

Об экспериментальной проверке оценки макросейсмической магнитуды в Центральных Балканах

Т. Г. Раутиан

Институт физики Земли, Москва

Н. Т. Доцев

Геофизический институт, София

В работе [1] одним из авторов настоящей статьи предложена шкала макросейсмической магнитуды Y . Цель введения этой величины состоит в том, чтобы попытаться охарактеризовать макросейсмический эффект землетрясения параметром I_0 , который определялся бы по всей совокупности макросейсмических данных. Здесь имеется в виду, что I_0 не всегда можно определить с той надежностью, которой предполагается в макросейсмической шкале. Смысл макросейсмической магнитуды представляется в том, что она выражается через интенсивности сотрясений в баллах по шкале MSK при расстоянии $R_0=30$ км. Макросейсмическая магнитуда определяется по набором макросейсмических данных после приведения их к этому расстоянию с учетом средней кривой затухания макросейсмической интенсивности с увеличением гипоцентрального расстояния. Это предполагает, что эпицентр и глубина очага известны. Кроме того, выбор $R_0=30$ км, который обоснован ниже, в некоторой степени ограничивает физическую интерпретацию этой величины, для землетрясений с глубинами больше 30 км. Это результат того, что оценки уже не относятся к физическим точкам земной поверхности. Здесь мы имеем в виду то, что основное предназначение макросейсмической шкалы — отразить реальное воздействие на земную поверхность.

Как и в обычных инструментальных шкалах, выбор опорного расстояния R_0 осуществлялся из соображений практического удобства и точнее:

1. Минимум экстраполяций. Для неглубоких землетрясений $H \leq 30$ км (при $R=30$ км), как правило, имеется фактическая информация о сотрясениях, как у больших, так и у малых землетрясений.

2. Положительные значения Y во всем диапазоне ощутимых коровых землетрясений. Если взять большие значения опорного гипоцентрального расстояния, например 100 км, то малые очаги имели бы отрицательную макросейсмическую магнитуду.

3. Численное соответствие получающихся значений Y и величины стандартной магнитуды M_{LH} , при $M_{LH}=5,0$.

Калибровочная кривая (кривая затухания балльности с расстоянием), предложенная в [1], была получена по землетрясениям в Средней Азии. В диапазоне гипоцентральных расстояний от 30 до 1000 км опорными являлись главным образом Газлийские землетрясения 1976 г. В области малых гипоцентральных расстояний, от 2 до 50 км — слабые землетрясения Таджикистана с малыми глубинами. Последние произошли в густонаселенной местности, и обследование было проведено для достаточно обширного макросейсмического материала. Эта калибровочная кривая построена на рис. 1. Форма кривой своим характером напоминает кривую затухания максимальных амплитуд при инструментальных наблюдениях.

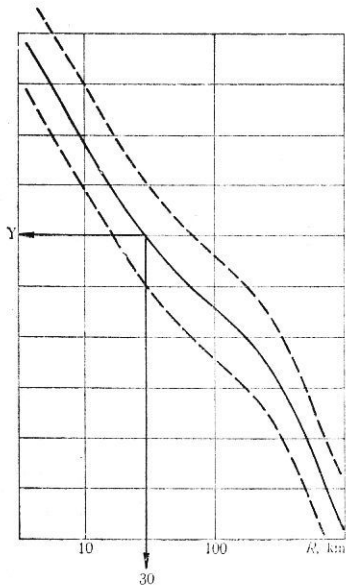


Рис. 1. Палетка для определения макросейсмической магнитуды

В табл. 1 предложены расчеты значения коэффициента затухания в зависимости от гипоцентрального расстояния. На рис. 1 наблюдается выполаживание кривой на расстояниях 50—200 км. На больших расстояниях крутизна возрастает, что определяется поглощением.

Координатная сетка на рис. 1 является и палеткой для определения макросейсмической магнитуды. Техника этого определения следующая. Наносятся макросейсмические данные: величины баллов в зависимости от гипоцентрального расстояния. Для этой цели обычно достаточно нанести для данного значения балла лишь две точки с максимальным и минимальным гипоцентрального расстоянием. Полученный график $I(R)$, построенный на кальке, совмещают затем с палеткой на рис. 1 таким образом, чтобы точки графика вместились внутри полосы между двумя пунк-

тирными линиями, определяющими отклонения калибровочной кривой в ± 1 балл по ординате. Тогда горизонтальная стрелка палетки укажет на оси ординат графика значение балла, равное Y . Примеры таких определений показаны на рис. 2.

Попытки использовать калибровочную кривую, полученную для Средней Азии при землетрясениях других континентальных районов, оказались успешными. Примеры графиков затухания балльности и определения для нескольких землетрясений показаны на рис. 3. Тот факт, что графики затухания не противоречат калибровочной кривой на рис. 1, учитывая точность ее построения, позволяет считать, что предложенная в [1] калибровочная кривая и основанная на ней шкала макросейсмических магнитуд может быть использована для оценки и в ряде других районов мира. Во всяком случае и в таких континентальных районах, где отсутствуют вулканизм и аномально сильное поглощение. Исходя из этого в данной работе проведены определения макросейсмических магнитуд для ряда землетрясений Центральных Балкан.

Таблица 1

R [km]	20	20—50	50—200	200—300	300—500	500—1500
n	4,0	3,3	2,3	3,5	5,5	6,5

Значения коэффициентов затухания $n = \Delta I / \Delta \lg R$ в разных диапазонах R .

Данные для землетрясений Центральных Балкан взяты из [4, 5]. Обработано всего 55 землетрясений (табл. 2). Примеры показаны на рис. 4. При обработке материала для некоторых случаев появились расхождения макросейсмического и

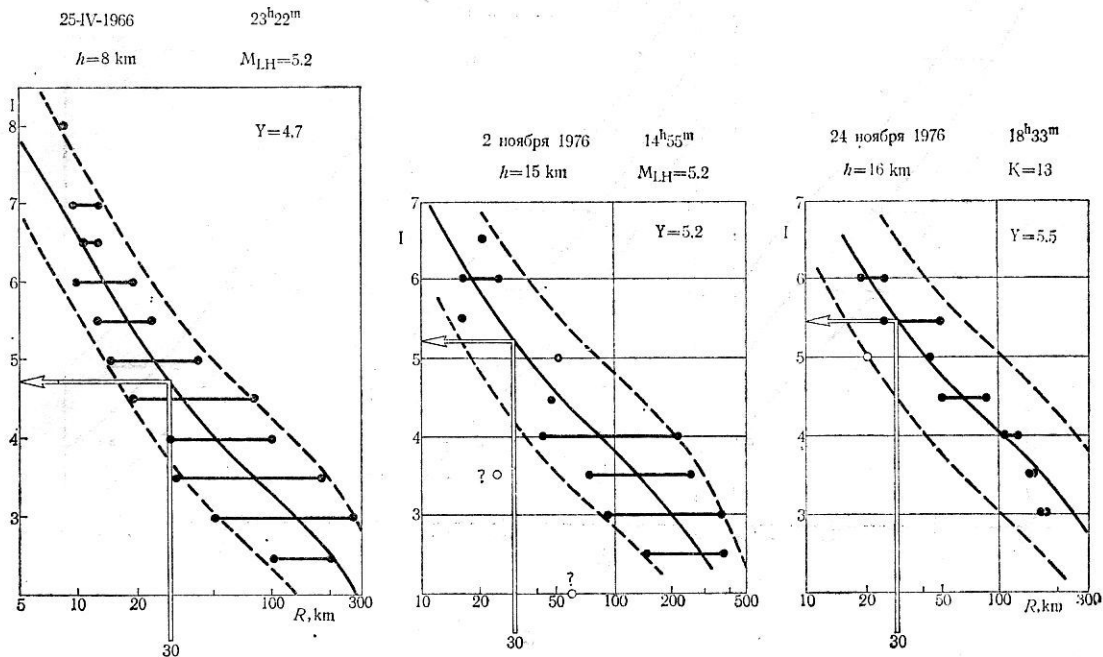


Рис. 2. Примеры определения макросейсмической магнитуды Ташкентского землетрясения 1966 г и Прибайкальских землетрясений

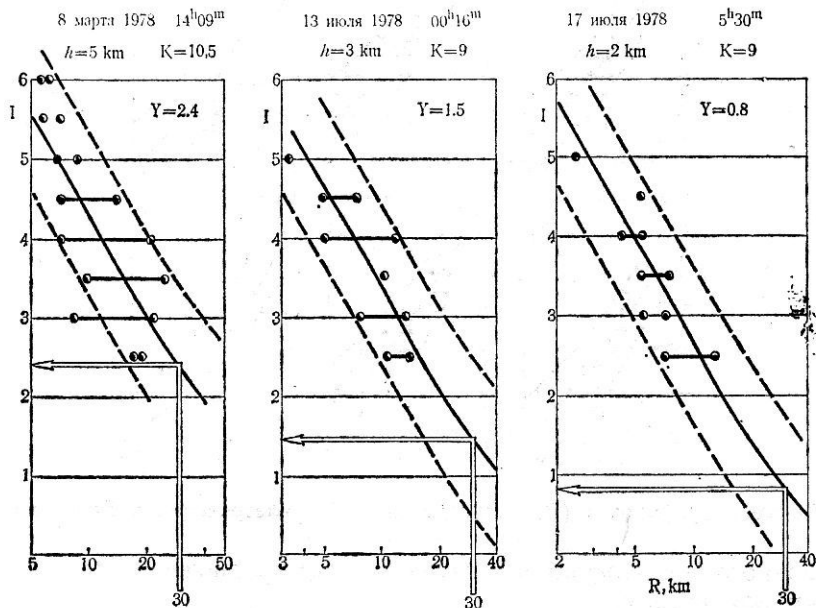


Рис. 3. Примеры определения Y слабых Карпатских землетрясений

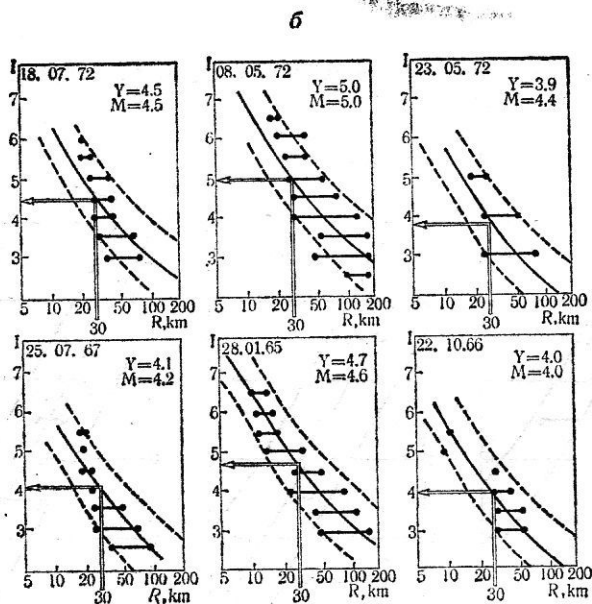
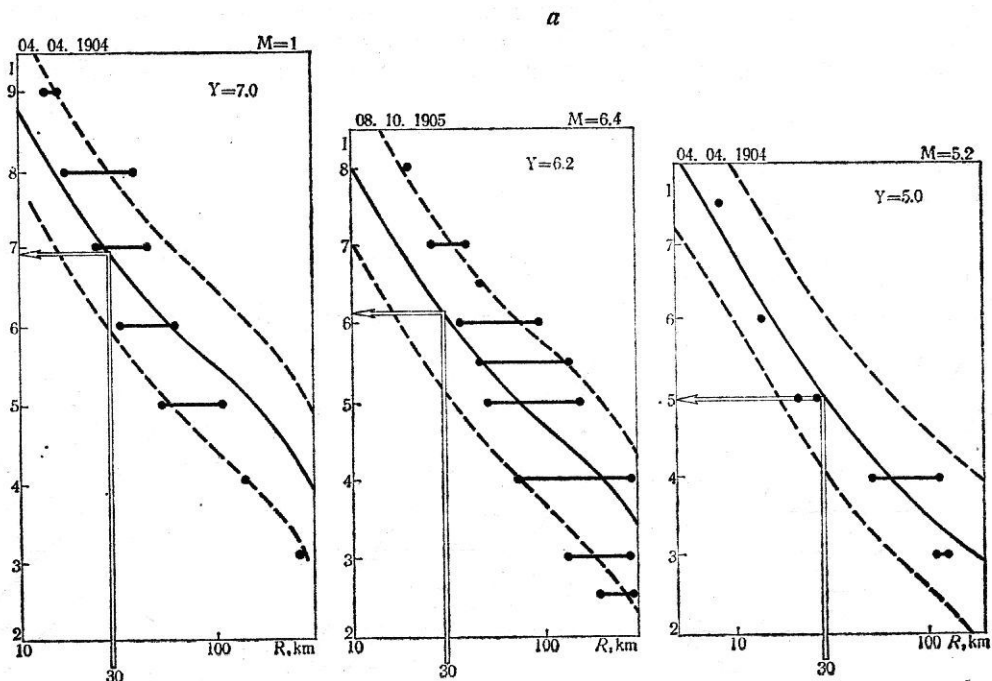


Рис. 4. Примеры графиков $I(R)$ и определения Y землетрясений в Болгарии

инструментального определения эпицентра, и тогда предпочтение отдавалось макросейсмическим эпицентрам.

Необходимым шагом в исследовании является уточнение корреляционного соотношения между Y и M_{LH} . Для этого необходимо иметь надежное корреляцион-

Таблица 2

№	Год	Месяц	День	Час	Мин.	M_{LN}	Y	$M_{LN}(Y)$	$\sigma = \frac{M_{LN}(Y) - M_{LN}}{M_{LN}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1901	03	31	07	10	7,2*	7,1	7,4	0,2
2	1902	07	05	14	56	6,6	6,3	6,6	0,0
3	1903	11	25	23	16	5,5	5,8	6,2	-0,7
4	1903	11	27	15	13	4,4*	4,2	4,7	-0,3
5	1904	04	04	10	02	7,1	7,0	7,3	0,2
6	1904	04	04	10	13	5,2*	5,0	5,5	0,3
7	1904	04	04	10	13	5,4	5,2	5,6	0,2
8	1904	04	04	10	25	7,8	7,8	8,0	0,2
9	1904	04	10	08	52	6,5	5,6	6,0	-0,5
10	1904	04	11	04	18	5,2	5,4	5,8	0,6
11	1904	04	19	18	14	5,9	5,3	5,7	-0,2
12	1904	06	21	13	10	5,3*	5,4	5,8	0,5
13	1904	08	01	07	50	5,0	5,0	5,5	0,5
14	1905	09	05	01	22	4,8	5,5	5,5	0,7
15	1906	04	06	09	48	4,7*	4,8	5,3	0,6
16	1906	10	08	07	27	6,4	6,2	6,6	0,2
17	1907	08	13	02	18	4,6	4,8	5,3	0,7
18	1909	02	14	22	28	5,5	5,1	5,6	0,1
19	1909	02	15	09	34	5,9	5,3	5,7	0,2
20	1910	04	06	01	36	4,5	4,2	4,7	0,3
21	1910	12	09	04	29	4,5*	4,2	4,7	0,3
22	1911	09	08	12	09	4,8	4,6	5,1	0,3
23	1912	11	07	19	50	4,8	4,6	5,1	0,3
24	1913	06	14	09	33	7,0	7,0	7,3	0,3
25	1914	12	19	17	10	3,8*	3,6	4,2	0,4
26	1915	01	25	07	55	5,0*	4,9	5,4	0,4
27	1917	10	18	18	58	5,1	4,6	5,1	0,0
28	1923	12	19	03	30	3,2*	3,1	3,7	0,5
29	1928	04	14	09	00	6,8	6,8	7,1	0,3
30	1928	04	18	19	22	7,0	7,1	7,4	0,4
31	1928	04	18	19	41	5,6	5,2	5,6	0,0
32	1928	04	25	09	25	5,6	6,1	6,5	0,9
33	1928	04	28	18	00	5,3	5,2	5,6	0,3
34	1933	05	09	22	10	4,5*	4,5	5,0	0,5
35	1939	05	03	10	09	4,3	3,9	4,5	0,2
36	1939	08	09	12	29	4,8	4,5	5,0	0,2
37	1940	05	14	00	45	4,7*	4,3	4,8	0,1
38	1944	03	14	23	59	5,1	5,4	5,8	0,7
39	1944	03	18	15	56	4,7*	4,6	5,1	0,4
40	1947	07	15	14	30	4,6	4,1	4,6	0,0
41	1952	06	03	13	48	4,0*	3,9	4,5	0,5
42	1952	07	05	03	18	4,2	4,2	4,7	0,5
43	1952	12	02	15	47	4,2	3,8	4,4	0,2
44	1952	12	02	13	00	4,3	3,8	4,4	0,1
45	1954	06	07	12	49	3,9	3,7	4,3	0,4
46	1958	07	16	20	29	4,0*	3,8	4,4	0,4
47	1962	07	26	14	54	4,0	3,9	4,3	0,3
48	1962	10	08	14	26	4,5	4,5	5,0	0,5
49	1964	03	15	20	55	3,9	3,5	4,1	0,2
50	1965	01	28	23	10	4,6	4,7	5,2	0,6
51	1966	10	22	05	38	4,0	4,0	4,6	0,6
52	1967	07	25	12	33	4,2	4,1	4,6	0,4
53	1972	05	08	09	20	5,0	5,0	5,5	-0,5
54	1972	05	23	03	14	4,4	3,9	4,3	-0,1
55	1972	07	18	13	45	4,5	4,5	5,0	0,5

Экспериментальные результаты для землетрясений в Болгарии

M_{LN} — по инструментальным данным;

Y — определение макросейсмической магнитуды;

$M(Y)$ — магнитуда, вычисленная согласно корреляционного уравнения;

σ — разность между вычисленной магнитудой и определенной инструментально;

* — макросейсмично определенная M_{LN} .

ное соотношение между этими величинами, полученное по достаточно большому объему данных и в широком магнитудном диапазоне. Соотношение, приведенное в работе [1]

$$Y = 1,15 M_{LH} - 0,9, \text{ т. е. } M_{LH} = 0,87 Y + 0,78,$$

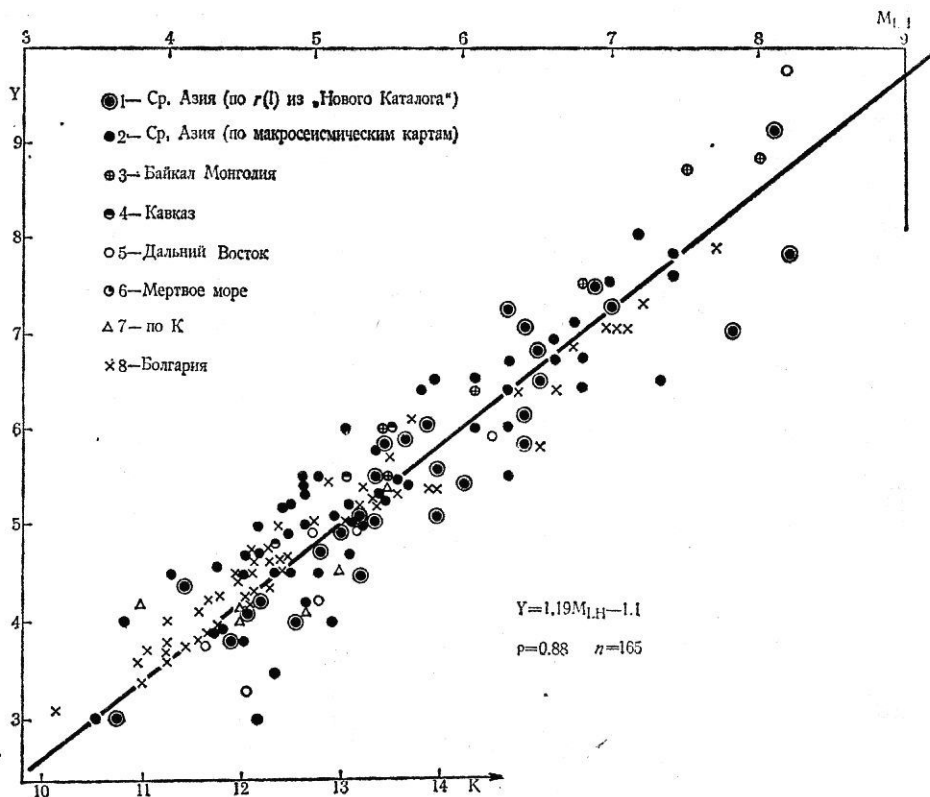


Рис. 5. График корреляций между Y и M_{LH} землетрясений разных регионов условными знаками

1 — Средняя Азия, по $r(I)$ из [3]; 2 — Средняя Азия по макросейсмическим картам; 3 — Байкал и Монголия; 4 — Кавказ; 5 — Дальний Восток; 6 — Мертвое море; 7 — Средняя Азия, землетрясения, калиброванные по шкале К; 8 — Болгария

не рассматривалось как окончательное, и предлагалось его уточнить. Для уточнения было рассмотрено 110 землетрясений не только Средней Азии, но также Байкальского района, Монголии, Кавказа, Дальнего Востока. Для ряда сильных землетрясений Средней Азии мы использовали в качестве макросейсмических данных значения средних радиусов изосейст, $r(I)$ приведенные в „Новом Каталоге“ [3]. Для некоторых слабых землетрясений значения магнитуды не определены, а в каталогах приводятся значения $K (K = \log E)$ по принятой в СССР шкале энергетических классов. Эти данные, показанные на рис. 5 светлыми треугольниками, нанесены на график в соответствии с корреляционным соотношением [2]:

$$K = 1,5 M_{LH} + 5,3,$$

или

$$M_{LH} = 0,67 K - 3,5.$$

На рис. 5 видно, что данные разных регионов, а также полученные по полным макросейсмическим данным и по „средним радиусам“, неплохо согласуются между

собой. Это свидетельствует о том, что методика дает для разных регионов сравнимые результаты. Уточненное корреляционное уравнение, полученное методом ортогональной регрессии, имеет вид:

$$Y = (1,19 \pm 0,02)M_{LH} - (1,1 \pm 0,05),$$
$$M_{LH} = (0,91 \pm 0,03)Y + (0,92 \pm 0,02).$$

Коэффициент корреляции ρ этого соотношения достаточно высок (не меньше чем 0,88).

Заключение

1. На основании макросейсмического поля материала многих континентальных районов достигнуто уточнение корреляционного соотношения между параметрами макросейсмического поля и Y (макросейсмическая магнитуда [1]).

2. Сильная связь между Y и инструментальной магнитудой M_{LH} , где макросейсмическая магнитуда Y определялась при помощи калибровочной кривой из [1], указывает на сходство в характере затухания интенсивности в континентальных районах.

3. Из предыдущего пункта следует рекомендация об использовании значений коэффициентов затухания интенсивности, полученных из калибровочной кривой на рис. 1, в основных уравнениях макросейсмического поля.

Л и т е р а т у р а

1. Раутиан, Т. Г. Макросейсмическое проявление землетрясений и очаговые спектры. — Инж. сейсмология, вып. 23, 1982, М., Наука, 74—82.
2. Раутиан, Т. Г., В. И. Халтурин, М. С. Закиров и др. Экспериментальные исследования сейсмической коды. М., Наука, 1981, с. 106.
3. Шибалин, Н. В., Н. В. Кондорская. Новый каталог. М., Наука, 19.
4. CATALOGUE OF EARTHQUAKES PART III. ATLAS OF ISOSEISMAL MAPS — UNESCO Skopje, 1974.
5. Grigorova, E., R. Glavcheva — In: Atlas of Iseismal maps. Central a. Eastern Europe Eds.: D. Prochazkova, V. Karnik-Geophys. Inst. Czechosl. Acad. Sci., Prague, 1978.

Поступила 21 января 1986 г.

An Experimental Test and Estimation of the Macroseismic Magnitude in the Central Balkans

T. G. Rautian, N. T. Dotzev

(S u m m a r y)