

УДК 550.341.2

Н. К. КАРАПЕТЯН

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СОТРЯСАЕМОСТЬ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Землетрясения являются стихийным бедствием. Предотвратить его в настоящее время практически невозможно. Наиболее эффективным способом борьбы против землетрясений является сейсмостойкое строительство. Для этого необходимо выделить зоны, где возможны воздействия сейсмических колебаний на здания и сооружения. С этой целью строится карта сейсмического районирования территории страны с указанием сейсмических районов, где могут быть землетрясения силой 6, 7, 8 и 9 баллов.

При оценке максимальной сейсмической опасности определенного региона должны быть использованы сейсмологические и геолого-геофизические данные. Имеются несколько методов использования геолого-геофизических данных для оценки сейсмической опасности. Так, например, И. Е. Губиным разработан сеймотектонический метод сейсмического районирования, согласно которому выделяются сейсмогенные зоны [3, 4]. М. Е. Артемьев, В. И. Бунэ и Н. Ш. Камбаров предлагают для выделения сейсмоопасных зон использовать гравиметрическую информацию [1]. Предлагаемый метод использован ими для выделения сейсмоопасных зон Крымско-Кавказского региона.

Согласно И. В. Кирилловой и Г. И. Рейснера при проведении сейсмического районирования необходимо выявление геологических критериев сейсмической опасности, которое осуществляется путем сопоставления сейсмических данных с тектоническими картами, полученными в результате изучения глубинного строения и истории геологического развития за длительные промежутки времени и анализа данных по современным движениям [9].

Для выделения сейсмоопасных участков по геологическим и геофизическим критериям применяются также методы опознавания образов и математического прогнозирования [2].

Существенным для оценки сейсмической опасности является разработанный Н. В. Шебалиным способ расчета максимальных возможных сотрясений, основанный на учете длины зоны и максимальной мощности активного слоя, т. е. оценки предельных величин накапливаемой и единовременно выделяемой энергии [18].

Все перечисленные методы установления степени сейсмической опасности заслуживают внимания и опробования. По-видимому, при оценке сейсмической опасности региона необходимо использовать как можно больше методов с последующим проведением сравнительного анализа полученных при этом данных.

Количественная оценка сейсмической опасности территории Армении нами проведена по известной методике, предложенной Ю. В. Ризниченко [11, 13].

Согласно этой методике в качестве меры сейсмической опасности принимается сотрясаемость, величина которой определяет силу и вероятность возможного землетрясения.

Сейсмическая сотрясаемость $B_{\Sigma J}$, то есть суммарная частота повторения землетрясений заданной силы и выше, определяется по формуле [13]:

$$B_{\Sigma J} = \frac{1}{10^{0.5\gamma} - 10^{-0.5\gamma}} \iint_S A [10^{-\gamma(K_J - K_0)} - 10^{(K_{\max} - K_0)}] ds \quad (1)$$

где γ — наклон графика повторяемости;

K_0 — энергетический класс землетрясений, по которому определена сейсмическая активность A ;

$ds = dx \cdot dy$ — элементарные площадки, на которые разбита вся область S , окружающая исследуемую точку;

K_J — энергетический класс землетрясения, эпицентр которого расположен на площадке ds и которое вызывает в данной точке сотрясение заданной силы J ;

K_{\max} — максимальное возможное землетрясение на площадке ds .

По полученным значениям $B_{\Sigma J}$ строятся карты сейсмической сотрясаемости, где изолиниями показываются средние периоды повторения при 7-, 8- и 9-балльных землетрясениях.

Карты сейсмической сотрясаемости могут быть значительно уточнены, если при расчете сейсмической сотрясаемости использовать не только сейсмологическую информацию, но и геолого-геофизические данные [14]. При этом учет геолого-геофизических информаций производится во время построения исходной карты максимальных возможных землетрясений, а именно строится карта максимальных возможных землетрясений по комплексным сейсмолого-геолого-геофизическим данным.

Введение геолого-геофизических данных в расчеты K_{\max} производится двумя методами [14]. При первом методе производится сопоставление определенного геологического или геофизического параметра Φ с сейсмической активностью A путем построения корреляционного поля в системе координат $\lg\Phi$, $\lg A$ и устанавливается корреляционная зависимость между этими величинами. Затем определяется значение долговременной средней сейсмической активности по комплексным сейсмолого-геолого-геофизическим данным по формуле [14]:

$$A^{(K)} = \frac{A + \sum_{i=1}^n A_i P_i}{1 + \sum_{i=1}^n P_i}, \quad (2)$$

где P_i — веса определений A_i по геолого-геофизическим данным. Вес сейсмологического определения A принят равным 1.

Зная долговременную среднюю активность известными методами рассчитывается $K_{\max}^{(K)}$.

При втором методе производится сопоставление Φ непосредственно с величиной K для наиболее надежных и крупных землетрясений исследуемого региона, строится корреляционное поле в системе координат $\lg\Phi, K$. Затем определяется положение предельного контура $K_{\max}(\Phi)$ и таким образом устанавливается связь геологического или геофизического параметра Φ с максимальными землетрясениями K_{\max} .

Имея корреляционные зависимости максимальных возможных землетрясений от тех или иных геолого-геофизических параметров, строятся отдельные карты максимальных возможных землетрясений по каждому из этих параметров.

Расчет в каждой точке максимального возможного землетрясения по комплексным сейсмолого-геолого-геофизическим данным производится по формуле [14]:

$$K_{\max}^k = \frac{K_{\max} - \sum_{i=1}^n K_{\max i} P_i}{1 + \sum_{i=1}^n P_i}, \quad (3)$$

где P_i — веса определения $K_{\max i}$ по геолого-геофизическим данным. Вес сейсмологического определения K_{\max} принят равным 1.

Нами использован второй путь учета геолого-геофизических данных при расчете сейсмической сотрясаемости, а именно проведено непосредственное сопоставление геофизических и геологических параметров с величиной K для наиболее крупных землетрясений Армении. В таблице 1 для этих землетрясений даны значения магнитуды M , энергетического класса K и балльности в эпицентре J_0 .

Для определения максимального возможного землетрясения K_{\max} на территории Армянской ССР по гравиметрическим данным нами использована карта аномалий силы тяжести Δg в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя $2,67 \text{ г/см}^3$. По этой карте определялось среднее значение градиента g в области эпицентров крупных землетрясений исследуемой территории. С этой целью использована методика, примененная в работе [15], а именно для каждого крупного землетрясения на карте проводился круг радиуса R области, ответственной за землетрясение данного энергетического класса и с центром в эпицентре этого землетрясения. Определялось максимальное значение разности Δg на проведенном круге и затем среднее значение модуля градиента Δg , которое условно принято равным $\frac{\Delta g}{2R}$.

Построения велись для двух случаев. В первом случае радиусы R площадок, ответственных за землетрясения, определяются по формуле [13]:

$$\lg R = 1,505 + 0,111 (K - 15). \quad (4)$$

Во втором случае использованы радиусы R , полученные нами для территории Армянского нагорья [7].

Используя данные о сильных землетрясениях Армении (таблица 1), нами проведена корреляция $\lg |\text{grad } \Delta g|$ с K_{\max} (рис. 1 а, б) и получены уравнения регрессии для указанных выше двух случаев. Эти уравнения, соответственно, имеют вид:

$$\lg |\text{grad } \Delta g| = \bar{1},84 + 0,12 (K_{\max} - 15) \quad (5)$$

$$\lg |\text{grad } \Delta g| = \bar{1},88 + 0,14 (K_{\max} - 15). \quad (6)$$

Таблица 1

Сильные землетрясения Армении

Название землетрясения	Год	Координаты эпицентра		M	K	J_0
		φ_N°	λ_E°			
Вайоцзорское	735	39,7	45,5	$5\frac{1}{2}$	14	8
Двинское	893	40,0	44,6	$5\frac{1}{2}$	14	8
Гарнинское	1679	40,1	44,8	$5\frac{1}{2}$	14	8
Дарачичагское	1827	40,6	44,7	5	13	7
Чибухлинское	1853	40,6	44,9	5	13	7
Ленинаканское	1926	40,7	43,8	$5\frac{3}{4}$	14	8
Зангезурское	1931	39,3	45,0	$6\frac{3}{4}$	15,5	8—9
Кызыл-Дагское	1932	40,2	41,9	$5\frac{1}{4}$	13	7
Ереванское	1937	40,1	44,4	5	13	7
Бюраканское	1949	40,4	44,3	5	13	7
Зангезурское	1968	39,3	46,1	5	13	7—8

Используя полученные зависимости (5) и (6), а также карту аномалий силы тяжести способом, аналогичным построению карты K_{\max} (А), для рассмотренных двух случаев построены карты максимальных возможных землетрясений для территории Армянской ССР по сейсмогравитационным данным (рис. 1 в, г). На этих картах проведены изолинии 15 и 16-го энергетических классов. При этом изолиния 15-го энергетического класса в случае использования радиусов R , определенных для Среднеазиатско-Японских землетрясений (рис. 1 в), проходит выше, чем в случае, когда использованы значения R для Армянского нагорья (рис. 1 г).

Для определения максимального возможного землетрясения K_{\max} по магнитометрическим данным использована карта аномального магнитного поля (ΔT_a) при относительной высоте съемки 1000—1200 м.

Построения велись тем же путем, что и в предыдущем случае при определении $K_{\max} |\text{grad } \Delta g|$.

Построены корреляционные поля $K, |\text{grad } T|$ также для двух случаев (рис. 2 а, б) и получены уравнения сейсмомангнитного предельного контура, соответственно, в виде:

$$\lg |\text{grad } T| = \bar{2},53 + 0,08 (K_{\max} - 15) \quad (7)$$

$$\lg |\text{grad } T| = \bar{2},58 + 0,10 (K_{\max} - 15). \quad (8)$$

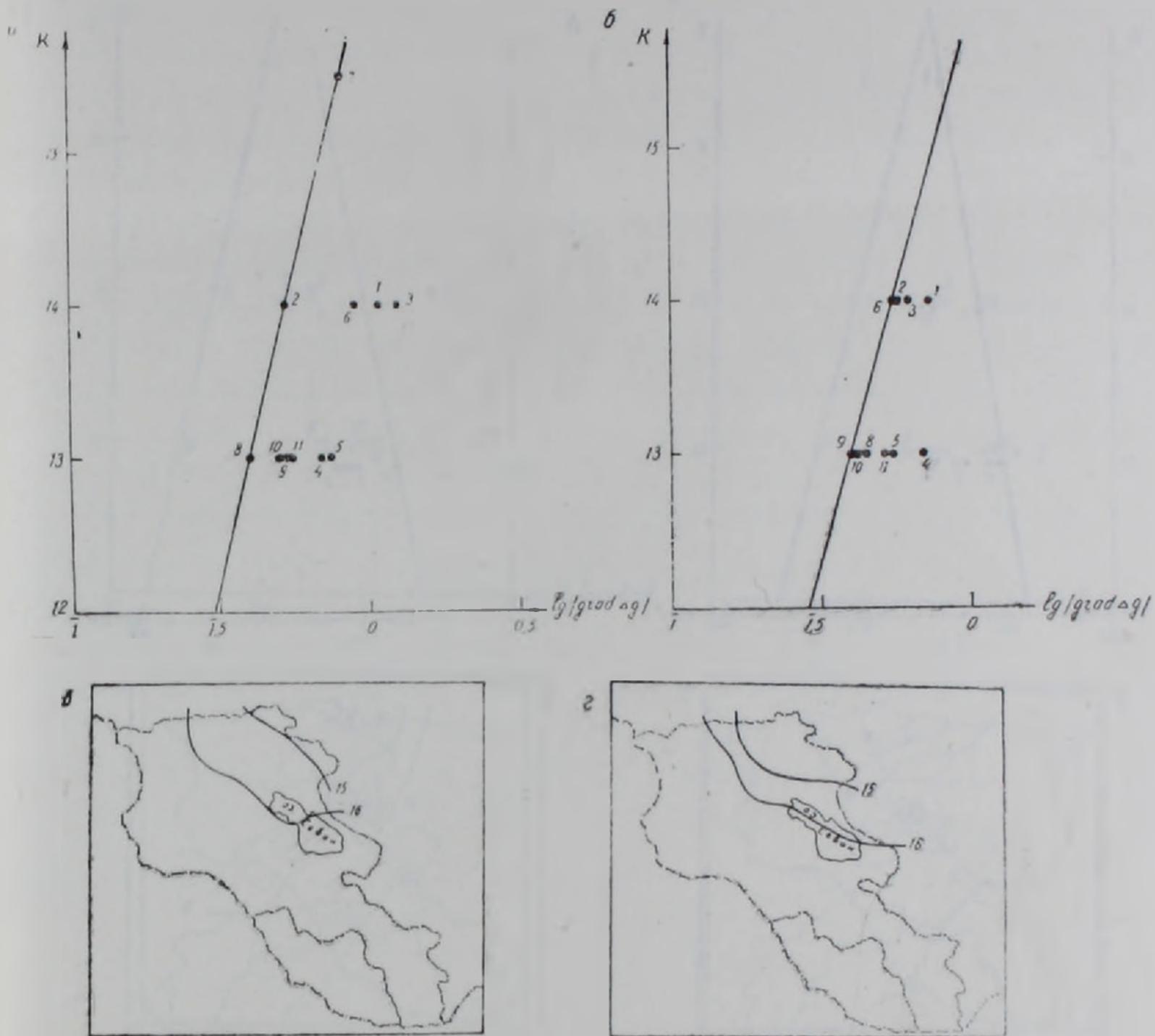


Рис. 1. Определение K_{max} для Армении по сейсмогравитационным данным. а—Корреляция величины K с $|\text{grad } \Delta g|$. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений. б—Корреляция величины K с $(\text{grad } \Delta g)$. Используются R для землетрясений Армении. в—Карта $K_{max} |\text{grad } \Delta g|$ для Армении. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений. г—Карта $K_{max} |\text{grad } \Delta g|$ для Армении. Используются R для землетрясений Армении.

Используя полученные зависимости (7) и (8), а также карту аномального магнитного поля, построены карты максимальных возможных землетрясений для территории Армянской ССР по сейсмомагнитным данным (рис. 2 в, г).

Согласно этим картам, изолинии 15 и 16 энергетических классов в случае использования R для Среднеазиатско-Японских землетрясений (рис. 2 в) расположены выше, чем соответствующие изолинии в случае, когда использованы радиусы R для землетрясений Армении (рис. 2 г).

В качестве изучаемого геологического параметра выбраны новейшие движения на территории Армянской ССР в неоген-четвертичное время. Использована карта новейших движений Армянской ССР, составленная Г. П. Симоняном. По этой карте определены средние значения модулей градиентов амплитуд новейших поднятий в местах крупных землетрясений $|\text{grad } V|$, затем построены корреляционные поля

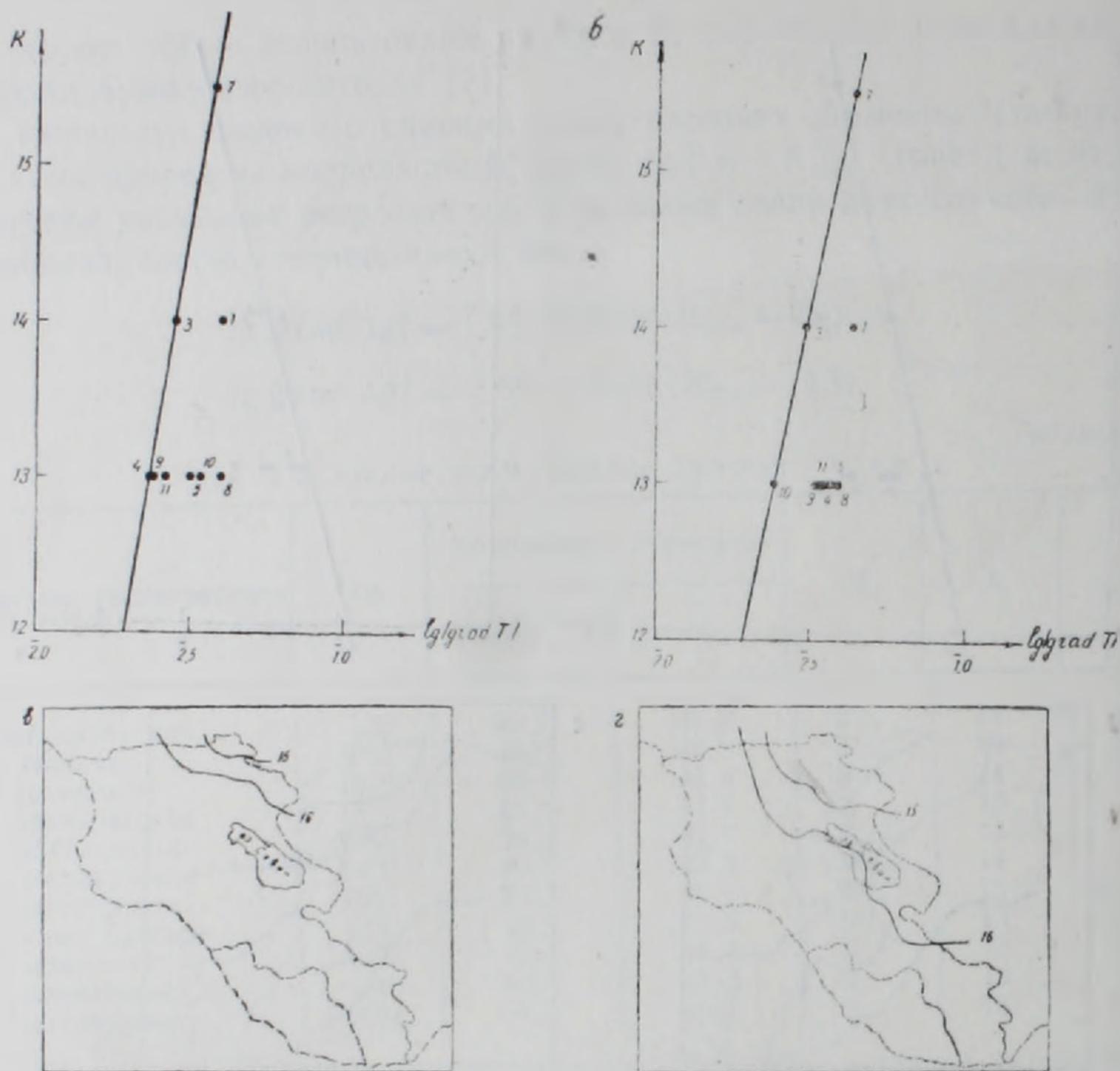


Рис. 2. Определение K_{max} для Армении по сейсмомагнитным данным. а—Корреляция величины K с $|grad T|$. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений. б—Корреляция величины K с $|grad T|$. Используются R для землетрясений Армении. в—Карта $K_{max} |grad T|$ для Армении. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений. г—Карта $K_{max} |grad T|$ для Армении. Используются R для землетрясений Армении.

K , $|grad V|$ для двух вышеуказанных случаев (рис. а, б) и получены уравнения предельного контура, соответственно, в виде:

$$lg |grad V| = \bar{3},94 + 0,11 (K_{max} - 15) \quad (9)$$

$$lg |grad V| = \bar{2},08 + 0,22 (K_{max} - 15). \quad (10)$$

Используя полученные зависимости (9) и (10), а также карту новейших движений, для территории Армянской ССР построены карты максимальных возможных землетрясений по этим данным (рис. 3 в, г). В этом случае, как и в двух предыдущих, изолинии 15 и 16-го энергетических классов при использовании R для Среднеазиатско-Японских землетрясений располагаются выше (рис. 3 в), чем при использовании R для землетрясений Армении (рис. 3 г).

Таким образом, использование радиусов R Среднеазиатско-Японских землетрясений при построении карт максимальных возможных

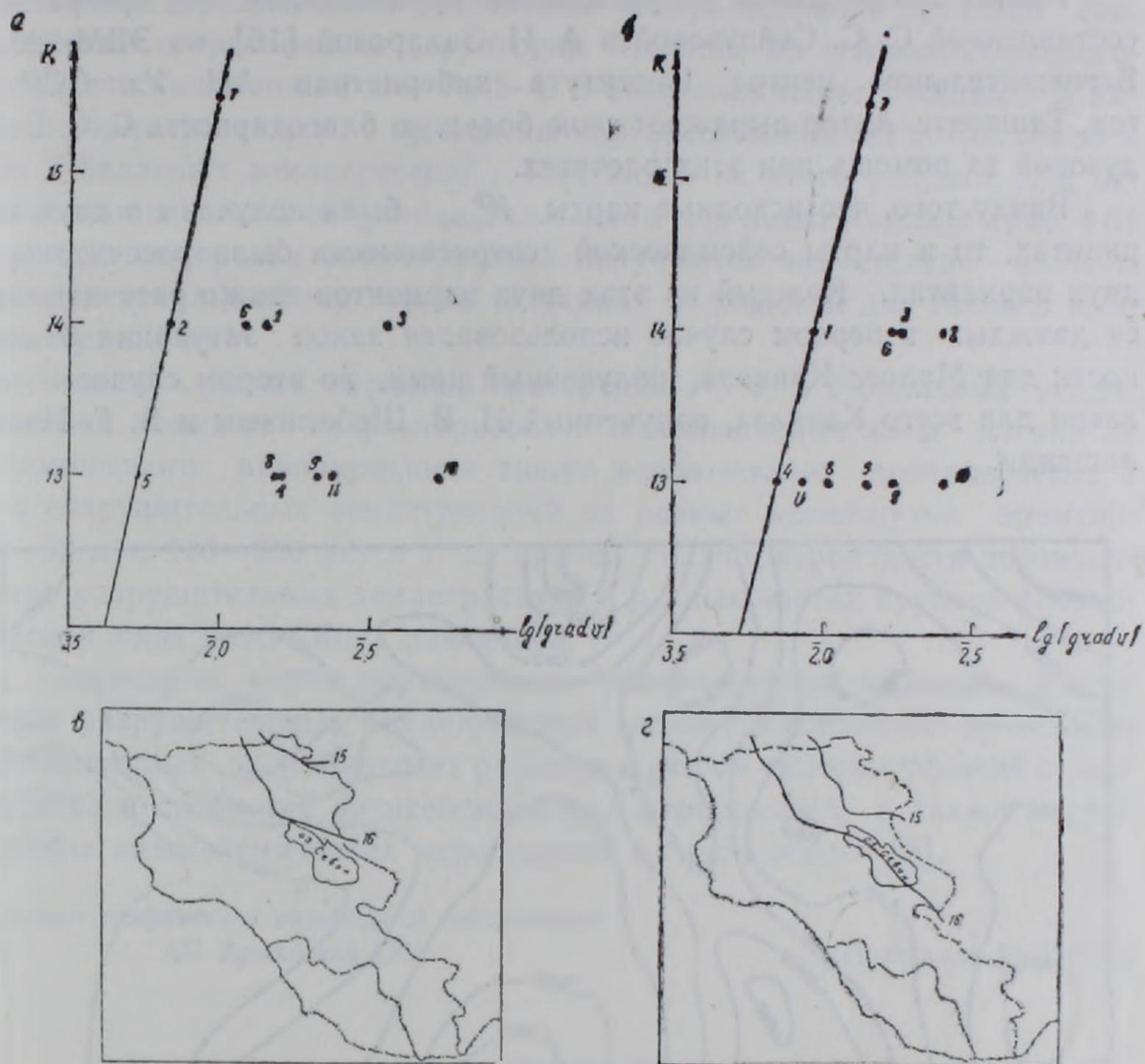


Рис. 3. Определение K_{max} для Армении по новейшим движениям. а—Корреляция величины K с $|\text{grad } V|$. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений б—Корреляция величины K с $|\text{grad } V|$. Используются R для землетрясений Армении. в—Карта $K_{\text{max}}|\text{grad } V|$ для Армении. Используются R для Среднеазиатско-Японских землетрясений. г—Карта $K_{\text{max}}|\text{grad } V|$ для Армении. Используются R для землетрясений Армении.

землетрясений для Армении вызывает искусственное повышение сейсмоопасности исследуемого региона.

По полученным в отдельных точках значениям K_{max} по сейсмогравитационным и сейсмоманнитным данным и новейших движений вычислены величины максимальных возможных землетрясений K_{max}^k по комплексу сейсмолого-геслого-геофизических данных по формуле (3). Величина максимального возможного землетрясения K_{max} по сейсмологическим данным, входящая в эту формулу, для территории Армении определена ранее [7]. Используя вычисленные значения K_{max}^k , наклон графика повторяемости [5], карты сейсмической активности [6], а также затухание сотрясений с удалением от гипоцентра землетрясений [10, 17], вычислены величины сейсмической сотрясаемости на территории Армении, по сейсмолого-геолого-геофизическим данным.

Расчет сейсмической сотрясаемости производился по программе, составленной С. С. Сейдузовой и А. И. Захаровой [16], на ЭВМ-220 в Вычислительном центре Института кибернетики АН Уз. ССР в гор. Ташкенте. Автор выражает свою большую благодарность С. С. Сейдузовой за помощь при этих расчетах.

Ввиду того, что исходные карты K_{\max}^k были получены в двух вариантах, то и карты сейсмической сотрясаемости были рассчитаны в двух вариантах. Каждый из этих двух вариантов также рассчитывался дважды: в первом случае использовался закон затухания балльности для Малого Кавказа, полученный нами, во втором случае—этот закон для всего Кавказа, полученный Н. В. Шебалиным и В. Г. Папалашвили.

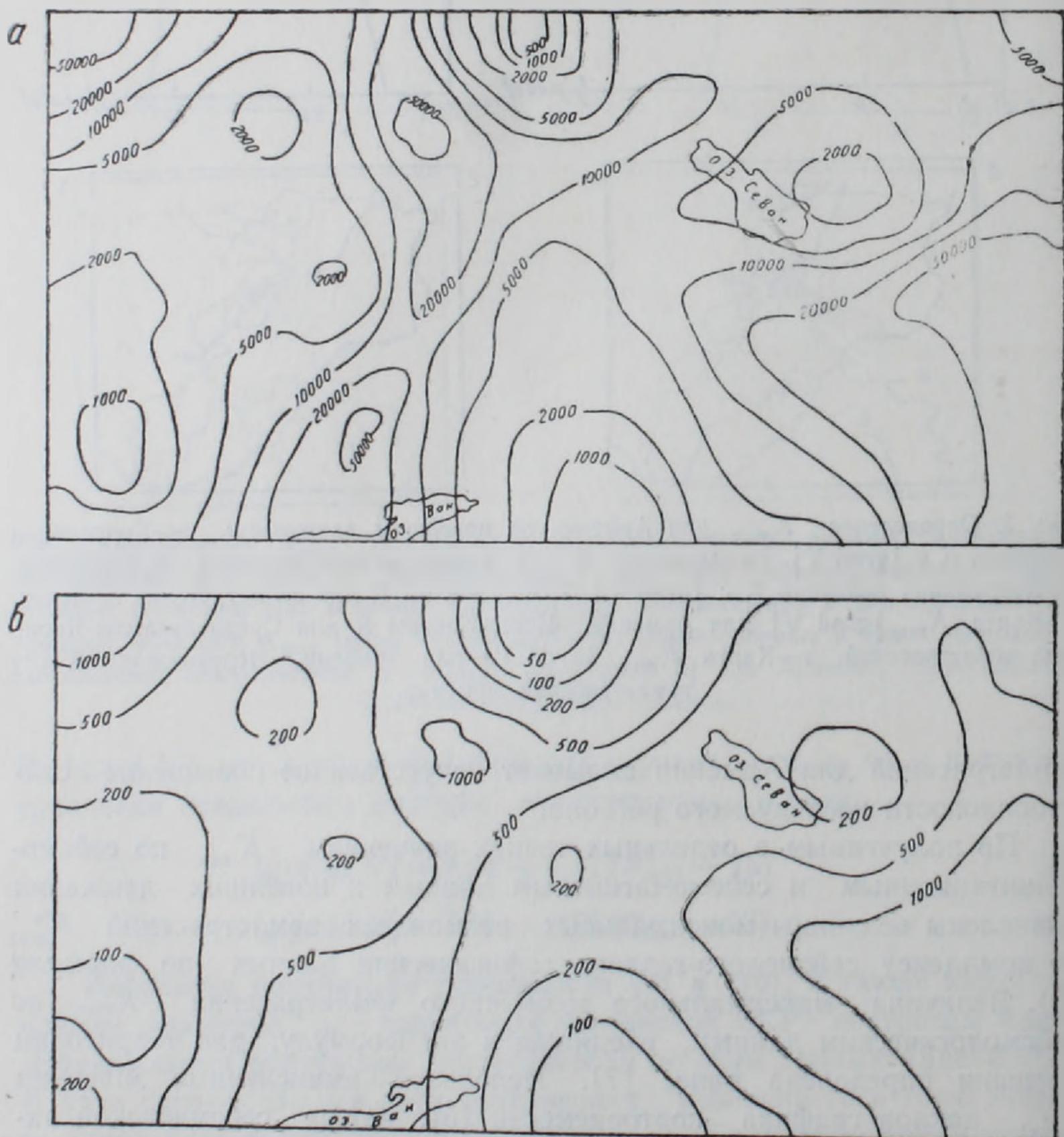


Рис. 4. Карты сейсмической сотрясаемости Армении для 7-балльных землетрясений по сейсмолого-геолого-геофизическим данным. а—При построении карты использован закон затухания балльности для Малого Кавказа. б—При построении карты использован закон затухания балльности для Кавказа.

Таким образом, были рассчитаны четыре варианта значений сейсмической сотрясаемости территории Армении по сейсмолого-геолого-геофизическим данным для 7-, 8- и 9-балльных землетрясений. В качестве примера на рис. 4 приведены карты сейсмической сотрясаемости для 7-балльных землетрясений. Как видно из этого рисунка, при использовании закона затухания балльности для всего Кавказа (рис. 4 б) периоды повторения землетрясений получаются значительно меньше, чем при использовании закона затухания балльности для Малого Кавказа (рис. 4 а).

Знание средних периодов повторения 7-, 8- и 9-балльных землетрясений позволит охарактеризовать сейсмоопасные зоны на картах сейсмического районирования также вероятностью возникновения в них разрушительных землетрясений за разные промежутки времени: 30—50 лет, 100—200 лет и т. д., причем степень вероятности возникновения разрушительных землетрясений в разных частях крупной сейсмоопасной зоны может быть различной.

Наличие на карте сейсмического районирования периодов повторения разрушительных землетрясений сделает возможным проведение вероятностных экономических расчетов с учетом типовых условий строительства и стоимости антисейсмических мероприятий, а также нормирования антисейсмических мероприятий на этой основе [8].

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Поступила 29.IV.1977.

Ն. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ՏԱՐԱԾՔԻ ՍԵՅՍՄԻԿ ՑՆՑՈՒՄ ԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Սեյսմոլոգիական, գեոֆիզիկական և երկրաբանական տվյալներով բերվում են սեյսմիկ ցնցումայնության ուսումնասիրման արդյունքները: Ստացվել են համահարաբերակցական կախումներ երկրաշարժերի էներգետիկ դասի և Δg , $\Delta T a$ և v պրագիենտների մոդուլների միջև: Սեյսմոլոգիական, երկրաբանական և գեոֆիզիկական տվյալներով կառուցվել են ցնցումայնության քարտեզներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артемьев М. Е., Бунз В. И., Камбаров Н. Ш. Использование данных о нарушениях изостатического равновесия для выделения сейсмоопасных зон Крымско-Кавказского региона. Известия АН СССР, Физика Земли, № 11, 1972.
2. Гельфанд И. М., Губерман Ш. А., Извекова М. А., Кейлис-Борок В. И., Ранцман Е. Я. О критериях высокой сейсмичности. ДАН СССР, т. 202, № 6, 1972.
3. Губин И. Е. Сейсмотектонический метод сейсмического районирования. Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, № 13, (140), 1950.

4. Губин И. Е. Многоэлементное сейсмическое районирование. Известия АН СССР, Физика Земли, № 12, 1971.
5. Карапетян Н. К. Параметры сейсмического режима Армении. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4, 1976.
6. Карапетян Н. К., Манукян Ж. О. Карты сейсмической активности Армянского нагорья. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5, 1976.
7. Карапетян Н. К., Манукян Ж. О. Карты максимальных возможных землетрясений Армении по сейсмологическим данным. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 2, 1977.
8. Кейлис-Борок В. И., Нерсесов И. Л., Яглом А. М. Методика оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства. Изд-во АН СССР, М., 1962.
9. Кириллова И. В., Рейснер Г. И. Использование геологических критериев сейсмической опасности. В кн.: «Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкость строительства». Изд-во «Наукова думка», Киев, 1972.
10. Раутиан Т. Г. Энергия землетрясений. В кн.: «Методы детального изучения сейсмичности». Труды Ин-та физики Земли АН СССР, № 9 (176), 1960.
11. Ризниченко Ю. В. (ред.). Методы детального изучения сейсмичности. Труды Института физики Земли АН СССР, № 9 (176), 1960.
12. Ризниченко Ю. В. Сейсмическая сотрясаемость Крымского региона. Известия АН СССР, физика Земли, № 8, 1969.
13. Ризниченко Ю. В. Определение сейсмической сотрясаемости. В кн. «Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР», М., 1974.
14. Ризниченко Ю. В. Геолого-геофизические данные при решении проблемы сейсмической опасности. В сб.: «Материалы по сейсмичности и глубинному строению Азербайджана». Изд-во «ЭЛМ», Баку, 1974.
15. Ризниченко Ю. В., Джигладзе Э. А. Определение максимальных возможных землетрясений по комплексным данным для Кавказа. Известия АН СССР, Физика Земли, № 5, 1974.
16. Сейдузова С. С., Захарова А. И. Программа расчета карт сейсмической сотрясаемости. В кн.: «Изучение сейсмической опасности». Изд-во «ФАН» Узб. ССР, Ташкент, 1971.
17. Шебалин Н. В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. В кн.: «Сейсмическое районирование СССР». «Наука», 1968.
18. Шебалин Н. В. О предельной магнитуде и предельной балльности землетрясения. Известия АН СССР, Физика Земли, № 6, 1971.