АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1999, том 45, № 5, с. 670–672

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.463.26

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БЕНТИЧЕСКОГО ФРОНТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ОКЕАНЕ

© 1999 г. П. Н. Кравчун

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет
119899 Москва, Воробьевы горы
E-mail: sandalov@phys.msu.su

Поступила в редакцию 01.12.98 г.

Бентический фронт (БФ), относящийся к классу квазистационарных океанических фронтов, представляет собой поверхность раздела между антарктической донной водой (ААДВ) и глубинной водой (ГВ). ААДВ формируется преимущественно в море Уэдделла в результате охлаждения и осолонения в холодную половину года. Опускаясь по материковому склону Антарктиды за счет большой плотности, ААДВ перемещается с Антарктическим циркумполярным течением и по глубоководным проходам попадает в бассейны Тихого, Атлантического и Индийского океанов, проникая во все глубоководные структуры дна. Непосредственно под БФ располагаются бентический термоклин (БТ) и соответствующий ему бентический пикноклин, в которых наблюдается значительное увеличение абсолютных значений вертикальных градиентов соответственно температуры и плотности воды. Наиболее отчетливо БФ и связанные с ним бентические термоклин и пикноклин выражены в районах интенсификации движения ААДВ (например, в районах глубоководных проходов) [1, 2].

В данной работе рассматривается БФ в южной части Тихого океана, где он представляет собой непрерывную фронтальную поверхность, слегка наклоненную на северо-восток и простирающуюся между Западным глубоководным пограничным течением и Антарктическим циркумполярным течением. Площадь этой поверхности достигает 10 млн. кв. км.

В настоящее время существуют лишь единичные работы, посвященные экспериментальному исследованию БФ. Тем не менее можно отчетливо выделить следующие особенности, отличающие БФ от других типов океанических фронтов: 1) большая глубина залегания (от 2 до 5 км в зависимости от района); 2) почти горизонтальное расположение фронтальной зоны; 3) огромные площади фронтальной поверхности, свидетельствующие о глобальном характере явления; 4) высокие значения градиентов температуры в слое БТ – до 1.5°С/км, что сопоставимо с температурными градиентами Северной "стены" Гольфстрима; 5) относительно небольшая толщина слоя БТ (200–500 м).

Представляет интерес оценка влияния БФ на распространение акустических волн в океане. Такая оценка может быть полезной для целого ряда задач акустической океанографии (акустическое зондирование дна, глубоководная акустическая телеметрия, мониторинг океана и др.). Однако до сих пор этот вопрос не обсуждался, и в данной работе содержится попытка восполнить этот пробел. Задача рассматривается в приближении геометрической акустики.

Для расчета гидрологических характеристик, влияющих на распространение акустических волн, могут быть использованы результаты экспериментальных исследований БФ (приведенные, например, в [1, 2]). Нами были использованы данные о глубинных зависимостях потенциальной температуры и солености, приведенные в [1] для нескольких станций в южной части Тихого океана. Указанные данные позволяют вычислить глубинные зависимости скорости звука, плотности воды, частоты Вяйсяля–Брента, а также лучевые траектории. В данной работе в качестве примера представлены результаты расчетов для станции с координатами 41°24′ ю.ш., 86°11′ з.д., где БФ и связанный с ним БТ выражены достаточно отчетливо.

Для построения полной лучевой картины, характеризующей поле точечного источника, необходимо знать всю гидрологию от поверхности до дна, в то время как в работах, посвященных исследованию БФ, как правило, отсутствуют данные для глубин от 0 до 1000 м. Для их восстановления были использованы данные [3], наиболее плавно примыкающие к глубоководным профилям и соответствующие последним по району и сезону измерений. Ошибки при сшивании профилей температуры и солености по порядку величины не превысили ошибок измерения соответствующих параметров.

Для нахождения зависимостей скорости звука от глубины по известным гидрологическим данным была использована весьма точная эмпирическая формула Вильсона [4]. Плотность воды на различных глубинах вычислялась с помощью

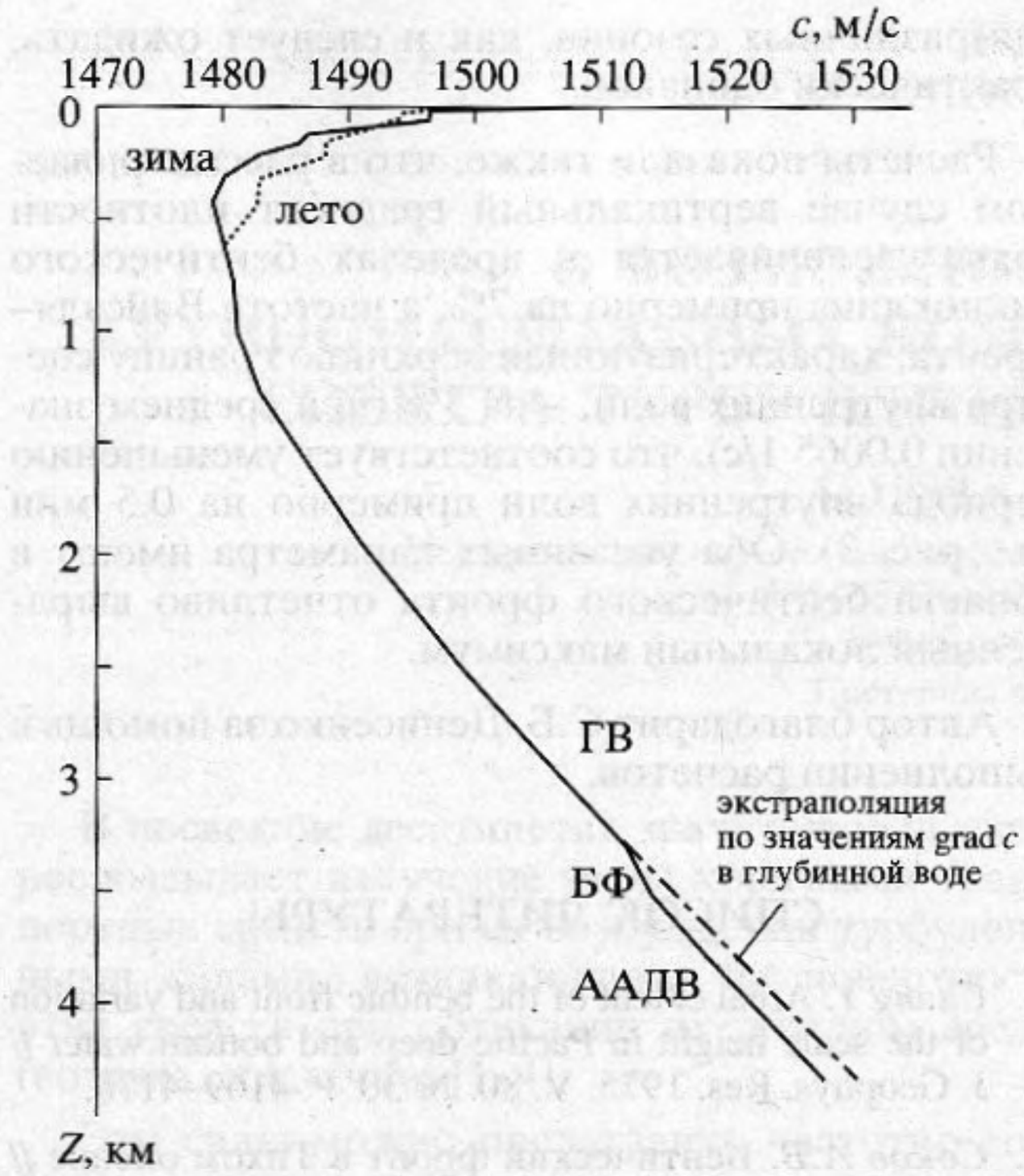

Рис. 1. Зависимость скорости звука от глубины для района с отчетливо выраженным бентическим фронтом.

уравнения состояния морской воды, предложенного в [5].

Как показывают расчеты, несмотря на то что в слое БТ, расположенном ниже БФ, уменьшение температуры с глубиной сопровождается, как правило, увеличением солености, вертикальный градиент скорости звука в БТ резко падает (почти на 40% в сравнении с его значением в ГВ) (см. рис. 1). На горизонтах ниже БТ, в квазиизотермическом слое ААДВ, значение градиента скорости звука близко к значению в ГВ, однако разность между истинной скоростью звука и скоростью звука, рассчитанной путем экстраполяции по значениям градиента скорости звука в ГВ без учета особенностей, вносимых БФ и БТ, достигает нескольких метров в секунду (рис. 1).

Расчеты лучевых траекторий при различных глубинах погружения источника были проведены для указанного выше района Тихого океана как с учетом существования БФ, так и без его учета (в последнем случае для больших глубин использовалась экстраполяция глубинной зависимости скорости звука по значениям ее градиента в ГВ). Сопоставление результатов этих расчетов (см. пример на рис. 2) позволяет наглядно выявить влияние БФ на распространение акустических волн в океане (выводы справедливы для лучей, прошедших слой БТ): 1) длина цикла луча увеличивается в среднем на 10–12%, т.е. на 7–10 км; 2) зоны вторичной освещенности на поверхности удаляются от источника (первая зона – на 5–7 км, вторая – на 10–15 км и т.д., что составляет около 10–14% от расстояния между источником и соответствующей зоной); 3) наблюдается пространственный сдвиг систем каустик на несколько километров (не менее 5–7 км); 4) глубина проникновения лучей с одинаковыми углами выхода увеличивается на 150–200 м; 5) несколько уменьшаются углы выхода граничных лучей (в проведенных расчетах смещение составляло около 1°). Поскольку

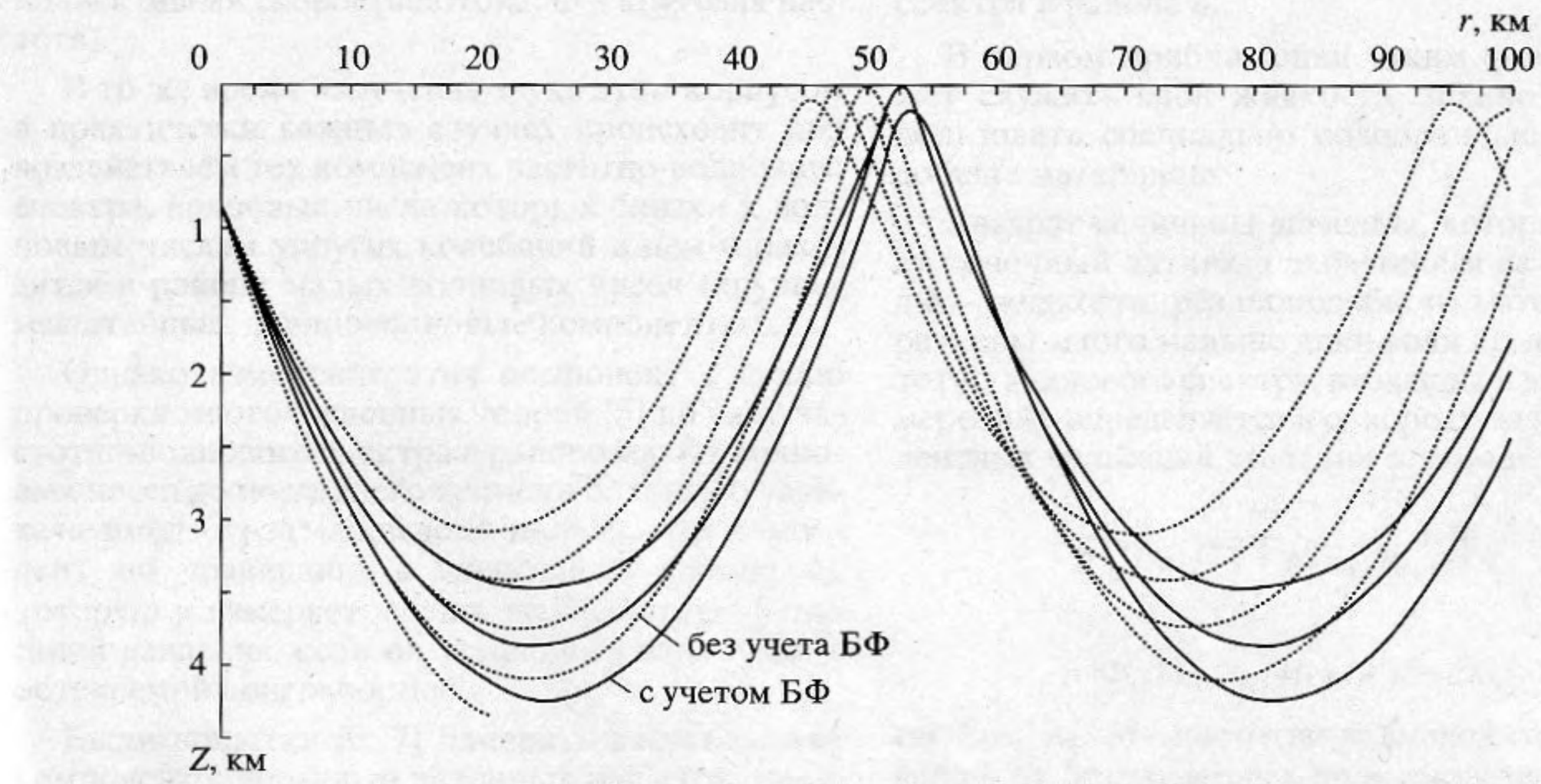

Рис. 2. Лучевая картина для водных лучей с углами выхода –(11°–14°) (лето; источник на глубине 800 м).

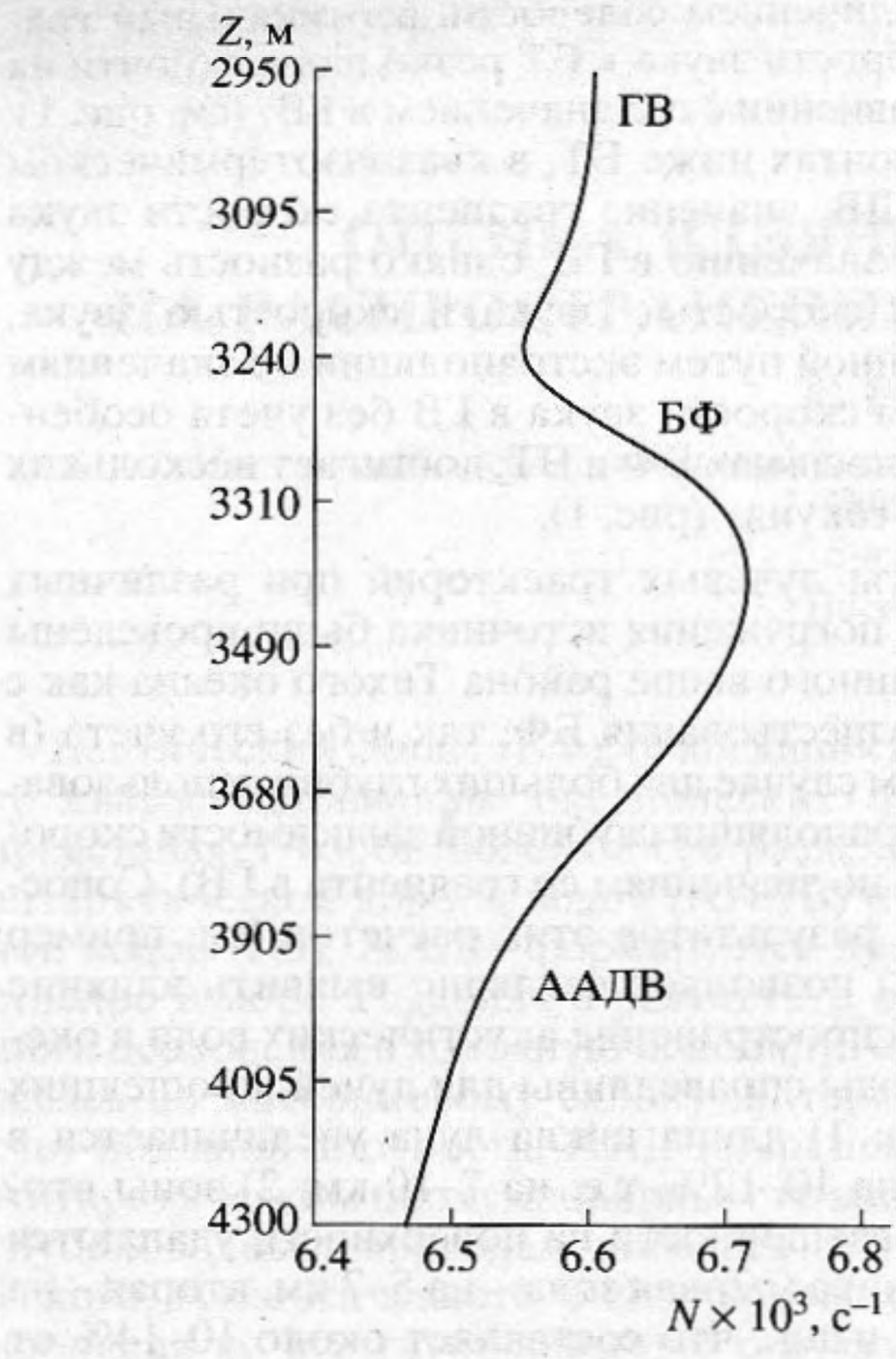

Рис. 3. Глубинная зависимость частоты Вяйсяля–Брента в районе залегания бентического фронта.

сезонная изменчивость гидрологических характеристик затрагивает лишь поверхностный слой океана, а на глубинах залегания БФ она отсутствует, характер влияния БФ на лучевые картины для различных сезонов, как и следует ожидать, практически одинаков.

Расчеты показали также, что в рассматриваемом случае вертикальный градиент плотности воды увеличивается в пределах бентического пикноклина примерно на 7%, а частота Вяйсяля–Брента, характеризующая верхнюю границу спектра внутренних волн, – на 3% (при среднем значении 0.0065 1/с), что соответствует уменьшению периода внутренних волн примерно на 0.5 мин (см. рис. 3). Оба указанных параметра имеют в области бентического фронта отчетливо выраженный локальный максимум.

Автор благодарит С.Б. Денисенко за помощь в выполнении расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chung Y.* Areal extent of the benthic front and variation of the scale height in Pacific deep and bottom water // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. № 30. P. 4169–4178.
2. *Соков А.В.* Бентический фронт в Тихом океане // Исследование океанографических процессов в тропической зоне Тихого океана. М.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 162–167.
3. *Муромцев А.М.* Атлас температуры, солености и плотности вод Тихого океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1963. 120 с.
4. Акустика океана / Под ред. Л.М. Бреховских. М.: Наука, 1974. С. 6–9.
5. *Chen C.-T., Millero F.J.* The specific volume of seawater at high pressures // Deep-Sea Res. 1976. V. 23. P. 595–612.