

щения в упругой неоднородной среде, получены в работах [3, 5]. Однако в этих работах исследовались только слоисто-неоднородные среды с постоянным коэффициентом Пуассона σ . Изложенный метод позволяет рассмотреть более общий случай.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Кольский. Волны напряжения в твердых телах. М., ИЛ. 1955.
2. I. Keller, F. Karneil. Elastic wave propagation in homogeneous and inhomogeneous media. J. Acoust. Soc. America, 1959, 31, 6, 694—706.
3. I. F. Hook. Separation of the vector wave equation of elasticity for certain types of inhomogeneous, isotropic media. J. Acoust. Soc. America, 1961, 33, 3, 302—313.
4. В. Ю. Завадский. Потенциалы смещения упругой слоисто-неоднородной среды. Акуст. ж., 1964, 10, 3, 289—292.
5. В. Ю. Завадский. О волновом движении в упругой слоисто-неоднородной среде со степенным законом изменения плотности и параметров Ламе. Акуст. ж., 1964, 10, 1, 119—122.
6. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов, произведений. М. ИЛ., 1962.
7. Н. Н. Зволинский. Волны Рэлея в неоднородном упругом полупространстве частного типа. Изв. АН СССР, сер. геофизич., 1945, 9, 3.
8. M. H. Lock. Axially symmetric elastic waves in an unbounded inhomogeneous medium with exponentially varying properties. Bull. Seismol. Soc. America, 1963, 53, 3, 527—538.
9. Э. Камке. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М., ИЛ, 1951.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступила в редакцию
9 мая 1964 г.

УДК 534.64 . 620,111.3

ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯ ОБЪЕМНОЙ УПРУГОСТИ ТКАНЕЙ ЖИВОТНЫХ

Л. П. Лебедева

Известно, что наличие в водной морской среде различного рода организмов, в силу их большого числа, может оказать заметное влияние на средние акустические параметры водной среды и в особенности, на условия рассеяния звука.

Существующие сведения о собственных акустических свойствах морских организмов довольно скудны. Поэтому представляло интерес исследовать экспериментально эти свойства, в частности, с точки зрения средней акустической сжимаемости.

Для экспериментов мы воспользовались методом Майера и Тамма [1]. Измерения проводились в герметизированной стеклянной трубе, наполненной морской водой, при атмосферном давлении и при избыточном давлении 2,5 ат. Опыты проводились на частоте около 900 гц. Обезгаживание воды как таковой и вместе с погруженным исследуемым объектом осуществлялось путем длительного отстоя с неоднократным сбросом избыточного давления и путем вакуумирования.

Процесс измерения сводился к следующему. В трубе создавалась стоячая звуковая волна и определялась резонансная частота f_0 столба воды. Затем в пучности давления на тонкой проволоке подвешивался исследуемый объект и находилась новая резонансная частота f_R . Модуль объемной упругости объекта $E' = E(1 - i\eta)$ рассчитывался по формуле:

$$E = \rho c^2 \frac{f_0 V'}{\delta f V (1 + \eta^2)}$$

Здесь ρc^2 — модуль объемной упругости воды, δf — изменение резонансной частоты, V' — объем образца, V — объем столба воды, η — затухание в образце, вычисляемое

по формуле $\eta = \frac{\Delta f_R - \Delta f_0}{2\delta f}$, где Δf_0 — полуширина резонансной кривой столба воды, Δf — то же для столба воды с объектом. При малых η можно полагать $E = \rho c^2 \times \frac{f_0 V'}{\delta f V}$, относительный модуль упругости выражается так:

$$E'' = \frac{E}{\rho c^2} = \frac{f_0 V'}{\delta f V}$$

В процессе измерения требовалось соблюдать некоторую осторожность при погружении образца в воду, ввиду возможности внесения пузырьков воздуха или воздушных пленок вместе с объектом.

Перед началом опытов с животными установка была испытана на образцах резины; упругие параметры последней были измерены другими методами. Точность измерений, согласно этой проверке, оказалась равной 1%.

В качестве исследуемых объектов использовались креветки семейств *Sergestidae* и *Orphoridae* (*Acanterphyra purpurea* и др.), а также различные рыбы малых размеров.

Средний относительный модуль объемной упругости креветок в результате измерений на 32 объектах оказался равным 0,93. Различие в модулях объемной упругости для различных креветок лежало в пределах ошибки измерений. Точность определения относительного объемного модуля на основании результатов эксперимента составила по нашей оценке около 3%.

В настоящее время остается неясным, является ли столь малый модуль объемной упругости для креветок следствием наличия устойчивых, связанных с их жизнедеятельностью газовых образований, не устраняемых вакуумированием, или действительно сами ткани тела креветок обладают модулем упругости, меньшим по сравнению с модулем упругости воды. Заметим, что в ряде наших опытов, если они проводились быстро, вакуумирование не подавляло жизнедеятельности креветок, так что первое предположение может быть справедливым.

Для исследования модуля объемной упругости собственно тканей рыб использовались беспузырные рыбы родов *Cyclothone* и *Chauleodes*, черноморские бычки (*Cobiidae*), а также рыбы семейства *Myctophidae* (*Diaphus*, *Lampanyctus* и другие) и родов *Sternoptyx*, *Argyroleucus*, *Melanphaes* и *Gonostoma* после удаления плавательных воздушных пузырей. Средний относительный модуль объемной упругости тканей рыб в результате 70 измерений оказался равным 1,04. Разница для различных экземпляров лежит в пределах ошибки измерений. Коэффициент затухания η был измерен для бычков. Он оказался равным 0,007.

Измерение относительного модуля объемной упругости рыб с пузырями было проведено для различных океанических рыб, аквариумных рыб и мальков черноморской ставриды. Для аквариумных рыб и мальков ставриды был измерен также коэффициент затухания η . Результаты измерений приведены в таблице. Данные, помеченные звездочкой, получены при давлении в трубе 2,5 атм, остальные — при атмосферном давлении. Объем плавательных пузырей исследуемых объектов лежал в пределах от 0,006 см³ до 0,06 см³. В таблице объем плавательных пузырей обозначен через V'' .

Объект	E''	η	V' , см ³	V'' , см ³
Орфа	0,004	—	1,5	—
Гуппи	0,002	—	0,2	—
»	0,0004	—	0,2	—
»	0,0008	0,18	0,2	—
»	0,0013	0,075	0,2	—
Малек ставриды	0,002	0,051	0,1	0,001
»	0,003	—	0,1	0,001
»	0,002	0,054	0,1	0,001
»	0,003	0,060	0,1	0,001
»	0,003	0,049	0,1	0,001
»	0,004	0,057	0,1	0,001
»	0,002	0,055	0,1	0,001
»	0,003	0,061	0,1	0,001

Из изложенного видно, что собственно ткани исследованных морских организмов отличаются от воды по модулю объемной упругости всего на несколько десятых процента. Наличие же плавательного воздушного пузыря приводит к резкому уменьшению модуля объемной упругости и увеличению коэффициента затухания.

Автор приносит глубокую благодарность Н. С. Агеевой за постановку работы и постоянное внимание к ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Meyer, K. Tamm. Ein akustisches Meßverfahren zur Bestimmung der dynamischen Kompressibilität und des Verlustfactors elastischer Stoffe. Akust. Zs., Mart 1942.
2. Peter B. Digby. Mechanism et sensitivity to hydrostatic pressure in the prawn, *palaemonetes varians* Leach. Nature, 1961, 191, 4786.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
28 июня 1963 г.