

О. В. СМЕРНОВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКОВ, ВЫЗВАННЫХ КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Рассматривается новый базирующийся на использовании геоинформационных технологий комплексный подход к оценке рисков, вызванных катастрофическими явлениями, в частности цунами. Предложенный метод позволяет связать параметры источников волн цунами, среды их распространения и береговой инфраструктуры с последствиями катастроф и сформировать динамические карты рисков.

Ключевые слова: катастрофа, методы оценки рисков, карты рисков.

Введение. В настоящее время геоинформационные технологии находят широкое применение при решении различных задач анализа и прогнозирования катастрофических природных и техногенных явлений (землетрясений, снежных лавин, оползней, ураганов, цунами, пожаров, взрывов, разливов нефти и др.). В современных геоинформационных системах (ГИС) анализа чрезвычайных ситуаций помимо эффективных методов визуализации пространственных данных о катастрофических явлениях предусматривается наличие специальных методов моделирования их поведения. Именно возможности применения этих методов во многом определяют эффективность ГИС для потребителей. При разработке таких методов моделирования необходимо не только формализовать анализируемые катастрофические явления, но и адаптировать эти методы к готовым базовым геоинформационным технологиям.

Анализ известных подходов к моделированию катастрофических явлений свидетельствует, что многие методы проработаны недостаточно. В этой связи в настоящей статье предлагается один из возможных подходов к оценке рисков, вызванных, в частности, цунами, адаптированный к использованию в современных геоинформационных системах.

Постановка задачи. Рассмотрим действующую геоинформационную систему анализа чрезвычайных ситуаций, в которой отсутствует подсистема оценки рисков, вызванных цунами. Необходимо дополнить эту систему соответствующими технологиями и методами, применение которых позволит наблюдать возможное развитие процессов зарождения цунами в заданном географическом районе и отражать их последствия.

В интересах разработки такого подхода учтем достигнутые ранее результаты. Известны модели и методы анализа цунами [1—5], отражающие закономерности этого явления. Среди них значительное внимание уделено аналитическому моделированию цунами [1—3, 6]. Одна из первых попыток сформулировать основные задачи неустановившегося волнового движения жидкости с учетом неровностей дна и возникающих при этом явлений была сделана в работе [1]. Там же была затронута проблема краткосрочного прогноза цунами на основе сейсмической информации. Многочисленные исследования по моделированию волн цунами и поиску аналитических решений задач волновой гидродинамики проведены в Сибирском отделении Российской академии наук [2—4]. Ряд работ посвящен исследованию потенциально опасных территорий, выявлению различных подводных источников цунами и построению их моделей [2], а также установлению зависимостей влияния формы и других характеристик источника на параметры фронта возникающей волны [3].

Несмотря на значительное число работ, посвященных цунами, многие аспекты не нашли должного отражения. Это вопросы, связанные с особенностями условий поведения цунами в зависимости от характеристик источника, среды распространения волн, рельефа дна, природных и искусственных препятствий и других факторов. Единый подход к оценке возможных вызванных цунами последствий как функций от времени, с учетом случайного характера этого процесса, отсутствует.

Допустим в рамках предлагаемого подхода, что в исследуемом сейсмоопасном районе моря возможно возникновение цунами. Допустим также, что имеется статистика по зарегистрированным случаям этого явления и установлен ряд зависимостей, связывающих параметры очагов цунами с параметрами генерируемых волн. Доступны базы данных [6, 7] по рельефу дна и батиметрии района. Определены береговые объекты, находящиеся в потенциально опасных районах, например отдельные и групповые объекты, включая населенные пункты, порты, нефтеналивные терминалы и т.д.

Необходимо спрогнозировать возможные риски, вызванные цунами, для береговых объектов.

Метод оценки рисков. Принимая во внимание особенности анализируемого процесса, выделим в нем три специфические стадии:

- проявление источника цунами — формирование волны определенного (конкретного) типа в соответствии с ее разрушающей силой;
- распространение волны и накат на берег;
- непосредственное воздействие на береговые объекты.

Учтем, что формирование конкретных типов волн осуществляется с некоторыми вероятностями. При этом процессы проявления конкретных волн характеризуются своими плотностями распределения времени наступления событий.

Оценку рисков, вызванных цунами, предлагается осуществлять с применением метода, включающего в себя следующие шаги.

1. Разделение множества возможных типов волн цунами на группы по их параметрам. Определение на основе имеющейся статистики (для этих групп волн и исходных состояний очагов) плотностей распределения времени генерации типовых волн, по которым могут быть вычислены соответствующие вероятности наступления событий в зависимости от времени. Распознавание исходных состояний очагов цунами.

2. Расчет параметров наката волны на берег в местах расположения заданных береговых объектов для каждой выделенной группы волн цунами.

3. Оценка рисков, вызванных каждым из типов волн, относительно рассматриваемых береговых объектов.

4. Расчет математического ожидания возможных рисков для береговых объектов на заданном интервале времени с учетом неопределенности момента генерации волны.

Рассмотрим особенности каждого из перечисленных шагов. Плотности распределения времени проявления i -х волн $f_i(t)$ могут быть определены заранее и в дальнейшем должны только уточняться. Для распознавания текущих состояний очагов цунами на основе анализа регистрируемых данных возможно применение известных методов [8].

Для расчета параметров наката волны на берег в ряде случаев также применимы известные модели и методы. При допущении, что морская вода является идеальной жидкостью, в качестве модели цунами можно использовать систему дифференциальных уравнений [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} ([h(x) + \eta]u) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где η — параметр, характеризующий разность между уровнем водной поверхности и высотой возмущенной волны; u — горизонтальная скорость водного потока, g — ускорение силы тяжести, $h(x)$ — глубина акватории в отсутствие возмущений.

Решив систему (1) численными методами для каждого i -го варианта начальных условий, получим $B_i(t)$ — параметры i -х волн, накатывающих на берег, в заданных географических районах; к таким параметрам относятся амплитуда и крутизна волны (в частном случае можно ограничиться одним параметром, например амплитудой волны).

Заметим, что при сделанных допущениях в системе (1) не учитываются вязкость воды и структура грунта дна. Кроме этого, не проработаны многие аспекты, связанные с решением системы уравнений (1) для сложных рельефов дна. Для более точного определения параметров волны, накатывающей на берег, эти факторы можно учесть путем моделирования процесса распространения таких волн с применением специальных геоинформационных технологий.

Оценка рисков, вызванных каждым из типов волн цунами в момент времени T , предусматривает учет не только свойств волны, но и характеристик поражаемых объектов, применяемых защитных сооружений, рельефа суши. Для определения такой оценки, с учетом неопределенности генерации цунами, предлагается рассчитывать $\bar{B}_i(T)$ — математические ожидания вычисления параметров i -х волн, накатывающих на берег в момент времени T :

$$\bar{B}_i(T) = \int_0^T B_i(T-t) f_i(t) dt.$$

Именно в зависимости от параметров $\bar{B}_i(T)$ предлагается оценивать условные риски $W_{ij}(\bar{B}_i(T))$ для конкретных j -х объектов. Эти частные условные риски могут быть определены, например, экспертным путем или путем моделирования на основе применения современных геоинформационных технологий, а также с помощью решения специальных аналитических задач. К таким задачам относятся оценка уровня затопления территории, оценка вероятности возникновения экологических угроз и др.

Результирующий прогнозируемый риск на момент времени T с учетом предыдущих условий и вероятностей P_i проявления i -х волн предлагается рассчитывать по формуле

$$W_{\Sigma}(T) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}(\bar{B}_i(T)) P_i, \quad (2)$$

где m — число заданных береговых объектов.

Риск $W_{\Sigma}(T)$ согласно выражению (2) является текущим. Прогнозирование рисков на заданных интервалах времени возможно посредством получения интегральных оценок.

Особенности применения метода в составе геоинформационных систем. В отличие от известных методов предлагаемый подход позволяет прогнозировать риски в режиме реального времени в условиях существенной неопределенности возникновения очагов цунами. Применение метода связано с рядом особенностей. В частности, предложенный метод позволяет оперативно отражать в геоинформационных системах динамику риска и оценивать значения ущерба в зависимости от параметров волн и очагов опасности. Пространственный анализ, выполненный средствами ГИС с применением данного метода, дает возможность представить результат прогнозирования рисков в виде серии тематических карт. На этих картах с учетом пространственной привязки к конкретному району могут быть отображены зоны, характеризующиеся конкретными показателями $W_{\Sigma}(T)$ как для отдельных, так и групповых береговых объектов. Создание тематических карт предполагает формирование шкалы для принятого показателя $W_{\Sigma}(T)$, связывающей уровни риска с характером разрушающих воздействий. На основе полученных динамических цифровых карт возможно принятие решений по снижению рисков и планированию мероприятий по защите побережья от цунами.

Заключение. Рассмотрен новый базирующийся на использовании геоинформационных технологий метод оценки рисков, вызванных цунами. Предложенный метод, учитывающий неопределенность возникновения очагов цунами и условия распространения волн, может найти широкое применение в современных геоинформационных системах анализа чрезвычайных ситуаций. По аналогии с этим методом могут быть разработаны также подходы к оценке рисков, вызванных другими катастрофическими явлениями (например, прорывом плотин и наводнениями).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973.
2. Марчук А. Г., Грошев Е. Б., Чубаров Л. Б. Численное моделирование поведения волн цунами в шельфовой зоне // Исследование цунами. 1986. № 1. С. 94—102.
3. Новиков В. А., Федотова З. И., Кузьмичева Т. В. О некоторых проблемах моделирования наката длинных волн на берега сложных очертаний // Вычислительные технологии. 1993. № 4. С. 196—209.
4. Хакимзянов Г. С. Численное моделирование косоугольного взаимодействия уединенной волны с вертикальной стенкой // Моделирование в механике. 1992. Вып. 6(23). № 1. С. 141—146.
5. Пелиновский Е. Н. Гидродинамика волн цунами. Нижн. Новгород: ИПФ РАН, 1996.
6. Canadian Topographic Digital Maps [Электронный ресурс]: <<http://www.etopo.ca/>>.
7. Tsunami Laboratory: Historical Tsunami Database for the World Ocean [Электронный ресурс]: <<http://tsun.sscc.ru/nh/tsunami.php>>.
8. Айвазян С. А., Бухитабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Д. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989.

Сведения об авторе

Оксана Вячеславовна Смирнова — канд. техн. наук; СПИИРАН, лаборатория объектно-ориентированных геоинформационных систем; E-mail: sov@oogis.ru

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию
09.07.10 г.