

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ОПАСНОСТИ АФТЕРШОКОВ

Баранов С.В.^{1,2}, Шебалин П.Н.²

¹Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Анаптиты, bars.vl@gmail.com

²Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва

Введение

Создана первая версия автоматической информационной системы оценивания опасности сильных афтершоков (AFCAST). Используются данные о землетрясениях по всему миру, предоставляемые Геологической службой США (USGS). Оценивание выполняется по данным за первые 12 часов после основного толчка в режиме времени близком к реальному. Основными толчками считаются землетрясения с магнитудой 6.5 или выше, сильными афтершоками – события с магнитудой 5.5 или выше. Зона покрытия – вся Земля. Взаимодействие пользователя с системой AFCAST осуществляется через WEB-интерфейс. Результаты работы системы доступны в сети Интернет на сайте проекта по адресу: www.afcast.org.

В текущей версии системы основным результатом являются два типа областей, где ожидаются сильные афтершоки. Области ранжируются в зависимости от целей прогноза согласно стратегиям («жесткой», мягкой» и «нейтральной»), построенным на основе анализа диаграмм ошибок Молчана [2, 7]. «Жесткая» стратегия применяется в случае, если сильный афтершок может привести к катастрофическим последствиям при отсутствии соответствующих превентивных мер – низкая вероятность пропуска цели. В случае, если необходимо минимизировать размер области тревоги с целью сокращения расходов на превентивные меры, то применяется «мягкая» стратегия. Если же последствия пропуска сильного афтершока и затраты на превентивные меры примерно равны или неизвестны, то применяется «нейтральная» стратегия.

Оценка максимальной ожидаемой магнитуды афтершока (M1) на настоящий момент осуществляется в тестовом режиме. До конца 2017 г. оценки M1 также будут доступны в сети интернет.

В базе данных систем помимо текущих прогнозов содержатся результаты прогнозирования для афтершоковых серий, начиная с 2004 г., полученные в предположении, что прошло только 12 часов после основного толчка.

Результаты работы системы могут быть использованы органами власти при планировании мер по снижению ущерба после сильного землетрясения.

Программная организация системы AFCAST.

Система состоит из двух платформонезависимых частей – расчетной и интерфейсной. Расчетная часть – представляет собой MATLAB-программу AFS, которая выполняется на выделенном компьютере. Для работы с данными используются модули, написанные на языке MySQL. В качестве средства для хранения и обработки данных используется открытая система управления базами данных (СУБД) MySQL. Использование среды MATLAB и СУБД MySQL обеспечивает платформонезависимость расчетной части системы.

Расчётная часть. Загрузка данных о землетрясениях выполняется автоматически каждые 5 часов (изменяемый параметр) с сервера Геологической службы США (USGS) из каталога ANSS [5]. Загрузка тензоров сейсмического момента землетрясений осуществляется из глобального каталога CMT [6]. Примерно через 2 часа после землетрясения информация о нем появляется сервере USGS. В течение 12 часов появляется информация о тензоре скалярного семитического момента в каталоге Quick CMT (часть каталога CMT, содержащая “быстрые“ оценки тензоров).

Выделение основных толчков и их афтершоков выполняется по следующей схеме. Как только в систему поступило землетрясение с магнитудой не ниже 6.5, оно считается потенциальным основным толчком, затем, для него рассчитывается вмещающий круг с центром в эпицентре и радиусом $0.03 \times 10^{M/2}$ км [2]. По событиям из этого круга за 12 ч после основного толчка оценивается магнитуда представительности M_c методом Maximum Curvature [10]. Афтершоками данного основного толчка считаются все землетрясения, произошедшие во вмещающем круге в течение года. Потенциальная серия получает статус 0 – ожидание 12 часов после основного толчка.

Если у потенциальной афтершоковой серии произошло более 7 (изменяемый параметр)

афтершоков после основного толчка с магнитудой не ниже M_c , то данное множество объявляется серией афтершоков, получает статус 1 (ожидание 365 дней после основного толчка) и поступает в модуль построения областей, в которых ожидаются сильные афтершоки ($M \geq 5.5$). В противном случае, – множество событий не является серией афтершоков, получает статус 3 и исключается из дальнейшего рассмотрения.

Модуль построения областей сильных афтершоков рассчитывает области в виде эллипса и стадиона, где ожидаются сильные афтершоки ($M \geq 5.5$), для «нейтральной», «жесткой» и «мягкой» стратегий [2]. Серии афтершоков, у которых произошло более 365 суток после основного толчка, объявляются законченными и получают статус 2 – серия закончена.

В тестовом режиме оценивается ожидаемая магнитуда сильнейшего афтершока (M_1) для различных моментов времени. Оценка выполняется двумя способами. Первый способ основан на использовании распределения максимальной ожидаемой магнитуды [8, 9], зависящего от магнитуды OT , ожидаемого числа афтершоков и наклона графика повторяемости. Тестирование выполняется с целью подбора оптимального варианта оценки этих параметров в зависимости от времени после основного толчка на основе адаптивного подхода [1]. Второй способ основан на формировании стека серий из обучающего множества с целью построения обобщенных кривых разности магнитуды основного толчка и сильнейшего афтершока в зависимости от времени.

После выполнения цикла загрузки данных и расчета областей сильных афтершоков информация сохраняется в локальной базе данных (БД) и выполняется передача данных и результатов расчетов на удаленный сервер по sftp протоколу. Затем на сервере выполняется импорт данных в удаленную БД.

Локальная и удаленная БД реализованы на СУБД MySQL и имеют одинаковую структуру. Далее мы их будем называть просто БД. БД состоит из 4-х таблиц, связанных между собой отношениями один к одному и один ко многим (рис. 3).

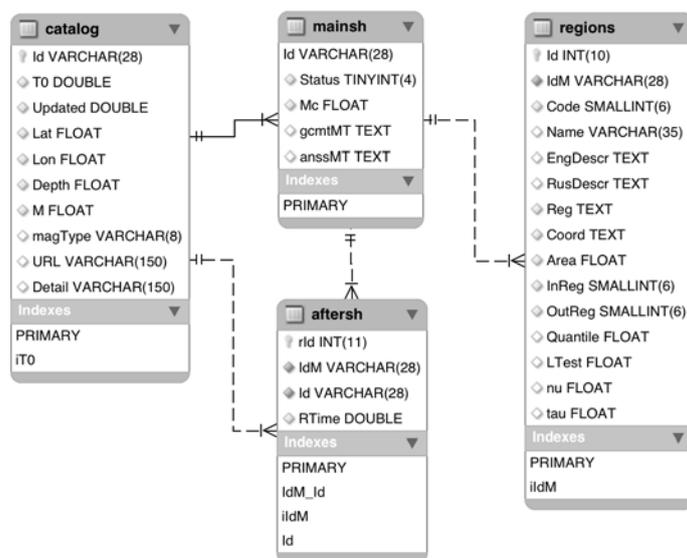


Рис. 1. Структура локальной и удаленной БД системы AFCAST. Таблицы: mainsh – информация об основных толчках и соответствующих сериях; aftersh – информация об афтершоках; regions – информация об оцененных областях, где ожидаются афтершоки с $M \geq 5.5$.

Интерфейсная часть. Интерфейсная часть системы (рис. 2) служит для предоставления пользователю информации об основных толчках, афтершоковых сериях и оценках областей, где ожидаются сильные афтершоки. Имеется возможность выбора топографической основы интерактивной карты из 8 вариантов, включая цифровые модели рельефа и карты проекта Open Street Мар, подробно показывающие городскую застройку.

Детальная информация об афтершоковой серии и оценки областей сильных афтершоков ($M \geq 5.5$) показываются в отдельной вкладке браузера. Блок детальной информации (рис. 3) содержит интерактивные графики (время – суммарное число афтершоков, время – магнитуда), отражающие временной ход афтершокового процесса.

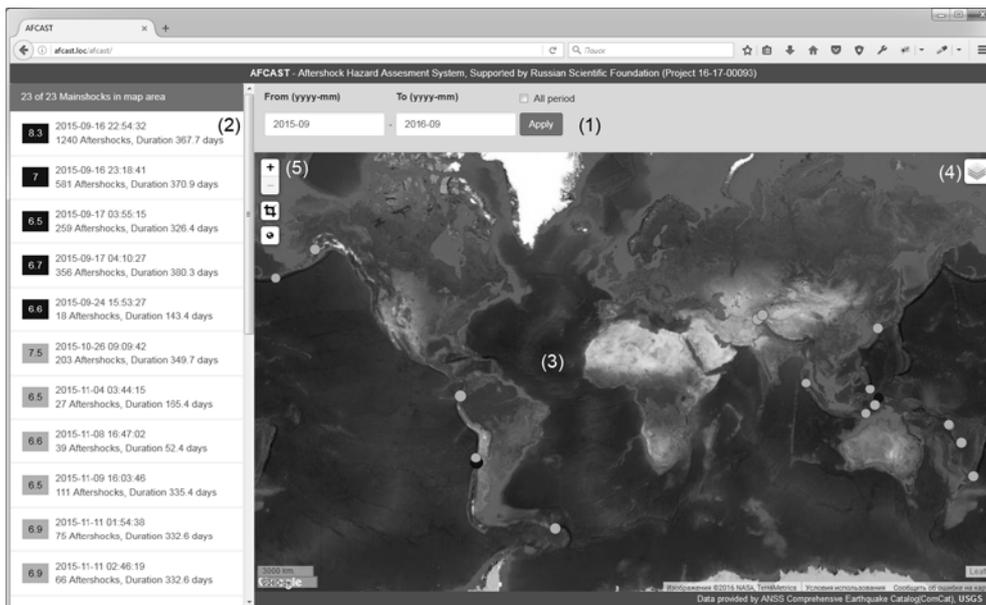


Рис. 2. Основное экран интерфейсной части системы AFACAST.

(1) – инструмент для выбора интервала времени загрузки; (2) – список основных толчков с магнитудами, временами в очаге и характеристики афтершоковых серий (число афтершоков и длительность серии); (3) – карта с основными толчками, размер кружка пропорционален магнитуде основного толчка; (4) – выбор топографической основы

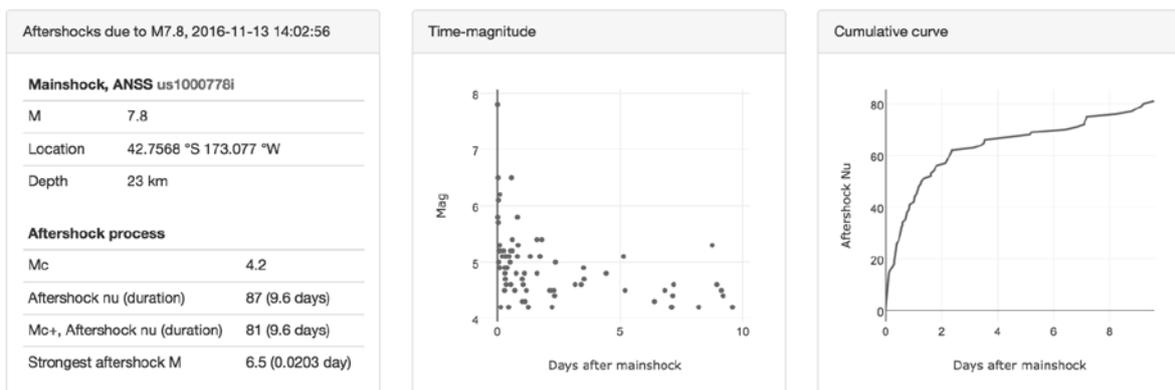


Рис. 3. Пример блока детальной информации об афтершоковой серии.

Раздел пространственного прогноза (рис. 4) включает два блока: таблица, в которой приведены оценки областей, где ожидаются сильные афтершоки и интерактивная карта, на которой эти области показаны. В таблице области ранжированы, согласно стратегиям («мягкая», «нейтральная», «жесткая»), которые характеризуют степень важности прогноза [2]. Пользователь имеет возможность включать или выключать отображение той или иной области на карте. Так же на карте показаны основной толчка, события их вмещающего круга, по которым выполнялся расчет областей, целевые события - афтершоки с $M \geq 5.5$, а также фокальные механизмы основного толчка из каталогов ANSS и Global CMT.

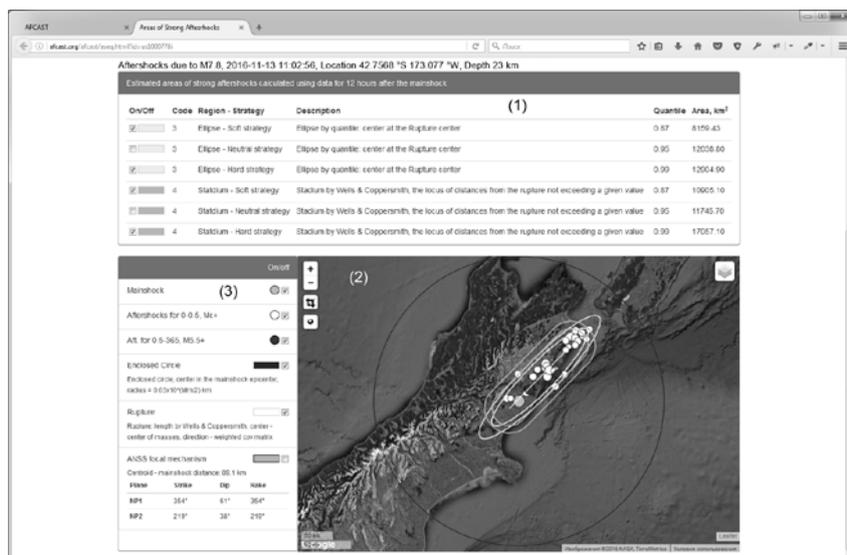


Рис. 4. Экран системы AFGAST, в котором приведены области, где ожидаются сильные афтершоки. (1) – интерактивная таблица областей и их описание; (2) – интерактивная карта, на которой показаны основной толчок, афтершоки и области, где ожидаются сильные афтершоки; (3) – интерактивная легенда карты (2).

О необходимости привлечения региональных данных

В системе AFGAST используются данные о землетрясениях по всей Земле из каталога ANSS, который имеет недостаточную представительность для территории России. Это приводит к исключению некоторых афтершоковых серий из рассмотрения по причине недостаточности данных для оценивания – представительность каталога ANSS для всей Земли, за исключением территории США, 4.5 или выше. Например, афтершоковая серия землетрясения 2017.03.29 с Mw 6.6 [5, 6] около восточного побережья полуострова Камчатка была исключена из рассмотрения из-за малого количества событий – 2 афтершока с $M \geq 4.5$ за 12 ч. В то же самое время, по данным каталога Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН [4], для данной серии: $M_c(ML) = 3.5$ [3], имеется 36 афтершоков за 12 ч после основного толчка и за период 0.5-127 суток произошло 2 афтершока с $ML \geq 5.5$. Такое количество событий достаточно для оценивания. Области для данной серии, построенные по результатам работы [3] с учетом важности прогноза, приведены на рисунке 5.

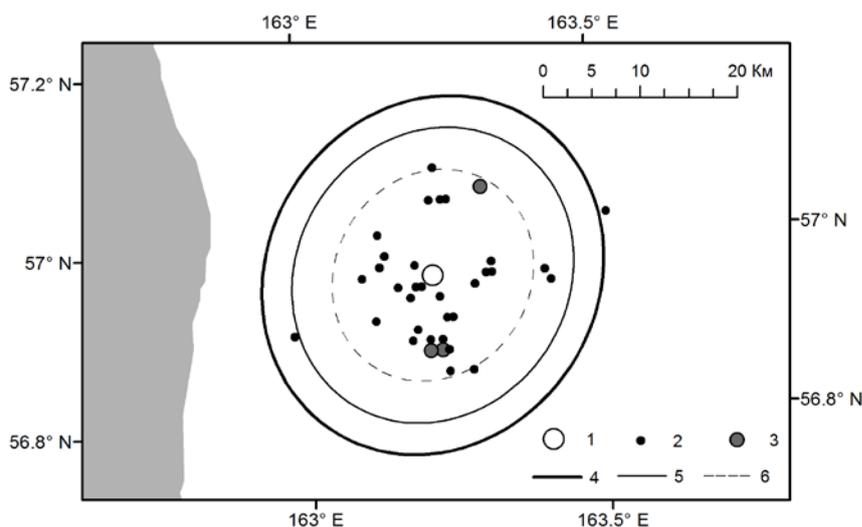


Рис. 5. Оценки областей-эллипсов [3], где в течение года ожидаются афтершоки с $ML \geq 5.3$, для землетрясения 2017.03.29 с Mw 6.6. Обозначения: 1 – основной толчок; 2 -- события из вмещающего круга с $ML \geq 3.5$; 3 – афтершоки с $ML \geq 5.3$, произошедшие за период 0.5-128 суток после основного толчка; 4, 5, 6 – оптимальные эллипсы, соответствующие «жесткой», «нейтральной» и «мягкой» стратегиям.

Данный пример, показывает, что для улучшения оценок опасности сильных афтершоков в сейсмоопасных регионах России необходимо использовать данные региональных каталогов.

Заключение

Создана первая версия автоматической информационной системы оценки опасности сильных афтершоков (AFCAST), работающая в режиме времени близком к реальному. Оценка строится по данным за первые 12 часов после основного толчка. Основными толчками считаются землетрясения с магнитудой 6.5 или выше, сильными афтершоками – события с магнитудой 5.5 или выше. Результаты работы системы доступны в сети Интернет зарегистрированным пользователям по адресу: www.afcast.org. Основным результатом работы системы – два типа областей, в которых ожидаются сильные афтершоки. Области ранжируются по степени важности прогноза.

Дальнейшие задачи по развитию системы. До конца 2017 г. планируется завершить тестирование модуля для оценивания магнитуды сильнейшего афтершока M1 в зависимости от времени после основного толчка. До конца 2017 г. тестирование будет закончено и оценки M1 будут доступны в сети интернет.

Для улучшения оценок опасности сильных афтершоков в сейсмоопасных регионах России необходимо использование региональных каталогов филиалов ФИЦ ЕГС РАН.

Результаты работы системы могут быть использованы при планировании мер по снижению ущерба после сильного землетрясения. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00093).

Список литературы

1. Баранов С.В., Шебалин П.Н. О прогнозировании афтершоковой активности. 1. Адаптивные оценки на основе законов Омори и Гутенберга - Рихтера. // Физика Земли. 2016. №. 3. С. 82-101. DOI: 10.7868/S0002333716020034 .
2. Баранов С.В., Шебалин П.Н. О прогнозировании афтершоковой активности. 2. Оценка области распространения сильных афтершоков. // Физика Земли. 2017. № 3. С. 43–61. DOI: 10.7868/S0002333717020028
3. Баранов С.В., Шебалин П.Н., Чеброва А.Ю. Оценка области сильных афтершоков землетрясений района Камчатки // Настоящий сборник.
4. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН <http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/catalogue.php>
5. ANSS Comprehensive Earthquake Catalog (ComCat). URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
6. Global CMT catalog. URL: <http://www.globalcmt.org>
7. Molchan G. Space-time earthquake prediction: the error diagrams. Pure Appl. Geophys. 2010. V. 167. No. 8–9. P.907–917. doi:10.1007/s00024-010-0087-z.
8. Shcherbakov R. Bayesian confidence intervals for the magnitude of the largest aftershock // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. P. 6380–6388.
9. Vere-Jones D., Murakami J. and Christophersen A. A further note on Bath's law // Conference Proceedings 4th International Workshop on Statistical Seismology. Japan, 2006.
10. Wiemer S., Wyss M. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan // Bulletin of the Seismological Society of America. 2000. V. 90. № 4. P. 859-869.