

УДК 550.34(100)

Г. П. ТАМРАЗЯН

## ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ПРОГНОЗ ЛУНОТЯСЕНИЙ

Закономерности лунотрясений, как оказалось, имеют космическую природу, будучи связаны с приливообразующими и другими космическими воздействиями. Еще до изучения лунотрясений не одно поколение исследователей пыталось выявить аналогичные закономерности в отношении землетрясений, но это обычно сталкивалось с чрезвычайно большими трудностями, что связано с значительной тектонической активностью Земли, подавляющей и маскирующей влияние космических воздействий на землетрясения. Поэтому прежде, чем рассматривать лунотрясения, представляется полезным вначале кратко упомянуть о некоторых этапах в изучении влияния космических воздействий на землетрясения.

## 1. Предыстория изучения лунотрясений

Уже давно отмечалось, что на землетрясениях нередко оказывается воздействие гравитационных полей ближайших небесных тел, что лунно-солнечные приливы могут играть роль спусковых механизмов в высвобождении сейсмической энергии Земли. Эти представления широко были развиты, в частности, автором этих строк и результаты были опубликованы в 1955—1974 гг. как в СССР, так и за рубежом. Были выявлены закономерные особенности в выделении сейсмической энергии недр Земли: полумесячные, месячные, полугодовые и другие циклы усиления сейсмической активности недр.

Необходимо подчеркнуть, что если раньше влияние приливообразующих сил усматривалось в изменении частоты землетрясений обычно только на 5—15%, то автором этих строк впервые в мировой науке была разработана подробная теория этого вопроса и показано, что «частота землетрясений в связи с приливообразующими силами изменяется именно в пределах многих десятков и сотен процентов и в этом одно из того нового, что внесено в последнее десятилетие в воззрение о связи землетрясений с космическими воздействиями. Это показано в отношении нормальных, промежуточных и глубокофокусных землетрясений за длительный период наблюдений по материалам многих регионов мира» [5]. В этой же работе отмечен ряд закономерных особенностей в высвобождении сейсмической энергии в зависимости от приливообразующих усилий. Так, например, было указано «на усиление частоты землетрясений в зонах перигейного и апогейного отрезков лунной орбиты, причем роль перигея по сравнению с апогеем более значительна» [5].

Теоретический анализ действия приливообразующих сил на усиление сейсмической активности и возникновение наибольшего количества землетрясений в зависимости от упругих приливов привел нас еще в 1956 г. к выводу о том, что должны отмечаться и отмечаются «двухнедельные, месячные и почти полугодовые (около 7 месяцев) максимумы приливообразующих сил (ускорений), которым будет отвечать усиление сейсмической активности недр» [2]. Эти результаты были получены для тектонически активной Земли, для которой движущие силы механизма землетрясений весьма трудно поддаются конкретному познанию, будучи связаны с чрезвычайно сложными и разнохарактерными факторами саморазвития планеты. В связи с этим в 1966 г. нами указывалось: «На большом фактическом материале (как по макросейсмическим, так и по инструментальным данным) выявляется безусловная и резко выраженная связь частоты землетрясений с вариациями приливообразующих усилий. Однако эта связь сложная и многообразная» [5].

Упомянутые выше особенности и закономерности в периодичности приливообразующих воздействий как бы подготовили теоретическую основу для выявления периодичности лунотрясений, связанной с теми же однородными факторами, главным образом гравитационного генезиса.

## 2. Первые представления о лунотрясениях

На основе теоретических исследований по выявлению закономерного воздействия приливообразующих сил основных для нас небесных тел (Земля, Луна, Солнце) на сейсмичность их (Земли, Луны) автор этих строк еще в 1966 г. в Международном журнале по Солнечной системе (США) обосновал теоретическое представление о лунотрясениях, связанных с приливообразующими силами, подчеркнув, что эти лунотрясения в еще большей степени, чем землетрясения, связаны с приливообразующей периодичностью. Тогда было отмечено: «Возможно происходящие сейсмические толчки на Луне (лунотрясения), вероятно, также связаны, причем в еще большей мере, с приливообразующими силами, в особенности с теми, которые обусловлены воздействием Земли» [5].

Нами подчеркивалось особенно большое значение поля тяготения Земли для лунотрясений, потому что приливообразующая сила Солнца в 177 раз меньше приливообразующей силы Земли на расстоянии Луны. И поэтому основным приливообразующим телом для Луны является Земля. Для сравнения отметим, что приливообразующая сила Солнца лишь только в 2,2 раза меньше приливообразующей силы Луны на расстоянии Земли и поэтому для сейсмичности Земли влияние Луны и Солнца представляет величины одного порядка (лишь только в 2,2 раза одно тело влияет больше другого).

Итак, закономерности периодического усиления лунотрясений должны сводиться к закономерному влиянию Земли и Солнца. Теоретически выведенные закономерности сейсмической активности в связи с при-

ливообразующими силами (явлениями), примененные вначале к Земле, впоследствии были перенесены на сейсмическую активность Луны (при подчеркивании доминирующей роли Земли), что подтверждается американскими лунными сейсмическими экспедициями.

В следующем разделе рассмотрены подробно основные закономерности лунотрясений. Пока же необходимо отметить, что лунотрясения начали изучать только после посадки американских астронавтов на Луну и установки там сейсмических станций экипажами космических кораблей «Аполлон»—12, 14, 15, 16. Даты установки этих сейсмических станций: 19 ноября 1969 г., 5 февраля 1971 г., 31 июля 1971 г. и 21 апреля 1972 г.<sup>1</sup>

Американские результаты по изучению сейсмичности Луны являются более всего техническими достижениями, полностью и блестяще подтвердившими ранее обоснованную советской наукой теорию о глобальной сейсмичности небесных тел (Земли, Луны, Марса) в связи с космическими воздействиями.

### 3. Периодичность лунотрясений

На Луне выявлены лунотрясения четырех категорий: многочисленные глубокофокусные лунотрясения, слабые лунотрясения терминальной природы, коррелируемые с восходом и заходом Солнца (т. е. связанные с температурным циклом лунной поверхности), редкие высокочастотные сигналы, связанные с поверхностными лунотрясениями, и сигналы, связанные с падением метеоритов [1, 4]. Из всех этих лунотрясений основными считаются многочисленные глубокофокусные толчки, зарегистрированное число коих превышает несколько тысяч.

Выявлены три периодичности лунотрясений (месячная, 206-дневная и полумесячная), имеющие приливную природу.

Уже в первый год наблюдений выявилась приуроченность 80% всех толчков во времени к моменту перигея. Около 85% сейсмической энергии Луны освобождается в интервале от 4 дней до и 3 дня после перигея. Это хорошо видно на рис. 1. Лунотрясения подчиняются строгой периодичности, приурочиваясь к перигейным интервалам (ко времени прохождения Луной перигея своей орбиты). Месячный интервал, длительностью немногим больше 27 дней,—это главная и наиболее четкая закономерность значительных глубокофокусных лунотрясений приливного генезиса.

Вторая закономерность лунотрясений—это систематическое увеличение и убывание интервалов времени между лунотрясениями и последующим прохождением Луной перигея своей орбиты (рис. 1, середина).

<sup>1</sup> Сейсмическая станция «Аполлон-11», установленная 21 июля 1969 г. при первом прилете человека на Луну и питавшаяся от солнечных батарей, могла работать только в течение лунного дня и перестала действовать после первого же ночного времени; поэтому она обычно не принимается в расчет при изучении лунотрясений.

Эта особенность связана, главным образом, с неравномерностью движения линии апоид, вследствие чего продолжительность аномалистического месяца колеблется весьма значительно (между 25 и 29 днями).

На рис. 1 (внизу) показано изменение интервала времени между моментом апогея и последующего перигея. Как видно из рисунка, с этим изменением интервала времени между апогеем и перигеем хорошо и однозначно коррелируется интервал времени между перигеем и временем лунотрясений (рис. 1, середина). Говоря проще, с увеличением продолжительности аномалистического месяца увеличивается интервал времени между лунотрясениями и последующим прохождением Луны через перигей; одновременно увеличивается и количество лунотрясений. Поскольку лунотрясения имеют месячную периодичность и свя-

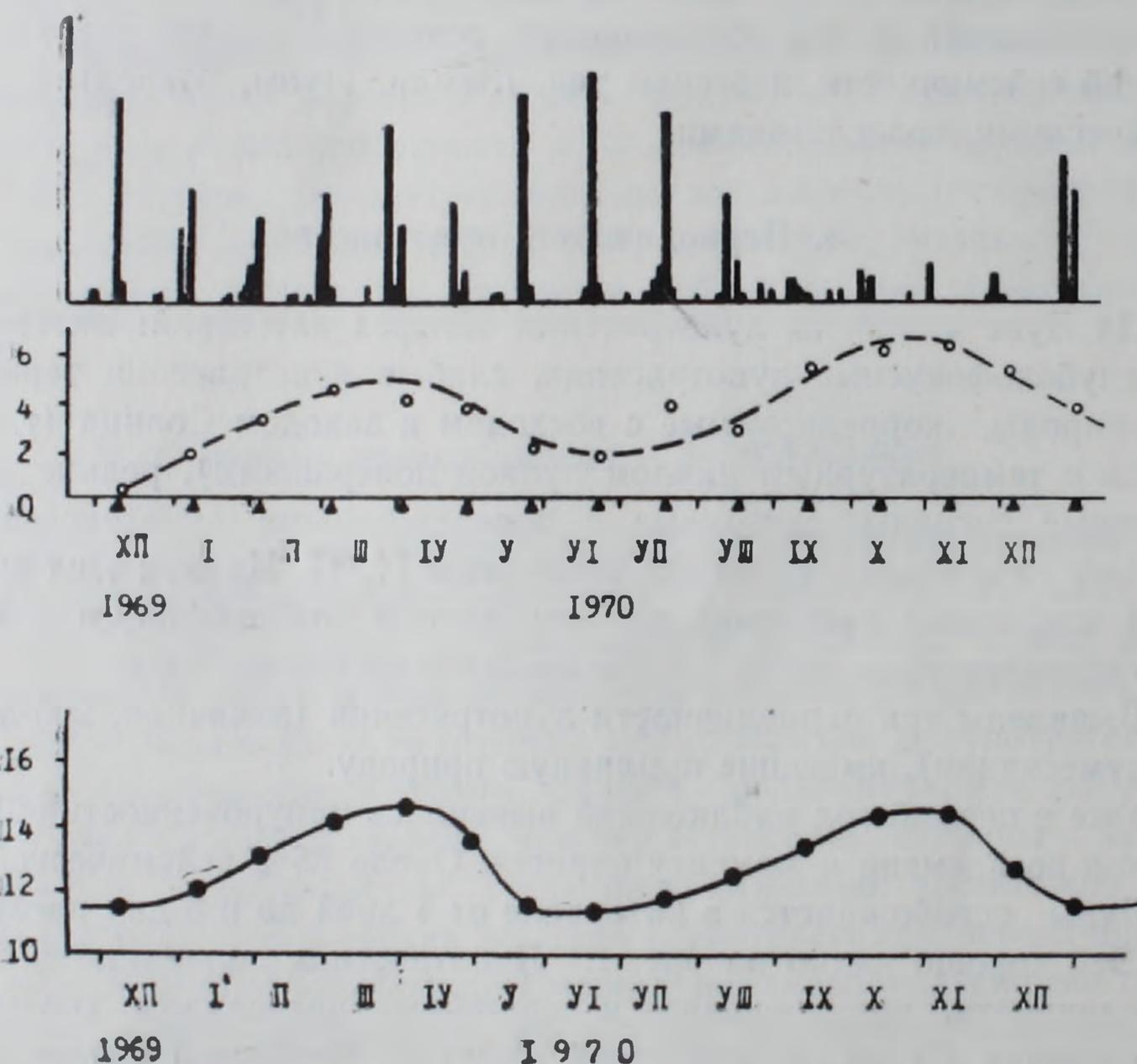


Рис. 1. Периодичность лунотрясений и некоторые астрономические данные. Вверху—выделение относительной сейсмической энергии во времени, отмеченное на станции «Аполлон-12» по двухдневным интервалам (в течение декабря 1969 г.—декабря 1970 г.), в середине—интервал времени между моментом перигея и моментом происшедших до этого лунотрясений, наблюдавшихся каждый месяц (время каждого перигея показано треугольником), по [4]. Внизу— число дней после апогея и до следующего перигея.

заны с вариациями гравитационного поля вблизи Луны, то за начало отсчета времени накопления напряжений в недрах лучше принять время апогея, когда приливы наименьшие. Тогда оказывается, что лунотрясения происходят через 11—11,5 дней после прохождения Луны через апогей. Оставшийся после этих 11—11,5 дней интервал времени

как раз очерчивается кривыми на рис. 1. Верхние отрезки ординат этих кривых (выше ординаты, отвечающей 11—11,5 дням) указывают на количество дней пути Луны после лунотрясений и до перигея.

Таким образом, недра Луны (недра каждой сейсмической области) в течение длительного времени выработали закономерный ритм накопления напряжений, которые реализуются в лунотрясениях, причем эта реализация происходит при усилении приливов по мере приближения к перигею.

Солнце, являясь слабым приливообразующим телом (по сравнению с Землей), в то же время вызывает возмущения лунной орбиты, влияя на положение линии апсид и на ее эксцентриситет. Это влияние Солнца имеет период почти семь месяцев (206 дней) и отвечает времени совпадения линии сизигий и линии апсид. При таком совпадении перигей лунной орбиты находится особенно близко к Земле, вследствие чего приливное влияние последней на Луну возрастает. Это четко видно на рис. 2, где показано изменение видимого радиуса Луны (что соответствует изменению расстояния от Луны до Земли). Поскольку в перигее приливообразующая сила при экстремальных значениях почти в 1,5 раза (на 48,5%) больше, чем в апогее, то 206-дневная периодичность также отражается в лунотрясениях, хотя последние больше следуют продолжительности интервала времени между моментом апогея и последующего перигея; все они одного генезиса и одной продолжительности.

Важное значение в усилении лунотрясений имеют динамические особенности в движении Луны в своей орбите. Движение Луны ускоряется за промежуток времени между первой четвертью и полнолунием и между последней четвертью и новолунием. В сизигиях наблюдается постепенное накопление увеличения скорости, которое на последующих участках орбиты Луны уменьшается. Лунотрясения должны усиливаться и усиливаются при увеличении скорости движения Луны в орбите между первой четвертью лунных фаз и полнолунием и, далее, между последней четвертью лунных фаз и новолунием. Это обуславливает полумесячную периодичность, размазанную на фоне главной месячной периодичности, обуславливаемой положением перигея лунной орбиты.

Поскольку приливы в Луне, вызываемые Солнцем, по сравнению с приливами, вызываемыми Землей, весьма незначительны, то лунные фазы почти не имеют непосредственного значения для лунотрясений. Однако ускорение движения Луны на участках ее орбиты между зонами квадратур и зонами сизигий (от первой четверти лунных фаз до полнолуния и от последней четверти до новолуния) имеет важное значение в освобождении сейсмической энергии Луны.

Если с эпохами этих ускорений совпадает еще и время прохождения Луной перигейного интервала своей орбиты, то лунотрясения особенно значительны (по числу и интенсивности).

Таким образом, если перигей лунной орбиты находится в какой-либо одной из двух зон между четвертями лунных фаз и сизигиями, то лу-

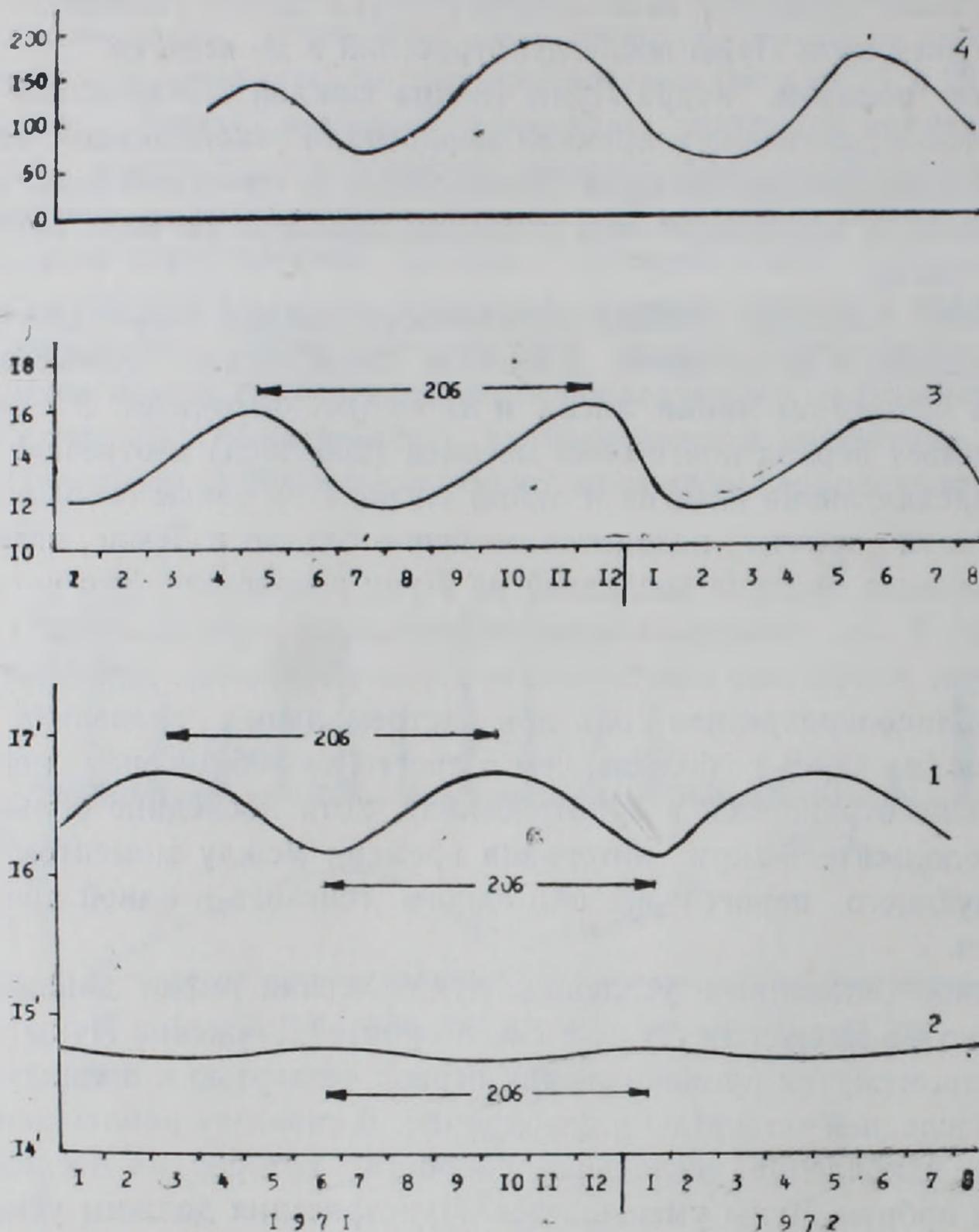


Рис 2. Видимый радиус Луны в перигее (1) и апогее (2) в угловых минутах, число дней между временем апогея и последующего перигея (3) и число лунотрясений (в месяц), зарегистрированных станцией «Аполлон-14» (кривая 4). Четко выделяется почти семимесячная периодичность (206-дневная периодичность).

лунотрясения возрастают. Примерно через полумесячный аномалистический интервал (через 12—16 дней) Луна оказывается в другой зоне между четвертями лунных фаз и другим сизигием, где движение Луны вновь ускоряется и соответственно усиливаются лунотрясения и где Луна оказывается уже в апогейной части своей орбиты. Однако здесь апогей лунной орбиты сам по себе не имеет какого либо положительного значения, а значение имеет только увеличение скорости движения Луны в своей орбите от квадратурного положения (от первой и последней четвертей лунных фаз) к сизигийному (полнолуние, новолуние).

Остановимся еще на вопросе о глубине очагов приливных лунотрясений. После установки третьей станции «Аполлон-15» 31 июля 1971 г. были определены глубины очагов лунотрясений. Все приливные лунотрясения имеют очаги на глубине 600—800 км.

В 1966 г., еще за 5 лет до появления возможности определить на основе данных лунных сейсмических станций (1971 г.) глубины очагов лунотрясений, впервые, на основе теоретических данных, автор этих строк пришел к выводу о том, что на Луне «наиболее существенными сейсмическими разделами (зонами) являются нижняя часть лунной коры и низы лунной оболочки» [6]. В той же работе отмечено, что очаги глубокофокусных лунотрясений располагаются на глубинах 500—850 км. «Во всяком случае,—отмечалось нами,— глубины 500—850 км—

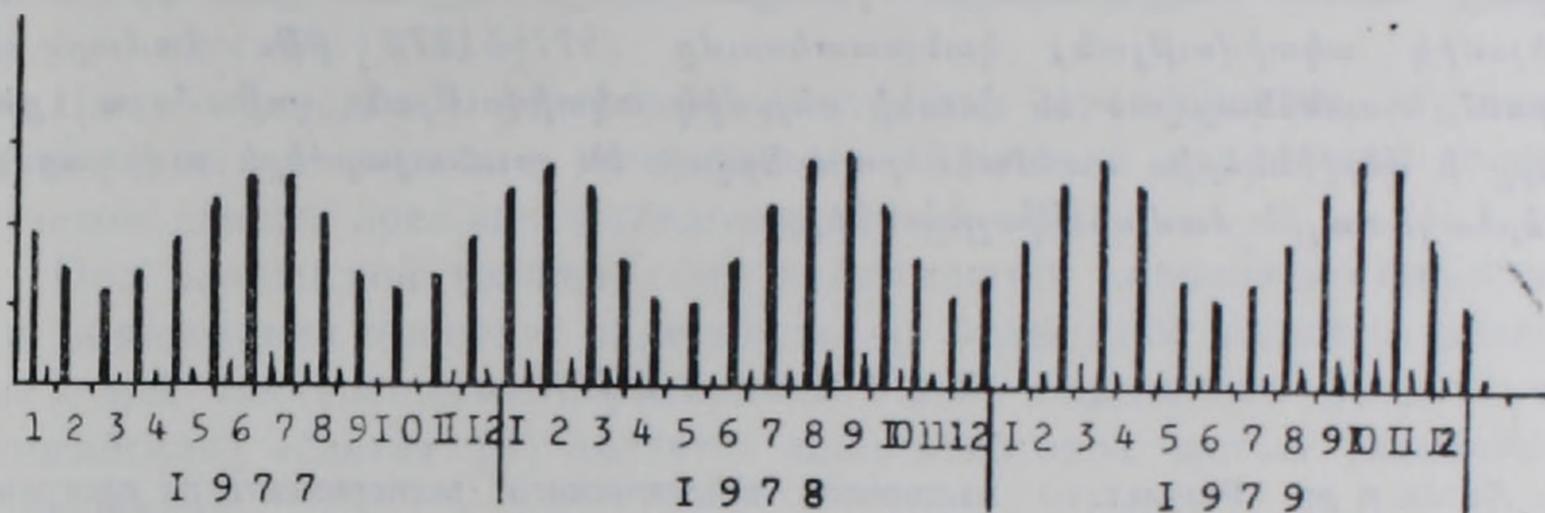


Рис. 3. Прогноз сейсмической активности Луны на 1977—1979 гг. Выделяются 206-дневные циклы лунотрясений, очерчиваемые высокими утолщенными линиями. Месячные циклы лунотрясений (перигейные эпохи) показаны отдельными утолщенными линиями. Возможные толчки, приходящиеся на полумесячные апогейные эпохи, показаны вертикальными мелкими штрихами.

это один из возможных существенных сейсмических разделов (зон) Луны» [6]. Как ни парадоксально, именно на этих глубинах (600—800 км) оказались очаги глубокофокусных лунотрясений, выявленных сейсмическими экспериментами Аполло [1, 4].

#### 4. Прогноз лунотрясений

Вышеприведенные соотношения позволяют, на основе учета астрономических данных, наметить прогнозную кривую усиления и ослабления сейсмичности Луны на длительный период (на многие годы). На рис. 3 приведен прогноз лунотрясений в течение 1977—1979 гг. Выявляются почти семимесячные (206-дневные) циклы усиления сейсмической активности Луны и внутри них указаны перигейные эпохи увеличения лунотрясений, а также эпохи увеличения лунотрясений при перемещении Луны из квадратурных фаз к ее сизигийным фазам.

Գ. Պ. ԹԱՄՐԱԶՅԱՆ

## ԼՈՒՍՆԱՇԱՐԺԵՐԻ ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԿԱՆԵԱՏԵՍՈՒՄԸ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Լուսնային սեյսմիկ փորձարկման տվյալների վերլուծությունը բացահայտել է երեք պարբերականություն (ամսական, 206-օրյա և կեսամսյա), որոնք ունեն մակրնթացային բնույթ: Բերված է լուսնաշարժերի (լուսնի սեյսմիկ ակտիվության) կանխատեսումը 1977—1979 թթ. համար. ընդ որում, առանձնացված են լուսնի սեյսմիկ ակտիվության յոթամսյա ցիկլերը և վերջիններիս սահմաններում նշված են լուսնաշարժերի ուժեղացման մերձակետային ժամանակաշրջանները:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Латем и др. Результаты пассивного сейсмического эксперимента по программе «Аполлон». Сб. «Космохимия Луны и планет». «Наука», 1975.
2. Тамразян Г. П. О сейсмической активности северо-западного обрамления Тихого океана. Известия АН СССР, сер. геофиз., № 5, 1958.
3. Тамразян Г. П. Промежуточные и глубокофокусные землетрясения в связи с космическими условиями Земли. Известия АН СССР, сер. геофиз., № 4, 1959.
4. Lathan et al. Moonquakes. Science, vol. 174, № 4010, 1971, p. 687—692.
5. Tamrazyan G. P. Tide-forming forces and earthquakes. International Journal of the Solar System (U. S. A.). Vol. 7, № 1, 1967, p. 59—65.
6. Tamrazyan G. P. Some sketches on the structure of the Earth, Moon and Mars. Journal of the International Lunar Society (England). Vol. 3, № 4, 1967, p. 72—84.