АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1995, том 41, № 2, с. 194 - 201

УДК 551.463.21

ОСОБЕННОСТИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ КОНКРЕЦИОННЫХ УЧАСТКОВ ДНА ОКЕАНА

© 1995 г. А. В. Бунчук

Учебный комплекс-школа № 45
117036 Москва, ул. Гримау, 8

Поступила в редакцию 03.06.94 г.

На основе результатов широкомасштабных полигонных исследований, проводившихся в течение десяти лет в Тихом и Индийском океанах, в работе рассматриваются и анализируются устойчивые особенности отраженных дном тональных и частотно-модулированных сигналов, которые можно считать косвенными признаками наличия скоплений ЖМК. Большое внимание уделено физическому объяснению этих особенностей и их связи с характером расположения конкреций на поверхности дна. Подробно изложен опыт применения метода спектрометрии временных задержек при вертикальном зондировании дна, на основе которого предлагается использовать широкополосное ЧМ-излучение для дистанционного поиска конкреций.

В работах [1, 2] предложен так называемый многочастотный метод дистанционного поиска и определения параметров скоплений железо-марганцевых конкреций (ЖМК). В дальнейшем этот метод получил теоретическое обоснование [3], а также экспериментальное подтверждение и практическое развитие [4 - 6].

В ходе продолжительной экспериментальной отработки метода, проводившейся в 1983 - 1991 гг., выявлен целый ряд таких особенностей отраженных от конкреционных участков дна эхо-сигналов, которые могут служить признаками наличия конкреций. Наиболее известными из них являются повышение амплитуды сигналов [7 - 12] и необычная частотная зависимость коэффициента отражения звука [3, 6, 8, 12]. О поиске дополнительных признаков говорится в работах [11 - 14]. Так, в работе [13], выполнявшейся с помощью узконаправленной (2.7°) антенны Sea Beam на частоте около 12 кГц, были исследованы закон распределения и коэффициент вариации огибающих отраженных сигналов. Измерению коэффициента вариации на нескольких частотах и попытке связать полученные результаты со значением продуктивности скоплений ЖМК посвящена работа [14]. В работах [11, 12] рассмотрены спектрально-корреляционные особенности отраженных конкрециями простых и сложных сигналов.

В настоящей работе, подводящей итог большому циклу натурных полигонных геоакустических исследований в Индийском и Тихом океанах, описываются особенности отраженных и рассеянных конкреционными участками дна тональных и частотно-модулированных сигналов в их взаимосвязи с особенностями расположения конкреций на дне. Соответствующие измерения проводились на ходу и в процессе дрейфа исследовательских судов "Петр Лебедев" и "Академик Борис Константинов". При исследовании отражения звука сигналы излучались на частотах от 3 до 20 кГц с помощью ориентированных вертикально вниз приемно-излучающих антенн с шириной диаграмм направленности от 10° до 40°. Измерения обратного рассеяния звука дном проводились с использованием взрывных приповерхностных источников звука. В литературе неоднократно приводились описания как методик соответствующих измерений [8, 15, 16], так и исследованных нами полигонов [8, 17 - 20], поэтому здесь ограничимся приведенными ссылками.

Изложение результатов начнем с особенностей отраженных дном тональных сигналов. Одним из двух наглядных и устойчивых признаков наличия на дне конкреций, выявляющемся в ходе батиметрических промеров дна с помощью слабонаправленных эхолотов, работающих в режиме миллисекундных посылок, являются многочисленные и ярко выраженные "гиперболические следы" на лентах регистрирующих факсимильных аппаратов (рис. 1). Общая причина появления таких "следов" от сильных диффузных точечных рассеивателей звука давно известна [21]. В данном случае возникновение "следов" связано как с существенно неравномерным расположением конкреций на дне в виде небольших скоплений или "пятен", размер которых существенно меньше размеров озвучиваемой донной поверхности, так и со значительно более сильными, чем у илистого дна, звукорассеивающими свойствами конкреций.

Теми же причинами, несомненно, объясняется и еще один постоянно наблюдающийся характерный

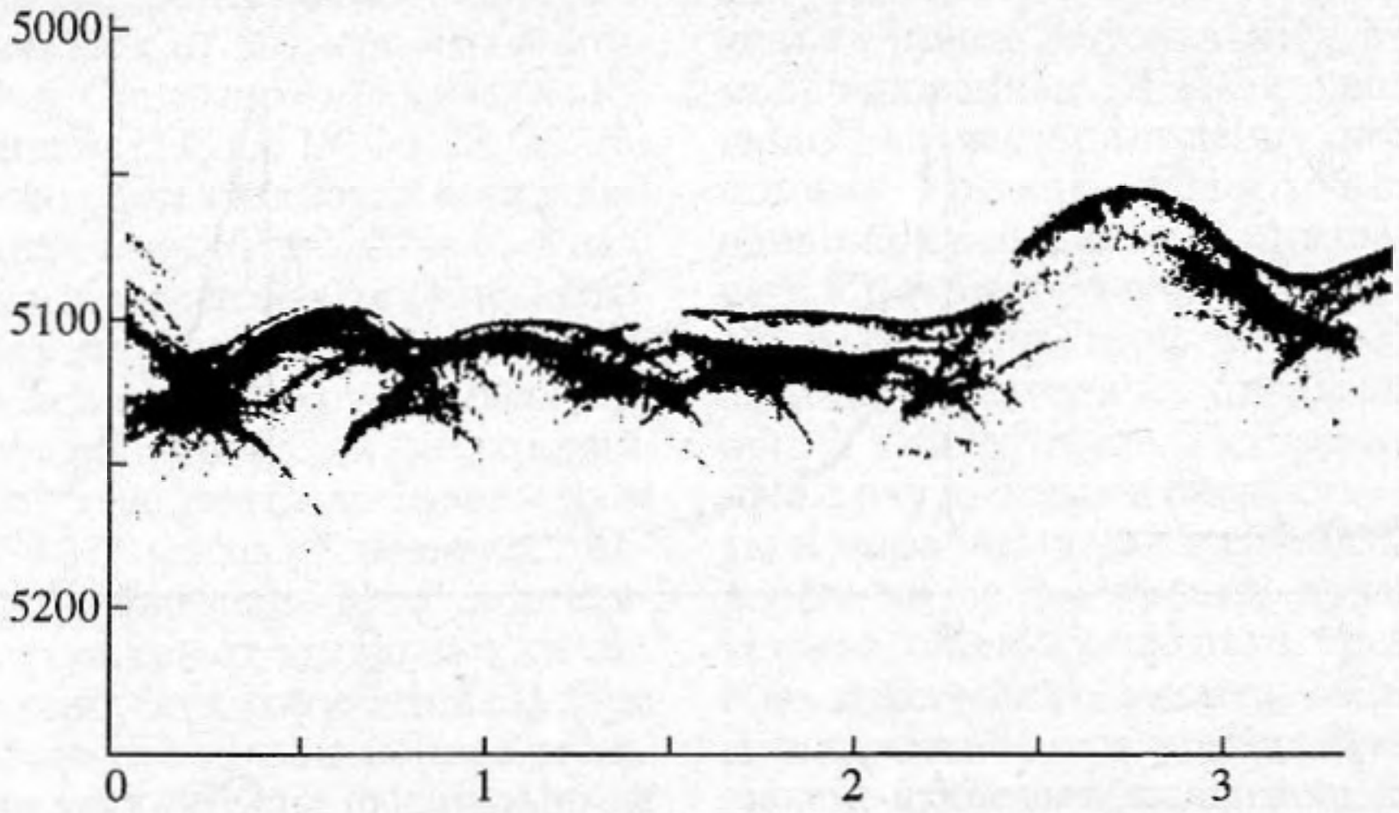

Рис. 1. Фрагмент промерной эхолотной записи над участком конкреционного полигона в Индийском океане. Ширина диаграммы направленности эхолота около 40°, частота излучения 9.6 кГц. Показаны масштабы по вертикальной оси в метрах и горизонтальной оси в морских милях.

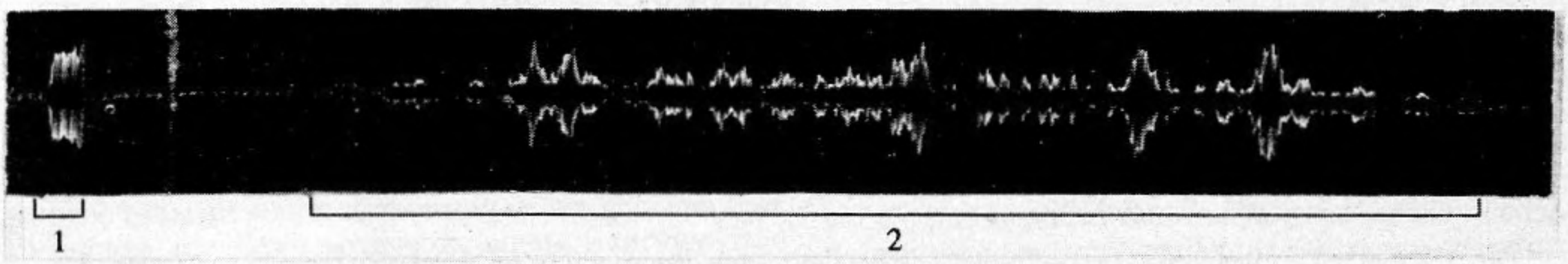

Рис. 2. Затягивание отраженных конкрециями коротких излученных тональных сигналов частотой 3 кГц в районе разлома Кларион–Клиппертон при глубине места около 5000 м (Тихий океан). Ширина диаграммы антенны 20°. 1 – излученный сигнал (50 мс), 2 – отраженный сигнал (около 1.4 с).

признак наличия конкреций, заключающийся в экстремально большом (в 25 - 35 раз) увеличении длительности (затягивании) коротких зондирующих звуковых посылок. Иллюстрация этого эффекта приведена на рис. 2. Радиус τ_k автокорреляции огибающих отраженных сигналов в этом случае примерно равен длительности τ_u излучения. Нетрудно показать, что обычное объяснение подобных затяжек наличием мезомасштабных неровностей донного рельефа [16] в данном случае несостоятельно, поскольку приводит к нереальным значениям среднеквадратичного угла наклона неровностей (30° - 35°). Затягиваются и длинные посылки. Так, при $\tau_u = 4$ с на той же частоте 3 кГц длительность τ_0 отраженного сигнала в среднем составляла 4.5 с, а величина $\tau_k \approx 0.37$ с. При скорости смещения судна относительно дна $v \approx 1$ м/с это соответствовало пространственной автокорреляции отраженного поля $\rho_k = v\tau_k \approx$ ≈ 22 см – типичному значению для конкреционных районов [12]. Интересно отметить, что как при малых (20 - 50 мс), так и при больших (1 - 4 с) посылках разность значений $\tau_0 - \tau_u$ была одинаковой (0.5 - 0.6 с). Это означает постоянство размеров эффективно отражающей звук области дна.

"Пятнистое" или сугубо неравномерное расположение скоплений ЖМК на донной поверхности, во многом определяющее специфические особенности приходящих от них эхосигналов, отмечалось разными авторами. Однако именно с началом гидроакустических исследований подобное расположение конкреций на дне стало очевидным. При этом чем большей разрешающей способностью обладал метод исследований, тем более мелкие масштабы локальной изменчивости концентрации или продуктивности скоплений выявлялись с его помощью (см. ниже). Наиболее удобным в этом смысле инструментом оказался гидролокатор бокового или азимутального обзора, совмещающий высокое разрешение с большой производительностью [19, 23 - 26]. Интересно отметить, что первая публикация, в которой гидроакустическое зондирование дна предлагалось как метод дистанционного обнаружения скоплений ЖМК, оказалась единственной, где неравномерность расположения конкреций на дне не была выявлена. В этой публикации [27] обращалось внимание на разный характер временного спада огибающих рассеянных глубоководным дном звуковых сигналов, инициированных приповерхностным

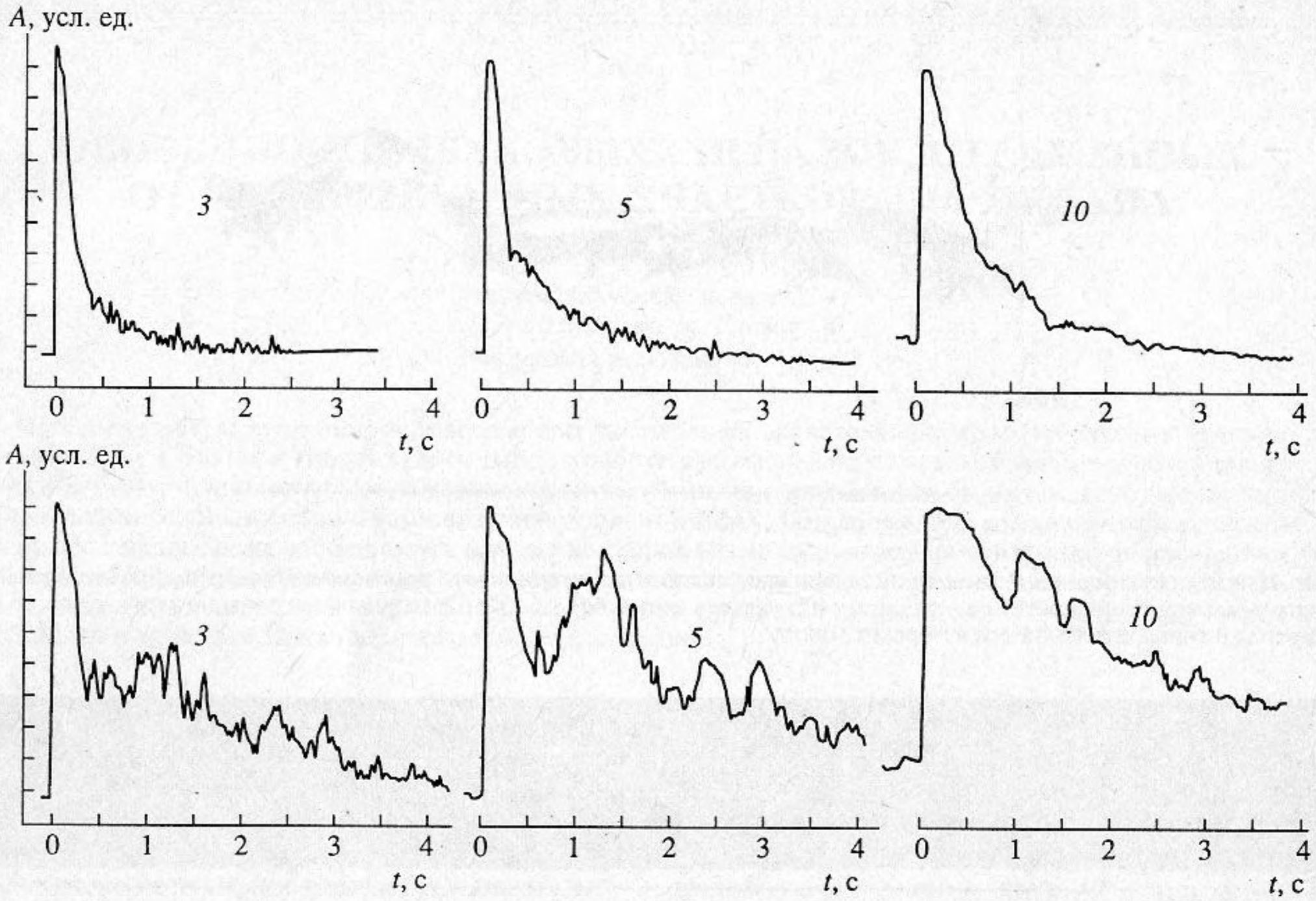

Рис. 3. Характер временного спада огибающих рассеянного дном одного и того же взрывного сигнала на разных частотах. Верхние кривые получены в районе без конкреций, нижние – в конкреционном районе с той же глубиной места (Кларион–Клиппертон). Масштаб записи – линейный по обеим осям, время t отмечено от начала рассеянного сигнала в с, A – амплитуда огибающих в условных единицах. Цифрами обозначены частоты терциальных фильтров в кГц.

подрывом толовых шашек, в отсутствие и в присутствии конкреций. Эффективная длительность небольших взрывных сигналов имеет порядок единиц миллисекунд, что соответствует разрешению в плоскости глубоководного дна в первые десятки метров. Обнаруженный в работе [27] более замедленный, но, тем не менее, монотонный спад уровней сигналов, рассеянных конкрециями, свидетельствует об отсутствии на дне неоднородностей размером в десятки и более метров в пределах круга радиусом более полутора глубин места. Это означает, что конкреции в этом случае (район островов Зеленого Мыса) покрывали дно достаточно равномерно, без “пятен”. Проделанные нами на трех глубоководных конкреционных полигонах эксперименты со взрывными источниками звука показали, что во всех случаях спад уровней рассеянных дном сигналов был далек от монотонного (рис. 3). На записях всегда присутствовали выбросы амплитуды, соответствовавшие резкому возрастанию силы рассеяния звука на конкреционных “пятнах”, причем этом эффект при наблюдении с поверхности воды был наиболее заметен на частотах 4 - 10 кГц.

Разумеется, “пятнистость” конкреционных скоплений наблюдается и непосредственно с помощью придонной фото- и телеаппаратуры (см., например, [17 - 20]). По данным работы [28], обобщающей обширный фактический материал, собранный отечественными морскими геологами в зоне тихоокеанского разлома Кларион–Клиппертон, вследствие неравномерности расположения конкреций при любом способе их оконтуривания коэффициент вариации концентрации составляет не менее 40 - 50%. Анализ гидролокационных изображений дна [25, 26], а также результатов многокилометровых придонных фоторазрезов [17, 18] показывает, что помимо изменчивости с масштабом в сотни метров - единицы километров (“пятна”) существует и локальная изменчивость концентрации конкреций внутри “пятен” с меньшими пространственными масштабами. Наиболее мелкие масштабы изменчивости концентрации составляют 10 - 50 см и отчетливо наблюдаются de visu на придонных фотографиях, а также обнаруживаются при корреляционной обработке отраженных дном сигналов [12].

Очевидно, что сложная многомасштабная картина расположения конкреций на дне должна учитываться при постановке экспериментов и интерпретации получаемой гидроакустической информации [3, 4, 6, 8, 10, 12]. Рассмотрим здесь

влияние этой картины на процесс измерения уровней сигналов, отраженных от дна при его вертикальном зондировании. Согласно имеющимся экспериментальным данным [11, 13, 19, 26, 27, 29, 30] индикатриса обратного рассеяния звука конкреционными участками дна на частотах выше 6 - 8 кГц имеет околозеркальный максимум, ширина которого не зависит от частоты и составляет около 10°. Этот максимум обусловлен как крупномасштабными флуктуациями концентрации конкреций, так и подстилающим конкреции мезорельефом дна[1]). При углах 20° - 70° индикатриса имеет постоянный уровень, объясняемый чисто энергетическим сложением откликов от отдельных квазидиффузно рассеивающих звук конкреций [3]. При такой индикатрисе понятие эффективного коэффициента отражения звука от дна формально не может быть введено [16, 31], и независимость измерений уровней отраженных дном сигналов от характеристик приемо-излучающего тракта, достигаемая над дном без конкреций при слабонаправленных антеннах, в конкреционных районах обеспечивается только при узконаправленных антеннах с подавленными боковыми лепестками и с шириной главного лепестка не более 10° [3, 6]. В самом деле, боковые лепестки, охватывающие значительную площадь дна, могут оказаться направленными на конкреционные участки дна при главном лепестке, озвучивающем илистую поверхность дна без конкреций. Ясно, что оконтуривание скоплений в этих условиях становится невозможным. Узконаправленные антенны в такой ситуации имеют перед слабонаправленными еще и то преимущество, что позволяют выделять когерентную компоненту из полного отраженного акустического поля. Как показано теоретически [3, 6] и экспериментально [4, 12], для дистанционного поиска и оценки параметров скоплений ЖМК такое выделение когерентной компоненты принципиально необходимо.

Для повышения разрешающей способности эхолотов с фиксированной шириной диаграммы направленности в наших экспериментах применялись два метода. Один из них, использующий запоминающий детектор, описан в работе [4]. Другим был так называемый метод спектрометрии временных задержек, [32, 33], получивший в последнее время широкое распространение при гидроакустических исследованиях океанического дна [19, 34, 35]. В этом методе используется излучение и прием не тональных, а линейно частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов. Как увидим, в нашем случае применение данного метода дает, помимо прочего, возможность получить еще один информационный признак наличия конкреций. Идея метода состоит в нахождении спектра сигналов разностной частоты, формируемых на выходе смесителя из отраженных дном и опорных ЛЧМ сигналов. Последние имеют идентичную с излученными скорость Ω изменения частоты и вырабатываются единым задающим генератором во время приема отраженных сигналов. Начало опорного сигнала предшествует вступлению отраженного, а конец – несколько запаздывает за окончанием отраженного сигнала. При фиксированной наклонной дальности R до элементарного донного рассеивателя разность F частот отраженного и опорного сигналов постоянна и равна

$$F = F_0 - \Omega(t_з - 2R/c), \qquad (1)$$

где F_0 – разность частот этих сигналов в момент вступления отраженного сигнала, $t_з$ – задержка начала опорного сигнала за излученным. Таким образом, если на дне имелся бы только один рассеиватель, удаленный от антенны на расстояние R, на выходе смесителя сигнал разностной частоты (1) наблюдался бы в виде отрезка синусоиды постоянной амплитуды, длительность которого равна длительности отраженного сигнала. Коль скоро F линейно зависит от R, спектр выходного сигнала представляет собой спектр дальностей R до элементарных рассеивателей дна. Одновременно с этим в случае линейности приемного тракта спектральные амплитуды сигналов разностной частоты пропорциональны уровням отраженных сигналов. Это дает возможность сопоставить каждому элементарному отражателю амплитуду отраженного им сигнала.

На рис. 4а приведен пример спектра сигнала разностной частоты, полученного на выходе линейного смесителя из отраженного и опорного ЛЧМ сигналов с центральной частотой 8 кГц и скоростью изменения частоты $\Omega = 1$ кГц/с. По горизонтальной оси отложены как непосредственно измеряемая на экране спектроанализатора разностная частота, так и наклонная дальность R, рассчитываемая, исходя из (1). Геометрия эксперимента показана на рис. 4б. Резкое начало спектра отвечает глубине места 5077 м и разностной частоте 83.3 Гц. Дно в районе измерений не содержало конкреций и было однородно по своим свойствам, что видно из плавного уменьшения спектральных амплитуд по мере увеличения дальности до рассеивающих участков дна. Уменьшение этих амплитуд на 6 дБ на разностной частоте $F = 104$ Гц соответствует дальности $R = 5088$ м и углу падения 3.8°. Удвоенная величина этого угла определяет, очевидно, угловую ширину эффективно

[1] Поскольку пористость верхнего водонасыщенного слоя осадков в конкреционных районах составляет более 80%, в силу чего сами по себе эти осадки отражают звук весьма слабо, мезорельеф перестает быть звукопрозрачным именно благодаря наличию конкреций. Как установлено в работе [22] в результате анализа обширного экспериментального материала, затяжка сигналов, отраженных верхним слоем рыхлых глубоководных осадков, вызывается, как правило, объемными неоднородностями их толщи, а не неровностями поверхности. Наши данные подтверждают этот вывод.

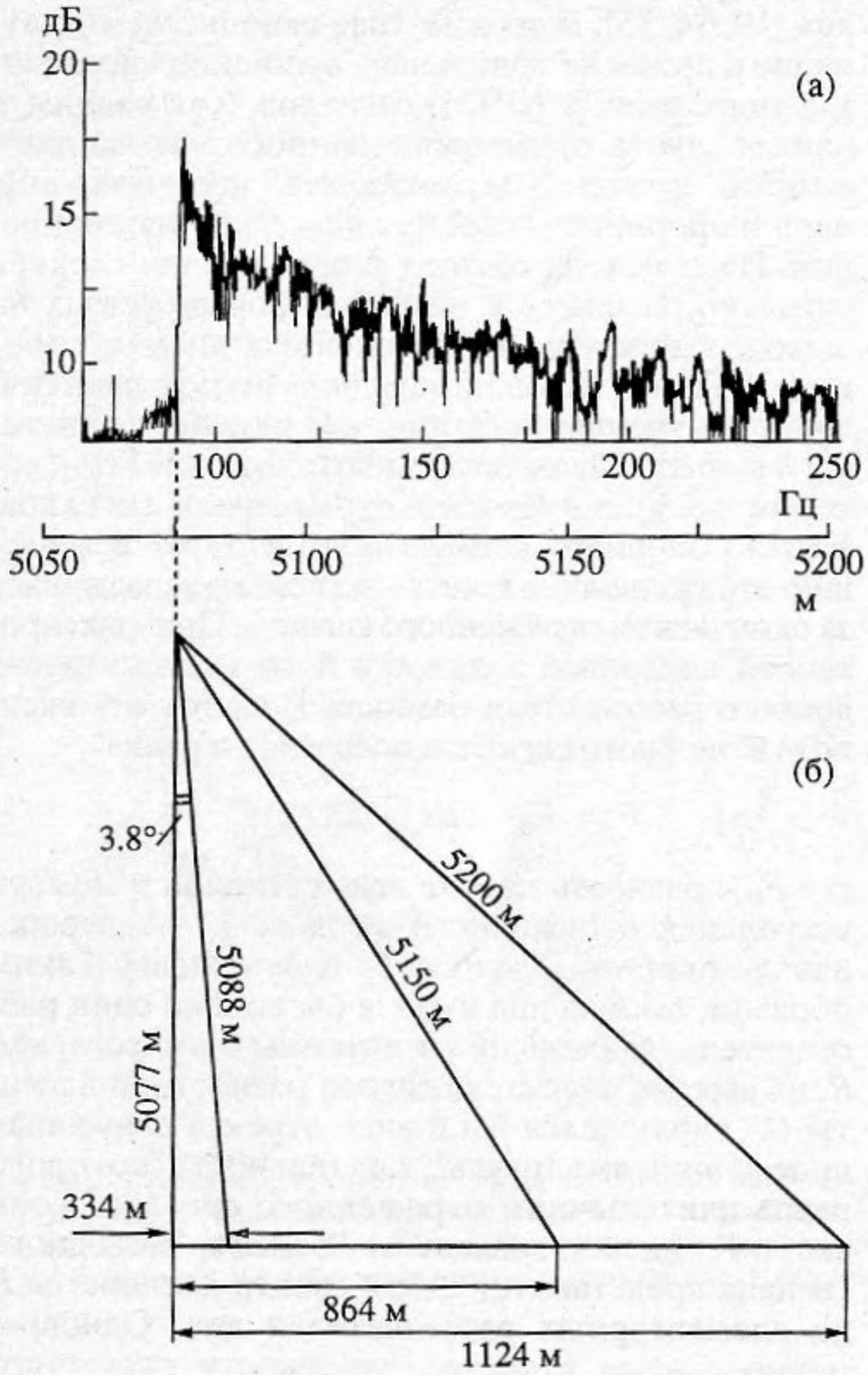

Рис. 4. а). Пример спектра сигнала разностной частоты при вертикальном зондировании дна без конкреций. Длительность посылки 1 с. По оси ординат отложена спектральная амплитуда в дБ, по оси абсцисс – разностная частота в Гц и наклонная дальность в м. б). Геометрия эксперимента, рассчитанная по формуле (1) при $F_0 = 0$, $t_з = 6.68$ с.

отражающей области дна, которая в данном случае меньше ширины диаграммы направленности антенны (около 10°). Отметим, что аналогичный спектр приведен в работе [35], в которой метод спектрометрии временных задержек применялся для измерения угловой зависимости силы обратного рассеяния звука дном.

При использовании данного метода обработки эхосигналов, отраженных скоплениями ЖМК, вид спектра разностных частот существенно меняется (рис. 5). На нем появляется несколько максимумов, величина, число и положение которых на частотной оси меняются от реализации к реализации по мере движения судна относительно дна. Такие особенности легко объяснить сильной звукорассеивающей способностью конкреций и их пятнистым расположением на дне, о которых говорилось выше. В данном случае пятнистость выявляется благодаря высокой разрешающей способности метода исследований, составлявшей около 40 м в плоскости дна.

Вопрос о разрешающей способности рассмотрим более подробно. Нетрудно показать, что при вертикальном зондировании разрешающая способность ΔR по дальности связана с горизонтальным разрешением d в плоскости дна соотношением $\Delta R = d^2/H$, где H – глубина места. Два точечных объекта, разнесенных на d, в силу (1) дадут спектральные отклики, разнесенные по разностной частоте на $\Delta F = 2\Omega\Delta R/c = 2\Omega d^2/cH$. Ширина Δf спектрального отклика от каждого из объектов обратно пропорциональна длительности T_a той части сигнала разностной частоты, которая реально обрабатывается спектроанализатором (при работе в глубоководных районах T_a удобно брать меньше полной длительности сигнала, которая сама по себе ограничена лишь величиной $2H/c$). Таким образом, в идеальной ситуации для разрешения откликов от точечных объектов достаточно условия $\Delta F \geq \Delta f$, откуда при заданной T_a находим

$$d \geq (cH/2\Omega T_a)^{1/2}. \qquad (2)$$

При получении спектров, изображенных на рис. 5, значения параметров составляли $T = 5$ с, $T_a = 4$ с, $\Omega = 0.5$ кГц/с, $H = 5000$ м. Подстановка их в (2) и дает приведенную выше оценку. Из (2) вытекает также требование к скорости изменения частоты излучения, необходимой для обеспечения заданного разрешения d в плоскости дна.

Возвращаясь к спектрам, показанным на рис. 5, отметим также их существенное расширение по сравнению со спектром на рис. 4а. Это расширение, а также отсутствие плавного спадания спектра служат дополнительными наглядными признаками наличия конкреций на дне. Что касается самого расширения, то оно объясняется увеличением углового размера эффективно отражающей области дна, связанным с наличием конкреций, и эквивалентно затяжке коротких тональных сигналов, о которой говорилось выше. Так, угловой размер этой области, судя по рис. 5, составляет 20° - 22°, что в три раза больше углового размера той же области дна без конкреций. Поскольку ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны по-прежнему была около 10°, полученные результаты подтверждают высказанные соображения о его фактическом расширении при наличии конкреций за счет ярко выраженных звукорассеивающих свойств последних и возникающих из-за этого побочных каналов приема.

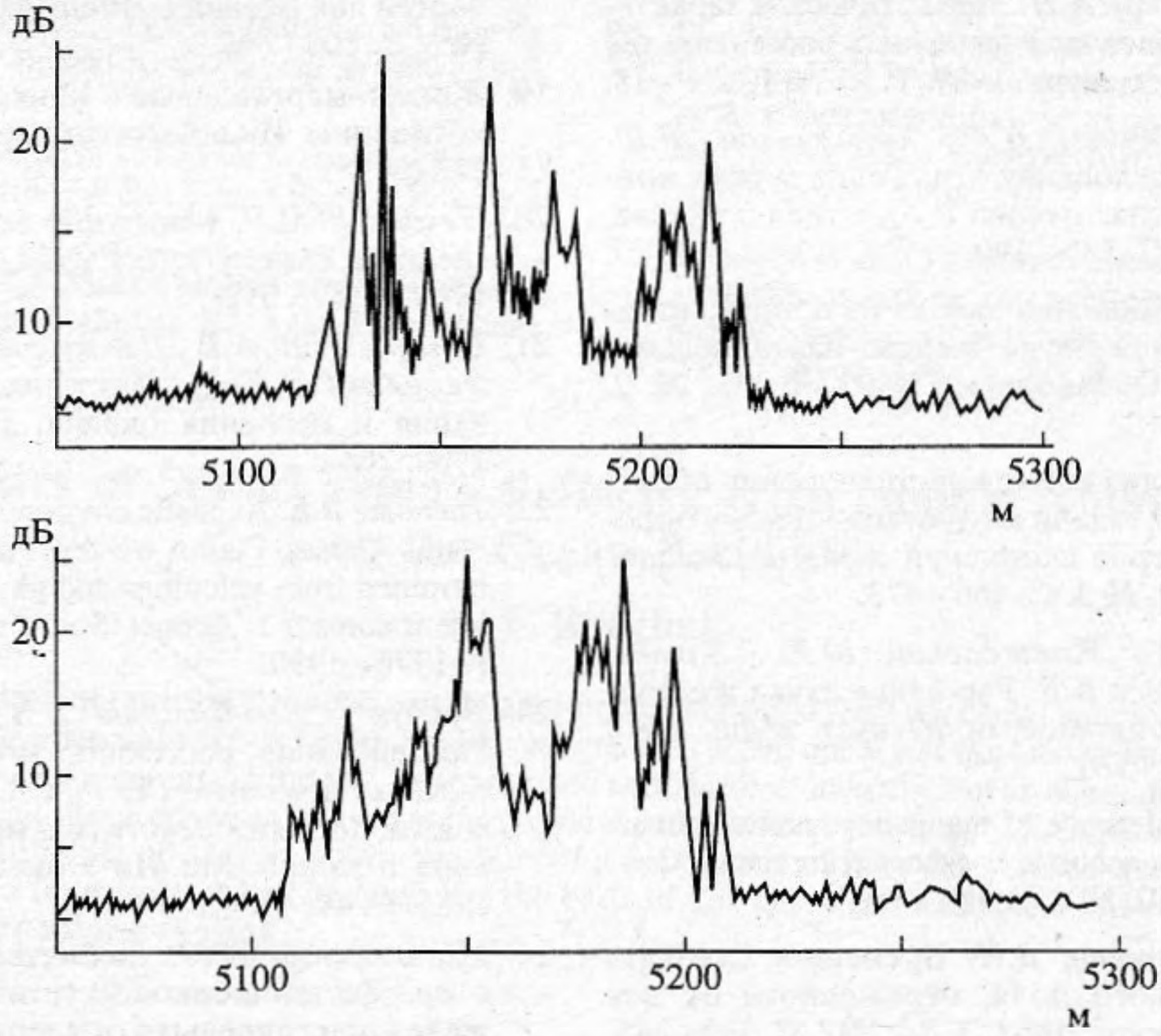

Рис. 5. Примеры спектров сигналов разностной частоты, полученных над конкреционными участками дна. По оси абсцисс отложена наклонная дальность в м, рассчитанная из геометрии эксперимента, по оси ординат – спектральная амплитуда в дБ.

Следует отметить, что спектральные максимумы, подобные наблюдающимся на рис. 5, могли бы возникнуть и без конкреций в случае слоистой структуры дна [36], но при этом отличия в спектрах соседних отраженных сигналов не были бы так сильны: число и положение максимумов на частотной оси (оси дальностей) оставалось бы неизменным при смещениях судна в течение определенного времени.

В появившейся недавно публикации [37] описан океанологический комплекс "Гранат", позволяющий практически решать задачу поиска и разведки ЖМК одновременно с автономным решением ряда навигационных задач. Следует отметить, что исходные требования к параметрам комплекса по некоторым позициям были достаточно противоречивы, и окончательные значения таких параметров являются результатом приемлемого компромисса. Например, тональное излучение, использованное в "Гранате", не оптимально при решении задач, связанных с конкрециями. По этой причине состав, структура и стоимостные показатели комплекса "Гранат" могут быть упрощены и снижены, если решение навигационных задач не является необходимым. В частности, весьма широкие перспективы использования метода спектрометрии временных задержек могут открыться при наличии широкополосного ЛЧМ излучателя с диапазоном рабочих частот 5 - 20 кГц (подобный излучатель описан в работе [34]). В этом случае после соответствующей калибровки антенн с его помощью можно усовершенствовать многочастотный метод поиска и разведки ЖМК, перейдя от излучения двух - трех дискретных частот к широкополосному спектру излучения. Это значительно упростит обработку принятых сигналов, повысит помехозащищенность метода и увеличит точность оценки параметров ЖМК. Кроме того, можно будет эффективно использовать высокую разрешающую способность метода спектрометрии.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Н.И. Князевой и Ю.В. Воронкову за предоставление разработанной ими аппаратуры, а также Ш.Ш. Халилуллову за большую помощь в проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Suzuku T.* Method and apparatures of surveying nodular targets on the seafloor // J. Acoust. Soc. Amer. 1982. V. 72. № 5. P. 1659.

2. *Magnuson A.H.* Manganese nodule abundance and size from bottom: reflectivity measurements // Marine Mining. 1983. V. 4. № 2 - 3. P. 265 - 296.

3. *Бунчук А.В., Ивакин А.Н.* Энергетические характеристики эхосигналов от дискретных рассеивателей дна океана // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 1. С. 8 - 18.

4. *Бунчук А.В., Сечкин В.А., Халилуллов Ш.Ш.* Полигонные исследования отражения звука в конкреционных районах океана // Акустика в океане. М.: Наука, 1992. С. 189 - 199.

5. *Бунчук А.В.* Влияние дна океана на процесс отражения и рассеяния звука железо-марганцевыми конкрециями // Океанология. 1992. Т. 32. № 2. С. 228 - 233.

6. *Бунчук А.В.* Анализ возможности решения обратной акустической задачи по дистанционному определению параметров скоплений ЖМК // Океанология. 1992. Т. 32. № 3. С. 466 - 473.

7. *Бреховских Л.М., Житковский Ю.Ю., Захлестин А.Ю., Савельев В.В.* Рассеяние звука железомарганцевыми конкрециями // Акуст. журн. 1985. Т. 31. № 4. С. 568 - 569.

8. *de Moustier Ch.* Inference of manganese nodule coverage from Sea Beam acoustic backscattering data // Geophysics. 1985. V. 50. № 6. P. 989 - 1001.

9. *Бунчук А.В., Воловов В.И.* Временная стабильность акустического поля, отраженного от дна океана // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 2. С. 343 - 345.

10. *Губанов Ю.Н., Туголесов Д.Д.* Применение судовых эхолотов в составе многочастотной геоакустической системы для поисков скоплений железомарганцевых конкреций // Геологическое строение Северо-Восточной котловины Тихого океана. Геленджик: ПО Южморгеология, 1988. С. 60 - 67.

11. *Weydert M.M.P.* Measurements of the acoustic backscatter of selected areas of the deep seafloor and some implications for the assesment of manganese nodule resources // J. Acoust. Soc. Amer. 1990. V. 88. № 1. P. 350 - 366.

12. *Бунчук А.В., Халилуллов Ш.Ш.* Экспериментальное исследование отражения звука дном в конкреционных районах океана // Акуст. журн. 1993. Т. 40. № 1. С. 35 - 40.

13. *de Moustier Ch.* Beyond bathymetry: mapping of acoustic backscattering from the deep seafloor with Sea Beam // J. Acoust. Soc. Amer. 1986. V. 79. № 2. P. 316 - 331.

14. *Житковский Ю.Ю., Зотов А.И., Краснобородько В.В. и др.* Об акустическом методе оценки концентрации конкреций на дне океана // Океанология. Т. 25. № 5. С. 856 - 860.

15. *Воловов В.В., Житковский Ю.Ю.* Отражение и рассеяние звука дном океана // Акустика океана / Под ред. Бреховских Л.М. М.: Наука, 1974. С. 395 - 490.

16. *Воловов В.И.* Отражение звука от дна в океане. М.: Наука, 1993. 272 с.

17. *Ильин А.В.* Геоморфология полей железо-марганцевых конкреций западного фланга Восточно-тихоокеанского поднятия // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. № 3. С. 697 - 702.

18. *Ильин А.В.* Горизонтальные размеры и пространственная изменчивость геологических неоднородностей дна океана // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307. № 3. С. 665 - 669.

19. Железо-марганцевые конкреции Центральной котловины Индийского океана. М.: Наука, 1989. 223 с.

20. *Weydert M.M.P.* Manganese nodule distributions at a site in the Eastern North Pacific // Marine Mining. 1986. № 5. P. 357 - 392.

21. *Богородский А.В., Должиков А.К., Корепин Е.А., Яковлев Г.В.* Гидроакустическая техника исследования и освоения океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 264 с.

22. *Tucholke B.E.* Acoustic environment of the Hatteras and Nares Abyssal Plains, western North Atlantic Ocean, determined from velocities and physical properties of sediment cores // J. Acoust. Soc. Amer. 1980. V. 68. № 5. P. 1376 - 1390.

23. *Бунчук А.В., Воловов В.В., Халилуллов Ш.Ш.* Исследование рассеяния звука дном глубокого океана с помощью ГБО // Сб. тез. докл. Всесоюзн. совещ. по техн. средствам и методам изучения океанов и морей. М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1985. С. 44, 45.

24. *Житковский Ю.Ю., Захлестин А.Ю., Зотов А.И. и др.* Дистанционное акустическое зондирование железомарганцевых конкреций // Докл. АН СССР. 1986. Т. 291. № 3. С. 697 - 699.

25. *Житковский Ю.Ю., Захлестин А.Ю., Каевицер В.И.* Акустический метод обнаружения конкреций // Железо-марганцевые конкреции Центральной котловины Индийского океана. М.: Наука, 1989. С. 181 - 199.

26. *Антокольский Л.М., Бунчук А.В., Воловов В.И. и др.* Полигонные исследования рассеяния звука дном с конкрециями с помощью приповерхностного гидролокатора бокового обзора // Океанология. 1989. Т. 29. № 5. С. 748 - 754.

27. *Житковский Ю.Ю., Лысанов Ю.П.* Акустические методы разведки полезных ископаемых на дне океана // Тез. докл. Всес. межвуз. научн. конф. с участием научных институтов. М.: Горный институт, 1967. 213 с.

28. *Кулындышев В.А., Филиппенко И.И., Быховский Л.З. и др.* Обоснование принципов учета и подсчета запасов и прогнозных ресурсов железомарганцевых конкреций Мирового океана // Сов. геология. 1990. № 12. С. 105 - 112.

29. *Житковский Ю.Ю., Захлестин А.Ю.* Рассеяние звука дном океана в районах скопления железомарганцевых конкреций // Акустические волны в океане. М.: Наука, 1987. С. 147 - 151.

30. *Зотов А.И., Фокин А.В.* Об исследовании локальных характеристик рассеяния звука дном глубокого океана // Океанология. 1985. Т. 25. № 2. С. 219 - 223.

31. *Андреева И.Б.* Физические основы распространения звука в океане Л.: Гидрометеоиздат, 1975. С. 145 - 150.

32. *Heyser R.C.* Acoustical measurements by time delay spectrometry // J. Audio Engineering Soc. 1967. V. 15. № 4. P. 370 - 382.

33. *Biering H., Pedersen O.Z.* System analysis and time delay spectrometry // B. and K. Technical Review. 1983. № 1 - 2. P. 3 - 51.

34. *Schock S.G., LeBlanc L.R.* Chirp sonar: new technology for sub-bottom profiling // Sea Technology. 1990. № 9. P. 35 - 43.

35. *Hines P.C., Barry P.J.* Measurements of acoustic backscatter from Sohm abyssal plain // J. Acoust. Soc. Amer. 1992. V. 92. № 1. P. 315 - 323.

36. *Воловов В.И., Краснобородько В.В., Лысанов Ю.П., Сечкин В.А.* Влияние слоистости подводного грунта на корреляционно-спектральные характеристики отраженных частотно-модулированных сигналов // Акуст. журн. 1977. Т. 23. № 5. С. 687 - 693.

37. *Воловов В.И.* О комплексном подходе к решению навигационных и океанологических задач с использованием отраженных от дна сигналов // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 1. С. 142 - 144.

Characteristics of Sound Signals Reflected from Nodule Abundant Areas on the Ocean Bottom

A. V. Bunchuk

Stable characteristics of tone and frequency-modulated signals, reflected from the ocean bottom, are considered and analyzed on the basis of wide-scale ten-year investigations carried out at test sites in the Pacific and Indian Oceans. The behavior of returns found may be interpreted as an indirect indication of an abundance of the ferromanganese nodules. Much attention is given to the physical interpretation of this signal behavior and its relation to the spatial distribution of nodules on the sea floor. An application of time delay spectrometry for vertical probing of the sea floor is described in detail. On the basis of this approach, wide-band FM-radiation is suggested for remote nodule surveying.