

УДК 550.341

СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО СТАБИЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ ТРЕВОГ

© 2004 г. Л. Л. Ромашкова, В. Г. Кособоков

Представлено академиком В.И. Кейлис-Бороком 23.01.2004 г.

Поступило 29.01.2004 г.

Уязвимость человечества от землетрясений в последние десятилетия значительно возросла. Сегодня отдельное сильное землетрясение может унести до миллиона человеческих жизней, вызвать глобальный экономический кризис или экологическую катастрофу. Прогноз землетрясений на любой его стадии открывает возможность уменьшения ущерба при своевременном принятии мер предупреждающего характера.

Задача прогноза землетрясений рассматривается нами как последовательное, шаг за шагом уменьшение пространственной, временной и магнитудной неопределенности ожидаемого события [1]. Прогноз начинается с распознавания мест возможного возникновения землетрясений определенного магнитудного диапазона, затем следуют стадии долгосрочного, среднесрочного, и, наконец, краткосрочного прогноза. В данном сообщении представлена новая методика прогноза землетрясений – алгоритм M8S, обеспечивающая прогноз на территорию размером в несколько очагов прогнозируемого события и на диапазон магнитуд порядка единицы. Алгоритм M8S является среднесрочным, т.е. определяет тревоги на период времени в несколько лет. Суть алгоритма M8S состоит в направленной на устранение случайных тревог пространственной стабилизации прогноза, получаемого при помощи алгоритма M8 [2, 3].

Лежащий в основе M8S алгоритм M8 количественно анализирует временное поведение серии интегральных характеристик сейсмического потока. Этими характеристиками являются: сейсмическая активность, отклонение сейсмической активности от ее долговременного тренда, концентрация очагов и группирование землетрясений. Тревога объявляется в момент, когда большинство функций принимают свои аномально большие значения. Исследование ведется в круговых обла-

стях, радиус R которых однозначно определяется линейным размером очага ожидаемого землетрясения.

Алгоритм M8 является полностью воспроизводимой автоматической процедурой. Все параметры алгоритма, в том числе и набор характеристик, выбраны и зафиксированы на этапе разработки методики. Возможность работы в нескольких диапазонах магнитуд и в регионах с разным уровнем сейсмической активности обеспечивается нормализацией его внутренних параметров. Единственным внешним параметром алгоритма M8 является положение областей исследования. В практике применения алгоритма M8 для прогноза сильнейших землетрясений в мире [4, 5] и в отдельных регионах [4, 6] круги исследования, как правило, расположены вдоль оси сейсмического пояса таким образом, чтобы покрывать всю сейсмически активную территорию региона. Вопрос стабильности прогноза по отношению к пространственному расположению кругов исследования остается открытым.

Алгоритм M8S является принципиально новой, пространственно стабилизированной схемой применения алгоритма M8. Он устраняет неоднозначность положения областей исследования и обеспечивает дополнительную стабильность прогноза по сравнению с M8. Алгоритм M8S состоит из следующих шагов.

1. Территорию исследования сканируют кругами малого радиуса r ($r \ll R$), расставленными в узлах частой и регулярной пространственной сетки. Находят все сейсмически активные узлы – центры кругов, среднегодовой уровень активности в которых превышает заданный порог a . Малоактивные узлы исключают из рассмотрения.

2. Исключают из рассмотрения узлы сетки, в окрестности которых сейсмических данных недостаточно для применения алгоритма M8, после чего удаляют оставшиеся изолированные узлы и пары узлов.

3. Алгоритм M8 применяется в стандартных кругах исследования радиуса R с центрами в оставшихся узлах сетки.

Таблица 1. Результаты ретроспективного тестирования алгоритма M8S в трех регионах

Регион, период	Сильные землетрясения			Пространственно-временной объем тревоги, %
	M_0	Всего	Предсказано	
Италия, 1972–2001 гг.	6.5	2	2	36
	6.0	2	1	40
	5.5	14	9	39
Калифорния (без мыса Мендосино), 1985–2001 гг.	7.0	3	3	27
	6.5	3	2	24
Северо-запад Тихого океана, 1985–2003 гг.	8.0	3	2	28
	7.5	12	6	27

4. Из набора получившихся тревог алгоритма M8 оставляют только те, которые удовлетворяют следующему условию кластеризации: тревога в круге подтверждается, если “большинство” рассмотренных кругов M8 с центрами в соседних узлах сетки также находятся в состоянии тревоги. Параметр “большинства” n определяется как 75% оставшихся в рассмотрении соседних узлов сетки из квадрата 3×3 с центром в исследуемом круге.

Таким образом, тревога M8 в отдельном круге изначально рассматривается как случайная, и только достаточно большие, пространственно устойчивые кластеры тревог формируют финальную область ожидания сильного землетрясения – тревогу M8S.

Алгоритм M8S прошел ретроспективное тестирование на территориях Италии, Калифорнии и северо-запада Тихого океана. Результаты представлены в табл. 1. Алгоритм применялся в различных диапазонах магнитуд ($M_0, M_0 + \Delta M$) с нижними пороговыми значениями M_0 прогнозируемого землетрясения от $M_0 = 5.5$ в Италии до $M_0 = 8.0$ на северо-западе Тихого океана. По отношению к стандартному алгоритму M8 список предсказанных

землетрясений в этих регионах остался без изменения при сохранении (Италия) или уменьшении (Калифорния и северо-запад Тихого океана) общего объема тревоги. Таким образом, повышение надежности и пространственной стабильности прогноза достигнуто без каких-либо потерь в его эффективности.

На рис. 1 представлено пространственно-временное распределение тревог, объявленных алгоритмами M8 и M8S в 1985–2003 гг. в тесте M8.0+ на участке сейсмического пояса северо-запада Тихого океана. Распределения тревог в целом похожи. Уменьшение объема тревоги в алгоритме M8S достигается главным образом за счет сокращения длительности тревог при общем сохранении их пространственного расположения. Тот факт, что все сильные события, предсказанные алгоритмом M8, одновременно предсказываются алгоритмом M8S, свидетельствует в пользу высокой пространственной стабильности диагностики по алгоритму M8 и неслучайности прогноза.

Таким образом, алгоритм среднесрочного прогноза землетрясений M8S позволяет получать надежный пространственно устойчивый прогноз,

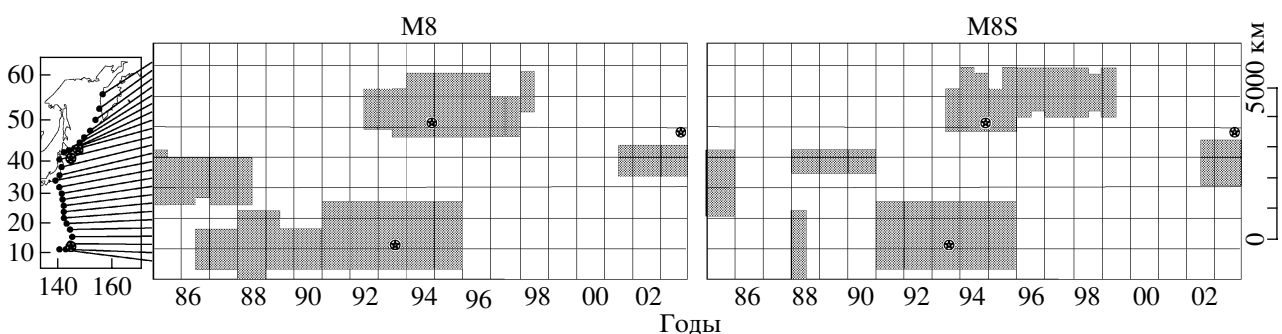


Рис. 1. Пространственно-временное распределение тревог алгоритмов M8 и M8S в 1985–2003 гг., $M_0 = 8.0$, для сегмента сейсмического пояса на северо-западе Тихого океана. В качестве пространственной координаты берется расстояние вдоль оси пояса. Звездочками отмечены сильнейшие землетрясения, произошедшие за это время. Слева показаны регионы и центры кругов исследования, используемых в глобальном тесте алгоритма M8.

эффективность которого выше, чем у стандартного алгоритма М8. Алгоритм может применяться в широком диапазоне магнитуд. Схема пространственной стабилизации прогноза может быть использована для повышения надежности не только М8, но и других алгоритмов, работающих в перекрывающихся областях исследования.

Работа выполнена при частичной поддержке грантами Международного научно-технического центра (проект 1538–00), INTAS (проект 010748) и Фонда Джеймса МакДоннелла (the 21st Century Collaborative Activity Award for Studying Complex Systems, project “Understanding and Prediction of Critical Transitions in Complex Systems”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction / V.I. Keilis-Borok, A. Soloviev Eds. B.: Heidelberg: Springer, 2003. 338 p.
2. *Кейлис-Борок В.И., Кособок В.Г.* // Вычислит. сейсмология. 1986. В. 19. С. 48–58.
3. *Healy J.H., Kossobokov V.G., Dewey J.W.* // US Geol. Sew. Open-File Rept. 1992. Iss. 401. 23 p.
4. *Keilis-Borok V.I., Kossobokov V.G.* // Phys. Earth and Planet. Inter. 1990. V. 61. P. 73–83.
5. *Kossobokov V.G., Romashkova L.L., Keilis-Borok V.I., Healy J.H.* // Phys. Earth and Planet. Inter. 1999. V. 111. P. 187–196.
6. *Romachkova L.L., Kossobokov V.G., Panza G.F., Costa G.* // Pure and Appl. Geophys. 1998. V. 152. P. 37–55.