АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIII 1987 Вып. 5

УДК 534.87

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА ДНОМ ОКЕАНА, СОДЕРЖАЩИМ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫЕ КОНКРЕЦИИ

Житковский Ю. Ю., Зотов А. И., Савельев В. В., Фокин А. В.

Представлены данные по рассеянию звука от дна в районах залегания ЖМК. Проведен анализ угловых и частотных зависимостей силы рассеяния для районов с различным количеством ЖМК на дне.

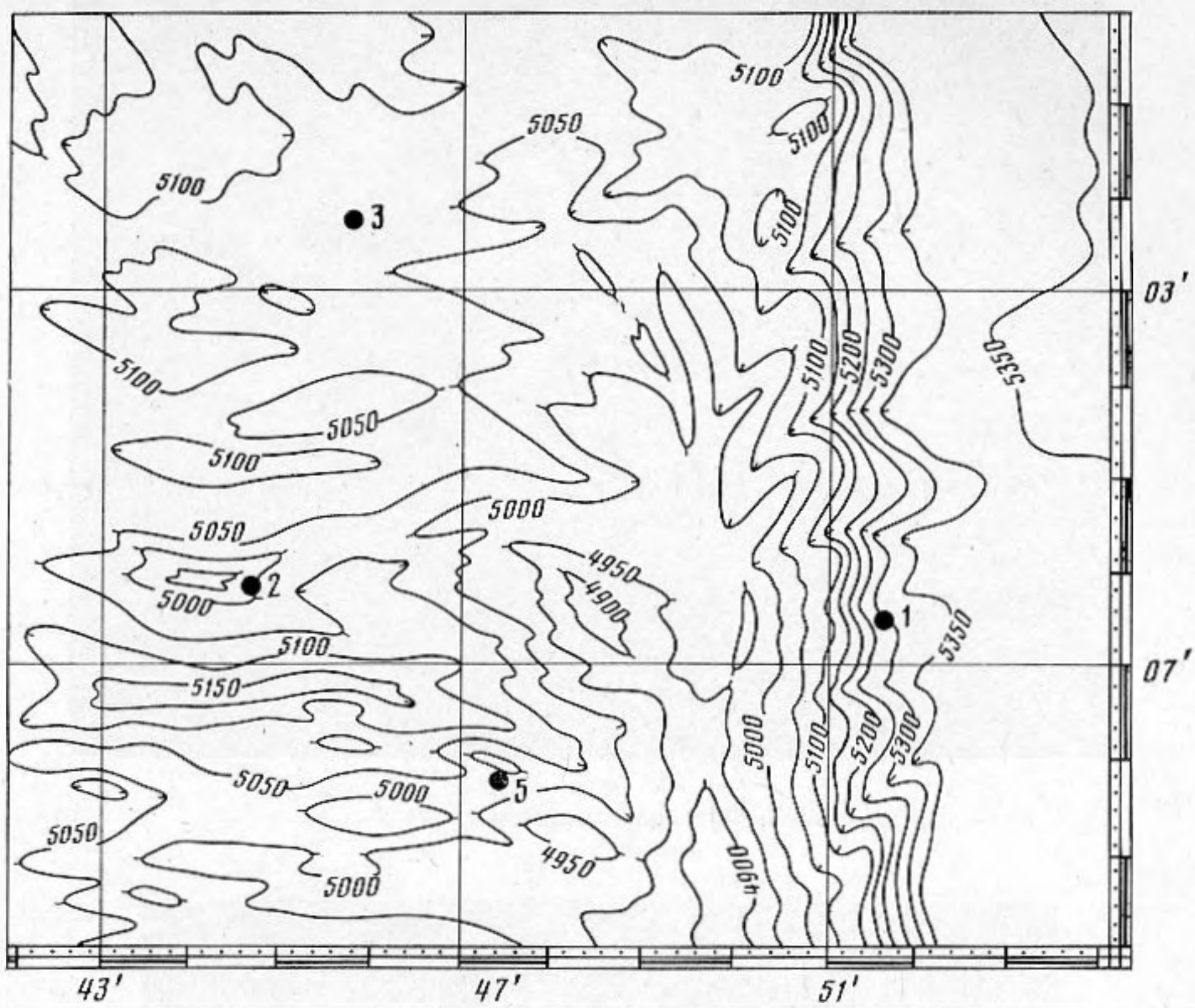
Многочисленные исследования обратного рассеяния звука дном глубокого океана показали, что характеристики рассеяния в глубоководных районах можно разбить на три группы, внутри которых угловые и частотные характеристики рассеянных сигналов имеют сходный характер [1]. Было установлено, что каждой группе соответствует своя геоморфологическая градация дна океана — районы с выровненным дном (провинции абиссальных равнин, котловины, конусы выноса рек), районы с умеренно изрезанным рельефом дна (провинции абиссальных холмов и океанических поднятий) и районы с сильно изрезанным рельефом дна (провинции гребней подводных хребтов и прилегающие к ним) [1—3].

С другой стороны, имеющиеся геологические данные [4] свидетельствуют о том, что на дне океана во многих местах имеются железо-марганцевые конкреции (ЖМК). Заметно отличаясь по своим физическим характеристикам (плотности и скорости звука) как от морской воды, так и от осадочного материала, конкреции оказывают заметное влияние на рассеяние звука в этих районах [5]. Первые целенаправленные эксперименты по изучению влияния ЖМК на характеристики рассеянных сигналов были проведены нами в тропической зоне Тихого океана [6]. Результаты этих работ показали, что рассеяние там имело ряд особенностей — на частотах от 2 до 16 кГц сила рассеяния практически не зависела от угла падения в диапазоне от 20 до 80°, в то время, как частотная зависимость достигала четвертой степени частоты. Кроме того было замечено, что общий уровень силы рассеяния увеличивался с ростом продуктивности конкреций на дне.

Наиболее полный цикл исследований рассеивающих свойств дна, где основными рассеивателями были ЖМК, был проведен в районе Центрально-Индийской котловины на полигоне с размерами 10×12 миль. Несмотря на небольшую площадь, дно полигона имело достаточно сложное строение. Восточная часть полигона была представлена плоским дном с глубиной места около 5390 м. С запада она была ограничена сравнительно крутым склоном высотой 300—450 м. Средняя часть полигона была представлена сложно построенным грядовым поднятием, минимальная отметка которого составляла 4887 м. Преимущественная направленность гряд — меридиональная. Однако западный фланг поднятия был отмечен грядами, ориентированными широтно. Такой направленностью гряд и сопряженных с ними ложбин характеризуется юго-западная часть полигона. Северо-западный участок был отмечен холмистым и грядово-холмистым рельефом (фиг. 1)[1]. Осадки — преимущественно глинисто-радиляриевые илы, залегающие слоем 5—7 см, под которым обычно располагался диатомово-радиоляриевый ил. Плотность осадков колебалась в пределах 1,22—1,1 г/см^3; пористость — 92—97,8% [2].

[1] Геоморфологические работы проводились отрядом под руководством Ю. Д. Евсюкова.

[2] Геологические исследования проводились отрядом под руководством Н. С. Скорняковой.



Фиг. 1. Батиметрическая карта полигона. Цифрами обозначены районы проведения работ с ГАКом

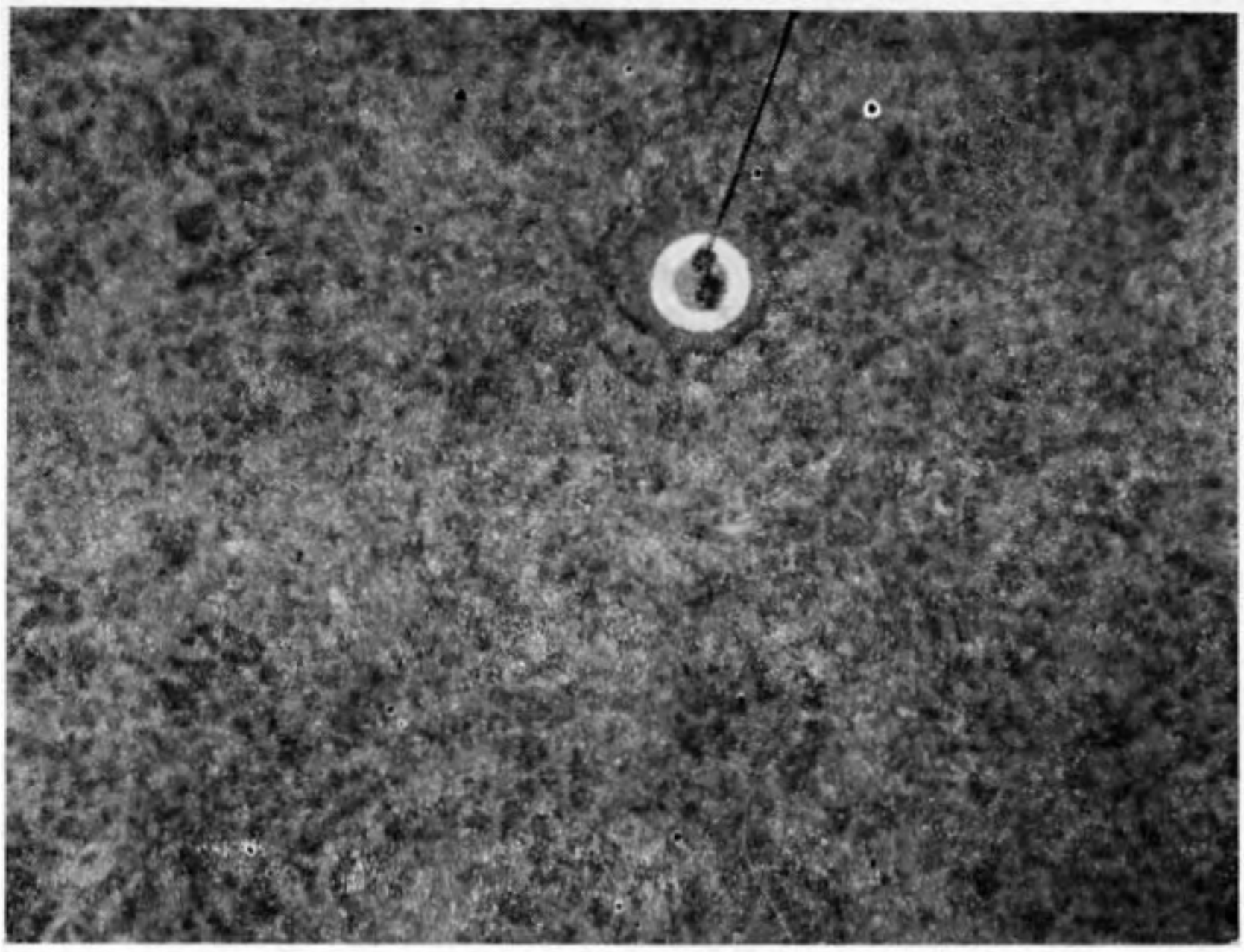
Работы по измерению частотно-угловых характеристик силы рассеяния сопровождались картированием дна с помощью сервееров (приборов, сочетающих локатор бокового обзора, систему излучения и приема сложных сигналов и спец-процессор для обработки получаемой информации; позволяющих получать карту распределения коэффициента обратного рассеяния звука дном океана), работавших на частотах 6 и 12 кГц, взятием проб грунта, фотографированием дна [3]. Кроме того, измерения силы рассеяния сопровождались фотографированием дна непосредственно под ГАКом [4]. По результатам исследования дна сервеером были выбраны пять участков полигона, на которых были проведены исследования по рассеянию звука.

Точки, в которых были проведены акустические работы по исследованию рассеяния звука дном океана, характеризовались следующими параметрами. В точке *1* на поверхности дна имелось значительное количество ЖМК (продуктивностью 10—12 кг/м^2), размеры которых составляли 2—8 см. Площадь покрытия дна ЖМК, оцененная по фотографиям (фиг. 2) и пробам грунта, составляла 10—50% (как правило 30%). В точке *2*, отстоящей от точки *1* на 7 миль, конкреции не были обнаружены (фиг. 3). В точке *3* по данным сервеера наблюдалась пятнистая структура расположения ЖМК на дне. Черпачная проба грунта показала наличие в ней ЖМК продуктивностью 5,1 кг/м^2, в то время как проведенное фотографирование дна всего в 2 кабельтовых от места черпачной пробы показало отсутствие ЖМК. Четвертая точка находилась восточнее полигона и проведенное там фотографирование дна показало отсутствие ЖМК. И, наконец, в точке *5* продуктивность была 7—8 кг/м^2, размеры ЖМК составляли 2—6 см, а площадь покрытия дна составляла 5—30%.

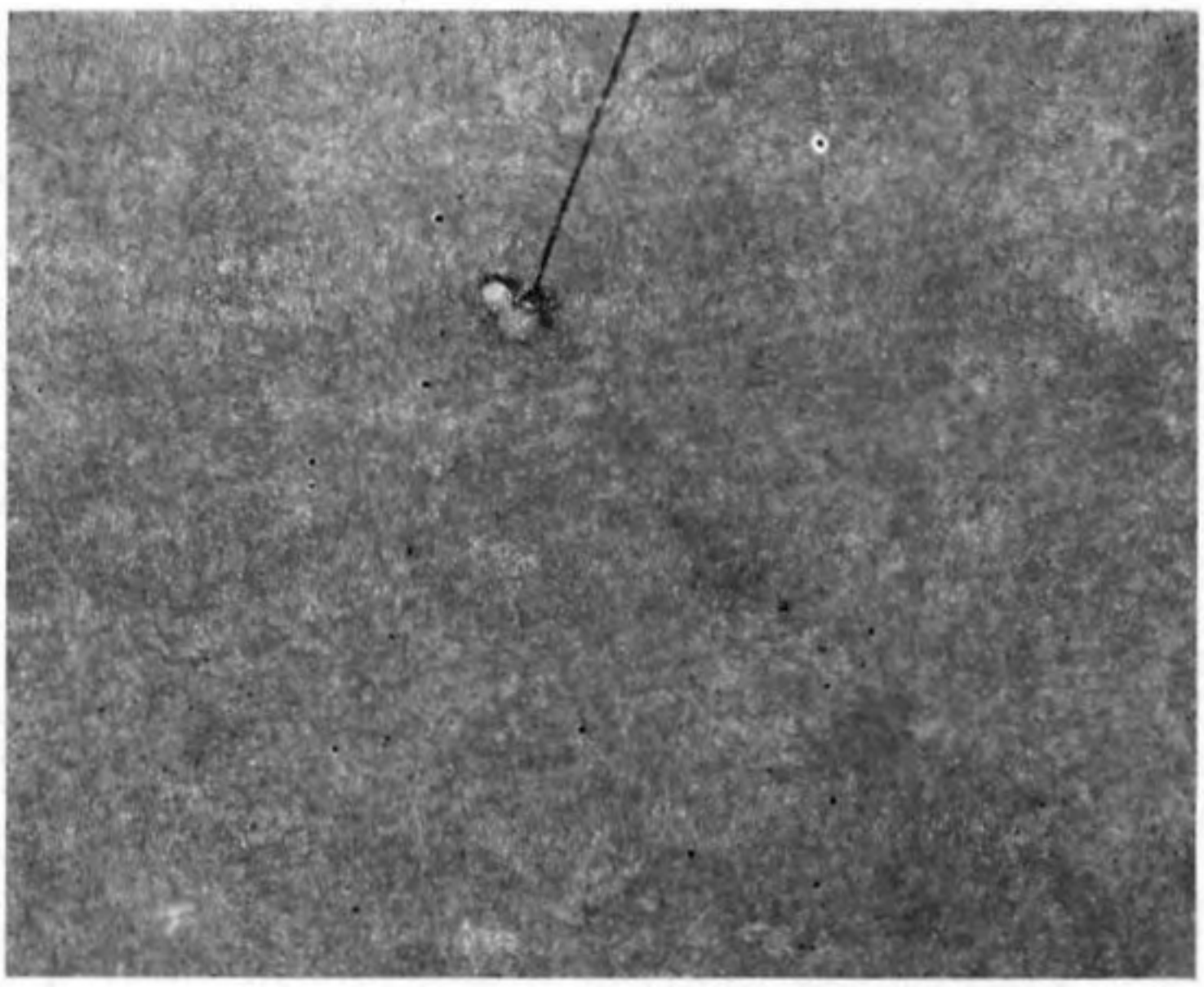
---

[3] Картирование дна сервеером проводилось отрядом под руководством А. Ю. Захлестина, а также группой сотрудников ИРЭ АН СССР под руководством В. И. Каевицера.

[4] Фотографии дна непосредственно под ГАКом были получены С. Э. Максимовым.



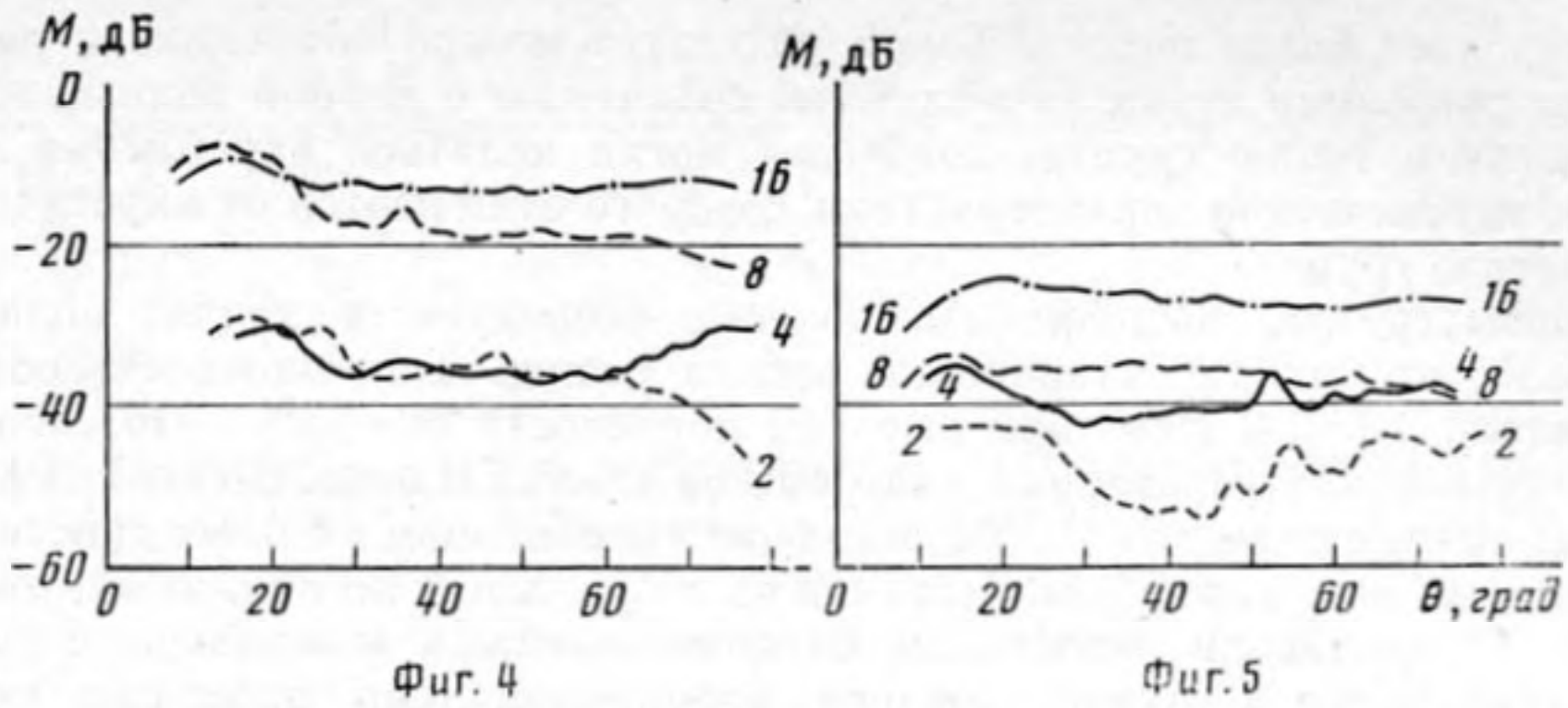
Фиг. 2. Фотография дна в точке *1*



Фиг. 3. Фотография дна в точке *2*

Измерения силы рассеяния проводились тонально-импульсным методом на частотах от 2 до 16 кГц с помощью глубоководного акустического комплекса (ГАК), позволявшего получать высокое пространственное разрешение за счет приближения точки излучения-приема к дну [7]. Как правило, ГАК располагался над дном на двух расстояниях (20—30 и 40—60 м), что давало возможность охватить больший диапазон углов падения. Так же, как и на полигоне в Тихом океане [6] все работы с ГАКом проводились на подработке, с удержанием судна на месте относительно реперного буя. Для получения энергетических характеристик рассеянных дном сигналов проводилось их усреднение по 120 реализациям. Расчет зависимостей силы рассеяния был выполнен на ЭВМ.

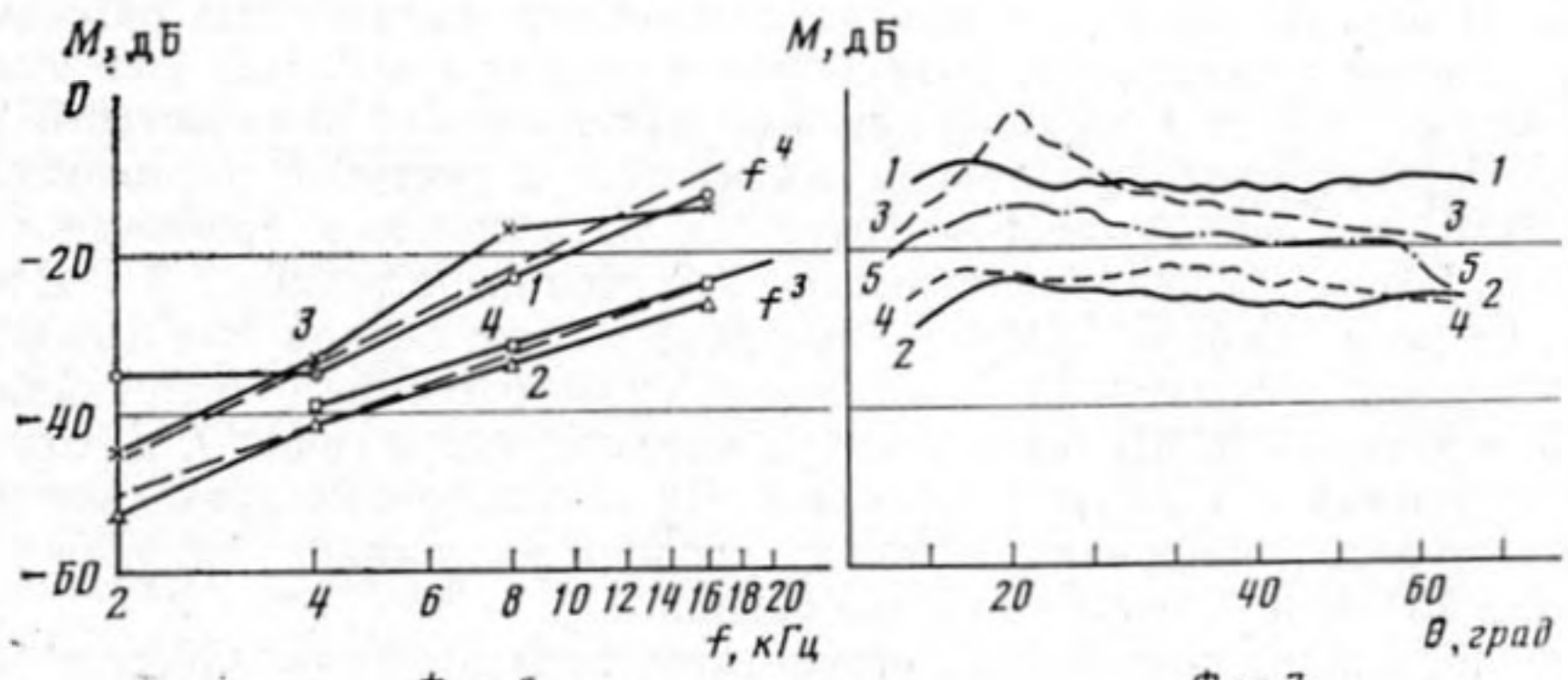
Обратимся теперь к полученным результатам. На фиг. 4 приведены угловые зависимости силы рассеяния звука, полученные в точке *1*, где



Фиг. 4 Фиг. 5

Фиг. 4. Угловые зависимости силы рассеяния, полученные в точке *1*. Цифры у кривых — частота в кГц

Фиг. 5. Угловые зависимости силы рассеяния, полученные в точке *2*. Цифры у кривых — частота в кГц



Фиг. 6 Фиг. 7

Фиг. 6. Частотные зависимости силы рассеяния, полученные в точках *1*, *2*, *3* и *4*

Фиг. 7. Угловые зависимости силы рассеяния для частоты 16 кГц. Номера кривых соответствуют номерам точек полигона

продуктивность ЖМК была наибольшей. Из рассмотрения этих кривых видна слабая зависимость силы рассеяния в диапазоне углов падения от 20 до 70° практически на всех частотах. Однако уровни силы рассеяния на разных частотах были различны. Так, для частоты 16 кГц сила рассеяния составляла примерно −10 дБ, а для частоты 2 кГц — −35 дБ.

Угловые зависимости силы рассеяния для тех же частот, полученные в точке *2*, приведены на фиг. 5. Видно, что при отсутствии ЖМК уровни силы рассеяния резко падают до −25 дБ на частоте 16 кГц и −50 дБ на частоте 2 кГц.

Аналогичные угловые зависимости силы рассеяния были получены в точках *3* и *4*.

Частотные зависимости силы рассеяния, полученные в этих точках, представлены на фиг. 6. Там же нанесены прямые, соответствующие росту коэффициента рассеяния пропорционально четвертой и третьей степени частоты. Видно, что частотные зависимости силы рассеяния, полученные в точках *1* и *3*, где были обнаружены ЖМК, хорошо аппроксимируются прямой, соответствующей четвертой степени частоты. Частотные зависимости силы рассеяния, полученные для точек *2* и *4*, где отсутствовали ЖМК, ближе к прямой, соответствующей третьей степени частоты.

По данным фотографий и проб грунта в точках *1* и *3* можно сделать вывод, что здесь ЖМК довольно плотно покрывали поверхность дна океана. Поскольку размеры ЖМК были меньше длины волны в исследуемом диапазоне частот, рассеяние носило рэлеевский характер, что объясняет сильные частотные зависимости силы рассеяния, полученные в первой и третьей точках. При отсутствии на поверхности дна ЖМК, как это было в точках *2* и *4*, уровень силы рассеяния резко падает, а частотная зави-

симость идет более полого. Такой результат можно объяснить в рамках модели рассеяния звука на малых по сравнению с длиной волны неоднородностях в толще грунта, которыми могли являться вкрапления материала, акустические характеристики которого отличаются от акустических параметров грунта.

Пробы грунта, выполненные во всех исследуемых точках полигона, показали, что их характеристики весьма схожи. Так, плотность осадков составляла 1,1—1,2 г/см^3 при высокой пористости 90—98%. Это означает, что акустические характеристики осадков близки к воде. Во всех исследованных точках полигона ЖМК находились в основном на поверхности дна; в толще осадков конкреций было очень мало. Хотя, по-видимому, именно они и обусловливали рассеянный сигнал в точках *2* и *4*. Тогда, с учетом затухания звука в грунте, которое пропорционально примерно первой степени частоты [8], частотная зависимость коэффициента рассеяния и должна быть пропорциональна только третьей степени частоты.

На фиг. 7 приведены угловые зависимости силы рассеяния для всех исследованных точек на частоте звука 16 кГц. В них можно выделить три группы. В первую группу, с максимальными уровнями силы рассеяния, входят угловые зависимости, полученные в точках *1* и *3*. Как уже указывалось выше, в точке *1* было обнаружено максимальное количество ЖМК. Точка *3* характеризовалась весьма пятнистой структурой расположения полей ЖМК на дне. Во вторую группу, с наименьшими уровнями силы рассеяния, входят угловые зависимости, полученные в точках *2* и *4*. В этих точках, по всем данным, ЖМК на поверхности дна океана отсутствовали. Можно видеть, что угловая зависимость силы рассеяния, полученная в точке *5*, в которой ЖМК было заметно меньше, чем в точке *1*, находится между верхними и нижними кривыми. Из рассмотрения этих зависимостей можно видеть корреляцию между уровнем рассеянного сигнала и количеством ЖМК на поверхности дна океана.

В целом, анализ полученных результатов показал, что в глубоком океане участки дна, покрытые ЖМК, по-видимому, следует по своим акустическим характеристикам выделить в отдельную (четвертую) группу, наряду с ровным дном, чрезвычайно изрезанным и с рельефом умеренной изрезанности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zhitkowskiy Yu. Yu., Volovova L. A.* Sound Scattering from the Ocean Bottom.— In Reports du 5—3 Congr. Intern. Acoustique Liege, 1965, p. E—67.
2. *Житковский Ю. Ю.* Рассеяние звука дном океана.— В кн.: Акустика океана. Современное состояние. М.: Наука, 1982, с. 157—163.
3. *Воловов В. И., Житковский Ю. Ю.* Рассеяние и отражение звука дном океана (обзор) // Морское приборостроение, сер. Акустика. 1977. Вып. 8. С. 126—142.
4. Железо-марганцевые конкреции центральной части Тихого океана. М.: Наука, 1986, с. 500.
5. *Житковский Ю. Ю., Захлестин А. Ю., Зотов А. И., Каевицер В. И., Петров В. И., Скнаря А. В.* Дистанционное акустическое зондирование железо-марганцевых конкреций // Докл. АН СССР. 1986. Т. 25. № 3. С. 697—699.
6. *Зотов А. И., Фокин А. В.* Об исследовании локальных характеристик рассеяния звука дном глубокого океана // Океанология. 1985. Т. 25. № 2. С. 219—223.
7. *Зотов А. И., Кузнецов В. Н., Савельев В. В.* Глубоководный комплекс для гидроакустических исследований // Океанология. 1984. Т. 24. № 1. С. 175—179.
8. *Ховем Е. М.* Поглощение звука в морских осадках.— В кн.: Акустика дна океана. М.: Мир, 1984.

Институт океанологии
им. П. П. Ширшова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30.III.1987