

В. Н. ЖАРКОВ, В. М. ЛЮБИМОВ

К ВОПРОСУ О ЗАТУХАНИИ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ЗЕМЛИ

(Представлено академиком М. А. Садовским 16 XII 1970)

В настоящее время нами рассчитаны таблицы производных для сфероидальных колебаний Земли в широком диапазоне частот. Это позволяет, задавая распределение диссипативной функции с глубиной $Q(l)$, рассчитать теоретически затухание сфероидальных колебаний Земли и произвести сравнение с имеющимися экспериментальными данными. Ранее

было рассмотрено затухание крутильных ⁽¹⁾, радиальных ⁽²⁾ и сфероидальных колебаний при малых n ⁽³⁾. В ⁽³⁾ было сказано, каким образом интегрировались уравнения, определялись собственные периоды и таблицы производных. За основу была принята модель Земли Гутенберга — Булена А (ГБА) ⁽⁴⁻⁶⁾. При конкретных расчетах модель ГБА «загрублялась». Кора и оболочка Земли разделялись на четыре

стандартные зоны и считалось, что диссипацией в ядре можно пренебречь. Параметризация коры и оболочки была следующей:

- 1) зона А — кора ($0 \leq l \leq 38$ км), $j = 1$, l — глубина;
- 2) зона В — подкорвая зона ($38 \leq l \leq 300$ км), $j = 2$;
- 3) зона С — переходный слой ($300 \leq l \leq 1000$ км), $j = 3$;
- 4) зона Д — нижняя магния ($1000 \leq l \leq 2900$ км), $j = 4$.

Было изучено несколько пробных распределений диссипативной функции $Q(l)$ ⁽¹⁻³⁾. В результате мы остановились на трех кусочно-постоянных моделях $Q(l)$ (табл. 1).

Затухание Q определяется по формуле

$$Q^{-1} = \sum_{j=1}^4 q^j Q_j^{-1},$$

где q^j ($j = 1, 2, 3, 4$) рассчитываются с помощью таблиц производных, Q_j — кусочно-постоянные распределения, приведенные в табл. 1. Результаты расчетов представлены графически на рис. 1. Там же показаны экспериментальные данные из ⁽⁴⁻⁸⁾. Прежде чем переходить к обсуждению рис. 1, рассмотрим вопрос о затухании радиальных колебаний. На радиальные колебания не влияют ни отклонения земных недр от сферической симметрии, ни вращение Земли ⁽⁹⁾. Этим объясняется, в частности, то, что основная радиальная частота ${}_0\omega_{s0}$ измерена с точностью на порядок большей, чем все остальные собственные частоты ⁽¹⁰⁾. Значит, затухание радиальных колебаний не затемняется побочными эффектами. После Чилийского землетрясения 1960 г. было определено значение диссипативной функции ${}_0Q_{s0}$ для основного радиального тона (${}_0Q_{s0} = 7500$). Теоретически этот вопрос был рассмотрен в ⁽²⁾. После Аляскинского землетрясения 1964 г. аномально большие значения ${}_0Q_{s0}$ были подтверждены. По данным разных авторов (см. ⁽⁵⁾) оказалось

$${}_0Q_{s0} \sim 25\,000; \quad 12\,000; \quad 14\,960; \quad 11\,010, \quad (1)$$

причем последние два числа получены на основе наиболее качественных измерений ⁽⁵⁾. Отбрасывая первое значение, которое явно выпадает, найдем

$${}_0Q_{s_0} \sim 12\,000. \quad (2)$$

Значения ${}_0Q_{s_0}$, рассчитанные теоретически в ⁽²⁾ для моделей 42; 5; 6 (табл. 1), равны

$${}_0Q_{s_0}(42) \sim 12\,000; \quad {}_0Q_{s_0}(5) \sim 12\,000; \quad {}_0Q_{s_0}(6) \sim 10\,000. \quad (3)$$

Таким образом, сравнение пробных распределений $Q(l)$ (табл. 1) с последними данными по затуханию радиальных колебаний как будто отдаёт пред-

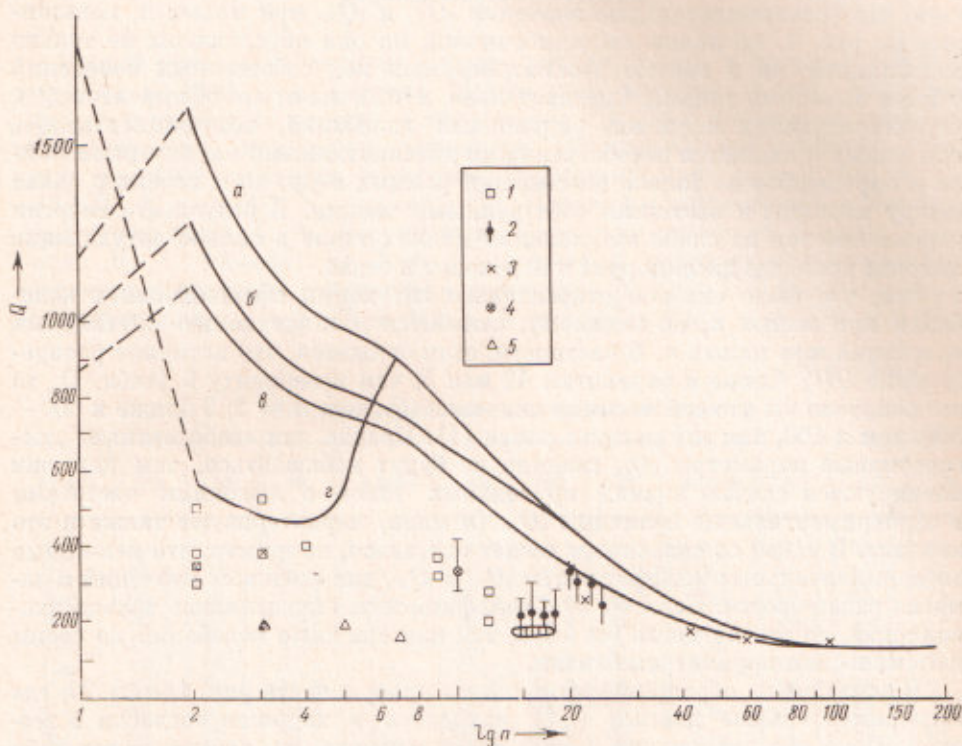


Рис. 1. Экспериментальные значения ${}_0Q_{s_n}$: 1 — данные из обзора ⁽³⁾; 2 — из ⁽⁸⁾; 3 — данные, используемые в ⁽⁸⁾; при $n = 2, 3$ взяты из ⁽²⁾, остальные из ⁽⁴⁾, точка 4 из ⁽⁴⁾; 5 — данные для ${}_1Q_{s_n}$ из ⁽⁶⁾. Буквами обозначены кривые ${}_0Q_{s_n}$: а — вариант (5), б — (42), в — (6), г — ${}_1Q_{s_n}$, вариант (6)

почтение распределениям 42 и 5 перед распределением 6. Во всяком случае, последние данные по затуханию радиальных колебаний показывают, что Q_2 ($38 \leq l \leq 300$) не может быть столь мало, как 50, и столь велико, как 200. Значение же Q_4 ($1000 \leq l \leq 2900$ км) затухание основного радиального тона не фиксирует, так как слабо зависит от диссипативных свойств нижней мантии. Значение ${}_0Q_{s_0} = 12\,000$ лишь указывает, что Q_4 не может быть заметно меньше, чем 10^3 , но не даёт верхнего предела. То, что мы в своих расчетах полагаем $Q_4 \sim 1000-1500$, основано на всем имеющемся в нашем распоряжении лабораторном экспериментальном материале. Диссипативные свойства нижней мантии Q_4 существенно влияют на затухание первого радиального обертона ${}_1Q_{s_0}$ ⁽²⁾, в связи с чем измеренные величины ${}_1Q_{s_0}$ представляется крайне важным.

Обратимся теперь к рис. 1, на котором вместе с теоретическими распределениями ${}_0Q_{s_n}$ (42; 5; 6) для $n = 1-200$, ${}_1Q_{s_n}$ (6) для $n = 1-7$ приведены соответствующие экспериментальные данные (4-8).

Мы видим, что экспериментальные значения ${}_0Q_{S(2-15)}$, ${}_1Q_{S(5, 7)}$ в несколько раз меньше теоретических. Устранить это расхождение, сдвинув вниз пробные распределения Q_j (42; 5; 6), нельзя, так как тогда получились бы заметно меньшие значения ${}_0Q_{S0}$, чем это дает опыт (1), (2), а именно: экспериментальные значения затухания радиальных колебаний (1) следует считать собственной характеристикой Земли в силу отмеченных фундаментальных свойств радиальных колебаний. В (2) уже отмечалось, что экспериментальные значения ${}_0Q_{Sn}$ при малых n резко расходятся с теоретическими ${}_0Q_{Sn}$. В (3) было высказано предположение, что соответствующие экспериментальные значения коэффициентов ${}_0Q_{Sn}$ являются просто ошибочными. Можно предположить и другие объяснения рассматриваемому расхождению между экспериментом и теорией. Например, полагать, что экспериментальные значения ${}_0Q_{Sn}$ и ${}_1Q_{Sn}$ при малых n , показанные на рис. 1, не являются ошибочными, но они обусловлены не только диссипацией, но и связью рассматриваемых мод собственных колебаний с более высокими тонами. Следовательно, в отличие от коэффициентов ${}_0Q_{Sn}$, характеризующих затухание радиальных колебаний, коэффициенты ${}_1Q_{Sn}$ при малых n являются несобственными диссипативными параметрами Земли и определяют не только диссипацию земных недр, но и характер связи между низкими и высокими собственными тонами. В результате энергии перекачивается из слабо затухающих низких тонов в сильно затухающие высокие тона, где диссипирует и переходит в тепло.

Все, что было сказано относительно затухания сферонидальных колебаний при малых n , по-видимому, относится и к затуханию крутильных колебаний при малых n . В частности, если окажется, что истинное распределение $Q(l)$ ближе к вариантам 42 или 5, чем к варианту 6 (табл. 1), то это означало бы что собственные значения ${}_0Q_{ln}$ при $n = 2, 3$ ближе к 600—500, чем к 400, как мы считали ранее (1). Правда, эти «собственные» диссипативные параметры ${}_0Q_{ln}$ никогда не будут наблюдаться, так как они маскируются связью низких крутильных тонов с высокими частотами и экспериментальные величины ${}_0Q_{ln}$ (n мало) характеризуют также и это явление. В связи со сказанным может оказаться, например, что некоторые экспериментальные коэффициенты ${}_0Q_{ln}$ и ${}_1Q_{Sn}$ для смежных значений n заметно различаются. Если бы эти коэффициенты определялись только диссипацией, то это не могло бы быть, так как смежные колебаний по своим динамическим параметрам близки.

В заключение обращаем внимание на правую часть рис. 1, $n > 20$, где экспериментальные данные (4, 6) находятся в хорошем согласии с теорией. Пока что диссипация в этой части спектра не ставит каких-либо трудных проблем по своей интерпретации.

Естественно, что нарисованная здесь качественная картина, объясняющая затухание собственных колебаний Земли, нуждается в дальнейших исследованиях. Описание механизма связи низких и высоких тонов колебаний представляется еще не до конца ясным. Так, например, эта связь могла бы, в принципе, возникать из-за заметного отклонения реальных краевых условий на поверхности Земли от сферы. На последнее обстоятельство обратил внимание авторов М. С. Молоденский при обсуждении работы.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
1 XII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Н. Жарков, В. М. Любимов и др., Физика Земли, № 2 (1967). ² В. Н. Жарков, В. М. Любимов, ДАН, 177, № 2 (1967). ³ В. Н. Жарков, В. М. Любимов, ДАН, 191, № 3 (1970). ⁴ A. Ben-Menahem, J. Geophys. Res., 70, № 18 (1965). ⁵ L. B. Slichter, International Dictionary of Geophysics, 1967, p. 331. ⁶ A. A. Nowroozi, J. Geophys. Res., 73, № 4 (1968). ⁷ L. Knopoff, Rev. Geophys., 2, 625 (1965). ⁸ G. Backus, F. Gilbert, Phil. Trans. Roy. Soc. London, A, 266, № 1173 (1970). ⁹ В. Н. Жарков, В. М. Любимов, Физика Земли, № 10 (1970). ¹⁰ J. S. Derr, Bull. Seism. Soc. Am., 59, № 5 (1969).