

Ю. М. СУХАРЕВСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДАЕМОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ МОРЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 5 IV 1948)

1. В наших предыдущих работах (1-4) была дана общая теория реверберации моря. В настоящей работе мы сообщим некоторые сведения, дающие представления об особенностях наблюдаемого явления. Сопоставление их с упомянутой теорией является хорошим материалом для суждения о том, в какой мере она пригодна для описания действительности.

2. Одной из важных задач экспериментального исследования реверберации глубокого моря* было выяснение роли рассеяния в поверхностном слое моря как источника этой реверберации. На рис. 1 представлены результаты соответствующего опыта, в котором варьировались глубина погружения h и угол наклона оси φ вибратора, являвшегося одновременно излучателем и приемником ультразвука. Знаками показаны средние величины уровня силы реверберации в момент $t=0,3$ сек. после окончания посылки. Знаки минус и плюс перед φ показывают, что ось вибратора была наклонена, соответственно, вверх и вниз по отношению к горизонту. Сила реверберации дана в децибелах по отношению к ее значению при $h=10$ м и $\varphi=0^\circ$. Прямые линии аппроксимируют экспериментальные зависимости. Как видно из рис. 1, при заглублении вибратора сила реверберации во всех случаях падает, причем спад получается особенно резким при значительном наклоне оси вибратора вниз, т. е. когда с увеличением h звуковой пучок постепенно покидает поверхностный слой. Эти результаты являются ярким доказательством того, что основная энергия рассеянного звука приходит из поверхностного слоя моря, а рассеяние в глубоких слоях относительно мало.

3. Аналогичные заключения о реверберации глубокого моря можно сделать из сопоставления (рис. 2) экспериментальных записей ревербе-

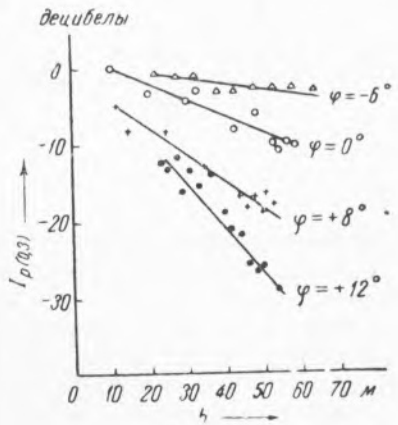


Рис. 1

* В применении к реверберации определение „глубокое“ море характеризует условия для данного наблюдаемого момента времени или расстояния, когда донная реверберация еще не пришла или еще не играет роли (последний случай может иметь место из-за преимущественного излучения в горизонтальном направлении). В противном случае мы должны рассматривать море как „мелкое“.

рации с теоретическими законами для силы реверберации в функции времени при различных рассмотренных в теории случаях рассеяния. На рис. 2 значками показаны усредненные по нескольким записям величины флуктуирующей амплитуды реверберации (⁴), причем графики построены в двойном логарифмическом масштабе, а сила реверберации дана в децибелах по отношению к некоторому условному нулевому уровню силы звука. Кружками и сплошными линиями показан один из типичных графиков для реверберации глубокого моря. Тонкая (сплошная) прямая представляет теоретический закон обратной пропорциональности третьей степени времени для плоского рассеивающего слоя в безграничной среде (¹) при соответствующем коэффициенте пропорциональности, а жирная кривая, хорошо согласующаяся с опытными данными, учитывает еще обусловленное поглощением

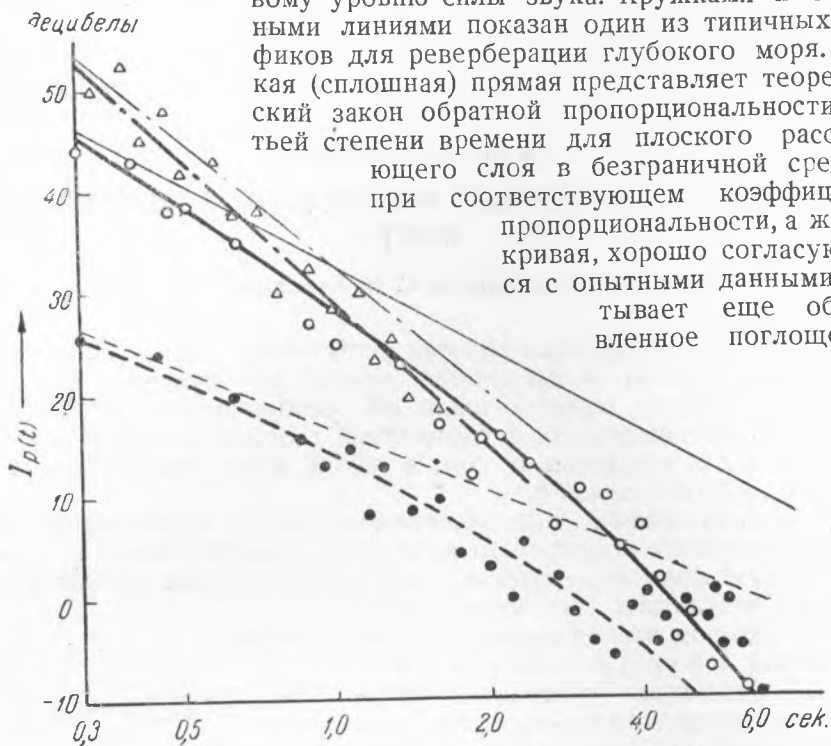


Рис. 2

звуча в водной среде дополнительное затухание в 2 дб/км (или 3 дб/сек.). Условия, когда рассеяние в глубоких слоях моря имеет существенное значение, встречаются сравнительно редко. Один из таких случаев показан на рис. 2 черными точками и пунктирными линиями. Опыт производился в том же месте, что и предыдущий, но в другое время. В этом случае реверберация была относительно более слабой и медленнее убывающей — со второй степенью времени, характерной для безграничной равномерно рассеивающей среды (¹). Кривая, показанная жирным пунктиром, учитывает дополнительное затухание в 1,5 дб/км. Некоторое повышение силы реверберации при $t > 3,5$ сек. обусловлено приходом донной реверберации. Если не рассматривать подобных редких случаев медленно спадающей реверберации, то нужно констатировать, что и эта серия опытов приводит к заключению о доминирующей роли рассеяния в поверхностном слое в реверберации глубокого моря, во всяком случае для значений t до 3—4 сек. Абсолютный уровень силы реверберации глубокого моря оказался варьирующимся в широких пределах в зависимости от метеорологических, гидрологических и даже биологических факторов (мы подразумеваем роль микроорганизмов).

4. Интересным представлялось выяснить вопрос о той роли, какую в реверберации поверхностного слоя, или ее, как можно называть, поверхностной реверберации, играет рассеяние на самой неровной,

„волнующейся“ поверхности моря. Некоторые заключения по этому вопросу можно сделать из рассмотрения результатов опытов, в которых звуковой пучок направлялся попеременно вдоль и поперек волн на поверхности моря. Сила, закон спада и общий характер реверберации в обоих случаях неизменно не показывали заметных отличий, что вряд ли могло бы получиться, если бы рассеяние на неровной поверхности моря играло существенную роль, так как даже микроскопическая структура волн* должна обладать известной анизотропией по отношению к этим направлениям.

5. В реверберации мелкого моря основным является рассеяние звука на неровном (и неоднородном) дне. Условия, когда в мелком море реверберация водной среды превалирует, представляют сравнительно редкое явление, имеющее место только при очень ровном и однородном дне. Законы спада и сила донной реверберации изменяются в широких пределах в зависимости от рельефа дна и типа грунта. Быстрые спады реверберации, соответствующие законам обратной пропорциональности пятой, а иногда четвертой степени времени (1), получаются для сравнительно гладкого (или мелко-неровного) дна. При крупных неровностях, т. е. при пересеченном дне (скалистом, холмистом или гористом), спад реверберации обычно получается более медленным и зависящим от рельефа дна. На рис. 2 приведен один из типичных графиков для реверберации мелкого моря с гладким дном.

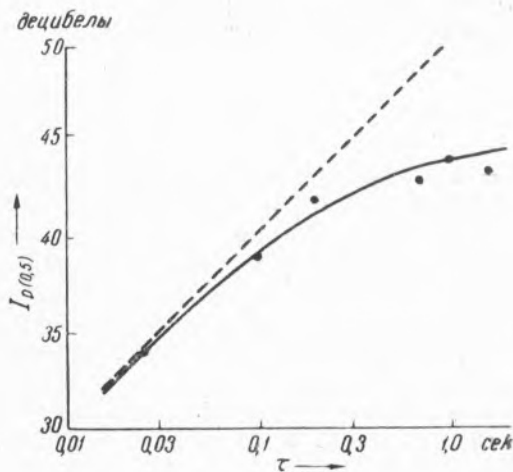


Рис. 3

Треугольничками показаны усредненные экспериментальные значения силы реверберации. Тонкая прямая, проведенная пунктиром с точками, представляет закон обратной пропорциональности пятой степени времени для рассеивающей согласно закону Ламберта плоской границы при соответствующем коэффициенте пропорциональности, а жирная кривая учитывает затухание в 1,5 дБ/км. Этот график дает достаточное доказательство существования быстро спадающей донной реверберации и ее доминирующего значения в мелком море. Мы не будем приводить здесь графиков для реверберации пересеченного дна. Укажем только, что сила реверберации пересеченного дна обычно превышает силу реверберации гладкого дна в десятки и даже сотни раз.

6. Приведем теперь опытные данные о зависимости силы реверберации от длительности посылки. На рис. 3 кружками показаны данные, полученные в глубоком море. На оси ординат отложено среднее значение силы реверберации через 0,5 сек. после окончания посылки при различных длительностях посылки τ . Как видно из рисунка, согласующийся с теорией (1) пропорциональный рост силы реверберации с увеличением длительности посылки (показан пунктир-

4*

* Под микроскопической структурой волны мы подразумеваем то, что обычно называют рябью. При отражении ультразвука на микроскопической структуре волн, соответствующей понятию, которое принято отождествлять с формой волны, вообще не может происходить рассеяния в сторону излучателя (а следовательно, и эффекта реверберации) из-за пологости морских волн.

ной прямой) имеет место только до τ порядка 0,1 сек. При больших τ сила реверберации становится практически мало зависящей от длительности посылки. Объяснение этого явления надо искать, повидимому, в эффекте ослабления звука с расстоянием на длине посылки, обусловленном расширением фронта волны и поглощением, которые приводят при больших τ к относительному ослаблению роли „головной“ части посылки в создании звука реверберации и ограничивают эффективную пространственную протяженность посылки несколькими сотнями метров ее „хвостовой“ части. Если для не очень больших τ ограничиться только учетом эффекта расширения фронта волны и пренебречь эффектом поглощения, то вместо установленной в нашей теории (1) зависимости вида

$$I_p(t_0) = k\tau t_0^{-3}$$

(k — коэффициент пропорциональности, t_0 — наблюдаемый момент времени) можно предложить более точное выражение:

$$I_p(t_0) = k \int_{t_0}^{t_0 + \tau} t^{-3} dt = \frac{k}{2} \frac{2t_0\tau + \tau^2}{t_0^2(t_0 + \tau)^2}$$

(t — текущее время). Воспользовавшись им и приняв экспериментальное значение $I_p(0,5)$ при $\tau = 0,025$ сек. за исходное (для определения постоянной k), мы вычислили зависимость, показанную на рис. 3 сплошной линией, а также уже упомянутую приближенную зависимость (пунктирная прямая). Как видно из рисунка, точная зависимость хорошо согласуется с экспериментальными данными.

7. Следует упомянуть еще об опыте, имевшем целью проверку правильности одного из основных допущений нашей теории реверберации моря, именно, предположения о малости эффекта рассеяния высших порядков. Роль этого эффекта, пренебрежение которым при импульсном режиме, вообще говоря, разумно, желательно было все же оценить количественно. Соответствующий эксперимент заключался в том, что после производства посылки вибратор быстро отворачивался в сторону. В результате было установлено, что при отвороте вибратора больше, чем на полный угол раствора звукового пучка, сила реверберации падает, по крайней мере, на 20—30 дБ по сравнению с силой реверберации при неотвернутом вибраторе для тех же значений времени. Таким образом, рассеянные волны приходят практически лишь из тех направлений, куда посылается звуковой импульс, что может иметь место только при малости эффекта рассеяния высших порядков.

В заключение я должен выразить благодарность сотрудникам Физического института, принимавшим участие в экспериментальных исследованиях реверберации моря, и в особенности Г. Д. Малюжинец, поставившему некоторые существенные для изучения явления опыты, И. П. Жукову, выполнившему разработку специальной аппаратуры для исследований и непосредственно проводившему измерения, а также В. С. Григорьеву и Н. С. Антонову. Я должен, кроме того, выразить признательность Н. С. Агеевой за большую помощь в обработке экспериментальных материалов и их обсуждение.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии Наук СССР

Поступило
25 III 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. М. Сухаревский, ДАН, 55, № 9 (1947). ² Ю. М. Сухаревский, ДАН, 58, № 1 (1947). ³ Ю. М. Сухаревский, ДАН, 58, № 2 (1947). ⁴ Ю. М. Сухаревский, ДАН, 58, № 5 (1947).