

УДК 550.34(100)

Г. П. ТАМРАЗЯН

ГЛАВНЕЙШИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ В XX ВЕКЕ

Первые выясненные особенности в распределении землетрясений Земли имели, естественно, географический характер. В этом вопросе существенное значение имели работы Мильна, впервые указавшего, что землетрясения под океанами происходят даже чаще, чем под континентами. Работами Мильна [11], Тамса [22], Зиберга [14], Гутенберга и Рихтера [7] и других, основанными на инструментальных данных¹, были установлены основные особенности географического распределения землетрясений. В сводных работах Б. Гутенберга и Ч. Рихтера [8], Ч. Рихтера [12] и других были освещены основные закономерности сейсмичности Земли. Значительный вклад в выяснение глобальных особенностей сейсмичности Земли внесен Б. Гутенбергом и Ч. Рихтером [7, 8], Ч. Рихтером [12], Г. Бениоффом [5], С. Дуда [6], Д. Роте [13], М. Батом [3, 4], П. Хедервари [9] и многими другими исследователями; некоторый вклад внесен в развитие теории о глобальной сейсмичности Земли и автором данной статьи [1, 2, 15—21].

Основные известные закономерности сейсмического режима Земли

Известные основные особенности сейсмичности Земли сводятся, главным образом, к следующему.

1. Географическое распределение эпицентров землетрясений выявляет в первом приближении четыре основные группы сейсмических районов: а) тихоокеанский пояс с множеством ответвлений, б) трансатлантическая зона, в) узкие сейсмические пояса в Атлантическом, Арктическом и Индийском океанах, г) редкие отдельные рассеянные толчки или группы толчков.

2. Нормальные (неглубокие) очаги (0—60 км) встречаются во всех группах сейсмических районов, очаги с промежуточной глубиной (60—300 км) сосредоточены главным образом в тихоокеанском поясе и в меньшей мере в трансатлантической зоне, глубокофокусные очаги (300—

¹ Особенности сейсмо тектонического развития Земли можно рассматривать на фактическом материале лишь с начала XX века, когда стали проводиться массовые инструментальные наблюдения. Имеющиеся списки землетрясений для Земли в целом охватывают ныне 1897—1977 гг. для нормальных (неглубоких) и 1903—1977 гг. для промежуточных и глубокофокусных землетрясений.

700 км) сосредоточены почти исключительно в тихоокеанском поясе; исключения крайне редки.

3. Около 80% сейсмической энергии всей Земли высвобождается в тихоокеанском поясе и его ответвлениях, свыше 15% — в трансатлантической зоне и меньше 5% в остальных районах планеты.

4. Северное полушарие более сейсмично, чем южное.

5. Сейсмическая энергия в отдельных районах выделяется нерегулярно во времени (в отдельные годы сейсмичность нередко значительно возрастает); для планеты в целом энергия землетрясений имеет выдержанный ежегодный уровень.

6. Большая часть сейсмической энергии Земли (часто резко подавляющее количество ее) выделяется самыми сильными землетрясениями.

7. Для неглубоких сильных землетрясений обнаружено примерно десятикратное возрастание их частоты при снижении магнитуды на единицу.

Новые закономерности сейсмотектонического развития Земли

Хотя уже прошло 80 лет как накапливаются ценнейшие сейсмологические данные, однако состояние знаний об общей картине сейсмотектонического развития Земли все еще неудовлетворительное. До сих пор почти неизвестно что-либо конкретно важное об общем глобальном сейсмотектоническом облике нашей планеты. Неизвестно, например, отличаются ли континентальные и океанические области друг от друга темпом пространственно-временных особенностей высвобождения сейсмической энергии. Все еще неизвестно, отличаются ли отдельные континенты между собой (или они сходны) по темпу высвобождения сейсмической энергии, или же, быть может, они высвобождают эту энергию случайным образом, когда попало. Без знаний же этого рода исследования в важной области прогноза землетрясений не могут быть достаточно успешными, поскольку они не учитывают общие глобальные закономерности сейсмотектонического развития планеты.

В данной статье рассматриваются ранее неизвестные, но уже достаточно четко намечающиеся особенности и закономерности сейсмотектонического развития Земли. Прежде чем перейти к освещению этих закономерностей, коснемся кратко вопроса о том, что главная доля сейсмической энергии планеты приходится на наиболее сильные землетрясения. Так, на долю землетрясений с магнитудой $M \geq 7,9$ приходится 70—85% и более всей вековой сейсмической энергии Земли. Основной сейсмический фон Земли создается именно этими сильнейшими и сильными землетрясениями, анализ коих позволяет наметить глобальные особенности в сейсмоактивности Земли. В связи с этим важно замечание Ч. Ф. Рихтера о том, что использование многочисленных слабых землетрясений «не вносит никакой ясности в определение основных закономерностей сейсмичности Земли, скорее, наоборот, способно затемнить общую картину» [12, стр. 368].

Распределение энергии нормальных землетрясений всей Земли по полугодиям в течение 1900—1977 гг. показано на рис. 1. Для выявления систематической картины распределения сейсмической энергии приведена кривая по дважды скользящим трехполугодиям. Как видно из рисунка, сейсмическая активность Земли все время резко изменяется, выявляя какие-то циклы разной продолжительности, преимущественно 3—6-летние. Эти мелкие циклы имеют тенденцию комбинироваться в циклы большей продолжительности. В целом же в течение 1900—1977 гг. наблюдается снижение сейсмической активности, которая была наибольшей в начале столетия и затем, хотя и в меньшей мере, в 1938—1943 гг. Кстати ранее Ч. Ф. Рихтер [12] отметил, что в начале XX века сильнейшие неглубокие толчки были более частыми. Последовательное ослабление сейсмоактивности выявилось и на составленном Г. Бениоффом [5, 12] графике высвобожденной деформации, на которой последующие вспышки высокой активности (в 1904—1907, 1917—1924, 1931—1935, 1938—1942 гг.) постепенно ослабевали.

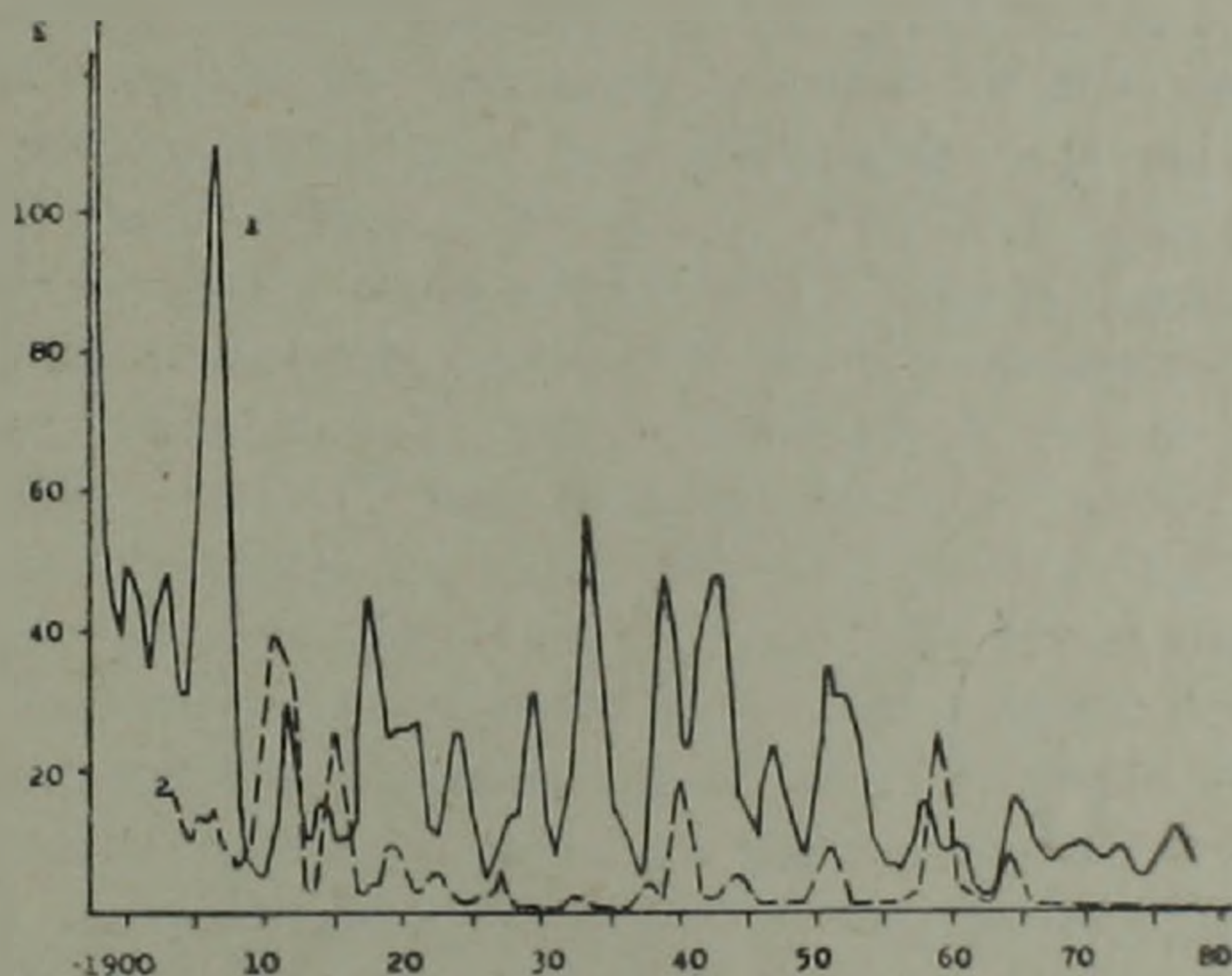


Рис. 1. Распределение всей сейсмической энергии Земли в XX веке (1900—1977 гг.) по полугодовым интервалам времени. Выход энергии землетрясений по дважды скользящим трехполугодиям ($E \times 10^{23}$ эрг): 1 — нормальные (неглубокие) землетрясения, 2 — промежуточные и глубокофокусные землетрясения.

Кривая изменения высвобожденной энергии Земли по полугодиям выявляет еще одну интересную особенность, заключающуюся в том, что хотя интенсивность вспышек выделения сейсмической энергии в активные эпохи постепенно уменьшалась в течение XX века, однако минимумы выделения энергии в начале века были почти такими же значительными, как и в последующее время. Так, например, минимум сейсмического выделения (до $5\text{—}12 \times 10^{23}$ эрг в полугодие) в 1908—1909 гг. и в первую половину 1910 г., т. е. в течение 5 полугодий, был примерно таким же, как и впоследствии; экстремальный минимум выделения сейсмической энергии (до $1,5\text{—}7 \times 10^{23}$ эрг в полугодие) приходится в 1900—1977 гг.

на эпоху 1961—1962 гг. и первую половину 1963 г., что, возможно, отвечает вековому минимуму сейсмоактивности.

Можно и далее детализировать особенности выделения сейсмической энергии на кривой, обобщенной для всей Земли. Но такая детализация не приводит к каким-либо существенным новым выводам, имеющим характер закономерностей сейсмотектонической активности Земли. Для получения таких выводов необходимо «расщепить» кривую выделения сейсмоэнергии на составные части, наподобие разложения луча белого света на составной спектр. При этом выявляются изумительные, ранее неизвестные закономерности хода сейсмотектонической активности Земли и ее отдельных регионов. Эти закономерности сводятся, прежде всего, к следующим.

1) *Континентальные регионы* (Евразия, Северная и Центральная Америка, Южная Америка) *усиливали и ослабляли свою сейсмотектоническую активность обычно почти одновременно*. В отдельные эпохи XX века, условно выделенные на рис. 2, наблюдается обычно синхронность тектонической активности, отраженная в частоте и суммарной энергии сильнейших землетрясений. Это касается главным образом наиболее сейсмоактивных континентальных регионов—Евразии и Южной Америки, на долю коих приходится 80% всей энергии неглубоких землетрясений континентов. В 1903—1907, 1921—1923, 1939—1943 и 1957—1960 гг. сейсмоактивность Евразии и Южной Америки одновременно резко возрастала. Нередко возрастала в это время сейсмоактивность и Северной Америки. Минимумы в сейсмывыделении наблюдались практически в одно и то же время у всех континентов (рис. 2). 1916—1920, 1929—1938, 1944—1949, 1953—1956, 1961—1963 гг. и др. являются эпохами минимальной сейсмической активности в пределах всех континентов, находившихся в это время в состоянии максимального спокойствия.

2) *Океанические сейсмоактивные регионы* (северо-западный и юго-западный борты Тихого океана¹) *усиливали и ослабляли свою сейсмотектоническую активность обычно также одновременно*. В отдельные эпохи XX века наблюдается синхронность их тектонической активности. Сейсмоактивность северо-западного и юго-западного бортов Тихого океана, на долю коих приходится около 50% всей сейсмической энергии неглубоких землетрясений Земли, одновременно возрастала резко в 1916—1920, 1928—1939, 1950—1952 гг. Минимумы в сейсмывыделении

¹ Северо-западный борт Тихого океана охватывает сейсмоактивные территории расположенных здесь островов (Алеутские, Курильские, Сахалин, Японские, Рюкю, Нампо, Тайвань, Филиппинские, Марианские, Каролинские и др.) и соседних морей (Берингово, Охотское, Японское, Восточно-Китайское, окраинные участки океана). Юго-западный борт Тихого океана охватывает территорию от Малых Зондских островов на северо-западе, через Новую Гвинею, острова Соломоновы, Новые Гебриды, Новая Каледония, до островов Фиджи, Самоа, Тонга, Кермадек, Новая Зеландия на юго-востоке; в него входит и территория расположенных здесь морей и окраин океана. Территория Больших Зондских островов рассматривается здесь как дальнейшее продолжение юго-восточной Азии (Индокитая).

обоих западных бортов Тихого океана наблюдались в 1908—1915, 1920—1928, 1939—1943 и 1953—1963 гг.

3) Максимумы и минимумы сейсмоактивности земной коры, будучи синхронными отдельно для континентальных регионов и отдельно для океанических регионов, между собой, однако, не совпадают, будучи сме-

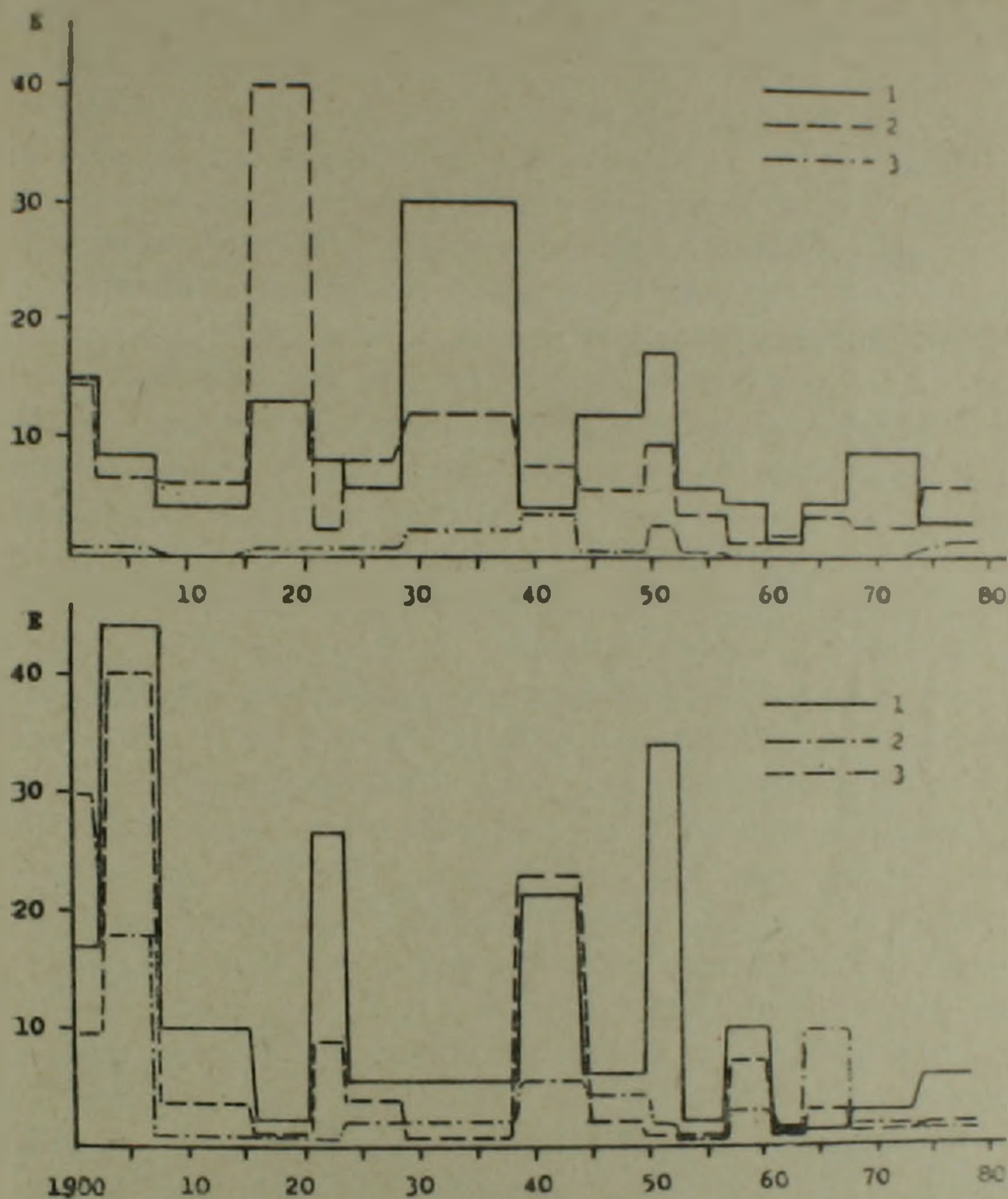


Рис. 2. Распределение по отдельным эпохам энергии нормальных землетрясений основных регионов мира (1900—1977 гг.). Материковые регионы (внизу): 1—Евразия, 2—Северная Америка, 3—Южная Америка; океанические регионы (вверху): 1—северо-западная часть Тихого океана, 2—юго-западная часть Тихого океана, 3—отдельные разрозненные очаги в других областях (преимущественно в пределах обычно Атлантического и Индийского океанов). E —обобщенный за эпоху среднегодовой выход сейсмической энергии (в 10^{23} эрг/год).

щенными во времени друг относительно друга. Эпохи наиболее крупных максимумов сейсмоактивности северо-западного и юго-западного бортов Тихого океана, приходящиеся на 1916—1920 и 1928—1939 гг., являются одновременно эпохами наименьших минимумов сейсмоактивности континентальных регионов. Антиподальность во времени сейсмоактивности континентальных и океанических регионов является примечательной закономерностью сейсмотектонического развития Земли, что

было, кстати, замечено нами ранее на основе анализа других процессов [15, 16, 17].

Возникает вопрос, где начинается интенсивное сейсмовыделение—вначале в океанах и затем на континентах, или же наоборот? Как видно из рис. 2, нормальные землетрясения учащаются и усиливаются вначале в северо-западной и юго-западной частях Тихого океана, а уже затем повышенная сейсмотектоническая активность охватывает континентальные регионы, когда в первых она обычно резко ослабева¹.

4) Землетрясения с очагами в мантии (промежуточные и глубоко-фокусные) в континентальных регионах усиливались обычно в те же эпохи, что и землетрясения земной коры (неглубокие), хотя, однако, не во все эти эпохи и не одновременно на всех континентах (рис. 3). В океанических регионах землетрясения в мантии происходили или в те же эпохи, что и землетрясения неглубокие, или же несколько раньше последних. Учитывая это последнее обстоятельство, а также обнаруженное в предыдущем пункте усиление сейсмоактивности земной коры вначале в океанических и лишь затем в континентальных регионах, можно наметить такую условную последовательность пространственно-временного хода сейсмоактивности Земли в целом: часто опережающее усиление сейсмоактивности в мантии океанических регионов (здесь как бы зарождается очередной сейсмический цикл), несколько позже или в других случаях почти одновременно охват повышенной сейсмичностью и земной коры и впоследствии усиление сейсмоактивности континентальных регионов, уже при спаде (нередко значительном) сейсмоактивности океанических регионов; еще позже наступало относительное сейсмотектоническое затишье земной коры повсюду на Земле, хотя в это же время нередко начинается новый активный цикл в мантии океанических регионов и процесс оказывается замкнутым. Разумеется, это лишь условная схема, ее канва, которая в разных местах нарушается, но все же не настолько основательно, чтобы опровергнуть основу самой схемы.

Среднегодовые величины выделения энергии всеми землетрясениями по главным регионам мира приведены в табл. 1.

¹ Так, например, если в 1908—1915 годы было относительное сейсмотектоническое затишье в пределах как континентов, так и океанических регионов, то в последующую эпоху—в 1916—1920 гг.—резко усилились нормальные землетрясения в пределах западных бортов Тихого океана и продолжалось ослабление сейсмоактивности в пределах всех континентов; в следующую эпоху 1921—1923 гг. сейсмоактивность резко усилилась в пределах континентов и одновременно пошла на резкую убыль в океанических регионах. В 1924—1928 гг. вновь наступило относительное сейсмотектоническое затишье всюду на Земле (в пределах как океанов, так и континентов). Затем, в 1929—1938 гг. нормальные землетрясения резко участились и усиливались в океанах (северо-западный и юго-западный борты Тихого океана) и продолжали быть редкими и слабыми или вообще еще более ослабли в континентальных регионах (Евразия, Южная Америка, Северная Америка). Еще позже, в 1939—1943 гг., сейсмотектоническая активность возросла во всех континентах (Евразия, Южная Америка, Северная Америка) и уменьшилась в океанических регионах. Это типичные примеры усиления сейсмотектонической активности вначале в пределах океанических регионов и уже впоследствии в пределах континентов.

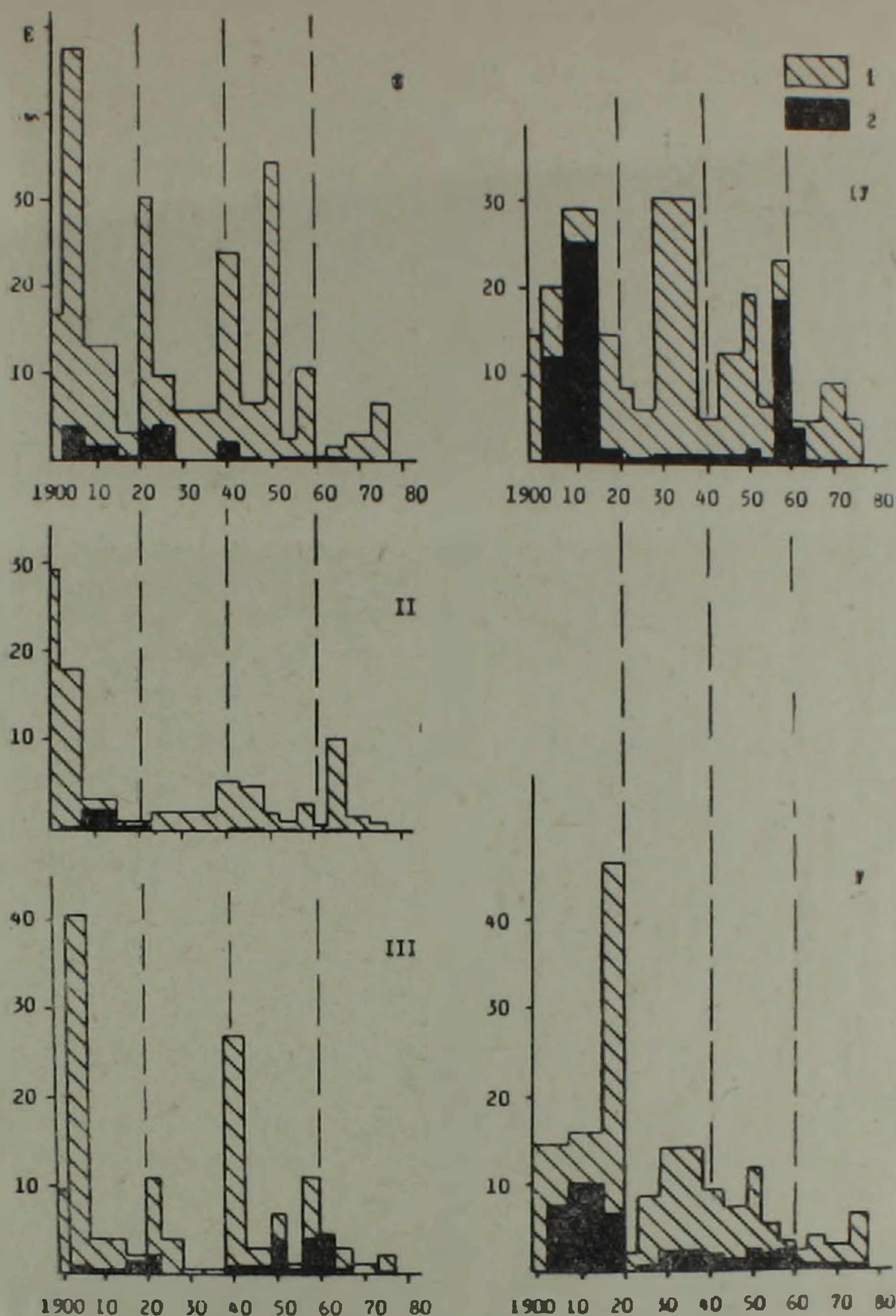


Рис. 3. Распределение по отдельным эпохам всей сейсмической энергии Земли в пределах основных регионов мира (1900—1977 гг.). Материковые регионы: I—Евразия, II—Северная Америка, III—Южная Америка. Океанические регионы: IV—северо-западная часть Тихого океана, V—юго-западная часть Тихого океана. Энергия землетрясений ($E \times 10^{23} \text{ эрг/год}$): 1—нормальные, 2—промежуточные и глубоководные.

5) *Континентальные регионы высвобождают большую часть своей сейсмической энергии наиболее сильными землетрясениями (в группе магнитуд $M=8,3-8,9$ высвобождено 70,5% всей сейсмической энергии континентов). В океанических регионах происходит сдвиг максимального количества высвобожденной энергии в сторону землетрясений с несколько меньшими магнитудами (в группе $M=8,3-8,9$ высвободилось только 51,5% всей сейсмической энергии океанических регионов). Континентальные регионы, по сравнению с океаническими, высвобождают*

Таблица 1

Среднегодовое выделение энергии (в 10^{23} эрг/год) всеми землетрясениями в различные эпохи XX века (1900—1977 гг.) по главным регионам Земли

Эпоха и ее продолжи- тельность (Т)	Т	Континенты				Океанические регионы				Всего
		Евразия	Северная Америка	Южная Америка	т	Северо- запад	Юго-за- пад	Очаги вне этих регио- нов	т	
						Тихого океана				
1900—1907	8	36,1	22,5	29,2	87,8	18,4	14,5	0,3	33,2	121,0
1908—1915	8	12,8	3,5	4,1	20,4	28,7	15,7	—	44,4	64,8
1916—1920	5	2,4	1,0	2,0	5,4	14,4	46,5	0,3	61,2	66,6
1921—1923	3	30,0	1,1	11,0	42,1	8,4	1,7	0,3	10,4	52,5
1924—1928	5	9,4	2,1	4,1	15,6	6,1	8,5	0,4	15,0	30,6
1929—1938	10	5,6	2,3	0,5	8,4	30,4	13,7	2,2	46,3	54,7
1939—1943	5	23,4	5,4	27,1	55,9	5,0	8,9	4,2	18,1	74,0
1944—1949	6	6,3	5,0	2,7	14,0	12,5	6,8	0,3	19,6	33,6
1950—1952	3	33,9	1,9	6,8	42,6	19,4	11,5	3,0	33,9	76,5
1953—1956	4	2,2	0,7	1,1	4,0	6,6	4,7	0,3	11,6	15,6
1957—1960	4	10,4	3,1	11,1	24,6	23,5	2,7	—	26,2	50,8
1961—1963	3	0,5	0,5	4,5	5,5	5,1	1,9	1,1	8,1	13,6
1964—1967	4	1,6	10,2	3,1	14,9	4,9	3,6	0,1	8,6	23,5
1968—1973	6	2,7	1,6	1,1	5,4	9,4	2,5	—	11,9	17,3
1974—1977	4	6,3	1,0	1,7	9,0	2,8	6,2	1,3	10,3	19,3
1900—1977	78	11,3	4,6	6,7	22,6	10,3	12,2	0,9	23,4	46,0
Общая энергия за 1900—1977		948,2	378,1	590,7	1917,0	1177,2	1141,7	67,6	2386,5	4303,5

Примечания: 1. Декабрь 1920 г. отнесен к эпохе 1921—1923 гг.

2. Энергия промежуточных и глубоких землетрясений за 1900—1902 гг. не учтена.

(в процентном отношении) в 1,5 раза меньше энергии в группе $M=7,5—8,2$ и почти в 2 раза меньше в группе $M=6,0—7,4$ (табл. 2).

Таблица 2

Среднегодовая сейсмическая энергия континентальных и океанических регионов по основным группам магнитуд в вековом диапазоне (1900—1977 гг.)

Группы магнитуд (М)	8,3—8,9		7,5—8,2		6,0—7,4		6,0—8,9	
	10 ²³ эрг	%	10 ²³ эрг	%	10 ²³ эрг	%	10 ²³ эрг	%
Континентальные (все)	17,02	70,5	4,54	18,8	2,57	10,7	24,12	100
Океанические (все), включая бортовые районы	16,98	51,5	9,64	29,2	6,35	19,3	32,98	100
Земля в целом	34,00	59,5	14,18	24,9	8,92	15,6	57,10	100

6) В вековом диапазоне (1900—1977 гг.) высвобожденная энергия нормальных землетрясений примерно одинакова в континентальных ($21,3 \times 10^{23}$ эрг/год) и океанических ($23,5 \times 10^{23}$ эрг/год) регионах (табл. 3). В то же время энергия промежуточных и глубокофокусных землетрясений в континентальных регионах ($2,9 \times 10^{23}$ эрг/год) примерно в 3,3 раза меньше, чем в океанических регионах ($9,5 \times 10^{23}$ эрг/год)¹.

Таблица 3

Общепланетарная среднегодовая энергия землетрясений по отдельным группам магнитуд в вековом диапазоне (1900—1977 гг.)

Группа магнитуд (М)		8,5—8,9	8,0—8,4	7,5—7,9	7,0—7,4	6,5—6,9	6,0—6,4	Всего 6,0—8,9
Регионы								
Энергия, в 10^{23} эрг								
Нормальные (неглубокие) землетрясения		15,31	16,66	6,69	3,81	1,60	0,72	44,79
Континенты		10,02	6,95	2,51	1,05	0,50	0,22	21,25
Океаны		5,29	9,71	4,18	2,76	1,10	0,50	23,54
Промежуточные землетрясения		4,17	2,80	1,31	1,17	0,72	0,28	10,45
Континенты		—	1,39	0,45	0,39	0,22	0,08	2,53
Океаны		4,17	1,41	0,86	0,78	0,50	0,20	7,92
Глубокофокусные землетрясения		—	0,54	0,70	0,39	0,19	0,04	1,86
Континенты		—	—	0,23	0,07	0,03	0,01	0,34
Океаны		—	0,54	0,47	0,32	0,16	0,03	1,52
Все землетрясения		19,48	20,00	8,70	5,37	2,51	1,04	57,10
Континенты		10,02	8,34	3,19	1,51	0,75	0,31	24,12
Океаны		9,46	11,66	5,51	3,86	1,76	0,73	32,98
Энергия, в %								
Земля в целом		34,1	35,0	15,3	9,4	4,4	1,8	100
Континенты		41,5	34,6	13,2	6,3	3,1	1,3	100
Океаны		28,7	35,3	16,7	11,7	5,4	2,2	100
Нормальные землетрясения		34,2	37,2	15,0	8,5	3,5	1,6	100
Промежуточные землетрясения		39,9	26,8	12,5	11,2	6,9	2,7	100
Глубокофокусные землетрясения		—	28,8	37,7	21,0	10,2	2,3	100

7) Землетрясения планеты группируются в два магнитудных каскада²: высший ($M=8,3—8,9$) и низший ($M=6,0—8,2$ и вообще $M>8,3$).

Энергия нижнего магнитудного каскада землетрясений имеет более или менее выдержанный (или слабо изменяющийся) ежегодный уровень по десятилетиям за вековой период (табл. 4). Это касается как нормальных, так и промежуточных и глубокофокусных (глубоких) зем-

¹ Долготное распределение энергии всех землетрясений Земли показано на рис. 4. Ее распределение по широтным поясам показано ранее [19].

² Большие концентрации сейсмической энергии выделяются Землей часто в виде каскада выплесков на разных уровнях магнитудной шкалы, быстро насыщающейся в своем верхнем диапазоне.

Таблица 4

Общепланетарное выделение по десятилетиям среднегодовой сейсмической энергии Земли по главным группам магнитуд (1897—1976 гг.), в 10^{23} эрг/год

Магнитуды (М)		7,0—8,2					8,3—8,9		
Землетрясения		Нормальные с М			Промежуточные и глубокие М=7—8,2	Σ	Нормальные	Промежуточные и глубокие	Σ
Этап	Годы	7—7,8	7,9—8,2	7—8,2					
1	1897—1906	>7 (?)	13,5	>21	5,7 (?)	>27	111	22 (?)	133
2	1907—1916	>7 (?)	14,1	>21	9,8	>31	11	23	34
3	1917—1926	6,1	3,2	9,3	4,8	14,1	37	4	41
4	1927—1936	7,2	8,1	15,3	2,0	17,3	29	—	29
5	1937—1946	9,8	6,8	16,6	5,3	21,9	44	5	49
6	1947—1956	7,5	6,3	13,8	3,5	17,3	18	2	20
7	1957—1966	5,9	7,0	12,9	4,3	17,2	7	7	14
8	1967—1976	9,5	6,5	16,0	0,8	16,8	—	—	—
В среднем		7,7	8,2	15,9	4,6	20,5	32	8	40

летрясений¹). Суммарный выход энергии всех землетрясений (нормальных, промежуточных, глубоких) с $M=7,0—8,2$ составлял в среднем $14—22 \times 10^{23}$ эрг/год по десятилетиям в течение 1917—1976 гг. С учетом землетрясений с $M < 7$ (около 4×10^{23} эрг/год) общий выход энергии всех землетрясений с $M < 8,3$ составляет около $8—27 \times 10^{23}$ эрг/год (в более коротких эпохах). Это относительное постоянство выделения энергии нижнего магнитудного каскада землетрясений в десятилетних диапазонах примечательно также и в связи с несовпадением во времени максимума выделения энергии всех землетрясений в континентальных и океанических регионах (пункт 3), противодействующим такому постоянству, свидетельствующему о слабом изменении темпов местного развития недр.

Энергия высшего магнитудного каскада землетрясений ($M=8,3—8,9$) выделяется крайне неравномерно во времени, вырисовывая циклы усиления и ослабления: вековое усиление в 1897—1906 гг. (133×10^{23} эрг/год), меньшее усиление в 1937—1946 гг. (44×10^{23} эрг/год) и ослабления в другие эпохи ($14—34 \times 10^{23}$ эрг/год и менее, иногда почти до нуля). Эта неравномерность выступает резче при рассмотрении среднегодовой энергии по более коротким, чем 10-летним, интервалам (табл. 5)². В последние два пятилетия (1968—1972 и 1973—1977 гг.)

¹ Так, для нормальных землетрясений с $M=7,0—8,2$ среднегодовое выделение энергии по десятилетним этапам в течение 1917—1976 гг. колебалось в узких пределах ($9—17 \times 10^{23}$ эрг/год). В это же время и среднегодовая энергия промежуточных и глубоководных землетрясений тех же групп магнитуд ($M=7,0—8,2$) также колебалась в узких пределах (обычно $2—5,5 \times 10^{23}$ эрг/год и только для последнего 8-го этапа выделение энергии было меньше).

² Среднегодовая энергия нормальных землетрясений по 5-летиям выявляет две эпохи резкого ее возрастания: 1903—1907 гг. (101×10^{23} эрг/год) и 1938—1942 гг.

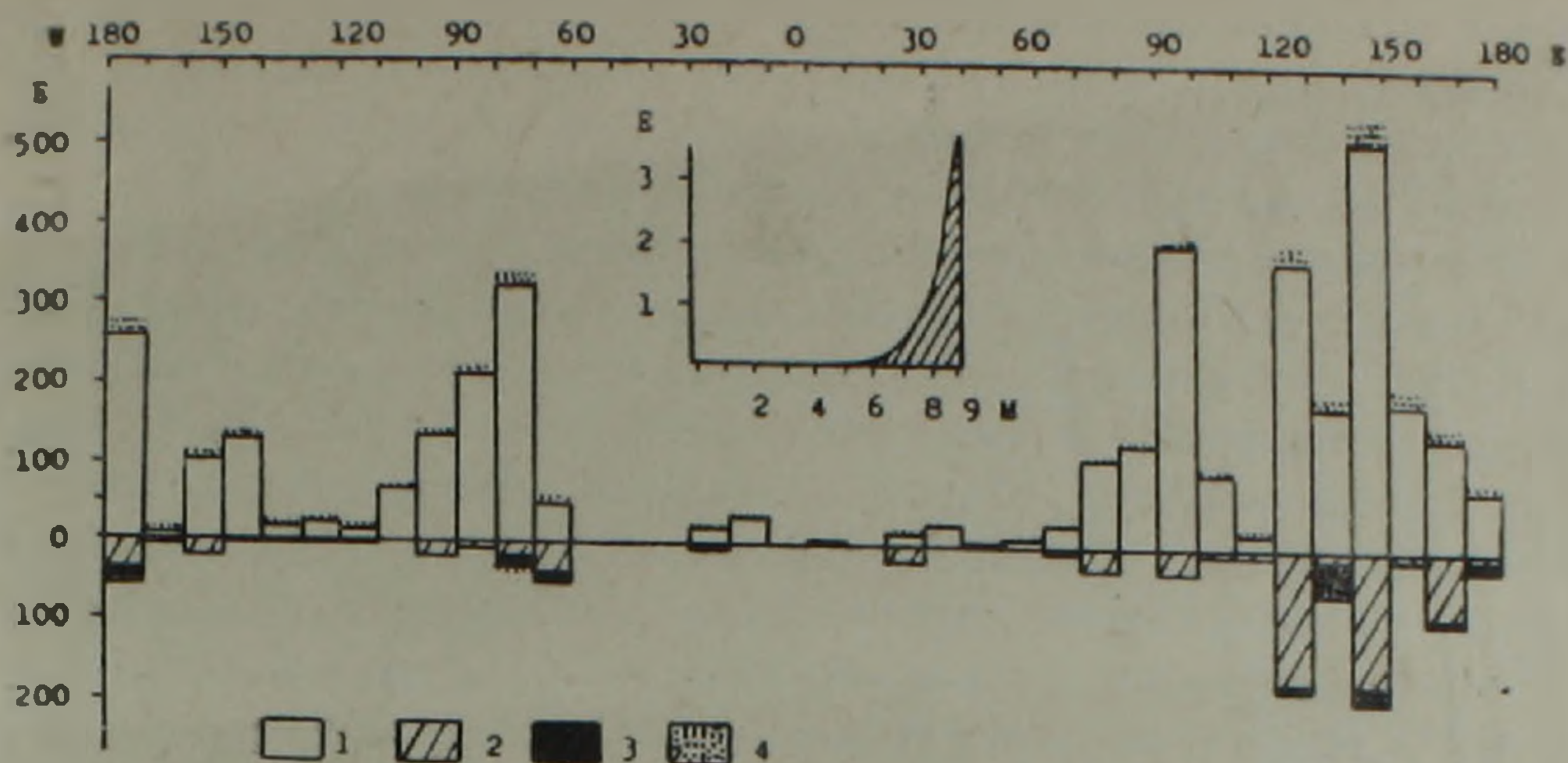


Рис. 4. Распределение всей сейсмической энергии Земли по ее долготным зонам (по сферическим двугольникам с внутренним углом по 10°) в течение 1897—1976 гг. По вертикали отложена энергия землетрясений ($E \times 10^{23}$ эрг); выше горизонтальной линии показана энергия нормальных землетрясений (1), ниже—энергия промежуточных (2) и глубокофокусных (3) землетрясений с магнитудами $M=7.0-8.9$. Точками (4) показана энергия землетрясений с $M=6.0-6.9$. В целом на рисунке показана энергия землетрясений мира с $M=6.0-8.9$, составляющих 98% всей сейсмической энергии мира. Оставшиеся 2% энергии (приходящиеся на землетрясения с $M < 6$) совершенно не изменяют конфигурацию рисунка, где им могут отвечать участки высотой всюду менее 1 мм. На врезке показано среднегодовое количество энергии всех землетрясений планеты по группам магнитуд (через 0,5 M). E —сейсмическая энергия, в 10^{24} эрг/год на каждую группу магнитуд (в интервале 0,5 M). Заштриховано—98% сейсмической энергии Земли, анализируемой на рисунке ($M=6.0-8.9$).

Таблица 5

Общепланетарное выделение по пятилетиям среднегодовой сейсмической энергии в сфере высшего магнитудного каскада землетрясений ($M=8.3-8.9$), в 10^{23} эрг/год

Годы	Землетрясения			Годы	Землетрясения		
	Нормальные	Промежуточные и глубокие	Всего		Нормальные	Промежуточные и глубокие	Всего
1898—1902	65,1	?	>65	1938—1942	72,7	10,0	82,7
1903—1907	101	17,2	118,2	1943—1947	15,7	—	15,7
1908—1912	14,2	31,3	45,5	1948—1952	32,8	3,6	36,4
1913—1917	27,7	14,2	41,9	1953—1957	7,2	—	7,2
1918—1922	34,3	3,6	37,9	1958—1962	3,6	14,2	17,8
1923—1927	19,5	3,6	23,1	1963—1967	7,1	—	7,1
1928—1932	20,7	—	20,7	1968—1972	—	—	—
1933—1937	33,3	—	33,3	1973—1977	—	—	—

высший магнитудный каскад землетрясений вообще не проявлялся и не было ни одного землетрясения с $M \geq 8.3$ (ежегодный выход сейсмиче-

(73×10^{23} эрг/год); в остальные пятилетки ежегодный выход сейсмической энергии был меньше в 3—10 раз и более. Выход энергии всех землетрясений (нормальных, промежуточных, глубоких) выявляет те же два максимума (118×10^{23} и 83×10^{23} эрг/год).

ской энергии равнялся нулю). В целом же высший магнитудный каскад землетрясений в течение последних 80 лет указывает на направленное ослабление сейсмотектонической активности Земли, соответствующее, по-видимому, нисходящей ветви какого-то крупного тектонического цикла, осложненного второстепенным усилением в 1938—1942 гг., после чего спад сейсмической активности становится наиболее значительным. В 1965—1977 гг. эта нисходящая ветвь сейсмотектонической активности достигает своего экстремума (выход энергии землетрясений с $M \geq 8,3$ равен нулю или крайне ничтожен). Высший магнитудный каскад землетрясений связан с общепланетарными процессами и его компоненты, вероятно, взаимосвязаны единой сеткой напряжений, находящейся в тесном взаимодействии со многими природными явлениями.

Итак, наличие двух магнитудных каскад землетрясений, существенно и даже принципиально отличающихся друг от друга, представляет природную реальность и оно впервые было выявлено нами еще в 1967 г. [15].

8) Если расположить все нормальные землетрясения мира в группы с M через $M=0,5$, то можно сформулировать такую эмпирическую закономерность: общепланетарная сейсмотектоническая энергия в вековом диапазоне увеличивается примерно в 2 раза по мере перехода на $0,5 M$ к землетрясениям соседней высшей группы магнитуд (табл. 3). Это касается всей сейсмической энергии Земли для групп землетрясений, начиная от $M=6,0-6,4$ и до группы землетрясений с $M=8,0-8,4$. Землетрясения с меньшими M ($M < 6$), на которые, несмотря на их многочисленность, приходится всего 1—2% сейсмической энергии планеты, вероятно, также не выпадают из этой закономерности.

Для наисильнейших землетрясений с $M=8,5-8,9$ эта закономерность, по имеющимся цифровым данным, как будто не подтверждается — выход сейсмической энергии таков (около 20×10^{23} эрг/год), как и для группы землетрясений с $M=8,0-8,4$, хотя ожидалось бы, в соответствии с упомянутой закономерностью, вдвое больше сейсмической энергии (около 40×10^{23} эрг/год). Это является следствием или действительно не подчинения наисильнейших землетрясений ($M=8,5-8,9$) отмеченной закономерности, или же систематического занижения данных о величине, подсчитанных по известным формулам [12]. Последние работы американского исследователя Х. Канамори [10] указывают на то, что энергия землетрясений с наиболее высокими магнитудами и длиннопериодными сейсмическими волнами сильно занижается (в десятки раз), если рассчитывать ее по известной магнитудной шкале (однако оценка по шкале Рихтера энергии землетрясений с меньшими магнитудами считается верной, поскольку для них не характерны длиннопериодные волны). Происходит насыщение общепринятой шкалы магнитуд в области ее максимальных значений. Поэтому действительная энергия землетрясений с высокими магнитудами и длиннопериодными сейсмическими волнами значительно (во много раз) больше, чем ныне исчисляется. Для 4-х таких суперземлетрясений (Камчатское 4/XI—1952 г., Алеутское

9/III—1957 г., Чилийское 22/V—1960 г., Аляскинское 28/III—1964 г.) магнитуда $M > 9$, причем Чилийскому землетрясению приписывается $M = 9,5$ [10]. Учет этих новых величин показывает, что отмеченной выше закономерности отвечает в целом и группа землетрясений с $M = 8,5—8,9$ (полагая, что вышеупомянутые 4 суперземлетрясения с $M > 9$ пополняют баланс энергии землетрясений группы $M = 8,4—8,9$, или же, что их энергетическая характеристика на самом деле намного выше, чем принималось ранее, но все же меньше, чем это следует по [10]).

Таковы основные глобальные особенности и закономерности сейсмотектонического развития Земли, многие из коих, несомненно, являются новыми и впервые выявляемыми, которые, накладываясь на ранее известные закономерности сейсмичности Земли, позволяют более полно понять суть современного пульса планеты. При этом оставляем в стороне интересные аспекты вторжения в сейсмотектоническую жизнь Земли космических воздействий, представления о которых только появляются и для их осознания требуется еще немало времени, а также трудного, но увлекательного и перспективного творческого поиска.

Армянское геологическое общество

Поступила 19.V.1978.

Գ. Պ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ

ԵՐԿՐԱԿՆԴԻ ՍԵՅՍՄՈՏԵԿՆԻԿՍՈՆԻԿ ԶԱՐԴԱՅՄԱՆ ԿԱՐԵՎՈՐԱԳՈՒՅՆ ՏԱՐԱԾԱ-ԺԱՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ XX ԴԱՐՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ի հայտ են բերված երկրազնդի սեյսմոտեկտոնիկ զարգացման նոր օրինաչափություններ՝ երկրակեղևի սեյսմոակտիվության մաքսիմումներն ու մինիմումները սինխրոն են մայրցամաքների սահմաններում և առանձին կերպով՝ օվկիանոսային մարզերի համար, սակայն այդ ուժեղացման և թուլացման ժամանակաշրջանները չեն համընկնում և ըստ ժամանակի միմյանց նկատմամբ տեղաշարժված են. սեյսմիկ ցիկլերը հաճախ սաղմնավորվում են օվկիանոսային մարզերում և ապա անցնում մայրցամաքները, օվկիանոսային մարզերի հետ համեմատած մայրցամաքներն ավելի հաճախ են իրենց սեյսմիկ էներգիայի մեծ մասն անջատում ավելի բարձր ուժգնության երկրաշարժերի միջոցով. մոլորակի $M < 8,3$ ունեցող երկրաշարժերի միասնությունն ունի թույլ փոփոխվող և առավել կայուն միջին տարեկան մակարդակ ըստ տասնամյակների այն դեպքում, երբ $M \geq 8,3$ ունեցող երկրաշարժերի միասնությունն աչքի է ընկնում սեյսմիկ էներգիայի անջատման ծայրահեղ անհավասարաչափությամբ հարյուրամյա ժամանակահատվածում:

G. P. TAMRAZYAN

THE PRINCIPAL SPACE-TIME REGULARITIES OF THE EARTH'S SEISMOTECTONIC DEVELOPMENT IN THE 20th CENTURY

A b s t r a c t

New regularities in the seismotectonic development of the Earth have been revealed: the maxima and minima in the seismic activity of the earth crust are synchronous within the confines of the continents and separately for oceanic regions; however, these intensification and relaxation epochs do not coincide being shifted in time with respect to each other; seismic cycles frequently originate in oceanic regions and later they cover the continents; the continents, as compared to the oceanic regions, release a great part of their seismic energy through earthquakes with higher magnitudes; the total combination of the planetary earthquakes with $M < 8.3$ has a slightly varying and more consistent average annual level in decades, whereas the total combination of earthquakes with $M > 8.3$ is distinguished by an extremely uneven release of seismic energy on a century basis etc.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тамразян Г. П. Внутрисуточная закономерность глобальной сейсмоэнергетической активности Земли. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 11, 1973.
2. Тамразян Г. П. Лунные приливы как главный регулятор глобальной сейсмотектонической периодичности Земли. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1978.
3. Bath M. The problem of earthquake magnitude determination. Trav. Scientif. Ser. A, Strassbourg, 1956.
4. Bath M. Erdbebenenergie. Zeits f. Bergbau usw. Freiberg, № 9, 17—21, 1957.
5. Benloff H. Earthquakes and rock creep. Part 1, Bull. Seismol. Soc. Amer., 51, 31—32, 1951.
6. Duda S. J. Secular seismic energy release in the circum-Pacific belt. "Tectonophysics", v. 2, 409—452, 1965.
7. Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the earth. Geol. Soc. Amer., Spec. Paper, 34, 1941.
8. Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, Princeton Univ. Press, 1949; 2nd ed. 1954.
9. Hedervari P. Investigations regarding the Earth's seismicity. Part 1—V, Gerlands Beitrage zur Geophysik: v. 72, Heft 6, 352—370, 1963; v. 73, Heft 4, 219—234, 1964; v. 74, Heft 5, 420—431, 1965; v. 75, Heft 3, 169—178, 1966; v. 76, Heft 5, 393—405, 1967; v. 76, Heft 6, 467—490, 1967.
10. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. Jour. Geophys. Res., v. 82, № 20, 2981—2987, 1977.
11. Milne J. Earthquakes and other Earth movements. London, 7 ed, 1939.
12. Richter C. F. Elementary Seismology. San Francisco, 1958.
13. Rothe J. P. The seismicity of the Earth. Paris, UNESCO, 1969.
14. Sieberg A. Erdbebengeographie. Handbuch der Geophysik, Berlin, 1932.
15. Tamrazyan G. P. Principal regularities in the distribution of major earthquakes relative to solar and lunar tides and other cosmic forces. Intern. Jour. Solar System (U. S. A.), v. 9, № 3, 574—592, 1968.

16. *Tamrazyan G. P.* Seismic anomalies and the dynamic evolution of the Earth's crust and upper mantle. Intern. Jour. Solar System (U. S. A.), v. 10, № 1, 164—168, 1969.
17. *Tamrazyan G. P.* Einige der wichtigsten raum- und zeitabhängigen Gesetzmässigkeiten der Freisetzung von seismischer energie der Erde. Geologische Rundschau (Bundesrepublik Deutschland), Band 59, Heft 2, 623—636, 1970.
18. *Tamrazyan G. P.* Papel principal del centro de masas de los continentes unidos en la actual actividad seismica de la Tierra. Bol. Acad. Ciencias Fisicas, Matem., Natur. (Venezuela), t. 30, № 89, 25—31, 1970.
19. *Tamrazyan G. P.* Distribucion de los terremotos y su energia por las zonas de latitud de la Tierra. Bol. Acad. Ciencias Fisicas, Matem., Natur. (Venezuela), t. 31, № 93, 39—45, 1971.
20. *Tamrazyan G. P.* Las constantes de la distribucion intramagnitudinal de la frecuencia y energia de los terremotos. Bol. Acad. Ciencias Fisicas, Matem., Natur. (Venezuela), t. 32, № 96, 103—108, 1972.
21. *Tamrazyan G. P.* Algunas custiones de la distribucion de los terremotos y su energia segun la profundidad de los hogares en las principales regiones sismicas de la Tierra. Bot. Acad. Ciencias Fisicas, Matem., Natur. (Venezuela), t. 33, № 100, 79—84, 1973.
22. *Tams E.* Die seismizitat der Erde. Wien—Harms Handbuch der Experimentalphysik, v. 25, 361—437, 1931.