поддается контролю (неточность батиметрии, отсутствие оперативной информации о механизме в очаге землетрясения и др. [2, 6]).

Надежность прогноза обстановки в результате ЧС, вызванного цунами, может быть повышена за счет осуществления процедуры прогнозирования в ЦЦ. В этом случае ЦЦ при объявлении тревоги должен передавать в ЕДДС сигнал тревоги и прогноз обстановки, которая может сложиться в результате ЧС, вызванного цунами. При этом вместо передачи прогноза максимальных высот волн целесообразно передавать на картографической основе прогноз затопления защищаемой территории.

Современные возможности вычислительной техники, а также опыт создания автоматизированных информационно-управляющих систем позволяют [1] реализовать в ЦЦ процедуру прогнозирования обстановки и выполнять необходимые вычисления с минимальными временными затратами.

Заключение

Осуществление в центра предупреждения о цунами процедуры прогнозирования обстановки в результате ЧС, вызванного цунами, и передача прогноза в единую дежурно-диспетчерскую службу вместе с объявлением тревоги цунами позволяет повысить надежность прогноза обстановки и оптимальность принимаемых решений по противодействию последствиям воздействия волн цунами.

Список литературы

1. Андреев А.К., Камаев Д.А., Трахтенгерц Э.А. Экспертное прогнозирование последствий повреждения систем жизнеобеспечения. // электронный журнал «Управление Большими системами», http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ubs&paperid=11&option_lang=rus
2. Байбалов В.В., Бейзель С.А., Гусев А.А., Гусяков В.К., Елецкий С.В., Зыскин И.А., Камаев Д.А., Федотова З.И., Чубаров Л.Б., Шокин Ю.И. Информационно-вычислительные аспекты совершенствования национальной системы предупреждения о цунами. // Вычислительные технологии. 2008. Т.13, спец. вып. 2. С. 4-20.
3. Буланенков С.А., Воронов С.И., Губченко П.П. и др.; под общей редакцией Фалеева М.И. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. 480 с.
4. Гусяков В.К. Магнитудно-географический критерий прогнозирования цунами: анализ практики применения за 1958–2009 гг. // Сейсмические приборы. 2010. Т.46. №3. С. 5-21.
5. Филатов Ю.А., Сумина И.В. Методика прогнозирования гидравлических последствий разрушения плотин водохранилищ. М.: ВНИИ ГОЧС, 1996.
6. Шокин Ю.И., Чубаров Л.Б., Марчук Ан.Г., Симонов К.В. Вычислительный эксперимент в проблеме цунами. Новосибирск: Наука, Сиб.отд-ние, 1989, 168 с. (ISBN 5-02-028660-5).