

А. Д. СЫТИНСКИЙ

О ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ

(Представлено академиком М. А. Садовским 10 V 1972)

Проблема прогноза землетрясений еще далеко не решена. Нам представляется, что ее решение может быть получено при комплексном исследовании различных геофизических явлений, в том числе атмосферных, и явлений, связанных с солнечной активностью.

В настоящей работе приводятся данные, доказывающие связь сейсмичности Земли с солнечной активностью. Ранее на такую связь нами указывалось в работах ⁽¹⁻³⁾.

В настоящее время накоплено достаточно инструментальных наблюдений, позволяющих установить, во-первых, связь общей сейсмичности Земли с 11-летним солнечным циклом и, во-вторых, связь времени возникновения отдельных сильных землетрясений с активными областями (или моментами) на Солнце и тем самым доказать зависимость сейсмических явлений Земли от солнечной активности.

1. Для доказательства первого положения исследовалась зависимость общей сейсмичности Земли, выраженной через годовые значения энергии всех землетрясений E — величины, имеющей определенный физический смысл, и числа катастрофических землетрясений N от фазы 11-летнего солнечного цикла. Значения E и N за период 1904—1952 гг. определены на основании инструментальных данных Гутенбергом и Рихтером ⁽⁴⁾. Дальнейшие определения значений E и N (до 1969 г.) проделаны автором на основании данных различных сейсмологических бюллетеней. При этом вычисление E , для увеличения длительности и сохранения однородности ряда, производилось, как и в работе ⁽⁴⁾, по формуле

$$\log E = 12 + 1,8 M.$$

В качестве индекса солнечной активности использовались числа Вольфа W . Однако эти ряды — солнечный и сейсмический — не являются чисто периодическими функциями; 11-летний солнечный цикл — средний период. В действительности наблюдались циклы длительностью 7, 8, 9, 10 и даже 14 лет. В сейсмичности Земли вообще не было установлено какой-либо периодичности. Поэтому для отыскания связи сейсмичности Земли с 11-летним солнечным циклом вычислялось распределение средних $\bar{E}$ и $\bar{N}$ в этом цикле. При этом, поскольку границы промежутка осреднения не могут быть строго определены, совмещение этих промежутков производилось путем совмещения годов максимумов (на рис. 1 0-годы) солнечной активности, определенных по числам Вольфа (такими нулевыми годами являются 1905, 1917, 1928, 1937, 1947, 1957, 1968); т. е. при осреднении использовался метод наложения эпох, который широко используется в солнечно-земной физике, поскольку полученное при этом распределение помимо искомого доказательства может иметь прогностическое значение.

Полученные указанным способом среднегодовые значения $\bar{E}$ и $\bar{N}$ в 11-летнем солнечном цикле (циклические кривые) приведены на рис. 1; для кривой $\bar{E}$ указаны значения среднеквадратичных ошибок.

Применяя критерий согласия χ^2 при сравнении полученных распределений N с равномерным (последнее можно было ожидать при отсутствии

связи сейсмичности Земли с 11-летним солнечным циклом), находим при 11 степенях свободы: $\chi_1^2 = 23,4$ ($P_1 \leq 0,02$); $\chi_2^2 = 25,0$ ($P \leq 0,01$); $\chi_3^2 = 19,9$ ($P \leq 0,05$). Следовательно, с уровнем значимости более 0,995 можно утверждать, что полученные распределения N не случайно связаны с 11-летним солнечным циклом.

Таким образом, приведенные результаты показывают зависимость общей сейсмичности Земли от фазы 11-летнего солнечного цикла. При этом наиболее высокая сейсмическая активность имеет место в эпоху максимума и эпоху минимума указанного цикла.

Наличие высокой сейсмичности в эпоху минимума 11-летнего солнечного цикла (+ 6-й год) не является неожиданным, поскольку аналогичный ход циклических кривых имеет место и для некоторых других

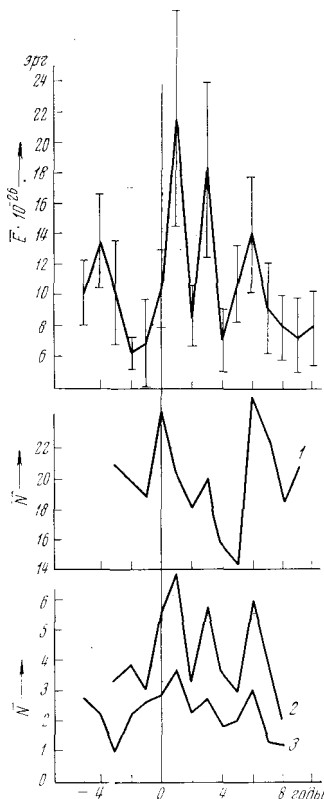


Рис. 1

Рис. 1. Средние циклические кривые годовых значений энергии землетрясений $\bar{E}$ и годовых чисел землетрясений $\bar{N}$: $\bar{N}_1 - M \geq 7,0$; $\bar{N}_2 - M \geq 7,5$; $\bar{N}_3 - M \geq 7,75$

Рис. 2. Распределение числа n случаев прохождений ц.с.м. активными областями и средних площадей S пятен в области ц.с.м. относительно дат землетрясений с $M \geq 6,5$ (0-дни). n_1 — для эпохи максимума солнечной активности ($N = 289$, 1957 — 1961, 1967 гг.), n_2 — для эпохи минимума солнечной активности ($N = 143$, 1953, 1963 — 1965 гг.). $S - N = 46$, 1961 г., $S_2 - N = 35$, 1962 г., $S_3 - N = 30$, 1966 г.

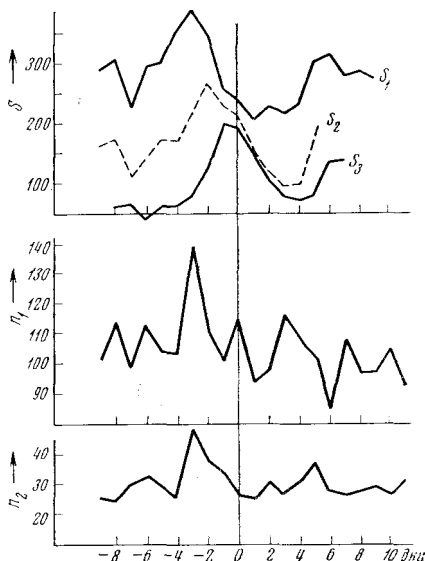


Рис. 2

явлений, связанных с солнечной активностью. Например, такой же ход в 11-летнем цикле имеет блеск комет ⁽⁵⁾, который, как было показано в последнее время, зависит от интенсивности корпускулярного излучения Солнца. Ранее нами указывалось ^(2, 3), что в эти годы имеет место увеличение числа магнитных бурь с постепенным началом. Имеются также указания на увеличение в этой время интенсивности и числа полярных сияний ⁽⁶⁾.

2. В связи с полученными результатами, доказывающими зависимость сейсмичности Земли от 11-летнего солнечного цикла, интересно рассмотреть вопрос о связи отдельных сильных землетрясений с активными процессами на Солнце. Очевидно, этот вопрос имеет большое значение как для понимания физики установленной связи, так и для решения некоторых вопросов проблемы прогнозирования землетрясений.

Известно, что прохождение активной области на Солнце через центральный солнечный меридиан (ц.с.м.) является одним из наиболее эффективных показателей влияния солнечной активности на различные геофизические явления, поскольку с моментом прохождения связано изменение интенсивности корпускулярного излучения в направлении Солнце — Земля. Для выявления связи времени возникновения отдельных землетрясений с активными областями на Солнце была исследована зависимость моментов возникновения сильных землетрясений с $M \geq 6,5$ от моментов прохождения активных областей через ц.с.м. (м.п.ц.с.м.). Было рассмотрено 594 землетрясения, имевших место (1953 и 1957—1967 гг.) в различные фазы последнего 11-летнего солнечного цикла.

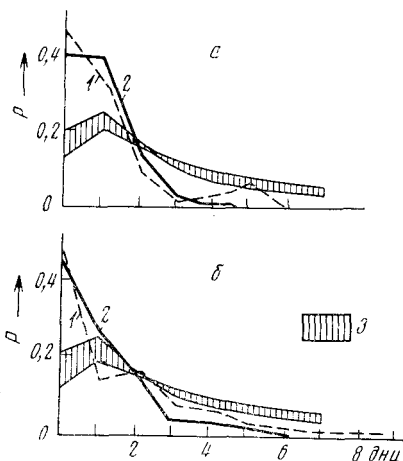


Рис. 3. Распределение ошибок фактических и случайных прогнозов: а — 1963 г., б — 1965—1966 гг. 1 — прямая оценка (от прогноза до ближайшего землетрясения), 2 — обратная оценка (от каждого землетрясения до ближайшего прогноза); 3 — границы распределения ошибок случайных прогнозов

Вычислялось распределение, относительно дат землетрясений, числа случаев прохождений активных областей через ц.с.м. Для эпохи максимума солнечной активности (1957—1961, 1967 гг.) учитывались активные области с площадью $S \geq 100$ в миллионных долях полусферы Солнца, для эпохи минимума — все активные области независимо от S . Для переходных лет (1961, 1962, 1966 гг.) производилось осреднение (относительно дат землетрясений) площадей всех групп солнечных пятен, расположенных в области ц.с.м. Все необходимые солнечные данные брались по каталогам солнечной деятельности (7).

Полученные указанным способом кривые приведены на рис. 2. Применяя критерий согласия χ^2 при сравнении полученного распределения n_i с равномер-

ным при 13 степенях свободы, находим $\chi^2 = 20,2$ ($P \leq 0,05$); и, следовательно, с уровнем значимости около 0,995 можно утверждать, что даты возникновения землетрясений с $M \geq 6,5$ не случайным образом связаны с м.п.ц.с.м.

Из рис. 2 следует, что в эпохи максимума и минимума солнечной активности землетрясения в среднем происходят через 2—3 дня после м.п.ц.с.м. Для промежуточных лет (1962, 1966 гг.) интервал времени Δt между этими моментами и землетрясением уменьшается, но связь имеется и в эти годы. Представленные на рис. 2 данные доказывают в целом связь времени возникновения сильных землетрясений с активными областями на Солнце. Это может также говорить о том, что физическим агентом влияния солнечной активности на сейсмические явления может служить корпускулярное излучение Солнца. В работе (8) мы рассмотрели возможную физическую модель такого влияния.

Очевидно, представленные выше графики имеют прогностическое значение. На основании этих графиков (так же, как это делается и для явлений электромагнитного комплекса — геомагнитных, ионосферных) можно с большой степенью определенности судить о годах, когда следует ожидать наиболее высокую сейсмическую активность Земли. Например, поскольку последний максимум 11-летнего солнечного цикла был в 1968 г., то ожидаемый ход E и N в период 1972—1976 гг. будет соответствовать значениям этих величин в годы (+4) — (+8) на рис. 1. При этом очередной максимум сейсмичности Земли с ошибкой ± 1 год (в зависимости от продолжительности солнечного цикла) следует ожидать в 1974 г.

С другой стороны, установленная зависимость моментов землетрясений от м.п.д.с.м. позволяет в дальнейшем разработать методику прогнозирования дат сильных землетрясений для Земли в целом. Так, автор, используя полученные закономерности, проводил прогнозирование (в порядке опыта) дат возникновения отдельных сильных землетрясений. Прогнозы заблаговременно сообщались на сейсмическую станцию Пулково. Распределение ошибок прогноза за период 1963—1966 гг. для землетрясений с $M \geq 6,0$ по оценкам, произведенным на сейсмической станции Пулково В. П. Трипольниковым, приведено на рис. 3 вместе с распределением ошибок случайного прогноза, построенного на основании средней частоты повторяемости землетрясений с $M \geq 6,0$.

Сравнение распределений указывает на достаточно явное их различие ($\chi^2 = 31,2$, $P \leq 0,0001$); т. е. с доверительной вероятностью около 0,999 можно утверждать, что прогноз не случайно связан с землетрясениями с $M \geq 6,0$. Оценка качества прогноза за 1965—1966 гг. была произведена В. Ф. Писаренко в лаборатории математической статистики Института физики Земли АН СССР, при этом было установлено, что за этот период, с уровнем значимости около 0,995, прогноз не случайно связан с землетрясениями с $M \geq 6,0$.

Таким образом, все приведенные данные доказывают, во-первых, зависимость сейсмичности Земли от фазы 11-летнего солнечного цикла, во-вторых, зависимость времени возникновения отдельных сильных землетрясений от положения активных областей (от активных моментов) на Солнце. Все это доказывает связь сейсмичности Земли с солнечной активностью.

В заключение заметим, что хотя физическая модель, объясняющая в принципе механизм связи сейсмических явлений, а также атмосферных процессов, с солнечной активностью, и была ранее нами сформулирована (⁸, ⁹), однако многие геотектонические и геофизические аспекты этой проблемы требуют дальнейших специальных исследований. Ожидаемые результаты таких исследований представляются вполне определенными. В частности, помимо решения некоторых вопросов солнечно-земной физики, а также взаимодействия атмосферы и фигуры Земли, здесь, в результате дальнейших исследований может быть успешно решена проблема прогнозирования землетрясений. Следует учесть, что некоторый положительный опыт такого прогнозирования уже имеется. При этом кажется совершенно определенным, что при решении проблемы прогноза землетрясений следует не заранее ограничивать исследования наперед заданными гипотезами, в том числе и традиционными, а исходить из ясных физических представлений возможности того или иного механизма.

Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
Ленинград

Поступило
8 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Д. Сытинский, Информ. бюлл. Сов. антарктич. эксп., № 28 (1961).
- ² А. Д. Сытинский, Геомагнетизм и аэронавигация, 3, № 1 (1963). ³ А. Д. Сытинский, Бюлл. Совета по сейсмологии АН СССР, № 15 (1963). ⁴ В. Iutenberg, C. E. Richter, Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, New Jersey, 1954.
- ⁵ О. В. Доборовольский, Астроном. сборн., Львов, в. 3—4 (1960). ⁶ Ю. А. На-дубович, Геомагнетизм и аэронавигация, 10, № 6 (1970). ⁷ Р. С. Гневашева, Тр. Гл. astron. обсерв. в Пулкове, Л. (1972). ⁸ А. Д. Сытинский, Геомагнетизм и аэронавигация, 6, № 4 (1966). ⁹ А. Д. Сытинский, В сборн. Физические основа-ния поисков методов прогноза землетрясений, «Наука», 1970, стр. 140.