

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Н. К. Карапетян

Энергетическая характеристика землетрясений
 Армянского нагорья и Малого Кавказа

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 30 VII 1962)

С целью изучения сейсмичности Армянского нагорья и Малого Кавказа нами сделана попытка оценить энергию всех землетрясений этой области. Для исследуемого района установлена зависимость между балльностью I и магнитудой M землетрясения:

$$M = 0,47 I + 1,66. \quad (1)$$

Эту формулу можно представить также в виде:

$$I = 2,13 M - 3,53. \quad (2)$$

Согласно Гутенбергу и Рихтеру ⁽¹⁾ между энергией E и магнитудой M землетрясения существует зависимость:

$$\lg E = 11,8 + 1,5 M. \quad (3)$$

Подставляя в это последнее уравнение значение M из формулы (1), получим:

$$\lg E = 14,29 + 0,71 I. \quad (4)$$

Для Большого Кавказа Е. Ф. Саваренским и Э. А. Джибладзе ⁽²⁾ эта зависимость получена в виде:

$$\lg E = 13,5 + I. \quad (5)$$

В целях массовой классификации по энергии землетрясений Армянского нагорья и Малого Кавказа составлена энергетическая шкала, которая состоит из 10 классов. Энергия землетрясения каждого последующего класса больше энергии предыдущего класса в 10 раз. Первый класс соответствует энергии 10^{14} эрг или же $K = \lg E = 14$. Следовательно, десятый класс будет соответствовать энергии 10^{23} эрг или же $K = \lg E = 23$. Используя формулы (3) и (4), определены значения магнитуды M и балльности I для отдельных классов. Установлена также предельная дальность регистрации.

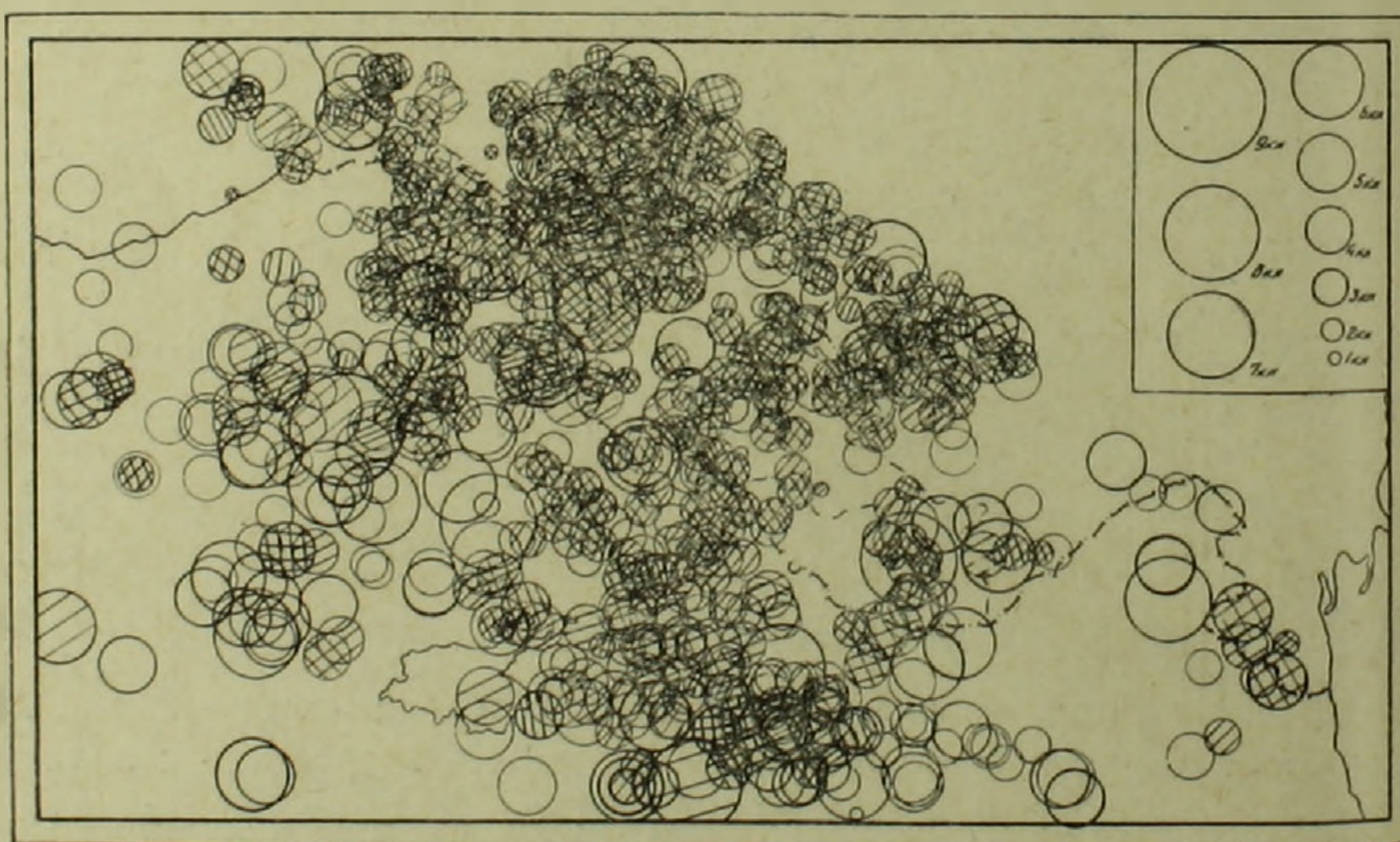
В табл. 1 приведена энергетическая шкала со значениями магнитуды, силы землетрясения в баллах и предельной дальностью регистрации.

Таблица 1

№ класса	Десятичный логарифм энергии, вы- раженной в эргах	Магнитуда M	Сила земле- трясения в баллах	Предельная дальность регистрации, км
1	14	$1\frac{1}{2} < M < 2$	1	100
2	15	$2 < M < 2\frac{3}{4}$	2	200
3	16	$2\frac{3}{4} < M < 3\frac{1}{2}$	3	400
4	17	$3\frac{1}{2} < M < 4$	4	800
5	18	$4 < M < 4\frac{1}{4}$	5—6	3200
6	19	$4\frac{1}{4} < M < 5\frac{1}{2}$	7	6400
7	20	$5\frac{1}{2} < M < 6$	8	—
8	21	$6 < M < 6\frac{3}{4}$	9—10	—
9	22	$6\frac{3}{4} < M < 7\frac{1}{2}$	11	—
10	23	$7\frac{1}{2} < M$	12	—

Предельная дальность регистрации дана только для первых шести классов, так как практически начиная с 7-го энергетического класса землетрясение может быть записано всеми станциями мира и понятие о дальности регистрации теряет свой смысл.

С помощью составленной шкалы проведена классификация по энергии всех землетрясений исследуемого района и построена карта эпицентров землетрясений с оценкой энергии, представленная на фиг. 1.



Фиг. 1.

На карте радиус окружности эпицентра условно пропорционален энергии землетрясения, т. е. при увеличении энергии в 10 раз радиус окружности удваивается. Двусторонней штриховкой отмечены эпицентры землетрясений, координаты которых определены с ошибкой, не превышающей 25 км, односторонней — 50 км. Полыми кругами отмечены эпицентры, положение которых определено с погрешностью, большей 50 км.

В советской части рассматриваемой области выделены семь сейсмоактивных зон: Ахалкалакская, Ереванская, Ленинакано-Туманянская, Кировабадская, Зангезурско-Карабахская, Черноморско-Батумская и Талышская. Из общего числа (918) землетрясений I энергетического класса для всей рассматриваемой области Армянского нагорья и Малого Кавказа за период с 1899 г. по 1960 г. эпицентры 873 землетрясений расположены в Ахалкалакской зоне. Здесь находится и основная часть (1721 из общего числа 1887) землетрясений 2-го энергетического класса. Наряду со слабыми землетрясениями в этой зоне имеются также эпицентры сильных землетрясений. В остальных сейсмоактивных зонах в пределах Советского Союза в основном расположены эпицентры землетрясений 2 и 3 класса. За рубежом находятся эпицентры землетрясений более высоких классов.

В табл. 2 приведены абсолютные значения выделившейся энергии за период времени с 1951 г. по 1960 г. как во всей исследуемой области, так и в отдельных зонах, имеющих разные площади. В этой же таблице даны значения относительной энергии, то есть доли в суммарной энергии, выделившейся в советской части исследуемого района и во всей области, а также указаны значения средней плотности сейсмической энергии, выделившейся на площади в 1 км^2 в течение часа. Вследствие некоторого произвола в оконтуривании выделенных зон и приближенности методов оценки энергии землетрясений цифры, указанные в табл. 2, имеют несколько ориентировочный характер.

Средняя плотность энергии землетрясений, то есть количество энергии, выделявшейся ежечасно с каждого квадратного километра площади, при предположении о равномерном распределении этой энергии в пространстве и во времени может служить в какой-то мере энергетической характеристикой исследуемого района. Величины средней плотности энергии исследуемой территории Армянского нагорья и Малого Кавказа, советской зоны, а также зарубежной зоны, как видно из табл. 2, примерно одинаковые (несколько большая (941) у зарубежной зоны и несколько меньшая (842) у советской зоны, по сравнению со всей областью (909). Следовательно, в этом смысле территории советской и зарубежной зон исследуемого района равнозначны.

Наибольшая средняя плотность энергии наблюдается в Ахалкалакской зоне. В Ереванской и Ленинакано-Туманянской зонах одинаковая, а в Зангезурско-Карабахской зоне примерно такая же. Кировабадская зона обладает очень большой величиной средней плотности энергии землетрясений.

Как видно из табл. 2, в советской части исследуемого района за период времени с 1951 г. по 1960 г., то есть за последнее десятилетие, выделилось в 2,5 раза меньше энергии, чем в зарубежной части, в то время как по количеству происшедших землетрясений эта зона превосходит зарубежную более чем в 8 раз. Половина всей выделившейся в советской части энергии приходится на Ахалкалак-

З о н а	Количество емлегресе- ний	Площадь зоны, км ²	Энергия в джоулях
Вся область	4080	277 500	2 183 142 · 10 ⁷
Советская часть	3635	85 625	622 682 · 10 ⁷
Зарубежная часть	445	191 875	1 560 460 · 10 ⁷
Ахалкалакская	3357	20 625	336 537 · 10 ⁷
Ленинканно-Туманянская	66	11 250	4 638 · 10 ⁷
Ереванская	45	9 400	3 951 · 10 ⁷
Зангезурско-Карабах- ская	30	13 125	3 792 · 10 ⁷
Кировабадская	109	10 625	137 683 · 10 ⁷
Талышская	6	6 250	21 210 · 10 ⁷
Черноморско-Батум- ская	22	13 750	114 871 · 0 ⁷

Таблица 2

Процент от энергии, выделенной на террито- рии всего исследуемого района	Процент от энергии, выделенной на террито- рии советской части ис- следуемого района	Средняя плот- ность энергии зем-ний дж/час, км ²
—	—	909
28,52	—	842
71,48	—	941
15,42	54,05	1889
0,21	0,74	48
0,18	0,63	49
0,17	0,61	33
6,31	2,11	1500
0,97	3,41	393
5,26	18,45	967

скую зону. В Ереванской, Ленинканско-Туманянской и Зангезурско-Кирабахской зонах за указанный период выделилось примерно одинаковое количество энергии. Энергия землетрясений Кировабадской зоны более чем в 10 раз превосходит суммарную энергию этих трех зон.

На фиг. 2 представлены графики распределения энергии по годам во всей рассматриваемой области, в советской и зарубежной частях, а также в Ахалкалакской зоне землетрясений за период с 1951 г. по 1960 г. Согласно этим графикам во всем исследуемом районе, а также в зарубежной части максимальное количество энергии выделилось в 1952 г., в советской части и в Ахалкалакской зоне землетрясений максимальное количество энергии выделилось в 1959 г.

Между логарифмом числа землетрясений (n) и магнитудой (M) или логарифмом энергии (E) землетрясений существует прямая зависимость (³):

$$\lg n = a - bM. \quad (7)$$

По предложению Ю. В. Ризниченко выражения (7) названы графиками повторяемости. С помощью этих графиков возможно определение периодов повторения в исследуемом районе землетрясений различной балльности. Знание периода повторения сильных (7, 8, 9 баллов) землетрясений, очевидно, может иметь существенное значение при изучении сейсмичности и сейсмическом районировании данной территории.

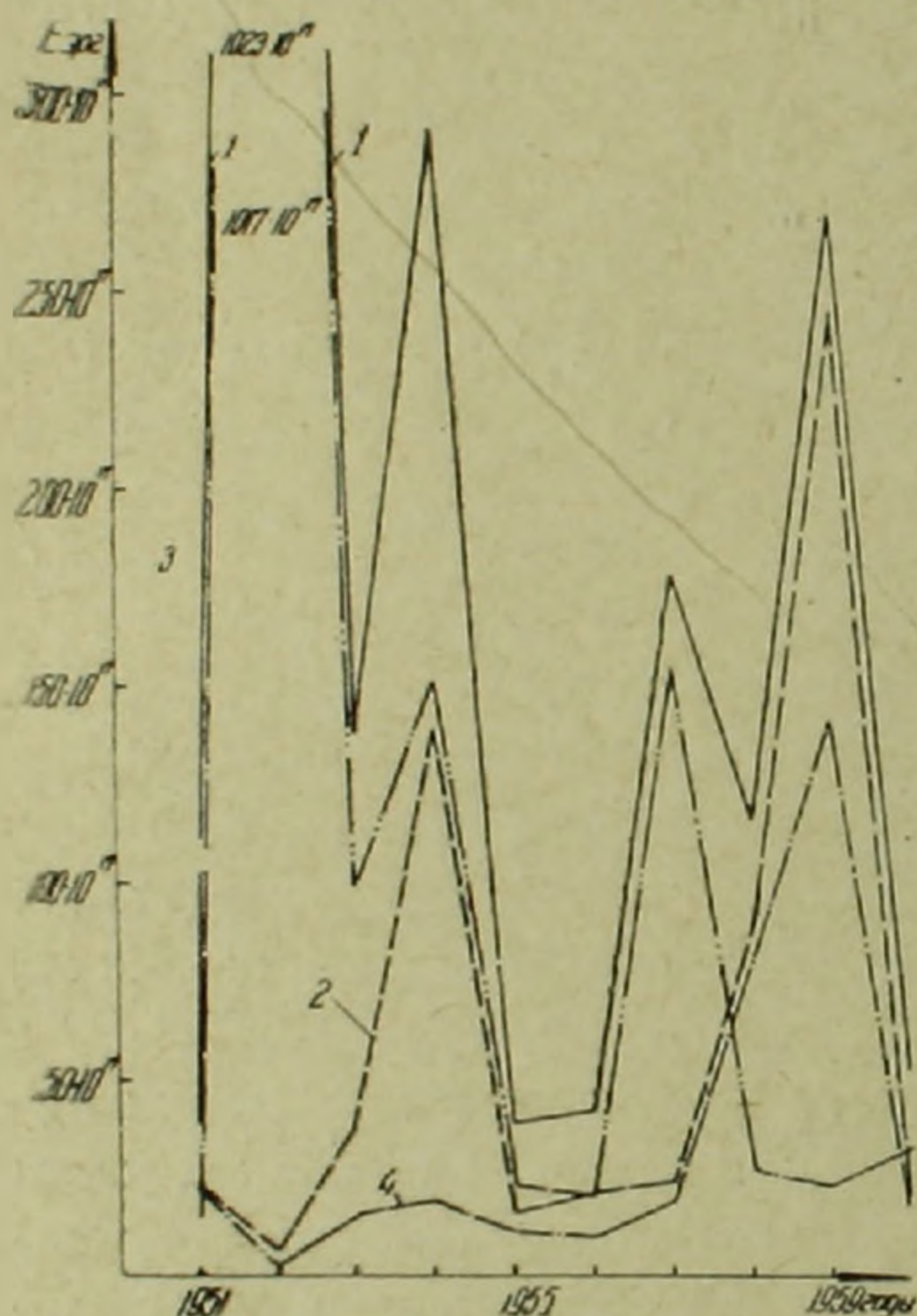
Графики повторяемости нами получены для всей территории Армянского нагорья и Малого Кавказа и также для советской части исследуемого района. Построенные графики повторяемости нормированы по площади и по времени. За единицу площади принята площадь 1000 км², а за единицу времени — 1 год.

Для всей рассматриваемой области построены три графика повторяемости. Первый график (прямая 4 на фиг. 3) получен при использовании данных сейсмических наблюдений над землетрясениями с 1 по 8 энергетический класс за период с 1932 г.—1960 г., то есть с начала организации региональной сети сейсмических станций на Кавказе. При построении второго графика (прямая 3 на фиг. 3) использованы данные наблюдений над землетрясениями с 1 по 7 энергетический класс за время с 1951 г. по 1960 г., то есть периода, который характеризуется наибольшей достоверностью сейсмического материала для исследуемого района.

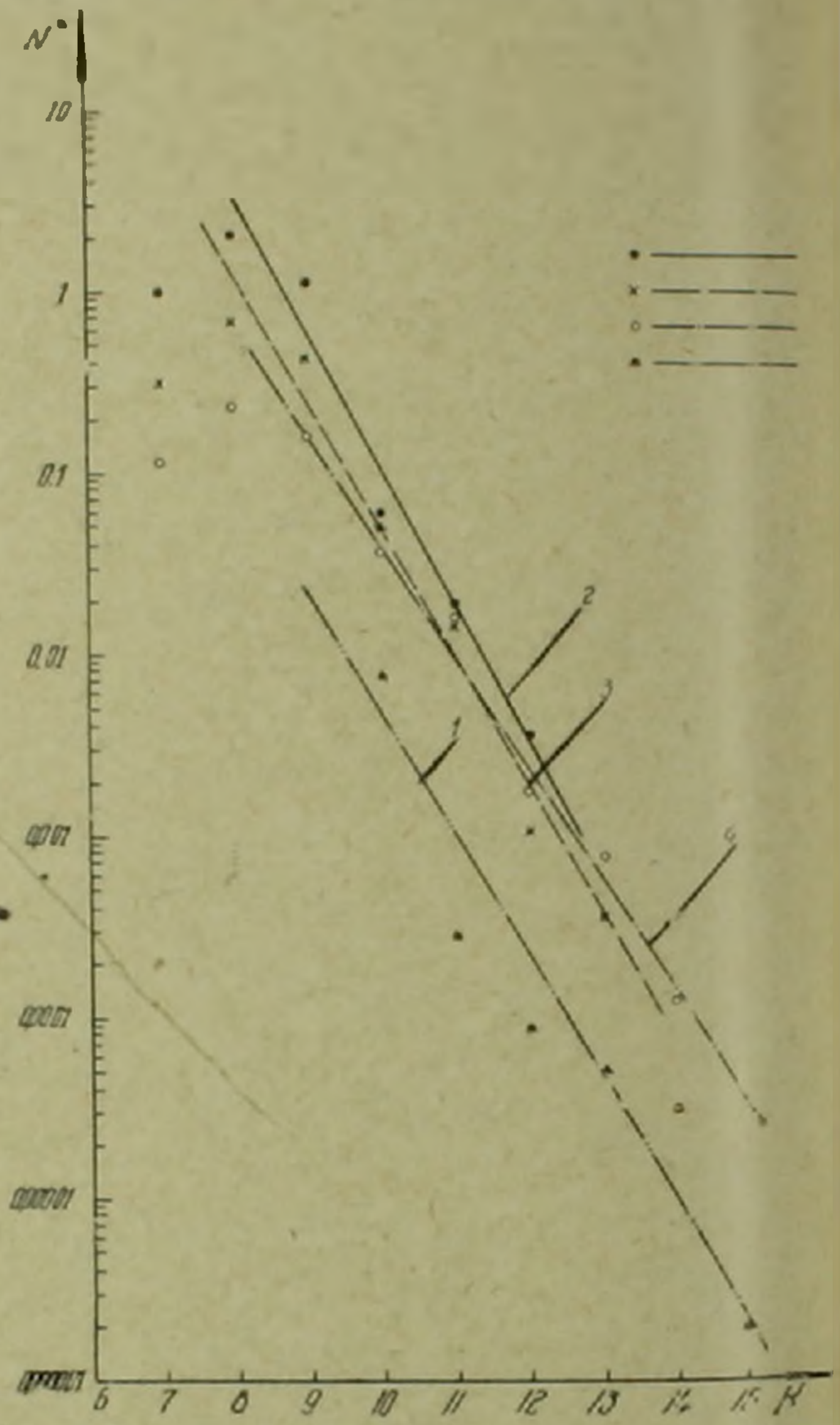
Представляло интерес для территории Армянского нагорья и Малого Кавказа построение графика повторяемости с привлечением материала, содержащего достаточно полные сведения о разрушительных землетрясениях прошлых столетий, и сравнение его с указанными выше двумя графиками повторяемости, построенными по материалам в основном не сильных землетрясений и за меньший период времени. С этой целью была произведена оценка балльности всех землетрясений прошлого, затем по выше описанной энергетической шкале определена энергия. Использованы сведения о землетрясениях

с начала нашей эры по 1931 г., то есть почти за 19,5 столетий ^(4,5). Кроме макросейсмических наблюдений, были привлечены также инструментальные данные. График представлен на фиг. 3 (прямая 1).

В табл. 3 приведены значения углов наклона графиков γ и значения единицы сейсмической ак-



Фиг. 2.



Фиг. 3.

тивности A_{10} . За единицу сейсмической активности принято среднее годовое число землетрясений с энергией, равной 10^{10} дж, приходящееся на площадь 1000 км^2 . Все три графика, как видно из табл. 3, имеют практически одинаковый угол наклона, а по уровню сейсмической активности третий график резко отличается от первых двух графиков повторяемости.

Таблица 3

Исследуемый район	Площадь, км^2	Период наблюдений	A_{10}	γ
Армянское нагорье и Малый Кавказ	277,500	1951—1960 10 лет	0,048	0,69
Советская зона	85,625	1951—1960 10 лет	0,102	0,74
Армянское нагорье и Малый Кавказ	277,500	0—1931 1931 год	0,0043	0,67
Армянское нагорье и Малый Кавказ	277,500	1932—1960 29 лет	0,039	0,61

По приведенным значениям γ и A_{10} первых двух графиков определена повторяемость сильных землетрясений.

Для всего исследуемого района период повторения в среднем (по двум графикам) 7 балльных землетрясений получился равным 20 лет, 8-балльных—80 лет и 9-балльных—380 лет.

При построении графика повторяемости для советской зоны исследуемого района использованы наблюдения над землетрясениями с первого по шестой энергетический класс за период с 1951 г. по 1960 г. (прямая 2 на фиг. 3).

Полученные значения γ и A_{10} приведены в табл. 3. Угол наклона графика в этом случае несколько больше, чем для всей территории Армянского нагорья и Малого Кавказа.

Для этого района получены периоды повторяемости 7, 8 и 9 балльных землетрясений соответственно 25, 130 и 720 лет.

Графики повторяемости для отдельных сейсмоактивных зон не построены вследствие малочисленности происшедших в этих зонах землетрясений.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ն. Կ. ԿԱՐԱՄԵՏՅԱՆ

Հայկական լեռնաշխարհի և Փոքր Կովկասի երկրաշարժերի էներգետիկ բնութագրումը

Աշխատանքում փորձ է արված գնահատել Հայկական լեռնաշխարհի և Փոքր Կովկասի երկրաշարժերի էներգիան: Այդ նպատակով ստացված է երկրաշարժի բալլի և մագնիտուդայի միջև եղած կապը (բանաձև 1), ուսումնասիրվող տիրույթի համար ստացված է նաև երկրաշարժի բալլի և էներգիայի առնչությունը (4): Օգտագործելով ստացված հավասարումները կատարված է ուսումնասիրվող շրջանի բոլոր երկրաշարժերի էներգիայի գնահատումը 1899—1960 թ. մասանականից ընդհանուր և կազմված բարտեղ, որը բերված է նկ. 1: Նկ. 2 տված է էներգիայի բաշխումը բոլոր տարիների վերջին տաս տարվա ընթացքում: Կատարված են կրկնողությունների դրաֆիկները Հայկական լեռնաշխարհի և Փոքր Կովկասի ամբողջ տիրույթի և սովետական դոնայի համար (նկ. 3): Այդ դրաֆիկները թույլ են տալիս որոշել ուժեղ երկրաշարժերի կրկնողությունը տվյալ տերիտորիայում: Ստացված կրկնողության դրաֆիկների համաձայն Հայկական լեռնաշխարհում և Փոքր Կովկասում 9-բալլանոց երկրաշարժեր կարող են լինել 380 տարի մեկ անգամ, 8-բալլանոց երկրաշարժեր 80 տարի, իսկ 7-բալլանոց երկրաշարժեր 20 տարի մեկ անգամ: Ուսումնասիրվող տերիտորիայի սովետական մասում 9-բալլանոց երկրաշարժերի կրկնողությունը ստացվել է 720 տարի, 8-բալլանոց երկրաշարժերի—30 տարի, իսկ 7 բալլանոց երկրաշարժերի կրկնողությունը ստացվել է—25 տարի:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Б. Гутенберг, Н. Рихтер, Magnitude and energy of earthquakes. Ann. geofis., 9, № 1, 1956. ² Е. Ф. Саваренский и Э. А. Джигладзе, О сейсмичности Большого Кавказа, Известия АН СССР, серия геофизическая, 1956, № 5. ³ Ю. В. Ризниченко, Об изучении сейсмического режима, Известия АН СССР, серия геофизическая, 1958, № 9. ⁴ В. А. Степанян, Краткая хронология наиболее значительных землетрясений в исторической Армении и в прилегающих районах, Ереван, Изд. Арм. филиала АН СССР, 1942. ⁵ Е. И. Бюс, Сейсмические условия Закавказья, Часть I и II, Тбилиси, 1948, 1952.