

# Теория и алгоритмы интерпретации геофизических данных

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Выпуск 22



«НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ  
ИМ. О.Ю. ШМИДТА

# ТЕОРИЯ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

ВЫПУСК 22

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 1967 ГОДУ

Ответственные редакторы  
академик В.И. КЕЙЛИС-БОРОК  
доктор физико-математических наук  
А.Л. ЛЕВШИН



МОСКВА  
"НАУКА"  
1989

В.Г. Кособоков, С.А. Мажкенов

## ДИАГНОСТИКА ПЕРИОДОВ ПОВЫШЕННОЙ ВЕРОЯТНОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВОСТОЧНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ ПО АЛГОРИТМУ М8

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Диагностика периодов повышенной вероятности (ППВ) по алгоритму М8 [1] осуществлялась на основании каталога землетрясений Института сейсмологии АН Казахской ССР для территории Восточного Тянь-Шаня. Распределение числа землетрясений различной магнитуды по годам приведено в табл. 1. В каталоге для территории Восточного Тянь-Шаня землетрясения представительны с энергетического класса  $K \geq 9$  ( $M \geq 2,78$ ) начиная с 1951 г., однако значения  $K$  представлены во времени по-разному. Так, примерно до середины 60-х годов в каталоге в основном приведены целочисленные значения  $K$ . Магнитуды землетрясений с  $K \geq 12$  уточнены нами по [2, 3], причем предпочтение отдавалось [2]. Для землетрясений с  $K < 12$  магнитуда рассчитывалась по известной формуле  $K = 1,8M + 4$  [2]. На основании этого уточненного каталога составлен каталог основных толчков, в котором афтершоки исключались по алгоритму, изложенному в [4]. Пространственно-временные ограничения для их идентификации приведены в табл. 2. Ограничения на глубину афтершоков не накладывались, поскольку землетрясения в Восточном Тянь-Шане коровые.

### ДИАГНОСТИКА ППВ

Как и в [1], для территории Востока Средней Азии диагностика ППВ проводилась для  $M = 6,5$ . Каталог локальной сети позволил расширить временные рамки диагностики на 13 лет (11 лет до 1962 г. и 2 года после 1985 г.). Имея представительный каталог с 1951 г., можно достаточно надежно определять функции, используемые в диагностике, а следовательно, и саму диагностику с 1963 г. В то же время отмеченная выше неоднородность в значениях  $K$  может отразиться на диагностике, поскольку в случае неоднородного представления данных магнитудные пороги, формально одинаковые на всем интервале времени, содержательно отличаются в начале и в конце диагностики.

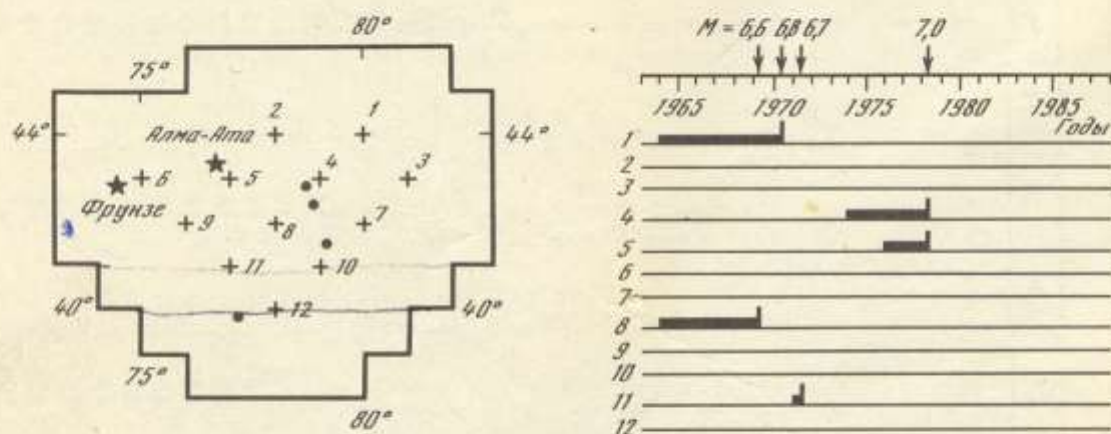


Рис. 1. Пространственное положение эпицентров землетрясений с  $M > 6,5$  в Восточном Тянь-Шане (кружки) и центров окон диагностики (крестики)

Цифры — номера окон диагностики

Рис. 2. Диагностированные ППВ в каждом из окон





Таблица 2

Пространственно-временные ограничения для идентификации афтершоков [5]

$M$	$R$ , км	$T$ , сут	$M$	$R$ , км	$T$ , сут
2,5	19,5	6	5,5	47	290
3,0	22,5	11,5	6,0	54	510
3,5	26	22	6,5	61	790
4,0	30	42	7,0	70	915
4,5	35	83	7,5	81	960
5,0	40	155	8,0	94	985

Таблица 3

Сильные ( $M > 6,5$ ) землетрясения в Восточном Тянь-Шане в 1957–1987 гг.

Дата	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$	Глубина, км	$M$
01.04.61	40,40	77,69	0	6,6
13.04.61	39,75	77,63	30	6,6
11.02.69	41,30	79,50	20	6,6 ✓
05.06.70	42,46	78,80	15	6,8 ✓
26.07.71	39,84	77,30	0	6,7
24.03.78	42,86	78,58	15	7,0 ✓

Конкретнее, пусть магнитудные пороги соответствуют нецелочисленным значениям энергетического класса. Тогда в начале диагностики они фактически будут соответствовать ближайшему большему целому значению  $K$ . Чтобы исключить возможные разночтения, нами рассматривались лишь пороги, соответствующие целочисленным значениям  $K$ . Список сильных землетрясений, происшедших в исследуемом районе за период с 1957 по 1987 г., приведен в табл. 3. Территория Восточного Тянь-Шаня сканировалась перекрывающимися окнами диагностики – квадратами с размером стороны 384 км (что соответствует формуле  $R$  [град] =  $R(M_0) = \exp(M_0 - 5,6) + 1$  из [1]). Положение их центров (рис. 1) выбрано таким образом, чтобы квадраты покрывали область представительной регистрации землетрясений. Диагностика ППВ осуществлялась при стандартных значениях свободных параметров, участвующих в определении функций [1]. В частности, значения порогов магнитуд, соответствующие 10 и 20 толчкам в год, равны  $M_1 = 3,3$  ( $K = 10$ ) и  $M_2 = 2,75$  ( $K = 9$ ) во всех окнах диагностики. Следует отметить, что эти значения во многом определяются принятым нами ограничением на целочисленность порогов по  $K$ . Фактически в разных окнах диагностики они отвечают интенсивностям в 10–19 и 20–50 основных точек в год соответственно.

Результаты диагностики ППВ (рис. 2) следующие: ППВ объявлены в квадратах 1, 4, 5, 8, 11. Все ППВ прерываются сильными землетрясениями. Приближенная оценка качества прогноза дает следующие результаты: суммарный объем ППВ равен 4,0 млн км<sup>2</sup> · год; суммарный объем периодов ожидания 2,2 млн км<sup>2</sup> · год; общий пространственно-временной объем 14,7 млн км<sup>2</sup> · год.

Отсюда получаем, что ожидание землетрясений с  $M \geq 6,5$  составляет менее 15%, а общий пространственно-временной объем, охваченный ППВ, около 27%.

ППВ диагностированы для всех землетрясений с  $M \geq 6,5$  за 1963–1987 гг. В сравнении с [1] ППВ диагностированы дополнительно перед тремя землетрясениями. Это является еще одним подтверждением применимости алгоритма M8 для диагностики ППВ в Восточном Тянь-Шане.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕСТЫ

Мы убедились, что аномальные значения функций, определенные от начала периода диагностики (1963 г.) до момента сильного землетрясения, на самом деле являются аномально большими на всем рассматриваемом интервале времени.

Увеличение магнитудных порогов до  $M_1 = 3,8$  ( $K = 11$ ) и  $M_2 = 3,3$  ( $K = 10$ ) не отражается на результатах диагностики, и только при  $M_1 = 4,4$  ( $K = 12$ ) и  $M_2 = 3,8$  ( $K = 11$ ) дополнительно возникает ложный ППВ в квадрате 12 на 1975–1980 гг.

Мы фиксировали пороги для диагностики аномальных значений функций, определенных на интервале с 1963 г. до конца каталога, и перенесли начало диагностики ППВ на 1957 г. В результате нам удалось дополнительно диагностировать ППВ в квадрате 8 перед двумя землетрясениями 1 и 13 апреля 1961 г. с  $M = 6,6$ .

Мы также провели диагностику ППВ на основе магнитудных порогов, выбранных по заданному числу основных толчков. Так, при стандартном числе 10 и 20 основных толчков в год выбранные магнитудные пороги изменяются от 2,9 до 3,6 и от 2,5 до 3,3 соответственно. В результате нам удалось диагностировать ППВ перед тремя сильными землетрясениями. Перед землетрясением 1969 г. ППВ не диагностировано. Очевидно, его пропуск объясняется отмеченной ранее целочисленностью представления  $K$ . Тем самым мы, в частности, повторили результат из работы [1], где рассматривалась диагностика на 1974—1985 гг.

При выборе магнитудных порогов, соответствующих 5 и 10 толчкам в год, нам удастся диагностировать ППВ перед всеми сильными землетрясениями, однако при этом возникает один ложный ППВ в квадрате 3 на 1976—1981 гг.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты диагностики ППВ по алгоритму M8 представляются удачными и свидетельствуют о реальной возможности использования данной методики для мониторинга сильных землетрясений в Восточном Тянь-Шане. При этом нами установлена принципиальная эквивалентность для настоящего времени диагностики как по целочисленным, так и нецелочисленным в смысле  $K$  порогам. Дополнительные тесты подтверждают устойчивость полученных результатов.

### Abstract

Times of the Increased Probability ("TIPs") for strong earthquakes in the Eastern Tien Shan within 1963 through 1987 are retrospectively identified by algorithm M8. TIPs were diagnosed for all 4 earthquakes with  $M \geq 6.5$ . Additional tests confirm the stability of the results.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Долгосрочный прогноз землетрясений: Метод. рекомендации / Под ред. М.А. Садовского. М.: Наука, 1986. 126 с.
2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977. 535 с.
3. Землетрясения в СССР в 1962—1984 гг. М.: Наука, 1965—1987.
4. Ватанабе Х., Канамори Х., Кейлис-Борок В.И., Ротвайн И.М. Долгосрочные сейсмологические предвестники сильных землетрясений. 1. Япония и Южные Курилы // Математические модели строения Земли и прогноза землетрясений. М.: Наука, 1982. С. 3—11. (Вычисл. сейсмология; Вып. 14).
5. Джонсон К.; Кейлис-Борок В.И., Ламоре Р., Минстер Б. Рои основных толчков в Южной Калифорнии // Математическое моделирование и интерпретация геофизических данных. М.: Наука, 1984. С. 3—10. (Вычисл. сейсмология; Вып. 16).