

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И МАГНИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ПРАКТИКЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ

Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова, Н.А. Калмыкова

В практике определения энергетических и магнитудных характеристик землетрясений Северного Тянь-Шаня используются различные абсолютные и относительные шкалы. Каждая из них, как правило, имеет определенные ограничения к применению: одна годится только для конкретного диапазона энергии, другая применима в пределах фиксированных расстояний и т.д. Так, например, шкала магнитуд по поверхностным волнам не подходит для определения величины близких и слабых землетрясений, которые могут быть зарегистрированы только высокочувствительной короткопериодной аппаратурой типа СКМ, в силу того, что на их записях невозможно выделить поверхностные волны. Шкала энергетических классов не подходит для сильнейших землетрясений и для больших расстояний.

Разнородность используемых характеристик во многих случаях затрудняет проведение анализа сейсмичности. Особенно явны трудности при использовании материалов за разные периоды времени, при сопоставлении данных каталогов, составленных разными службами и центрами обработки. Исследователи пытаются найти выход в поиске взаимных переходов от одной характеристики к другой на основе изучения различных корреляционных соотношений.

Наибольшее распространение при определении величины землетрясений на региональных расстояниях получила шкала энергетических классов, введенная Т.Г. Раутиан [1]. На Северном Тянь-Шане энергетический класс K_p определяется по номограмме для Средней Азии [1]. Определения K_p проводятся практически для всех землетрясений, включаемых в каталог Северного Тянь-Шаня (за исключением самых сильных, значение класса которых получают иногда формальной экстраполяцией палетки [1] в область больших K) [2].

Для всех сейсмических станций на Северном Тянь-Шане изучены станционные поправки к энергетическим классам. За опорную выбрана система станций, аппаратура которых установлена в штольнях на коренных породах. Исследованы распределения значений $\Delta K = K_i - K_{cp}$, где K_{cp} - среднее значение энергетического класса по опорным станциям, K_i - значение энергетического класса для i -ой станции. По каждому распределению оценивались медиана, значение которой с обратным знаком и дает искомую поправку, а также отклонения от медианы в пределах 70%-ого интервала. Наибольшие ΔK отмечены для станций, расположенных на мощных толщах рыхлых грунтов. Например, для станции Алматы поправка составила $(-0.72) \pm 0.30$, для Джамбула $(-1.10) \pm 0.50$, для Чимкента $(-1.10) \pm 0.40$.

Исследование среднего разброса станционных оценок K_i в пределах одного события после введения всех поправок на представительном экспериментальном материале показало, что он составляет ± 0.3 единицы K_p , что обусловлено азимутальными особенностями излучения, неоднородностями среды и другими факторами.

Для магнитудной классификации землетрясений в Казахстане используются объемные (чаще продольные), поверхностные и кода-волны. Определение магнитуды по продольным волнам по записям приборов СКМ (магнитуда $MPVA$) проводится по региональной калибровочной кривой для Северного Тянь-Шаня, полученной Михайловой Н.Н. и Неверовой Н.П. в 1983 г. [3] (рис. 1). Кривая $\sigma(\Delta)$ построена для расстояний до 1000 км. Для этого использовались записи землетрясений на сейсмических станциях Казахстана и Киргизии. Измерения амплитуд и периодов проводятся в прямых P -волнах и волнах P_g . С 1983 г. значения $MPVA$ присутствуют в каталогах Северного Тянь-Шаня для абсолютного большинства землетрясений [2]. Эти определения в основном относятся к эпицентральному расстояниям $\Delta < 400$ км. Станционные поправки $\delta MPVA_i$ оценены точно так же, как и для энергетических классов. Их максимальные

значения относятся к тем же станциям, по которым выявлены и максимальные поправки для энергетических классов: Алма-Ата - $(-0.54) \pm 0.20$, Джамбул - $(-0.60) \pm 0.40$, Чимкент $(-0.50) \pm 0.40$ и т.д. После учета станционных поправок разброс значений $MPVA_i$ в пределах одного землетрясения составляет $\pm 0,20$ единиц магнитуды.

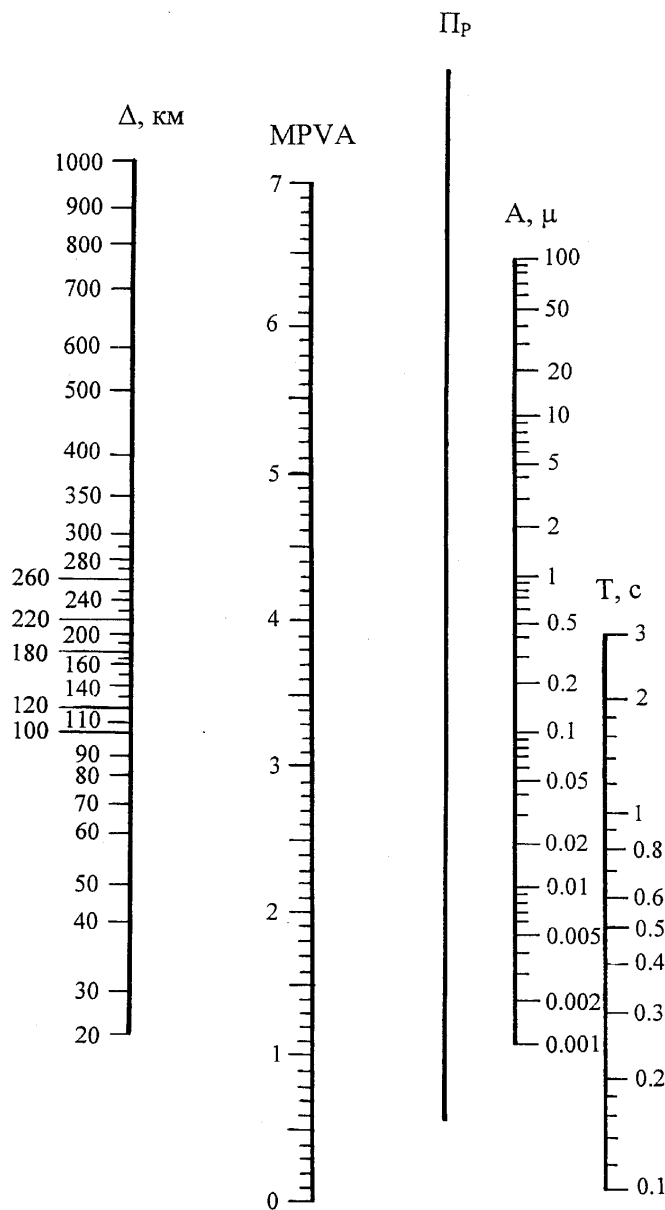


Рис. 1. Номограмма для определения магнитуды $MPVA$ для Северного Тянь-Шаня

Важнейшей характеристикой землетрясений является магнитуда, определяемая по поверхностным волнам. На малых расстояниях ($\Delta < 400$ км) возможность ее определения имеется только для относительно сильных землетрясений ($K_p \geq 10.5$), поскольку они должны быть зарегистрированы широкополосной аппаратурой типа СКД или СК с малым увеличением (как правило, не более 1000). Начиная с 1980 г. для всех землетрясений такого класса в каталогах Северного Тянь-Шаня имеются определения MLV , для чего используется стандартная номограмма, приводимая в [4].

Значения K_p , $MPVA$, MLV в каталогах являются среднеарифметическими из станционных определений этих характеристик (с учетом предварительного введения поправок).

С 1987 г. для магнитудной классификации наиболее сильных землетрясений ($K_p > 12$) применяется шкала магнитуд, определяемых по сейсмической коде M_c . Главное преимущество этой шкалы - ее устойчивость, а также возможность определения значений магнитуд в тех случаях, когда в силу ограниченности динамического диапазона приборов неизвестны амплитуды в

объемных и поверхностных волнах. Механизм формирования коды нивелирует эффект направленности очагового излучения и влияния неоднородностей среды при распространении волн. Сохраняются стационарные различия, которые можно скорректировать поправками. Поэтому для получения M_c нет необходимости осреднять данные всей сети, достаточно определить магнитуду по одной станции и ввести поправку. Существуют два варианта шкалы M_c : в короткопериодном диапазоне по данным СКМ и в длиннопериодном - по записям СКД. Номограммы приведены в работе [5].

Для землетрясений Северного Тянь-Шаня большое внимание при анализе результатов магнитудных определений по продольным волнам уделено сопоставлению оценок на региональных (<400 км) и телесеismicических расстояниях, поскольку для этого используется разная аппаратура и разные калибровочные функции. Для наиболее сильных землетрясений из сейсмологических бюллетеней ЦСИ «Обнинск» были собраны данные об MPSP землетрясений Средней Азии и Казахстана, зарегистрированных сейсмическими станциями на больших расстояниях ($\Delta > 2000$ км) по более чем 60 землетрясениям. Те же землетрясения на близких расстояниях были зарегистрированы станциями Северного Тянь-Шаня. Причем для каждого диапазона $\Delta < 400$ км и $\Delta > 2000$ км имелось не менее 10 определений магнитуд. Оценены средние значения MPVA (рег.) и MPSP (тел.). Во всем исследуемом диапазоне MPSP от 4.0 до 6.3 отмечено завышение магнитуд на близких расстояниях в среднем на 0.4.

Для оценок MLV на региональных расстояниях свойственно занижение значений по отношению к телесеismicическим определениям:

$$MLV \text{ (тел.)} = MLV \text{ (рег.)} + 0.2 \quad (1).$$

С привлечением в рутинную обработку записей аппаратуры ЧИСС (частотно-избирательная сейсмическая станция), установленной на двух станциях Северного Тянь-Шаня - "Талгар" (ОИФЗ РАН) и "Медео" (ИС НАН РК), появилась возможность изучения на основе ЧИСС-спектров таких характеристик, как сейсмический момент M_0 и сейсмическая энергия E , определения которых осуществляются по методике, изложенной в работе [6]. С 1983 г. по 1990 г. их значения включались в каталог динамических параметров очагов землетрясений Средней Азии и Казахстана, в ежегодниках «Землетрясения в СССР». Сопоставление значений K_p , определяемых по сумме максимальных амплитуд в P и S-волнах, и $\lg E$, определяемого по ЧИСС-спектрам, показало (рис. 2), что они практически совпадают в широком диапазоне энергии, охватывающим 7 порядков значений сейсмической энергии.

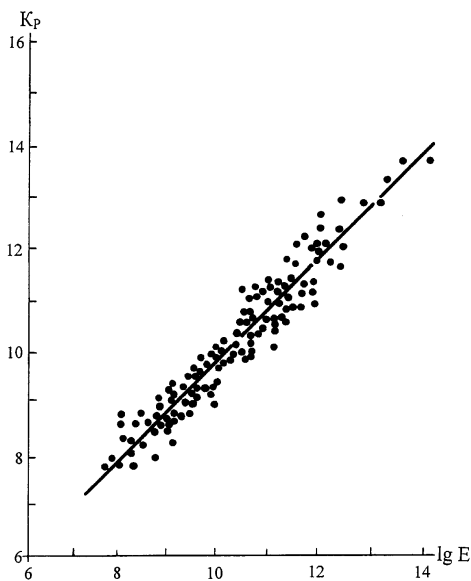


Рис. 2. Сопоставление энергетических классов K_p и сейсмической энергии E , определяемой по ЧИСС-спектрам.

На региональных материалах изучены корреляционные соотношения между различными энергетическими и магнитудными характеристиками (рис. 3-5). Наименьший разброс экспериментальных данных отмечается при изучении связи характеристик, определяемых по одним и тем же типам волн, например, K_p и MPVA (рис. 4). Рассчитанные способом ортогональной регрессии соотношения для различных параметров имеют вид:

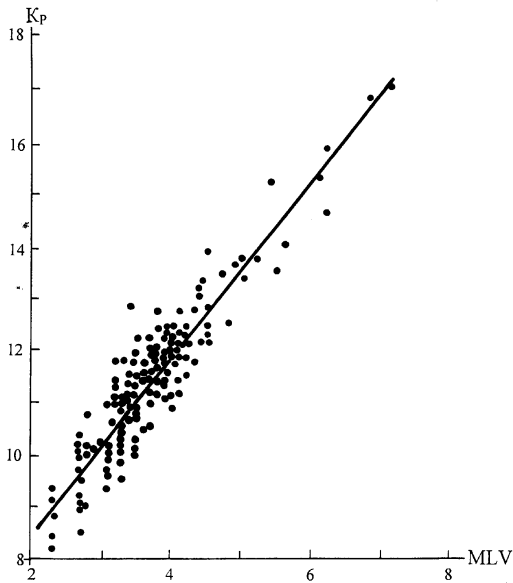
$$K_p = 1.87 \lg M_0 - 17.10 \quad (2)$$

$$K_p = 2.13 MPVA + 0.66 \quad (3)$$

$$K_p = 1.7 MLV + 5.0 \quad (4)$$

$$MLV = MPSP - 1.25 \quad (5)$$

$$\lg M_0 = 17.0 + 1.27 MLV \quad (6)$$



В отношении связи K_p и MLV заметим, что в рамках работ по сейсмическому районированию Тянь-Шаня совместно со специалистами Сейсмологического бюро Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР и ИС НАН КР было получено соотношение

$$K_p = 5.44 + 1.52 MLV \quad (7),$$

которое рекомендовалось использовать при пересчете одних параметров в другие. Как видим, оно существенно отличается от "стандартного" соотношения

$$K_p = 4 + 1.8 M \quad (8),$$

полученного Т.Г. Раутиан и гораздо меньше соотношения (4).

Рис. 5. Корреляционная зависимость энергетического класса K_p и магнитуды по поверхностным волнам MLV .

В последние годы все большее распространение получает моментная магнитуда M_w , которая рассчитывается через значения сейсмического момента M_0 :

$$M_w = 2/3 \lg M_0 - 10.7 \quad (9).$$

Для определения моментной магнитуды в условиях Северного Тянь-Шаня, где не более 5-10 % землетрясений имеют инструментально определенный сейсмический момент, изучены переходы от энергетического класса, магнитуд по поверхностным и продольным волнам к M_w .

С учетом выявленного занижения значений MLV на региональных расстояния относительно телесейсмических связь M_0 и MLV имеет вид:

$$\lg M_0 = 17.57 + 1.26 MLV(\text{тел}). \quad (10)$$

Используя это соотношение, а также формулу Ханкса и Канамори и результаты работы [7], построен график связи M_w и MS (практически то же, что и $MLV(\text{тел.})$) (рис.6).

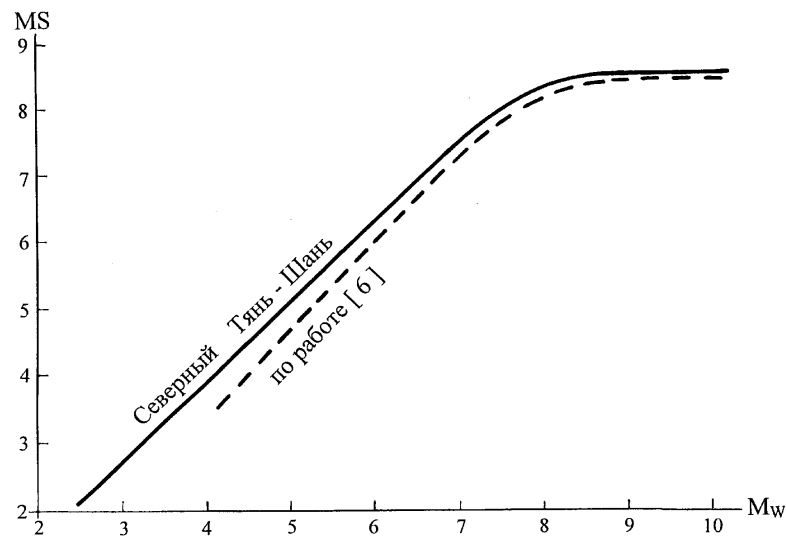


Рис. 6. Соотношение магнитуды MS по поверхностным волнам и моментной магнитуды M_w по данным для Северного Тянь-Шаня и по работе [6].

Для относительно слабых землетрясений получены корреляционные зависимости между

моментной магнитудой M_w , энергетическим классом K_p и магнитудой $MPVA$:

$$M_w = 0.352 K_p - 0.05 \quad (11),$$

$$M_w = 0.730 MPVA(\text{рег.}) - 0.2 \quad (12).$$

Таким образом, показано, что на Северном Тянь-Шане для определения величины землетрясений используется широкий набор характеристик, связанных между собой полученными корреляционными соотношениями.

Л и т е р а т у р а

1. **Раутиан Т.Г. 1964.** Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км // Тр. ИФЗ АН СССР. №32 (199). С.72-98.
2. **Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Т. I, II. 1990.** / Отв. сост.: Михайлова Н.Н., Власова А.А. Алма-Ата: Наука. 130 с.
3. **Михайлова Н.Н., Неверова И.П. 1986.** Калибровочная функция $\sigma(\Delta)$ для определения магнитуды $MPVA$ землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата: Наука. С. 41-47.
4. **Инструкция о порядке производства и наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. 1982.** М.: ИФЗ АН СССР. 269 с.
5. **Хайдаров М.С. 1983.** Динамические параметры очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня по кода-волнам // Сейсмичность и прогнозирование землетрясений в Казахстане. Алма-Ата: Наука. С. 86-93
6. **Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С. и др. 1981.** Экспериментальные исследования сейсмической коды. М.: Наука. 142с.
7. **Heaton T.M., Tajima S., Mori A.W. 1992.** Estimation ground motion using recorded accelerogrammas. Exxon Production Research Company Rep.