

## О СООТНОШЕНИИ МАГНИТУДЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КЛАССА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ОБЛАСТЕЙ АЗЕРБАЙДЖАНА

Б.М.Панахи<sup>1</sup>, С.Т.Агаева<sup>1</sup>, Т.Т.Исмаилзаде<sup>1</sup>, Л.Д.Эййюбова<sup>1</sup>, Э.С.Гаравелиев<sup>2</sup>

1 – Институт геологии НАН Азербайджана  
AZ 1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

2 – Республиканский центр сейсмологической службы НАН Азербайджана,  
AZ 1001, Баку, ул. Н.Рафибейли, 9

В настоящей работе выявлены соотношения между величинами магнитуд землетрясений, определенных по различным типам сейсмических волн, идентифицированных на сейсмических станциях Азербайджана. Установлено также соотношение между величинами магнитуд и энергетического класса землетрясений. Представлены графические и аналитические формы этих соотношений. Установлены особенности наклона графика зависимости  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  землетрясений Шеки-Исмаиллинской зоны. В области умеренных и слабых землетрясений  $m_{PV} < 6$ , при равных величинах  $m_{PV}$  величины  $M_{LH}$  для очагов с промежуточными глубинами несколько выше, чем для коровых очагов Шеки-Исмаиллинской зоны. Сделан вывод о соотношении между величинами магнитуд и высвобожденной энергией.

### Введение

Территория Азербайджана и прилегающая часть Каспийского моря, несмотря на умеренный характер сейсмичности данного региона, в целом, отличается высоким уровнем сейсмической активности по  $A_{10}$  и повышенной повторяемостью ( $\gamma$ ) ощутимых и разрушительных событий. Изучение природы сейсмических проявлений, условий и механизма формирования очагов землетрясений различного энергетического класса включает в себя анализ основных параметров землетрясений, среди которых наиболее изученными являлись максимальные магнитуды ( $M_{max}$ ), энергетический класс ( $K_{max}$ ), интенсивность ( $I$ ), глубины очагов ( $H$ ), сейсмическая активность и повторяемость. Однако характер соотношения между разными типами магнитуд, магнитудой и энергетическим классом, а также между магнитудой и максимальной интенсивностью землетрясений Азербайджана до настоящего времени практически не рассматривался.

Связь между магнитудой  $M$  и энергетическим классом  $K$  для землетрясений Кавказа имеет, в целом, вид:  $K=(1.64 \pm 0.14)M+(4.6 \pm 0.55)$ , а соотношение между магнитудами, выявленное по данным о 30 кавказских земле-

трясениях (Кулиев, Папалашвили, 1980), аппроксимируется уравнением прямой в следующем виде:

$$m_{pv} = (0.77 \pm 0.06)M_{LH} + (1.55 + 0.06),$$

где  $m_{PV}$  - магнитуда объемных волн – величина, определяемая по вертикальной составляющей продольной волны.

Для землетрясений, имевших место до 1962 г., энергетический класс не определялся. Обычно события этого периода используются для анализа долговременных параметров сейсмического режима. С целью получения единой зависимости для больших интервалов наблюдений и больших регионов, величина энергетического класса сейсмических событий, происшедших до 1962 года, рассчитывалась по известному соотношению между классом и магнитудой  $K=1.8M+4$  (Раутиан, 1988). Для территории Грузии принято соотношение  $K=4.8+1.65M$ , рассчитанное по кодаволнам (Джибладзе, 1981), а для Азербайджана при переводе магнитуды  $M$  в  $K$  и наоборот использовалась формула  $K=1.75M+4.3$  (Сейсмическое районирование..., 1980), установленная по инструментальным данным в ин-

тервале магнитуд  $3 \leq M < 6$  и дающая хорошее совпадение с указанным выше региональным соотношением.

Соотношения между магнитудой и энергетическим классом, а также между магнитудой и максимальной интенсивностью сотрясений в эпицентральной зоне зависят от региональных условий и имеют различные значения для разных регионов. Эпицентральная интенсивность в определенной степени зависит также от локальных инженерно-геологических условий. Важную роль при этом играют региональные особенности спектров очагового излучения и поглощения колебаний средой в районе очага. Строение земной коры может в большей или в меньшей мере способствовать формированию поверхностных волн и тем самым влиять на значения магнитуд  $M$ , определяемых по поверхностным волнам. Немаловажным фактором при этом, видимо, являются глубины очагов землетрясений.

В настоящей работе не ставилась задача выяснения природы особенностей соотношения между различными шкалами. Для этого необходимы надежные методы определения магнитуды или  $K$  для каждого отдельного землетрясения и достаточно обоснованные корреляционные соотношения между шкалами независимо от сущности определяющих эти соотношения эффектов. Поэтому нами были разработаны локальные корреляционные соотношения на основе землетрясений, имевших место в пределах рассматриваемых областей.

### Исходные данные

Для проведения настоящего исследования использованы результаты инструментальных наблюдений сети сейсмических станций СССР, опубликованные в различных атласах, бюллетенях, ежегодных сборниках (Атлас землетрясений в СССР, 1962; Бюллетень СССР, 1938-1940, 1940, 1946-1953, 1954-1964, 1965-1977; Бюллетень Кавказа, 1938, 1960-1962, 1973-1975, 1976-1989; Землетрясения в СССР, 1964-1997; Кондорская, Шебалин, 1977). Для сравнительного анализа материалов широко использованы данные международных сетей сейсмических наблюдений (NEIC, CTBTO, IRES, GS RAS), представленные на сайтах этих служб, а также результаты,

представленные в Каталоге тестового полигона Крым-Кавказ-Копетдаг (Kondorskaya, Shebalin, 1999). Используются также опубликованные результаты макросейсмических и инструментальных наблюдений Республиканского Центра Сейсмологической Службы НАН Азербайджана.

### Корреляция между $M$ и $m$

Очевидно, что анализ корреляционных связей между величинами магнитуд  $M$  и  $m$  для территории Азербайджана и отдельных его структурных областей может быть осуществлен в рамках допустимой погрешности определения этих величин. В. Буне и Л. Альварес (1977) применили метод наименьших квадратов для регрессии  $m_{PV}$  на  $M$  для Карибского региона. Данный методический подход показал допустимость проведения подобного корреляционного анализа. Кроме того, выражение связи между  $M$  и  $m$  должно быть различным не только для различных регионов, но и для сильных и слабых землетрясений. Такой вывод следует непосредственно из теоретических представлений об общепринятых моделях очаговых спектров и подтверждается данными из других районов (Халтурин, 1974). Характер связи магнитуд  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  землетрясений Карпат в целом отражает общую тенденцию в характере корреляционных связей (рис. 1), а соотношение согласно (Кондорская, Шебалин, 1977; Раутиан, 1983) имеет вид:

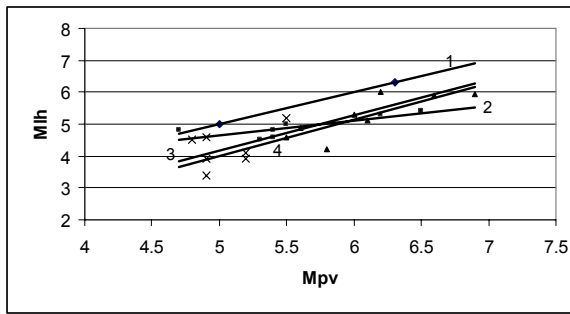
$$m_{PV} = M_{LH} + 0.8.$$

Для частных случаев, когда события дифференцированы по глубине, отмечается некоторая девиация. Корреляционное соотношение для Карибского района имеет следующий вид:

$$m_{PV} = 1.84 + 0.67M \quad (M \leq 5.5),$$

что близко к выражению, полученному Альваресом и Буне (1977):

$$m_{PV} = 1.89 + 0.65M, \\ m_{PV} = 2.75 + 0.50M \quad (M \geq 5.6).$$



**Рис. 1.** Соотношение между  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  для различных регионов  
1-3 – Карпаты: 1 - неглубокие очаги; 2 - очаги с глубинами менее 130 км; 3-очаги с глубинами более 130 км; 4- Шеки-Исмаиллинская область

Соотношения между различными видами магнитуд для местных и близких землетрясений, полученные с помощью кода-волн, приведены в работе Б.Пустовитенко, Т.Раутиан, В.Свидловой (1983). Для землетрясений с  $M_{LH} \geq 4.5$  приведено следующее соотношение:

$$M_{LH} = 1.68m_{PV} - 3.91.$$

Необходимо отметить, что зависимости, полученные с помощью указанных соотношений, различаются в среднем на 0.5 единицы

магнитуды, что находится в пределах погрешности определения магнитуд.

Соотношение между  $m_{PV}$  и  $M$ , получено нами для землетрясений Шеки-Исмаиллинской зоны (рис. 1) на основании исходных данных, представленных в таблице. Однако наклон прямой сохраняет ту же тенденцию, что и для зоны Карпат, а корреляционное соотношение имеет следующий вид:

$$m_{PV} = 1.43M_{LH} - 4.57.$$

#### Соотношение между $m$ и энергетическим классом $K$

Энергетический класс применяется для классификации в основном слабых землетрясений ( $K \leq 14$ ). Корреляционная зависимость между рассматриваемыми параметрами по немногим данным составляет:

$$K = 2.6 + 2.25m_{PV}$$

$$m_{PV} = 0.445K - 1.15 \quad (m_{PV} \leq 5).$$

С учетом приведенных выше соотношений можно получить выражение, связывающее величины  $K$  и  $M$ :

$$K = 6.7 + 1.5M.$$

#### Таблица

Исходные данные для анализа соотношения между  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  землетрясений Шеки-Исмаиллинской зоны

№№	Дата	Время	Координаты		Магнитуда	
			$\varphi$	$\lambda$	$m_{PV}$	$M_{LH}$
1	2	3	4	5	6	7
1	09/07/1985	17.06.54,0	41.12	46.7	4.9	3.4
2	04/29/1982	16.27.11	40.90	48.00	4.9	3.9
3	05/14/1986	06.25.22,2	40.73	47.27	5.2	3.9
4	06/02/1986	15.16.13,1	40.94	47.75	5.2	4.1
5	12/04/1981	02.35.36	40.70	48.00	4.8	4.5
6	12/02/1981	00.51.36	40.68	47.93	4.9	4.6
7	11/29/1981	23.37.30	40.75	48.00	5.4	5.2

Это соотношение практически совпадает с аналогичным соотношением, полученным Н.Шебалиным для Чукотки (Кондорская, Шебалин, 1977):

$$K = 1.5M_{LH} + 6.5.$$

Однако наблюдаемое в уравнении резкое расхождение между величинами магнитуды и энергетического класса, отличное от среднемировых, является аномальным и должно рассматриваться специально.

Соотношение между магнитудой  $M_{LH}$  и энергетическим классом  $K$ , полученное Б.Пустовитенко, Т.Раутиан, В.Свидловой (1983) для слабых землетрясений с  $M_{LH} \leq 4.5$ , имеет вид:

$$M_{LH} = -2.8 + 0.57K.$$

Близкое по содержанию соотношение между  $M_{LH}$  и  $K$ , полученное нами для Шеки-Исмаиллинской зоны, может быть представлено в следующем виде:

$$M_{LH} = 0.3721K - 0.2402.$$

Соотношение между  $M_{LH}$  и  $K$ , полученное для Абшеронской области, выражается уравнением:

$$M_{LH} = 0.6785K - 3.7966.$$

Характер связи между  $M_{LH}$  и  $K$  для землетрясений Шеки-Исмаиллинской и Абшеронской областей приведен на рисунке 2. Осредняющие прямые, полученные для этих областей, имеют примерно одинаковый наклон.

Бликий наклон прямых, полученных для Шеки-Исмаиллинской и Абшеронской областей, позволяет составить общее распределение для обеих областей (рис. 2). Уравнение связи в этом случае примет вид:

$$M_{LH} = 0.4324K - 0.9384.$$

Уравнения связи между  $m_{PV}$  и  $K$  для землетрясений Шеки-Исмаиллинской и Абшеронской областей могут быть записаны соответственно следующим образом (рис. 3):

$$M_{PV} = 0.4297K + 0.048$$

$$m_{PV} = 0.58K - 2.49$$

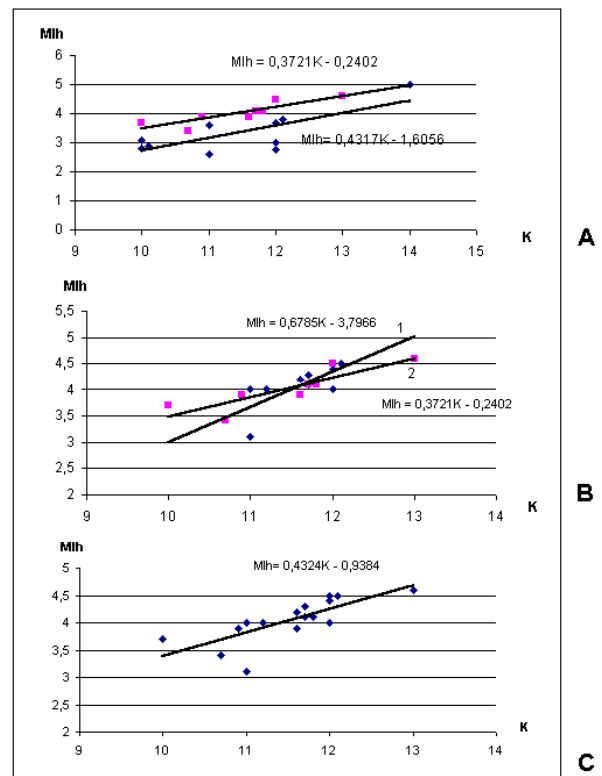


Рис. 2. Характер связи между  $M_{LH}$  и  $K$

А: 1 -  $M_{LH}$  и  $K$  для землетрясений Шеки-Исмаиллинской области; 2 -  $M_{LH}$  и  $K$  для землетрясений Чукотки;

В:  $M_{LH}$  и  $K$  для землетрясений Абшеронской и Шеки-Исмаиллинской областей (осредняющие прямые для: 1 - Абшеронской области; 2 - Шеки-Исмаиллинской области);

С: общее распределение для Абшеронской и Исмаиллинской областей

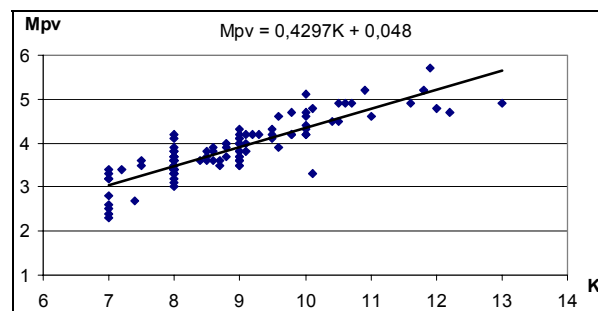
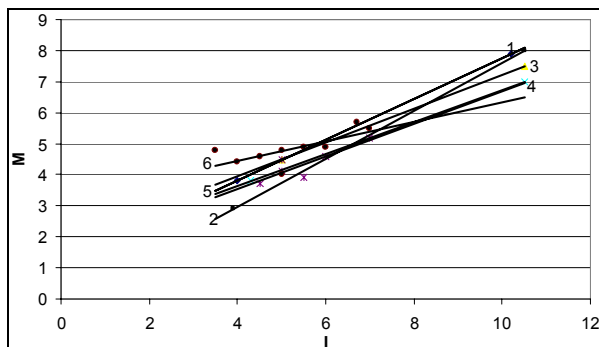


Рис. 3. Характер связи между  $m_{PV}$  и  $K$  для землетрясений Шеки-Исмаиллинской области

### Соотношение между $M$ и интенсивностью сотрясений $I$

Зависимость между магнитудой и интенсивностью для всего мира (Gutenberg, Richter, 1954) и для таких его регионов, как Иран, Китай, Калифорния/США (Ambraseys, Melville; 1983) приведена на рисунке 4. Интенсивность указана в единицах шкалы Росси-Фореля.

Нами изучено такое соотношение для событий Шеки-Исмаиллинской области для значений магнитуд  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  в зависимости от интенсивности, представленной в единицах шкалы MSK. Характер распределения приведен на рисунке 4. Несмотря на небольшие различия, в целом отмечается близкий наклон прямых.



**Рис. 4.** Характер связи между  $M_{LH}$  и  $I_0$  для землетрясений некоторых регионов мира  
1 - весь мир по Гутенбергу-Рихтеру; 2 - Иран; 3 - Китай; 4 - Калифорния; 5 - Шеки-Исмаиллинская область ( $M_{LH}$ ) 6 - Шеки-Исмаиллинская область ( $m_{PV}$ )

### Заключение

Существенно различаются наклоны графиков зависимости  $m_{PV}$  и  $M_{LH}$  землетрясений Шеки-Исмаиллинской зоны и зоны землетрясений с промежуточными глубинами Карпат. В области умеренных и слабых землетрясений  $m_{PV} < 6$ , при равных величинах  $m_{PV}$  величины  $M_{LH}$  для очагов с промежуточными глубинами несколько выше, чем для коровых очагов Шеки-Исмаиллинской зоны. Для сильных событий с магнитудами  $m_{PV} > 6$  наблюдается обратная картина. Это, по-

видимому, обусловлено особенностями структуры литосферы.

Характер связи между  $M$  и  $K$  позволяет полагать, что для одних и тех же величин энергетического класса значения  $M$  для землетрясений Азербайджана выше, чем для других областей (например, Чукотки). Принимая во внимание связь магнитуды с размерами разрыва, можно сделать вывод, что при равных магнитудах (размерах разрывов) высвобождается различная по величине энергия.

### ЛИТЕРАТУРА

- Атлас землетрясений в СССР. 1962. Результаты наблюдений сети сейсмических станций 1911-1957 гг. Москва. АЛБВАРЕС, Л., БУНЕ, В.И. 1977. Оценка сейсмической опасности для юго-восточной части Кубы. *Известия АН СССР. Физика Земли*, 10, 54-67.
- Атлас карт изосейст региона Крым-Кавказ-Копетдаг. 1975. Фонд Института геофизики АН ГССР, Тбилиси.
- Бюллетень региональных сейсмических станций Кавказа*. 1938. АН СССР, Москва.
- Бюллетень телесеismicической сети СССР*. 1938-1940. АН СССР, Москва-Ленинград.
- Бюллетень сейсмических станций СССР*. 1940. АН СССР, Москва-Ленинград.
- Бюллетень сейсмической сети СССР*. 1946-1953. АН СССР, Москва-Ленинград.
- Бюллетень сети сейсмических станций СССР*. 1954-1964. АН СССР, Москва.
- Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа*. 1960-1962. Мецниереба, Тбилиси.
- Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа*. 1973-1975. Мецниереба, Тбилиси.
- Землетрясения в СССР в 1962-1991 г.* 1964-1997. Наука, Москва.
- ДЖИБЛАДЗЕ, Э.А., НАТЕНАДЗЕ, Э.Н., КОБИДЗЕ, Р.Ф. 1978, 1981. Параметры очагов землетрясений территории Грузинской ССР. *Сейсмологический бюллетень Кавказа*, Мецниереба, Тбилиси.
- КУЛИЕВ, Ф.Т., ПАПАЛАШВИЛИ, В.Г. 1980. О связи магнитуды с энергетическим классом  $K$  для землетрясений Кавказа. *Сейсмологический бюллетень Кавказа*, 1977. Мецниереба, Тбилиси.
- КОНДОРСКАЯ, Н.В., ШЕБАЛИН, Н.В. 1977. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. Наука, Москва.
- ПУСТОВИТЕНКО, Б.Г., РАУТИАН, Т.Г., СВИДЛОВА, В.А. 1983. Определение магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крымском регионе. *Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым-Карпаты)* за 1978-1979 гг. Наук. думка, Киев, 126-138.
- РАГИМОВ, Ш.С. 1966. Вопросы изучения строения Земли. Баку, Азернешр.
- РАУТИАН, Т.Г. 1983. О классификации землетрясений по одной станции и об унификации магнитудных

- оценок. В кн.: *Исследование сейсмичности малоактивных сейсмических зон*. Наука, Москва.
- РАУТИАН, Т.Г. 1988. Определение параметров субочгов землетрясений и их интерпретация. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 29, ИФЗ, Москва.
- Сейсмическое районирование территории СССР. 1980. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. Наука, Москва.
- Сейсмологический бюллетень Кавказа за 1974-1984 гг. 1976-1989. Мецниереба, Тбилиси.
- Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР. 1965-1977. Наука, Москва.
- Сейсмологический бюллетень сети сейсмологических станций СССР*. 1962-1963, АН СССР, Москва.
- ХАЛТУРИН, В.И. 1974. Соотношения между магнитудными определениями, ожидаемые и наблюдаемые. В кн.: *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений*, 1, ИФЗ, Москва.
- ШЕБАЛИН, Н.В. 1997. Сильные землетрясения. Академия горных наук. Москва.
- AMBRASEYS, N.N., MELVILL, C.P. 1983. A history of Persian earthquakes. Cambridge.
- KONDORSKAYA, N.V., SHEBALIN, N.V. 1999. Special catalogue of earthquakes for the GSHAP test area CAUCASUS. Moscow.
- GUTENBERG, B., RICHTER, C.F. 1954. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.

*Редколлегия*