

# МИКРОСЕЙСМЫ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

А. И. ОЛЬ

Небольшие колебания на сейсмограммах, имеющие довольно правильную синусоидальную форму и период в несколько секунд (от 2 до 10 и более), называют микросейсами. Амплитуды смещений земной поверхности, которые соответствуют этим колебаниям, обычно очень малы — порядка долей микрона, но иногда амплитуда микросейсм значительно повышается и смещения поверхности Земли достигают  $10^{-3}$  см и более. В таких случаях говорят о возникновении «бури микросейсм». Для нас представляют интерес только естественные микросейсм; искусственные колебания, возникающие при проезде вблизи сейсмографа поездов, тяжёлых повозок, связанные с работой машин и т. д., мы исключаем из рассмотрения. Периоды таких искусственных микросейсм обычно значительно короче, чем у естественных, — порядка 0,5 сек. и меньше.

Движения частиц почвы, возникающие при микросейсмических колебаниях, имеют весьма сложный характер. Несомненно, что микросейсмические волны являются поверхностными, т. е. они распространяются через верхние слои земной коры. Поверхностные сейсмические волны, возникающие при землетрясениях, разделяются на два типа: волны Рэлея, у которых вертикальная компонента значительно превышает горизонтальную, причём частицы среды движутся в вертикальных плоскостях, параллельных направлению распространения волны, и поперечные волны (типа Лава), не имеющие вертикальной компоненты. Колебания частиц среды в этих волнах происходят в горизонтальной плоскости, в направлениях перпендикулярных направлению распространения волны. Микросейсмические волны нельзя отнести к какому-либо одному из этих типов волн, скорее всего, они являются комбинацией обоих типов.

Некоторое время среди сейсмологов господствовала теория, объяснявшая возникновение микросейсм ударами морских волн (прибой) о крутые скалистые берега. В некоторых случаях это действительно имеет место. Например амплитуда микросейсм, отмечаемых на о. Гельголанд, заметно повышается при усилении прибоя. Однако в других местах, например в США (наблюдения Байерли на станции Бэркли, Калифорния), эта зависимость часто нарушается, а иногда сменяется противоположной. Очевидно, прибой является не единственным фактором в образовании микросейсм, а скорее даже второстепенным, как будет видно из дальнейшего.

Действительно, ещё в 1910 г. крупнейшие русские сейсмологи акад. Б. Б. Голицын и И. И. Вилипп (цитирую по [1]) указали на связь микросейсмической активности с метеорологическими условиями. Б. Б. Голицын писал: «Активность микросейсм в Пулкове и на других сейсмических станциях сильно возрастает при бурной погоде, наблюдаемой в портах побережья западной и северной Европы, или даже в Атлантическом океане». Последовавшие затем исследования полностью подтвердили эту точку зрения. На первый взгляд кажется, что здесь нет существенного противоречия с «теорией прибоя», поскольку усиление прибоя может быть связано с штормами, производящими весьма сильное волнение, достигающее берегов континентов. Однако это не так.

Джилмор [2] недавно сообщил о результатах своих работ, позволивших по записям микросейсм определять местонахождение тропических ураганов и тайфунов в районе Карибского моря и в Тихом океане. Определения направления источника микросейсм производились с помощью трёх самописцев, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со сто-

роной 900 м. По разности времён прихода микросейсмических волн на эти три установки можно определить направление на центр области возбуждения микросейсм.

На основании нескольких лет работы таких тройных микросейсмических станций (общее число их сейчас доходит до 10) Джильмор пришёл к следующим выводам:

1. Тайфуны и ураганы всегда дают увеличение амплитуды микросейсм, если только они находятся достаточно близко к записывающей станции. Наибольшее расстояние, на котором удалось обнаружить тайфун, равно 1600 миль (станция на о. Гуам).

Холодные фронты и внетропические депрессии также дают увеличение амплитуд микросейсм, но только если они сопровождаются достаточно сильным ветром.

2. Увеличение амплитуды микросейсм пропорционально интенсивности и размерам циклона и, обратно, пропорционально расстоянию циклона от записывающей станции.

3. Амплитуда микросейсм уменьшается, когда атмосферное возмущение, связанное с «бурей микросейсм», проходит над очень мелкими водными пространствами, над сушей или над областями сильной подводной складчатости (большие сбросы и т. п.).

Такие области, вызывающие затухание микросейсм, называются «микросейсмическими барьерами». Эти барьеры особенно часто встречаются в Карибском море, тогда как Тихий океан почти свободен от них.

На основании этих исследований связь микросейсм с циклонической деятельностью можно считать установленной. При этом механизм возникновения микросейсм не следует считать связанным с действием прибоя на берега, поскольку амплитуда микросейсм уменьшается при приближении урагана к берегам. Повидимому энергия морских волн, образуемых циклонами, каким-то образом передаётся дну океана, откуда она распространяется в земной коре в виде микросейсмических волн.

Известный сейсмолог Гутенберг, много работавший над обоснованием прибойной теории образования микросейсм, в последнее время был вынуж-

ден отойти от своей прежней точки зрения. Сейчас Гутенберг отводит прибою лишь второстепенную роль в образовании микросейсм.

Надо отметить, что в более высоких широтах Земли механизм образования микросейсм может оказаться более сложным. Многие исследователи отмечали связь между циклонами Атлантического океана и микросейсмями, но связь эта выражена менее чётко, чем в тропических широтах, и осложняется рядом привходящих обстоятельств.

Так, например, проф. В. Ф. Бончковский [1] пришёл к выводу, что причиной микросейсм, регистрируемых на ряде станций в пределах Европейской части СССР, являются сильные морские ветры, дующие на скандинавское побережье и ударяющиеся о горный хребет, простирающийся вдоль этого побережья.

Область возбуждения микросейсм совпадает при этом с линией холодного фронта. В. Ф. Бончковский указывает, что штормовые фронтальные ветры имеют вертикальную составляющую, заметно возрастающую при переходе с моря на континент благодаря значительному увеличению трения воздуха о земную поверхность. По вычислениям В. Ф. Бончковского, области возбуждения микросейсм располагаются, как правило, над сушей, а не над морем.

Есть и другие указания на роль холодного фронта в возникновении бурь микросейсм [8].

В одной недавней работе [7] изучалась связь 35 европейских микросейсмических бурь с атлантическими циклонами. Автор её нашёл, что микросейсмические бури возникают при приближении центра депрессии к континентальной платформе, ограниченной изобатой 1000 м, что противоречит одному из приведённых выше выводов Джильмора. Быть может, следует считать это расхождение указанием на существование нескольких типов микросейсмических бурь, имеющих разные причины. Мэрфи [10] выделяет, например, «местные» микросейсмические бури, возникающие при появлении атмосферного возмущения вблизи берега, недалеко от записывающей стан-

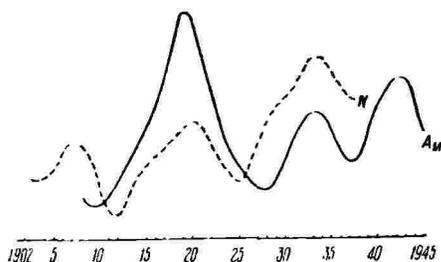
ции. Обычные микросейсмические бури связаны, по его мнению, с депрессиями, находящимися над большим водным пространством (Атлантический океан).

Известно, что микросейсмическая активность связана с пятнообразовательной деятельностью Солнца. В 1938 г. Бернар [6] нашёл, что максимумы кривой среднегодовых значений активности микросейсм запаздывают на 2—3 года относительно максимумов кривой чисел Вольфа. Недавно появилась работа Бата [5], в которой произведено сопоставление среднегодовых амплитуд микросейсм по данным станции Упсала (Швеция) с солнечной активностью. Оказалось, что для цикла 1913—1923 гг. максимум микросейсмической активности действительно смещён на 2—3 года относительно максимума кривой чисел Вольфа, в согласии с результатами Бернара. Однако для циклов 1923—1933 гг. и 1933—1944 гг. это смещение достигло 5—6 лет, т. е. кривая микросейсмической активности стала обратной по фазе кривой чисел Вольфа.

Бат объясняет это тем, что микросейсмь связаны не только с интенсивностью циклонической деятельности, но и с путями циклонов. Он нашёл, что средняя широта путей циклонов над Скандинавией и Северной Атлантикой меняется в 11-летнем цикле. В эпохи максимальной активности Солнца циклоны, по его мнению, движутся южнее, чем в эпохи минимумов (средняя широта путей циклонов изменяется на  $5^\circ$ ). В минимумы солнечной активности пути циклонов располагаются севернее и при прохождении циклонов вблизи берегов Северной Норвегии создаются наиболее благоприятные условия для образования микросейсм, так как морские волны ударяются тогда под прямым углом в берега Норвегии. Таким образом, Бат снова возвращается к теории прилива, объясняющей возникновение микросейсм непосредственно ударами волн о скалистые берега.

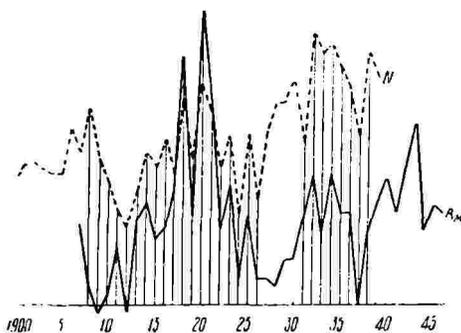
Однако нам кажется, что для объяснения найденной Батом закономерности вовсе не нужно прибегать к теории прилива. Сопоставим циклическую кривую микросейсмической активности с циклической кривой индекса цикло-

нической деятельности (процент глубоких циклонов), построенного недавно советским учёным Л. А. Вительсом [3] для трёх северных районов, охватывающих северную часть Атлантического океана, Ледовитый океан до меридиана  $120^\circ$  и северо-восток Европейской части СССР ( $60$ — $100^\circ$  восточной долготы и от  $60^\circ$  северной широты до побережья). На фиг. 1 изображены сглаженные кривые индекса Вительса  $N$  и амплитуд микросейсм (по Бату)  $A_m$ .



Фиг. 1. Кривые сглаженных значений индекса циклонической деятельности (по Л. А. Вительсу) —  $N$  и индекса микросейсмической активности (по М. Бату) —  $A_m$ . Значения индексов даны в условных единицах.

При рассмотрении фиг. 1 ясно видно общее сходство обеих кривых. Таким образом, загадочное поведение



Фиг. 2. Кривые несглаженных среднегодовых значений индексов  $N$  и  $A_m$ .

циклической кривой микросейсмической активности находит простое объяснение. При выборе наиболее рационального индекса циклонической деятельности оказывается, что вид циклической кривой микросейсм в основном определяется циклической кривой интенсивности циклонов. Поэтому нет ни-

какой необходимости в привлечении изменений путей циклонов и воскрешении теории прибоа, как это делает Бат.

Недавно Л. А. Вительс<sup>[2, 3]</sup> нашёл весьма тесную связь между средними циклическими кривыми индекса циклонической деятельности и индекса проф. М. С. Эйгенсона, указывающего среднюю продолжительность жизни группы солнечных пятен<sup>[4]</sup>. Этим подтверждается солнечная обусловленность циклонической деятельности. В то же время индекс Эйгенсона ведёт себя в 11-летнем цикле иным образом, чем числа Вольфа (в особенности для последних циклов). Этим объясняется найденное Батом несоответствие между циклическими кривыми микросейсмической активности и числами Вольфа.

Отметим, кстати, что утверждение Бата о смещении путей циклонов к югу во время максимумов солнечной активности представляется весьма сомнительным. Исследования советских учёных — чл.-корр. АН СССР В. Ю. Визе и Л. А. Вительса<sup>[3]</sup> — показали, что с увеличением солнечной активности траектории циклонов смещаются к северу.

Между микросейсмической активностью и индексом циклонической циркуляции имеется весьма тесная связь,

выявляемая не только при сопоставлении сглаженных кривых, но и при сравнении несглаженных среднегодовых значений, показанных на фиг. 2. Эта связь особенно чётко видна в 1917—1926 гг. и несколько менее отчётлива в 1908—1916 гг. и 1931—1938 гг. Несмотря на то, что в другие годы эта связь между среднегодовыми значениями индексов  $N$  и  $A_m$  отсутствует, нам кажется отнюдь не случайным тесное согласие между отдельными флуктуациями  $N$  и  $A_m$  в указанные выше эпохи. Необходимы, конечно, дальнейшие исследования для полного выяснения этого интересного вопроса.

#### Литература

- [1] В. Ф. Бончковский. Тр. Сейсмол. инст., № 120, 1946. — [2] Л. А. Вительс. Метеор. и гидрол., № 6, 1946. — [3] Л. А. Вительс. Тр. Гл. Геофиз.observ. вып. 8 (70), 51, 1948. — [4] М. С. Эйгенсон. Циркуляр Пулковской observ., № 30, 1940. — [5] M. Bath. Geofis. pura e appl., t. 12, 121, 1948. — [6] P. Bernard. Ann. Inst. Phys. Globe, Paris, t. 19, 1941. — [7] J. Charpentier. Ann. Geophys., v. 4, 1, 1948. — [8] L. Don Leet. Bull. Seismol. Soc. America, v. 38, 173, 1948. — [9] M. H. Gilmore. Bull. Seismol. Soc. America, v. 36, 89, 1946; v. 38, 195, 1948. — [10] L. M. Murphy. Trans. Amer. Geoph. Union, v. 27, N 1, 19, 1946.