

## Сильные горизонтальные неоднородности шумовых полей в океане

Б. И. Клячин\*

Московский городской психолого-педагогический университет. Россия, 127051, Москва, ул. Сретенка, д. 29  
(Статья поступила 07.08.2017; Подписана в печать 19.09.2017)

Горизонтальные неоднородности океанической среды приводят к горизонтальным неоднородностям шумового поля. Рассмотрены неоднородности, вызванные холодными вихрями и океаническими разломами. При этом источники шума на поверхности океана считаются горизонтально однородными. Тем самым, рассматриваются эффекты, связанные с особенностями распространения шума в сложной океанической среде. Для расчета шумовых полей последовательно используется теория переноса излучения. Считается, что шум преобладает в водных лучах и почти отсутствует в отраженных от дна донных лучах.

PACS: 430.30

УДК: 551.46

Ключевые слова: шумы океана, теория переноса излучения, океанические вихри и разломы дна.

### ВВЕДЕНИЕ

Представим себе горизонтально однородный слоистый океан и источники шума на его поверхности. Если источники шума так же обладают горизонтальной однородностью, то и результирующее шумовое поле будет горизонтально однородно. Это поле будет сформирована узким пучком водных лучей, вышедших с поверхности, и не дошедших до дна океана. (Известно, что донными лучами, испытывающими отражение от дна, в низкочастотном шумовом поле можно пренебречь.)

Наличие значительных горизонтальных неоднородностей океанической среды вынудит узкий пучок водных лучей испытывать отклонения от своей стандартной траектории.

Рассмотрим три неоднородности, которые существенно деформируют пучок водных лучей, что и приводит к сильным горизонтальным неоднородностям шумового поля. Это большие холодные вихри и два вида разломов дна.

Под холодным вихрем возникает область ослабления шума.

Первый вид разлома — глубокий разлом в глубоком океане. (Например — Марианский желоб.) Здесь на горизонте дна слоистого океана внутри разлома будет значительное увеличение интенсивности шумового поля по сравнению с полем слоистого океана.

Второй вид разлома. В таких разломах выполняются следующие условия: в слоистом океане скорость звука у дна меньше, чем у поверхности — следовательно, в слоистом океане нет водных лучей. В разломе скорость звука у дна больше, чем скорость звука у поверхности — здесь есть водные лучи. Тогда над таким разломом возникает область существенного повышения шума, которая простирается от дна разлома до поверхности океана.

### 1. ОБЛАСТЬ ОСАБЛЕНИЯ ШУМА ПОД ХОЛОДНЫМ ВИХРЕМ

Как уже отмечалось, одной из наиболее интересных особенностей горизонтально неоднородных шумовых полей является наличие области резкого снижения шума под холодным вихрем.

Приведем результаты некоторого простого исследования формы этой области. Рассмотрим граничный луч между семействами водных и донных лучей в слоистом океане. Этот луч выходит с поверхности и касается дна. «Отойдем влево» от вихря на расстояние чуть большее цикла такого луча. Будем выпускать с поверхности океана такие граничные водные лучи с горизонтальным интервалом в 5–10 долей его цикла (рис. 1). Сначала лучи будут поворачивать, касаясь дна. Затем при взаимодействии с холодным вихрем точки поворота будут приподниматься. При приближении к концу вихря они будут опускаться.

Рассмотрим огибающую линию семейства таких граничных лучей. Она (огибающая) является границей искомой области резкого снижения интенсивности придонного шума (рис. 1).

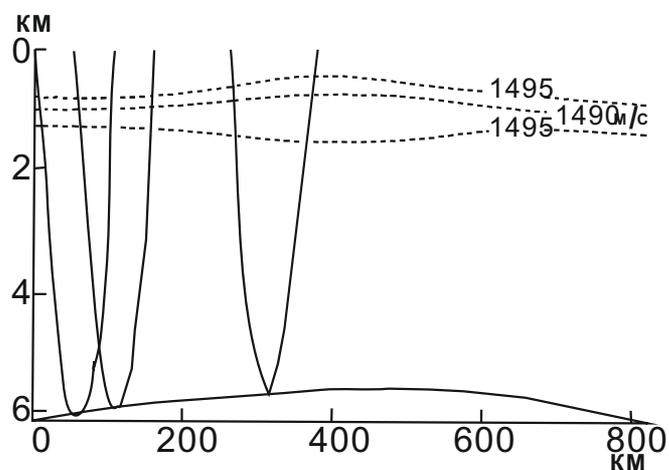


Рис. 1: Придонная область резкого снижения интенсивности шума под холодным вихрем (диаметр вихря 700 км)

\*E-mail: klboris@rambler.ru

При построении этого рисунка диаметр вихря равен 700 км. Большие размеры вихря делают рис. 1 более наглядным. При этом поперечный размер области снижения шума хорошо согласуется с расчетами глубинной зависимости в адиабатическом приближении, приведенными в [1]. Для более реалистичных вихрей с меньшими размерами трудно получить такой правильный рисунок исследуемой области. В большей мере это относится к совсем малым вихрям ( $< 100$  км).

## 2. ОБЛАСТЬ УСИЛЕНИЯ ШУМА В ГЛУБОКОМ РАЗЛОМЕ НА ГОРИЗОНТЕ ДНА ГЛУБОКОГО СЛОИСТОГО ОКЕАНА

Итак, в этом случае [2], интересующее нас поле шумов формируется двумя пучками лучей (рис. 2).

Первый пучок — это водные лучи слоистого океана — пучок с горизонтальной штриховкой на рис. 2,б.

Второй пучок — водные лучи разлома. Это те лучи, что распространяются вдоль разлома. Эти лучи заворачивают наверх внутри разлома. (Вертикальная штриховка на рис. 2,б.)

Попробуем точнее описать геометрию двух пучков, формирующих исследуемые шумовые поля.

Первый пучок — водные океана — с одной стороны ограничен лучом, вышедшим с поверхности и коснувшимся дна слоистого океана (рис. 2,б). С другой стороны этот пучок ограничен лучом, вышедшим в горизонтальном направлении (по касательной) к поверхности и коснувшимся некоего горизонта — критической глубины (горизонта, где скорость звука равна скорости звука на поверхности). Именно с этого горизонта водные лучи океана начинают заворачивать наверх. Как уже отмечалось, этот пучок имеет горизонтальную штриховку на рис. 2,б.

Второй пучок — водные разлома — с одной стороны ограничен лучом, касающимся дна разлома. С другой стороны этот пучок ограничен лучом, касающимся горизонта дна слоистого океана. На рис. 2,б данный пучок показан вертикальной штриховкой.

Предполагается, что разлом имеет прямоугольное сечение, неограниченную длину и обладает однородностью вдоль разлома

Поле шумов слоистого океана (водных океана) известно. Оно никак не зависит от разлома и является горизонтально однородным и изотропным в горизонтальной плоскости.

Поле шумов разлома (водные разлома) так же обладает однородностью, но только в направлении вдоль разлома.

Наиболее существенной особенностью рассматриваемого в данной работе приближения, является тот факт, что вдоль разлома должно укладываться много (около 10) циклов водных лучей разлома (тут следует отметить, что циклы водных разлома заметно протяженней циклов водных слоистого океана). Это условие того, что шумовое поле станет самосогласован-

ным в результате многократных отражений. Речь идет о расстояниях порядка десятков и сотен миль. Хорошо известно, что множество реальных разломов значительно протяженней. Это самое важное условие применимости данного подхода. Все остальные особенности формы разлома не так существенны.

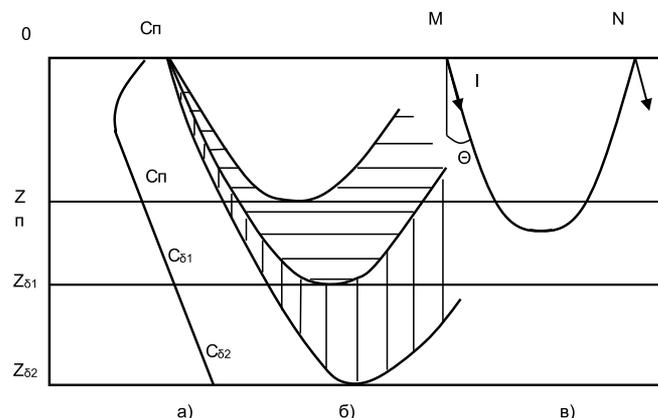


Рис. 2: а — Распределение скорости звука с глубиной. б — Пучок водных лучей слоистого океана вверху и пучок водных лучей разлома внизу. в — Полный цикл водного луча слоистого океана

Итак, наличие разлома приводит к возникновению еще одного пучка водных лучей. Интересно, что для условий, например, Марианского желоба этот дополнительный пучок будет даже несколько больше, чем пучок водных лучей слоистого океана (по телесному углу). Тем самым, над разломом интенсивность шума будет несколько больше, чем в слоистом океане (чуть больше, чем на 3 дБ).

Поскольку пучок водных лучей в слоистом океане при приближении к дну становится тоньше, (многие лучи заворачивают, не доходя до дна) интенсивность шума около дна сильно падает. При этом в разломе пучок водных лучей остается достаточно большим. Тем самым и возникает значительное усиление шума на горизонте дна слоистого океана над разломом.

## 3. «ШУМОВАЯ СТЕНА» НАД РАЗЛОМОМ ДНА В ОКЕАНЕ

Если скорость звука у дна слоистого океана  $C_{\delta 1}$  (рис. 3,а) меньше или равна скорости звука у поверхности  $C_p$ , то в слоистом океане водных лучей не будет. Если, при этом, имеется протяженный разлом дна, где скорость звука на нижних горизонтах и дне разлома  $C_{\delta 2}$  больше, чем у поверхности океана, (рис. 3,а), то в этом разломе будут водные лучи (рис. 3,б). При таких условиях интенсивность собственного шумового поля океана внутри разлома и над ним будет сильно превышать шумовое поле в слоистой части океана (3).

Это явление мы и называем «шумовой стеной» над разломом.

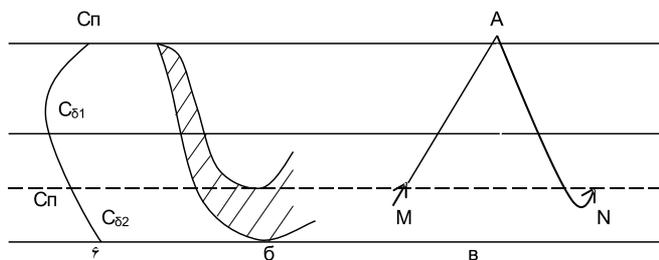


Рис. 3: а) Распределение скорости звука с глубиной. б) Пучок водных лучей разлома. в) Полный цикл водного луча разлома.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на различия в особенностях этих неоднородностей, в их природе много общего. Отклонение от

среднего поля шумов во всех рассматриваемых неоднородностях должно быть почти одинаковым. (Хотя и с разным знаком — под вихрем уменьшение интенсивности поля, в разломах — увеличение). Все это вызвано тем, что во всех случаях, неоднородности определяются разницей между интенсивностью водных и донных лучей. Согласно оценкам [3], эта разница для низкочастотного шумового поля может составить 20 дБ. (Используются данные из [4]).

Скорее всего, такой большой результат связан с использованием лучевого приближения и рассмотрением упрощенной геометрии задач. Но и в реальности можно ожидать похожего эффекта.

Следует отметить, что использование теории переноса излучения и сравнение водных и донных лучей вовсе не обязательно. Все три примера могут быть рассмотрены совсем другим способом, на языке краевых задач.

- [1] Клячин Б. И. Докл. РАН. 1990. **313**, №3. С. 711.  
 [2] Клячин Б. И. Акустика океана. Сборник докладов XII школы-семинара им. Акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС, 2009. С. 268.  
 [3] Клячин Б. И. Акустика океана. Сборник докладов XV

школы-семинара им. Акад. Л. М. Бреховских М.: ГЕОС, 2016. С. 204.

- [4] Бреховских Л. М., Лысанов Ю. П. Теоретические основы акустики океана. М.: Наука, 2007.

## Significant horizontal inhomogeneities of the noise field in the ocean

B. I. Klyachin

Moscow Psychological-Pedagogical University, Moscow, 127051, Russia  
 E-mail: klboris@rambler.ru

Horizontal inhomogeneities of the ocean medium lead to horizontal inhomogeneities of the noise field. We looked at the inhomogeneities caused by the cold eddies and ocean bottom's break ups. In addition noise sources on the ocean surface are considered to be horizontally homogeneous. Thus, effects connected with specifics of noise propagation in the complex ocean medium are analyzed. Radiation transfer theory is used successively for noise fields calculation. It is considered that the noise is more prominent in the water waves lines and almost absent in the waves lines reflected from the ocean bottom (ground wave lines).

PACS: 430.30

*Keywords:* Ocean noise, Radiation transfer theory, Ocean eddies and Ocean bottom's break ups.

*Received* 2017.

### Сведения об авторах

Клячин Борис Ильич — канд. физ.-мат. наук, доцент; e-mail: klboris@rambler.ru.