Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 1, 16—27, 1978

УДК 550.34(100)

Г. П. ТАМРАЗЯН

ЛУННЫЕ ПРИЛИВЫ КАК ГЛАВНЫЙ РЕГУЛЯТОР ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

Проблема возможной связи сейсмичности Земли с лунно-солнечными приливами не нова, и, несмотря на это, все же до сих пор отсутствует хотя бы частичное, но однозначное ее решение. Обычно рассматриваются отдельные, часто небольшие районы Земли, причем с охватом преимущественно средних и сильных землетрясений (в целом с магнитудами $M<8$); сильнейшие же землетрясения ($M\geqslant 8$) являются как бы эпизодическими для отдельных районов, где они происходят очень редко или не бывают вообще. Между тем глобальный сейсмический облик планеты создается немногочисленными слабыми и средними и даже не немногочисленными сильными землетрясениями. Наибольшее количество всей высвобождающейся сейсмической энергии планеты приходится на сильнейшие землетрясения (с $M\geqslant 8$). Это позволяет судить об общем сейсмическом облике всей планеты в целом и отдельных ее регионов на основе анализа одних только сильнейших и сильных землетрясений, которые определяются наиболее полно (рис. 1). Многочисленные же мелкие (обычно местные) сейсмические толчки, число которых достигает многих тысяч и десятков тысяч в год и которые трудно поддаются учету, почти не влияют на общий сейсмический режим Земли.

Рассмотрим распределение количества землетрясений и их суммарной энергии по всему земному шару на начало 1977 г. на основе проведенного нами анализа за все время массовых инструментальных наблюдений (1897—1976 гг.). Этот анализ показывает следующее (табл. 1). На долю землетрясений с магнитудой $M\geqslant 8$ приходится 65—75% всей сейсмической энергии планеты. На долю же землетрясений с $M\geqslant 7$ приходится уже 90% и более сейсмической энергии планеты. Следовательно, анализ землетрясений с магнитудой $M\geqslant 7$ позволяет охватить исследованиями более 90% сейсмоэнергетического потенциала Земли и тогда особенности в распределении энергии таких землетрясений тем самым являются глобальными, характеризующими основной сейсмический фон планеты. Поскольку на долю землетрясений с $M\geqslant 7{,}9$ приходится 70—80% всей сейсмической энергии планеты (рис. 1), то изучение уже только этой группы сильнейших землетрясений позволяет судить об общем сейсмическом режиме всей Земли. Анализ этих сильнейших землетрясений позволяет выявить ряд интересных и важных закономерностей, ранее неизвестных и имеющих существенное значение для геотектоники и теории о современном развитии планеты.

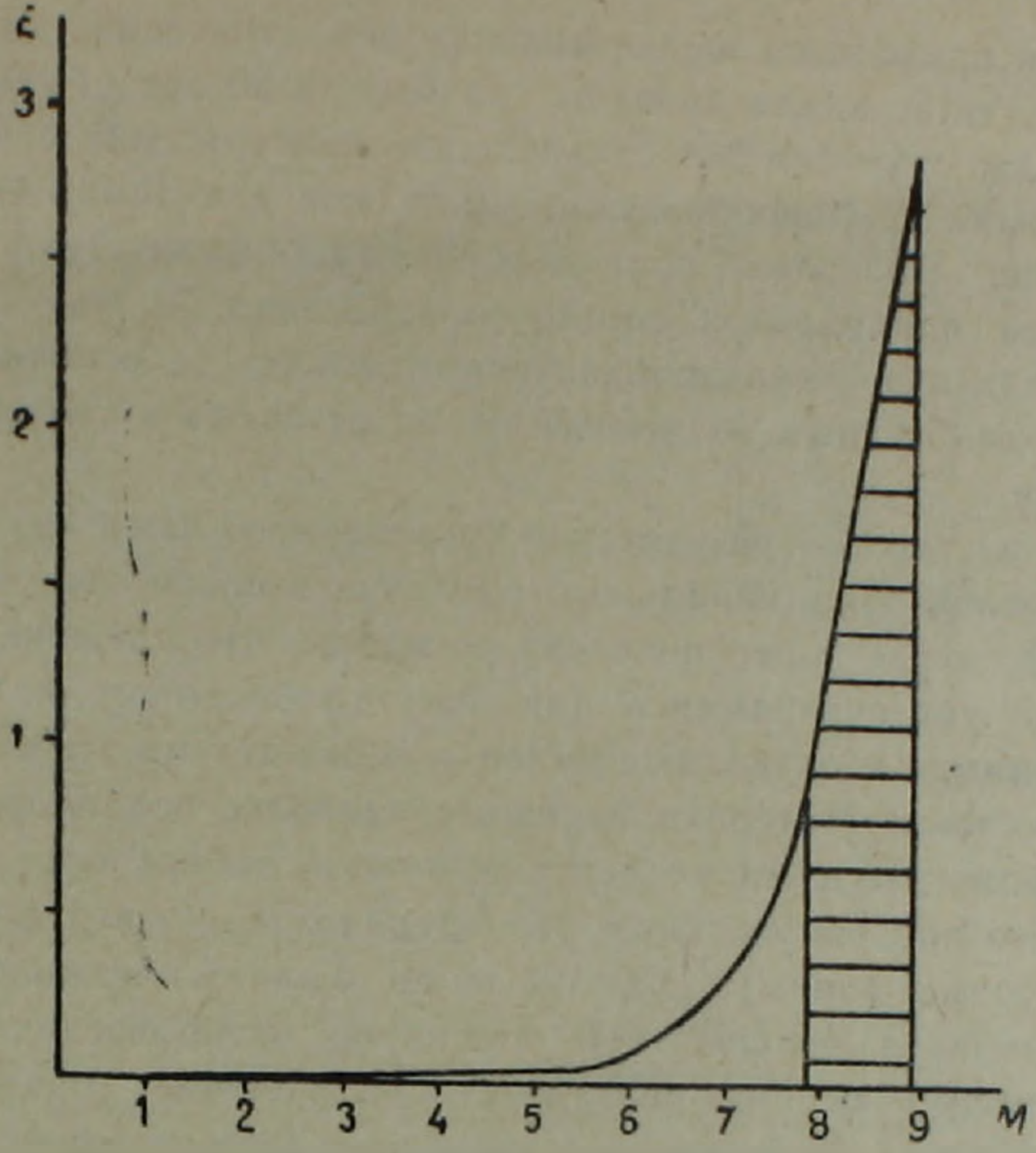

Рис. 1. Среднегодовое количество энергии всех землетрясений планеты по группам магнитуд (через 0,5 M) по материалам 1897—1976 гг. E—сейсмическая энергия, в 10^{24} *эрг/год* на каждую группу магнитуд (в интервале 0,5 M). Заштриховано—сейсмическая энергия, высвобожденная сильнейшими землетрясениями (M=7,9—8.9) и анализируемая в статье.

Таблица 1

Общепланетарное среднегодовое число землетрясений и их суммарная энергия по отдельным группам магнитуд (1897—1976 гг.).

Группа магнитуд	Число землетрясений	Суммарная годовая энергия, *E*	
		в 10^{33} *эрг/год*	в %
8,5—8,9	0,3—0,4	18—35	35—50 } 65—75
8,0—8,4	0,8—1,5	10—20	25—32 }
7,5—7,9	3—4	6—9	10—17 } 18—24
7,0—7,4	10—15	4—5	6—8 }
6,5—6,9	30—50	2—3	3—5 } 5—7
6,0—6,4	60—140	1—1,3	1,5—2 }
Менее 6	десятки и сотни тысяч	0,4—1,2	2—3

В данной статье нами рассматриваются все сильнейшие нормальные, промежуточные и глубокофокусные землетрясения ($M \geqslant 7{,}9$) планеты за 1903—1976 гг. (за 74 года), и, кроме того, нормальные землетрясения также и за 1897—1902 гг. Поскольку 80% всей сейсмичес-

кой энергии приходится на нормальные землетрясения, то можно считать, что в статье анализированы данные за 80 лет (1897—1976 гг.). За эти 80 лет отмечено 214 сильнейших землетрясений с $M \geqslant 7{,}9$.

Основными приливообразующими телами для Земли являются Луна и Солнце. Поскольку приливообразующая сила Луны в 2,2 раза больше, чем приливообразующая сила Солнца, и тем самым Луна является главным приливообразующим телом, то основное внимание уделим именно лунным воздействиям, не оставляя в стороне и солнечное влияние.

Одним из важных результатов проведенного нами анализа является установление принципиального различия в сейсмотектоническом режиме материковых и океанических регионов, что связано, вероятно, с существенно различающимися для них глобальными напряжениями, усиливающимися и ослабляющимися в соответствии с их тектонической активностью. Материки являются наиболее подвижными крупными геоморфологическими элементами земной поверхности (принимается даже, что они могут, хотя бы временами, подвергаться горизонтальным перемещениям). Как бы то ни было возможности к активности у материков больше, чем у типично океанических регионов, и они более всего способны реагировать на внешние (приливообразующие) воздействия. Океанические регионы в этом отношении иные.

Это различие материковых и океанических регионов учитывается при выделении главных сейсмотектонических областей Земли, где в XX веке произошли землетрясения с $M = 7{,}9—8{,}9$ или лишь несколько меньше (рис. 2). Таких областей выделено шесть. Из них пять являются материковыми (или их обрамлениями). К ним относится, прежде всего, Евразия, где расположены все материковые очаги и очаги внутренних морей (Средиземного, Черного и Каспийского); сюда же можно отнести и очаги небольшой территории северо-западной части Африки. Сильные землетрясения в Евразии происходят в полосе от Испании и Эгейского моря на западе до Китая на востоке. К материковым областям отнесено интенсивно раздробленное Восточно-Азиатское прибортовое окаймление, которое включает Японские, Филиппинские и Большие Зондские острова и морские участки вблизи них, вплоть до побережья азиатского материка. При этом на долю Филиппинских и Больших Зондских островов и прилегающих районов приходится всего 15—20% всей сейсмической энергии Восточно-Азиатского окаймления и 5% всей сейсмической энергии Земли. Основная же часть сейсмической энергии области приходится на Японские острова и прилегающие морские участки. К материковой сейсмической области, кстати, связанной также с Азией, отнесено сочленение (стык) Азиатского и Американского материков, охватывающее Камчатку, Аляску, Курильские и Алеутские острова и прилегающие участки (обычно морские).

В качестве четвертой материковой области выделена Южная Америка. К материковым областям отнесена сейсмоактивная область Цент-

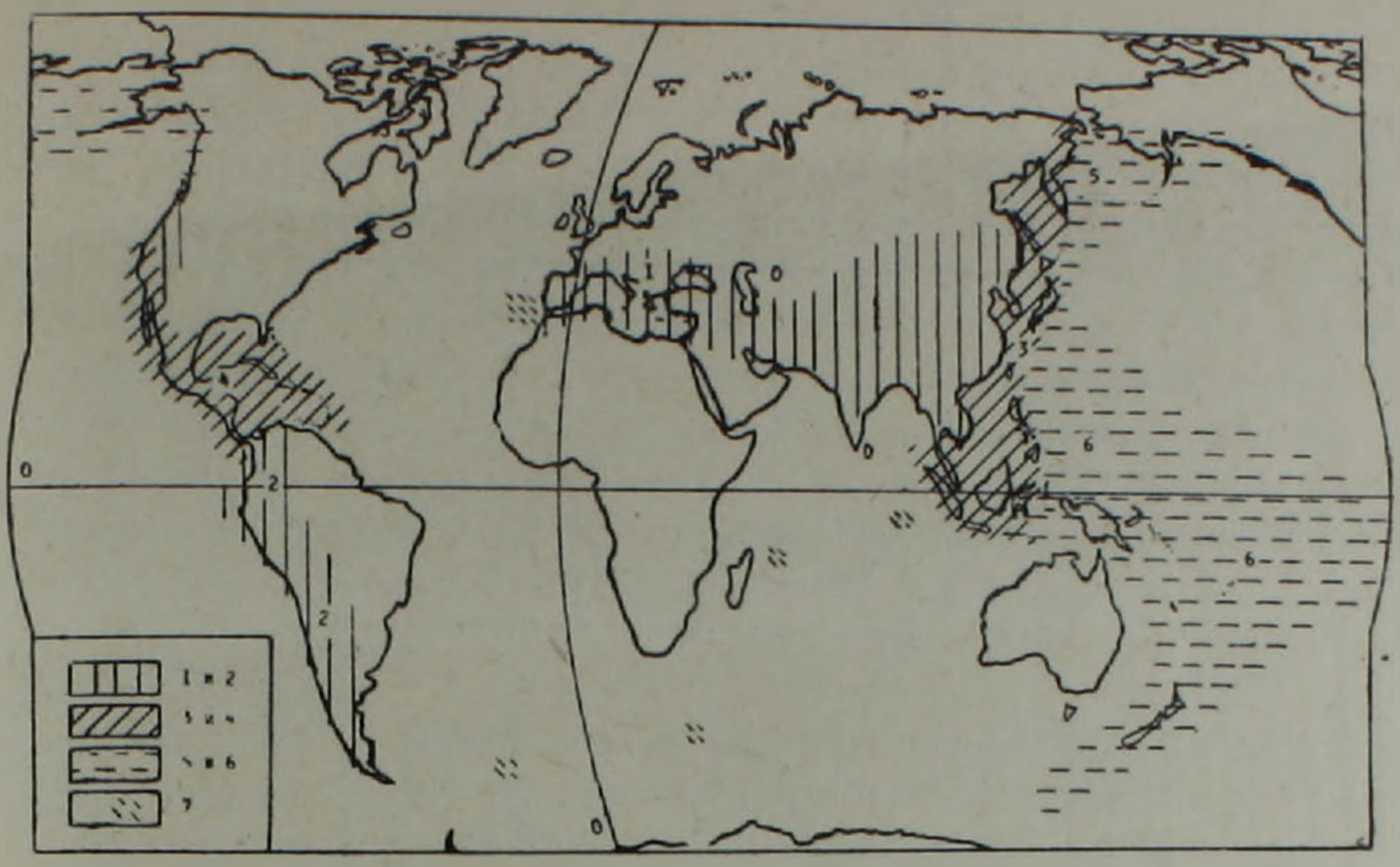

Рис. 2. Главнейшие сейсмоактивные области Земли, где в XX веке происходили землетрясения с магнитудой M=7,9—8,9 или несколько меньше. Материковые области и их краевые окаймления (борта): 1—Евразия, 2—Южная Америка, 3—Восточно-Азиатское прибортовое окаймление, 4—Центральная Америка, Вест-Индия и прилегающие районы, 5—сочленение (стык) Азиатского и Американского материков; океанические области: 6—Западно-Тихоокеанская, 7—отдельные очаги сильнейших землетрясений вне выделенных областей (обычно в океанах)

ральной Америки, охватывающая, кроме самой территории Центральной Америки, с прилегающими морскими районами, также Большие и Малые Антильские и Багамские острова, Мексиканский залив и Карибское море. Типично океанической областью является Западно-Тихоокеанская.

Вне этих шести главных сейсмических областей имеются лишь разрозненные немногочисленные очаги сильнейших землетрясений (с $M \geqslant 7{,}9$), находящиеся в различных районах (обычно в океанах); на их долю приходится немногим более 2% всей сейсмической энергии планеты. Кроме того, известны многие другие сейсмические районы (например, срединноокеанические хребты, валы и т. д.), где распространены землетрясения, магнитуда коих, однако, сравнительно незначительна (обычно $M=5—6$, редко больше); на долю этих районов приходится ничтожное количество общепланетарной сейсмической энергии Земли. Проведенный анализ выявил следующие особенности.

Все материковые области и их бортовые окаймления в течение лунных суток имеют обычно два максимума выделения сейсмической энергии (рис. 3). Один из них, являясь четким и для всех материковых областей почти единым, приурочен ко времени нахождения Луны у горизонта при ее восхождении (18 ± 2 часов местного лунного времени). За эти четыре часа у этого горизонта (между 16—20 часами местного

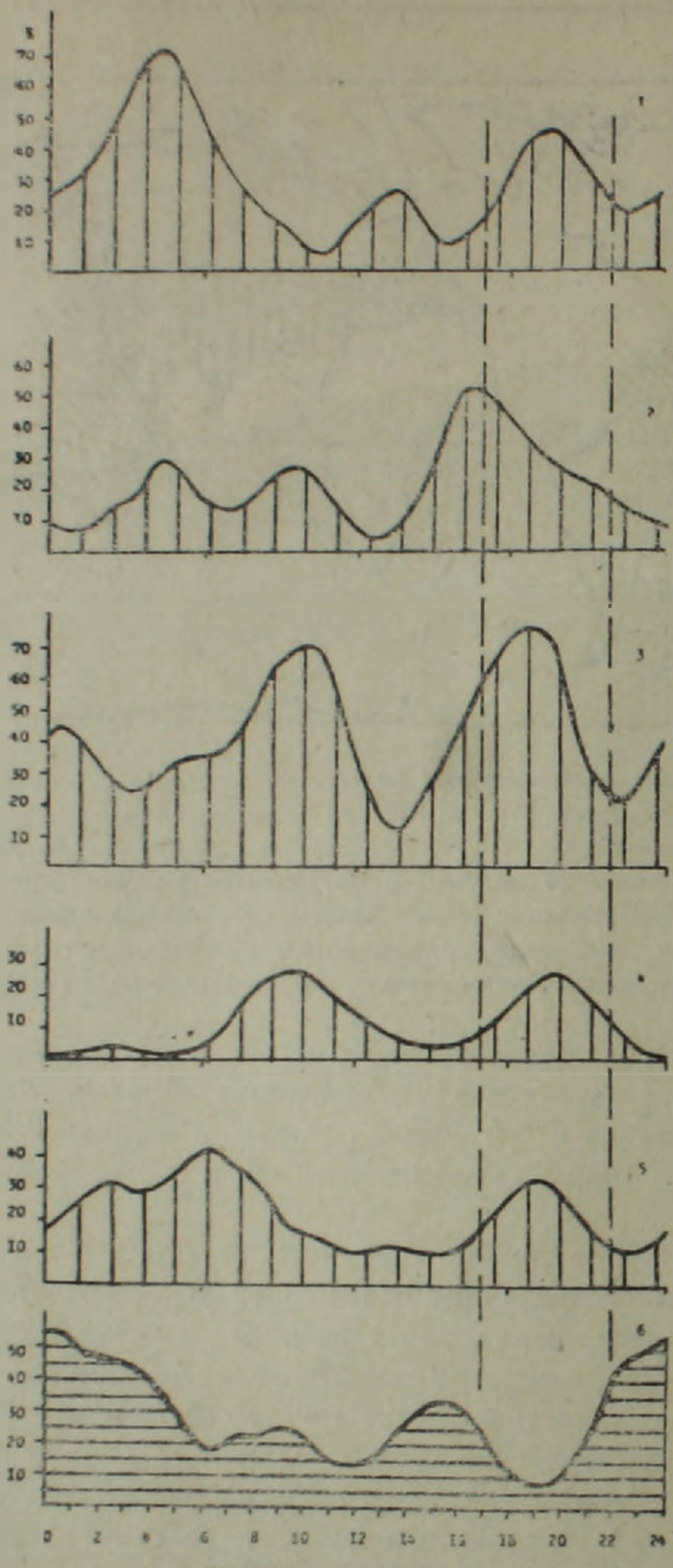

Рис. 3. Внутрисуточное распределение по местному лунному времени сильнейших землетрясений мира (1903—1976 гг., $M \geqslant 7{,}9$; для нормальных землетрясений—1897—1976 гг.). E—энергия землетрясений по дважды скользящим «трехчасовкам» (в 10^{23} *эрг/час*), T—местное лунное время, исчисляемое от момента прохождения Луны через местный меридиан в зените. а—материки и их раздробленные окаймления: 1—Евразия, 2—Южная Америка, 3—Восточно-Азиатское прибортовое окаймление, 4—Центральная Америка, 5—сочленение (стык) Азии и Америки; б—океаническая область: 6—Западно-Тихоокеанская.

лунного времени) выход сейсмической энергии (925×10^{23} *эрг)* в 2,5 раза превышал выход сейсмической энергии в условиях, когда Луна вскоре после этого оказывалась вблизи зенита (22—24 и 0—2 часы местного лунного времени). Этот изумительный результат, касающийся одновременно всех материковых регионов, разбросанных далеко друг от друга на Земле, весьма отчетлив (рис. 4). Никогда в другое время лунных суток не освобождалось сразу столько сейсмотектонической энергии Земли. А ведь это результат, осредненный для всех материковых областей и их бортов. Особенно характерна Южная Америка (рис. 3), где в течение 16—20 часов местного лунного времени (у горизонта) освободилось в 7 раз больше сейсмической энергии, чем вскоре у зенита (22—24—2 часы местного лунного времени), и в 10 раз больше энергии, чем до этого вблизи надира (10—14 часов местного лунного времени).

В отличие от Южной Америки, недра которой как бы быстро пробуждались от пассивного состояния при нахождении Луны у горизонта (при ее восхождении), все другие материковые области и их окаймления выделяли основную сейсмическую энергию не только непосредственно у горизонта, но также и в первые 3—4 часа движения Луны от горизонта (18 ∓ 1 час) к зениту (0 часов). Таким образом при нахождении Луны на первой половине пути между горизонтом и зенитом (17—22 часов местного лунного времени) все материки, без исключения, дружно активизировали выход сейсмической энергии из своих недр (рис. 3). В это же время (17—22 часа) Западно-Тихоокеанская область находилась в состоянии завидного спокойствия, и, как бы вопреки материкам, в ее внутрисуточном режиме этому времени отвечал самый большой минимум выделения сейсмической энергии области (рис. 3).

Это принципиальное отличие материков и их бортов, с одной стороны, и типично океанических районов, с другой, в отношении их реакции на лунные приливы. Когда Луна находится у горизонта в отношении сейсмических очагов скалывающие тангенциальные усилия больше всего оказываются на неустойчивые и, возможно, как иногда говорят, блуждающие материки, тогда как типичные океанические области, не связанные с таким состоянием, почти не реагируют (или слабо реагируют) на эти тангенциальные напряжения, являющиеся типичными для материков.

Но для океанических районов приливные воздействия также сказываются, но уже в принципиально иных условиях. Для материков и их окаймлений приливные усилия Луны оказываются максимум тогда, когда материки находятся у горизонта по отношению к моменту ее кульминации, т. е. в условиях, когда горизонтальные усилия максимальны, а вертикальные минимальны. Для океанической Западно-Тихоокеанской области сейсмичность максимальна при нахождении Луны вблизи зенита, т. е. в условиях минимума горизонтальных и максимума вертикальных усилий и тем самым обратно тому, что отмечается

для материков, более всего предрасположенных к восприятию воздействий горизонтальных усилий. При нахождении Луны в нижней кульминации (надире) сейсмичность океанических районов не возрастает.

В Западно-Тихоокеанской области за 4 часа вблизи времени нахождения Луны в зените (между 22—24 и 2 часами) высвободилось в 3,5 раза больше сейсмической энергии (230×10^{23} *эрг*), чем за 4 часа до этого вблизи одного горизонта или впоследствии вблизи другого горизонта.

Кроме рассмотренного выплеска сейсмической энергии недр материков при нахождении Луны у горизонта и в первые часы после этого при ее видимом движении к западу, имеется и второй максимум выделения сейсмической энергии, который, в отличие от первого максимума, не совсем одновременен для различных материковых областей и их бортов, хотя опять таки в общем приурочиваясь ко времени прохождения Луны вблизи другого горизонта (от зенита к надиру). Этот второй максимум менее энергичен, но зато более длителен, чем первый (рис. 3) и охватывает интервал между 4—10 часами местного лунного

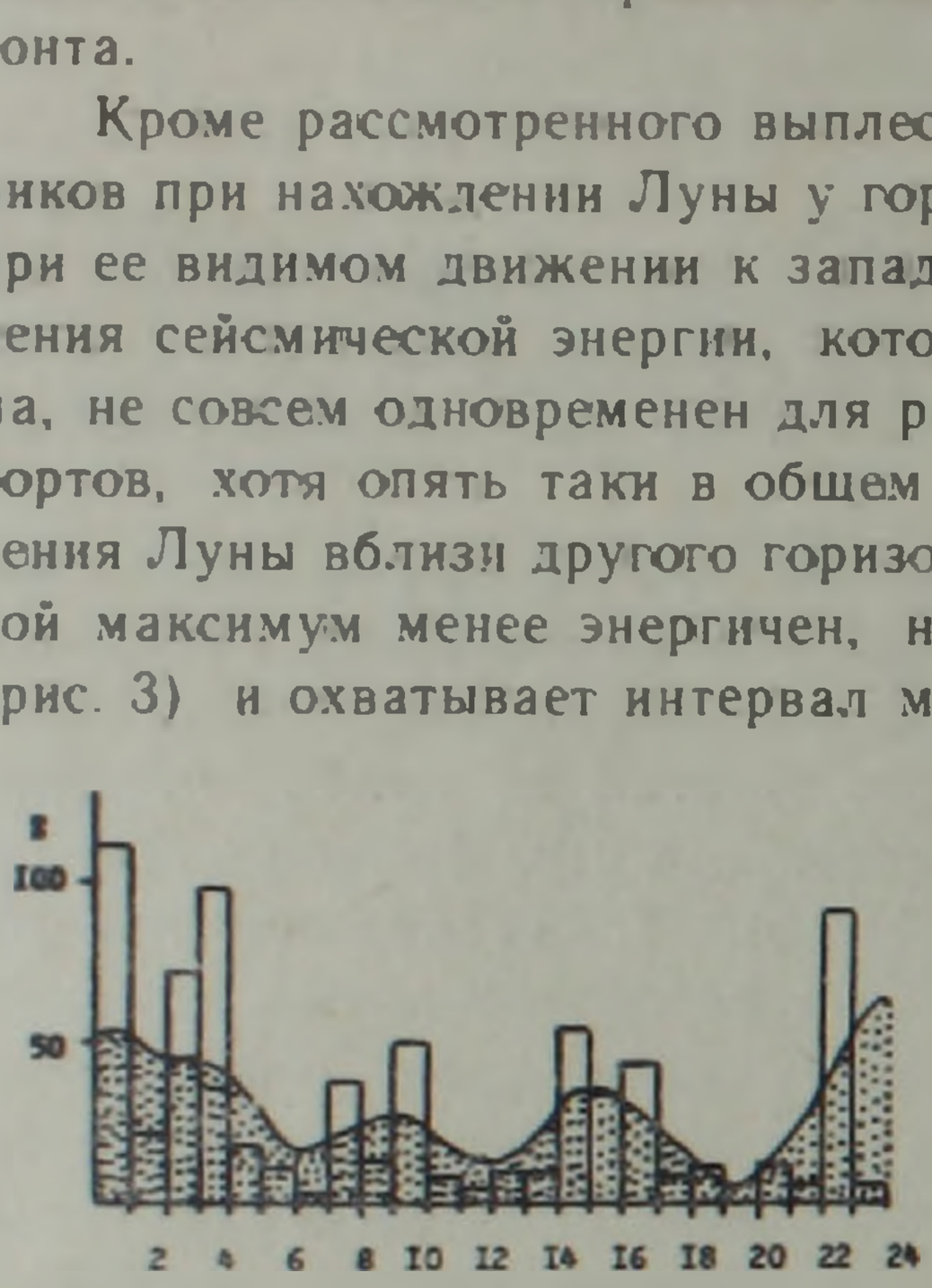

Рис. 4. Внутрисуточное распределение по местному лунному времени энергии сильнейших землетрясений мира (1903—1976 гг., $M \geqslant 7{,}9$; для нормальных землетрясений—1897—1976 гг.). E—энергия землетрясений по дважды скользящим трехчасовкам (в 10^{23} *эрг/час*), T—местное лунное время, исчисляемое от момента прохождения Луны через местный меридиан в зените. Внизу—совместно все материковые области и их прибортовые окаймления (Евразия, Восточно-Азиатское прибортовое окаймление, сочленение Азии и Америки, Южная Америка, Центральная Америка), вверху—типично океаническая Западно-Тихоокеанская область.

времени и по общей выделенной энергии лишь немного (на 1/3) отличается от первого максимума.

Типично океанические районы (Западно-Тихоокеанская область) имеют совершенно противоположный режим сейсмоактивности и у них сейсмоактивность резко возрастает при прохождении Луны через местный меридиан в зените и непосредственно после этого (после 22 и до 4—5 часов местного лунного времени). За эти 6 часов местного лунного времени (между 22 и 4 часами) выделилось 48% всей сейсмической энергии Западно-Тихоокеанской области, тогда как в остальные 18 часов (между 4 и 22 часами) выход сейсмической энергии в единицу времени был в 2,7 раза меньше. Огромные океанические просторы Западно-Тихоокеанской области, не находящиеся в достаточной мере в цепи единых глобальных общепланетарных (в основном горизонтальных) напряжений материков и их глубоких корней, реагировали на лунные приливы только в момент нахождения Луны вблизи зенита и в первые часы после этого.

Внутрисуточное распределение сейсмической энергии по местному солнечному времени (рис. 5), в отличие от распределения по местному лунному времени, не выявляя доминирующей компоненты, оказывается подавленным более сильной (в 2,2 раза) зависимостью сейсмоактивности от лунных приливов. Только лишь Евразия продолжает выявлять те же самые два максимума выделения сейсмической энергии при прохождении Солнца вблизи горизонта, как и при прохождении Луны (эти максимумы приурочены к времени нахождения Солнца у горизонта между 17—21 и 4—10 часами местного солнечного времени). Однако для других областей нет однозначной картины. Солнечные приливы, вследствие своей меньшей величины, по сравнению с лунными, имеют второстепенное значение. Но их роль все же заметна[1].

Солнечные приливы ослабляют лунные приливы, когда находятся в противофазе с ними. В противном случае они усиливают приливные воздействия. Рассмотрим вначале изменение глобальной сейсмоактивности Земли в условиях, когда оба светила (Луна и Солнце) находятся вблизи кульминации над очагами землетрясений. Проанализируем изменение сейсмоактивности Земли при условии, что моменты кульминации Луны и Солнца над очагами землетрясений отличаются друг от друга менее чем на 1 *час* 36 *мин.* (это отвечает изменению лунных фаз в течение двух дней). Примем, таким образом, солнечное местное время (t) почти постоянным ($t = 0 \mp 1$ *час* 36 *мин.* и $t = 12 \mp 1$ *час* 36 *мин*). В этом случае распределение сейсмической энергии материков и их бортов по часам местного лунного времени выявляет ту же картину усиления сейсмоактивности при прохождении Луны вблизи горизонта, что и в случае, когда не учитывается местное солнечное вре-

---

[1] Солнце, кроме приливного воздействия, возможно, оказывает еще какое-то пока не ясное влияние, компенсирующее слабость его приливного воздействия.

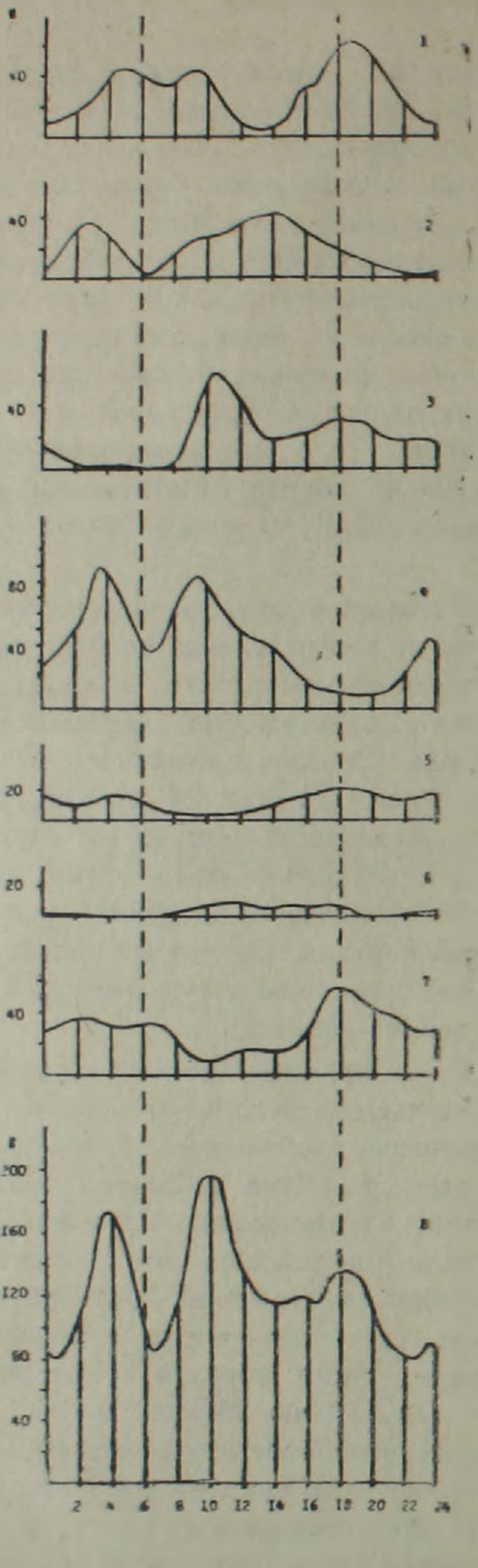

Рис. 5. Внутрисуточное распределение по местному солнечному времени энергии сильнейших землетрясений мира (1903—1976 гг., $M \geqslant 7{,}9$; для нормальных землетрясений—1897—1976 гг.). E—энергия землетрясений по дважды скользящим трехчасовкам (в 10^{23} *эрг/час*), T—местное солнечное время, исчисляемое от момента прохождения Солнца через местный меридиан в надире. Материковые области и их краевые окаймления: 1—Евразия, 2—сочленение (стык) Азии и Америки, 3—Южная Америка, 4—Восточно-Азиатское прибортовое окаймление, 5—Центральная Америка; океанические области: 6—отдельные очаги вне выделенных областей, 7—Западно-Тихоокеанская, 8—все материковые области и их бортовые окаймления.

мя. Однако учет определенного солнечного времени усиливает связь сейсмоактивности с приливными силами (рис. 6).

В интервале 18 ∓ 2 часа местного лунного времени, по сравнению с интервалами 12 ∓ 2 часа и 24 ∓ 2 часа тех же лунных суток, материки

и их раздробленные борта освобождают сейсмическую энергию больше в 2,1—2,6 раза в случае не учета местного солнечного времени и в 4,5—12 раз в условиях вышеотмеченного узко ограниченного и постоянного интервала местного солнечного времени ($t=0\mp 1^h\ 36'$ и $t=12\mp 1^h\ 36'$). Таким образом, эффект влияния приливных усилий Луны на сейсмотектоническую активность материков и их бортов резко (в 4—12 раз) увеличивается при нахождении у горизонта Луны и одновременно Солнца. Без учета солнечных приливов этот эффект больше всего лишь в 2—2,6 раза.

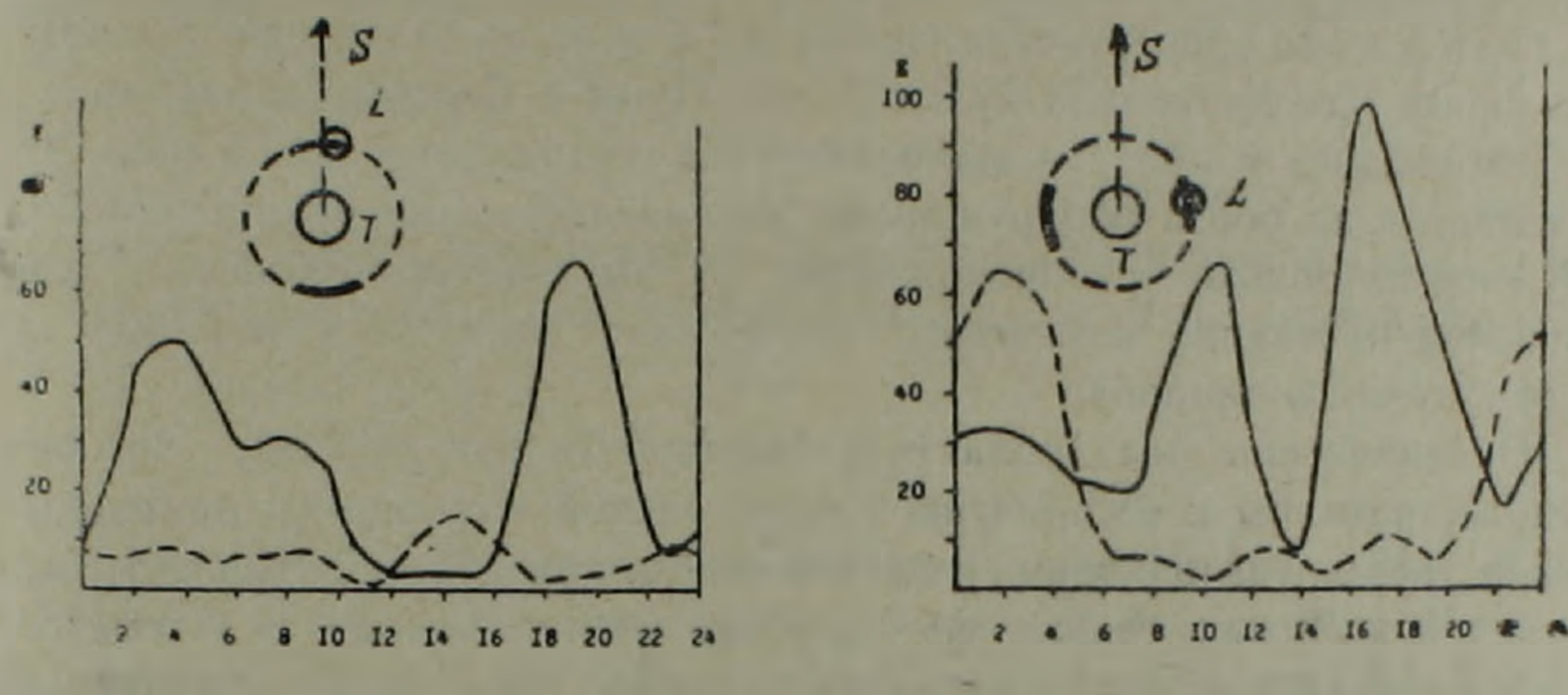

Рис. 6. Изменение сейсмоактивности Земли по местному лунному времени, но при фиксированных положениях Солнца. Слева—Луна и Солнце находятся в кульминации в близкое время (разница во времени менее 1 *час* 36 *мин.*); это отвечает интервалам синодического месяца: 12 дней 19 часов—16 дней 19 часов и 27 дней 13 часов—2 дня. Справа—Луна и Солнце находятся в кульминации при максимальном удалении во времени друг от друга (очаговые области землетрясений находятся в интервале $0\mp$ *час* 36 *мин* от момента прохождения Солнца через горизонт); это отвечает интервалам синодического месяца: 5 дней 10 часов—9 дней 10 часов и 20 дней 5 часов—24 дня 5 часов. По вертикали отложен выход сейсмической энергии в 10^{23} *эрг/час* по дважды скользящим трехчасовкам, по горизонтали отложено местное приведенное время (в часах). Утолщенные линии—энергия материков и их бортов, пунктир—океаническая (Западно-Тихоокеанская) область. На врезке показаны положения Земли, Луны и Солнца (возможное положение Луны показано сплошной линией).

Нахождение Луны у другого горизонта по отношению к очагам землетрясений также усиливает сейсмоактивность материков, в особенности при нахождении у горизонта одновременно и Солнца. Так, в интервале 4—10 часов местного лунного времени, по сравнению с 10—16 часами этих же лунных суток, сейсмоактивность материков и их бортов возрастает в 2,3 раза при не учете положения Солнца и в 10 раз в случае нахождения вблизи горизонта не только Луны, но и Солнца.

Типично океаническая Западно-Тихоокеанская сейсмическая область не подчинена этим особенностям и в ее внутрисуточном режиме сейсмоактивности выявляются особенности, обратные тем, что наблюдаются у материков и их бортов.

Если Луна и Солнце находятся в кульминации не одновременно, а после четвертьоборота Земли, то недра последней находятся почти все

время под влиянием горизонтальных напряжений то лунного, то солнечного генезиса (что существенно для освобождения сейсмической энергии материков и их бортов) и того же генезиса вертикальных усилий (существенных для сейсмоактивности океанических районов). Недра Земли в это время расшатываются почти непрерывно, хотя амплитуда приливов меньше, чем в условиях одновременной кульминации обоих светил (Луны, Солнца). Рассмотрим условия, при которых Солнце находится для очаговой области не в кульминации, а вблизи горизонта (в интервале от нуля до $+1\,h\ 36'$ от момента его прохождения через горизонт). Выход всей сейсмической энергии материков и их бортов в это время увеличивается в 1,5 раза по сравнению с условиями почти одновременной кульминации Луны и Солнца, а для Западно-Тихоокеанской области это увеличение составляет уже 2,5 раза. Но материки и их борта обнаруживают увеличение выделения сейсмической энергии только при прохождении Луны у одного горизонта (при движении от надира к зениту), где оно за 4 часа составило 45% от всего суточного рациона.

Океанические же области (Западно-Тихоокеанская), которые предрасположены к восприятию вертикальной компоненты приливных усилий, резко увеличивают свою сейсмотектоническую активность при нахождении Луны в зените (в это время Солнце находится у горизонта). В интервале от 2 до 4 часов после зенита (за 6 часов) выделилось 74% всего суточного рациона сейсмической энергии и это в единицу времени в 8,5 раза больше, чем в остальную часть лунных суток. Более того, за 4 часа вблизи времени нахождения Луны у зенита (0 ∓ 2 часа) в Западно-Тихоокеанской области высвободилось сейсмической энергии в 6—25 раз больше, чем в другие интервалы времени продолжительностью в 4 часа.

В целом солнечно-лунные приливы регулировали внутрисуточный выход сейсмической энергии Земли. При этом материковые области и их раздробленные бортовые окаймления освобождали глобальную сейсмическую энергию больше всего при нахождении Луны у горизонта и в первые часы после этого при ее движении к зениту или надиру. В противоположные интервалы времени лунных суток (вблизи зенита и надира и в первые часы последующего движения Луны) сейсмоактивность материков и их бортов была наименьшей. Типично океанические районы имели противоположный режим внутрисуточного высвобождения сейсмической энергии. Принципиальное отличие во внутрисуточном сейсмическом режиме материковых областей и их бортов и типично океанических районов связано с различными условиями проявления горизонтальной и вертикальной компоненты приливных сил. Тангенциальная компонента приливных усилий более всего сказывается в условиях, когда приливообразующее тело (Луна) находится у горизонта в отношении сейсмических очагов и так как наиболее подвижными геоморфолого-структурными элементами лика Земли являются материки, то именно они и их раздробленные борта проявляют тесную

связь высвобождения энергии своих недр с приливными воздействиями при этих обстоятельствах. Вертикальная же компонента приливных сил наиболее значительна при нахождении светила вблизи зенита и ей больше всего подвержены типично океанические районы, наиболее стабильные или наименее подвижные из крупных структурных единиц земной поверхности.

Вышеприведенные результаты получены впервые и они позволяют распознать еще одну из движущих сил развития Земли в тесном взаимодействии в окружающем космосе.

Армянское геологическое общество Поступила 11.VII.1977.

Գ. Պ. ԹԱՐԿԱՋՅԱՆ

ԼՈՒՍՆԱՅԻՆ ՄԱԿՐՆԹԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԵՐԿՐԱԳՆԴԻ ՍԵՅՍՄՈՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԳԼԽԱՎՈՐ ԿԱՐԳԱՎՈՐԻՉ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Լուսնային մակրնթացությունները կարգավորում են երկրագնդի սեյսմոտեկտոնիկ էներգիայի ելքը։ Վերջինս տարբեր է մայրցամաքային և բուն օվկիանոսային մարզերի համար։ Շարժունակ մայրցամաքներն ու նրանց եզրերը առավել մեծ քանակությամբ սեյսմիկ էներգիա են ձերբազատել մակրնթացային ուժերի տանգենցիալ բաղադրիչի առավելագույն մեծության ժամանակ, որը տեղի է ունենում սեյսմիկ օջախների նկատմամբ լուսնի հորիզոնին մոտ տեսանելի շարժման ժամանակ։ Իսկ ամենակայուն, բուն օվկիանոսային մարզերը ամենամեծ քանակությամբ էներգիա են ձերբազատել մակրնթացային ուժերի ուղղաձիգ բաղադրիչի առավելագույն արժեքի պայմաններում, երբ լուսատուն գտնվել է գագաթնակետում։