АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIV 1988 Вып. 5

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

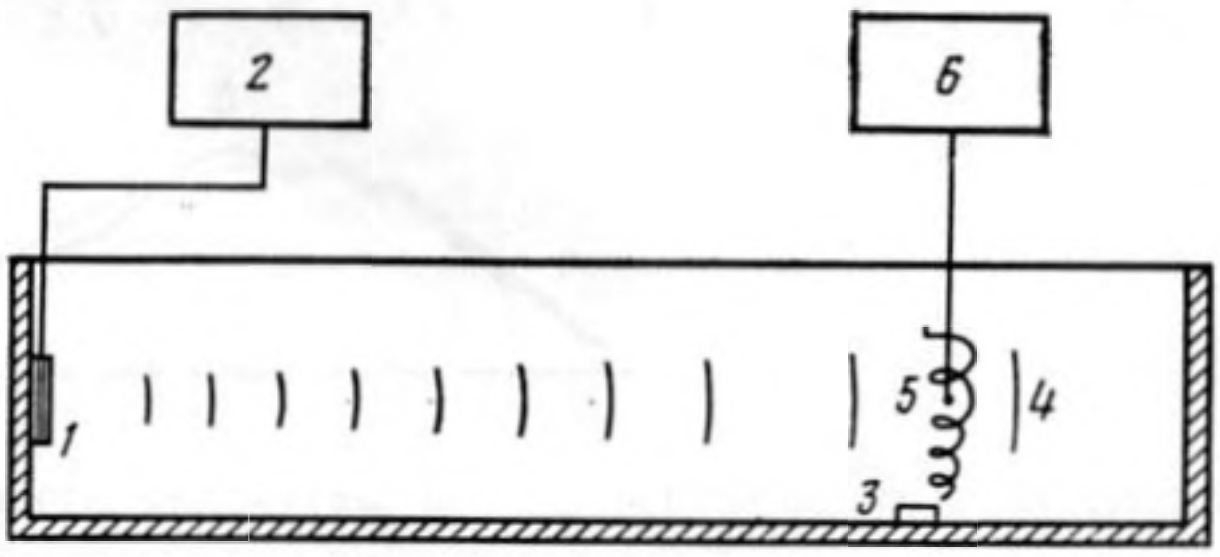
УДК 551.462

ОБ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СТРУЙ

Армишев С. В., Безруцкий А. В.

Проблема обнаружения тепловых струй акустическими методами стала особенно актуальной в связи с поиском на дне океана гидротермальных образований и связанных с ними залежей полиметаллических руд [1]. Ниже излагаются результаты лабораторных экспериментов, показавших практическую возможность такой локации, и натурных исследований в океане, подтвердивших этот вывод.

Лабораторное моделирование обратного рассеяния звука конвективной тепловой струей проводилось в бассейне размером 3×1×1 м³ (фиг. 1). Для создания локализованных в пространстве неоднородностей применялся нагреватель со специальным защитным экраном, что позволяло получать высокую интенсивность восходящего потока при условии отсутствия в нем воздушных пузырьков, неизбежно образующихся на поверхности нагревателя. Определение параметров тепловой струи про-



Фиг. 1. Схема лабораторного эксперимента: *1* – антенна, *2* – комплекс акустической аппаратуры, *3* – нагреватель, *4* – восходящий поток, *5* – термистор, *6* – регистрирующая аппаратура

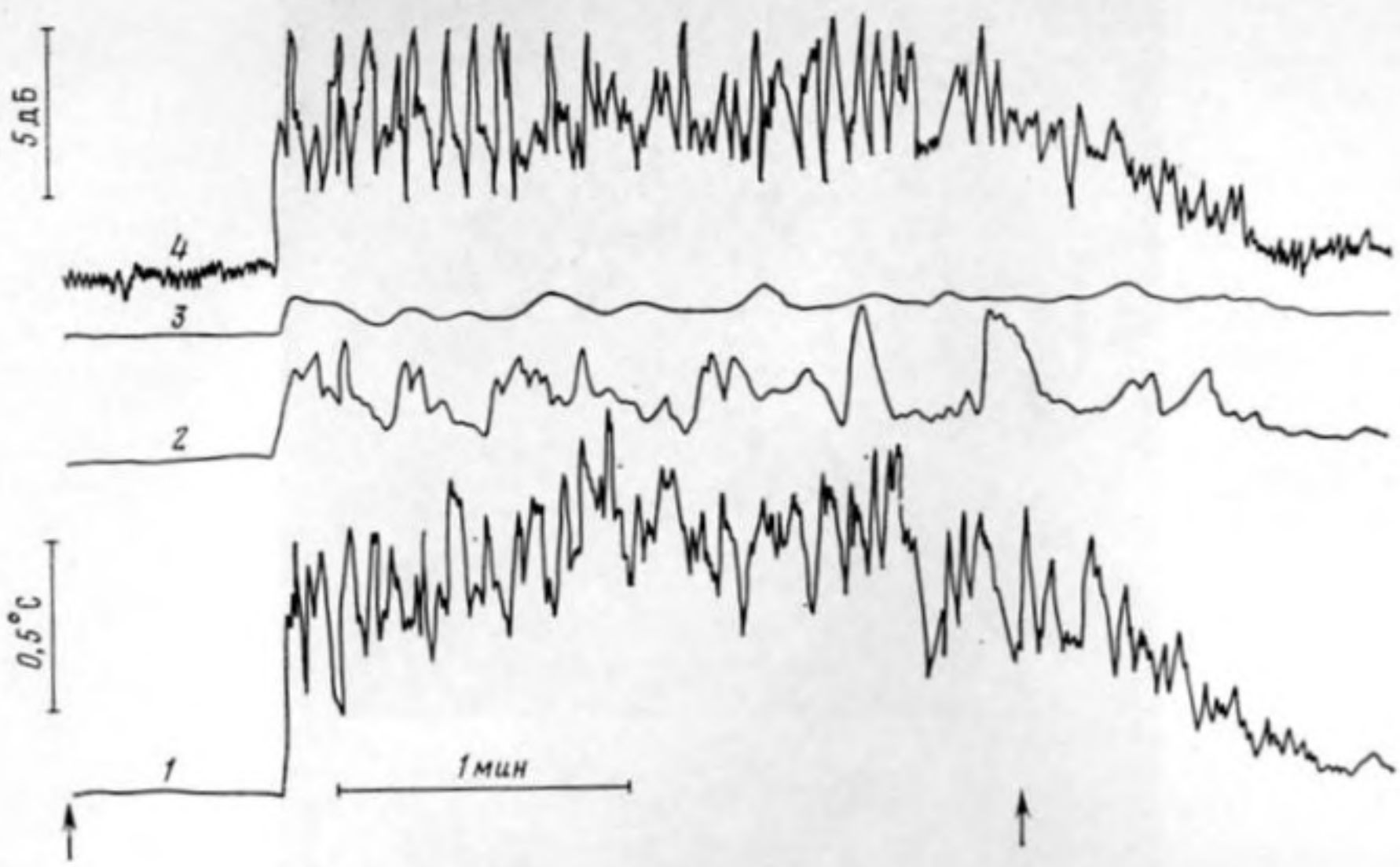
водилось с помощью термистора, включенного в одно из плеч измерительного моста, к выходу которого подключалась регистрирующая аппаратура. При этом в различных точках потока осуществлялись временные записи пульсаций температуры, что позволяло определять характерные размеры струи и четко локализовать ее положение в пространстве. Контактные измерения проводились как до, так и после акустических экспериментов и показали хорошую повторяемость результатов.

Акустические эксперименты включали в себя излучение тонально-импульсных сигналов (частота заполнения 160 кГц, длительность посылки 0,1–0,6 мс, частота следования импульсов 1–10 Гц) с помощью направленной пьезокерамической антенны (ширина диаграммы направленности по уровню –3 дБ составляла 3°), а также локационный прием, временное стробирование, регистрацию и обработку, рассеянных температурными неоднородностями звуковых сигналов.

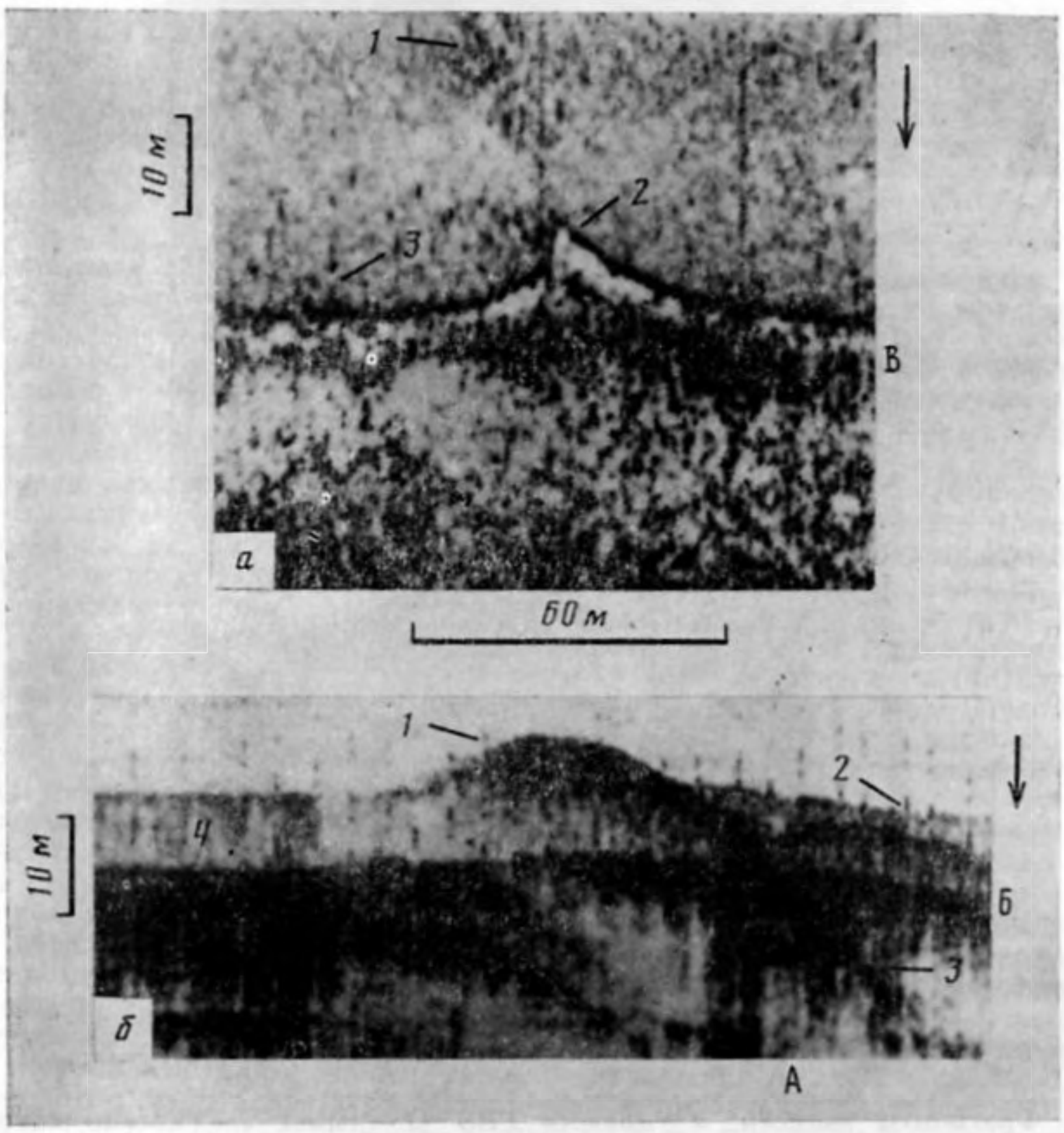
Данные контактных измерений показали, что общая схема эксперимента адекватно моделировала восходящий гидротермальный поток на расстоянии первых десятков метров от дна океана. Средняя скорость вертикального перемещения потока составляла 1–2 см/с, средняя величина пульсаций температуры в центре рассеивающего объема – 0,5–0,7° С (фиг. 2), при этом величина пульсаций температуры достигала своего максимума на оси потока. Вдоль струи в пределах рассеивающего объема интенсивность и частотные спектры флуктуаций изменялись незначительно, в то время как поперек потока эти характеристики претерпевали существенные изменения – к периферии струи на фоне общего спадания интенсивности пульсаций происходило значительное затухание высокочастотных составляющих.

Таким образом, мелкомасштабная турбулентность в тепловом потоке не обладала свойствами однородности и изотропности, что значительно затрудняет проведение соответствующих теоретических оценок величины коэффициента объемного рассеяния звука m_V [2] конвективной тепловой струей.

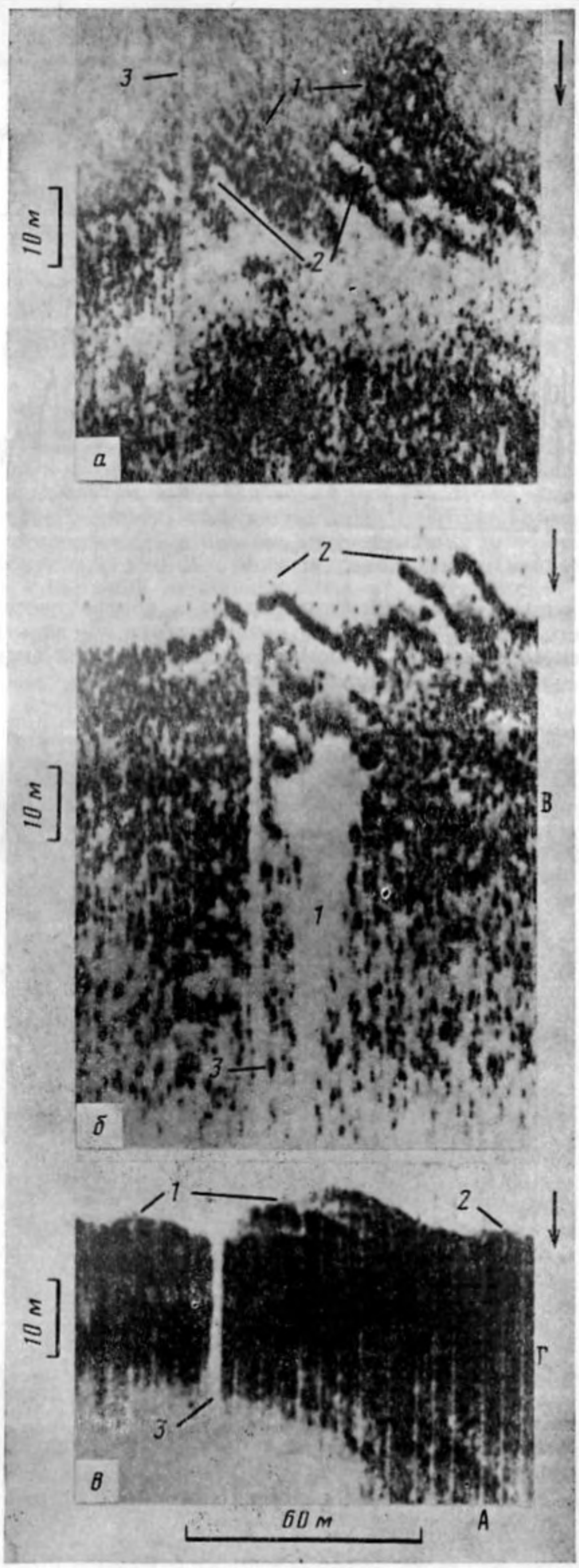
На фиг. 2 приведен пример записи огибающей рассеянного акустического сигнала, из которого видно, что приблизительно через 40 с после включения нагревателя происходило возрастание как среднего уровня сигнала (на 5–6 дБ), так и его флуктуаций. После выключения нагревателя уровень рассеянного сигнала медленно



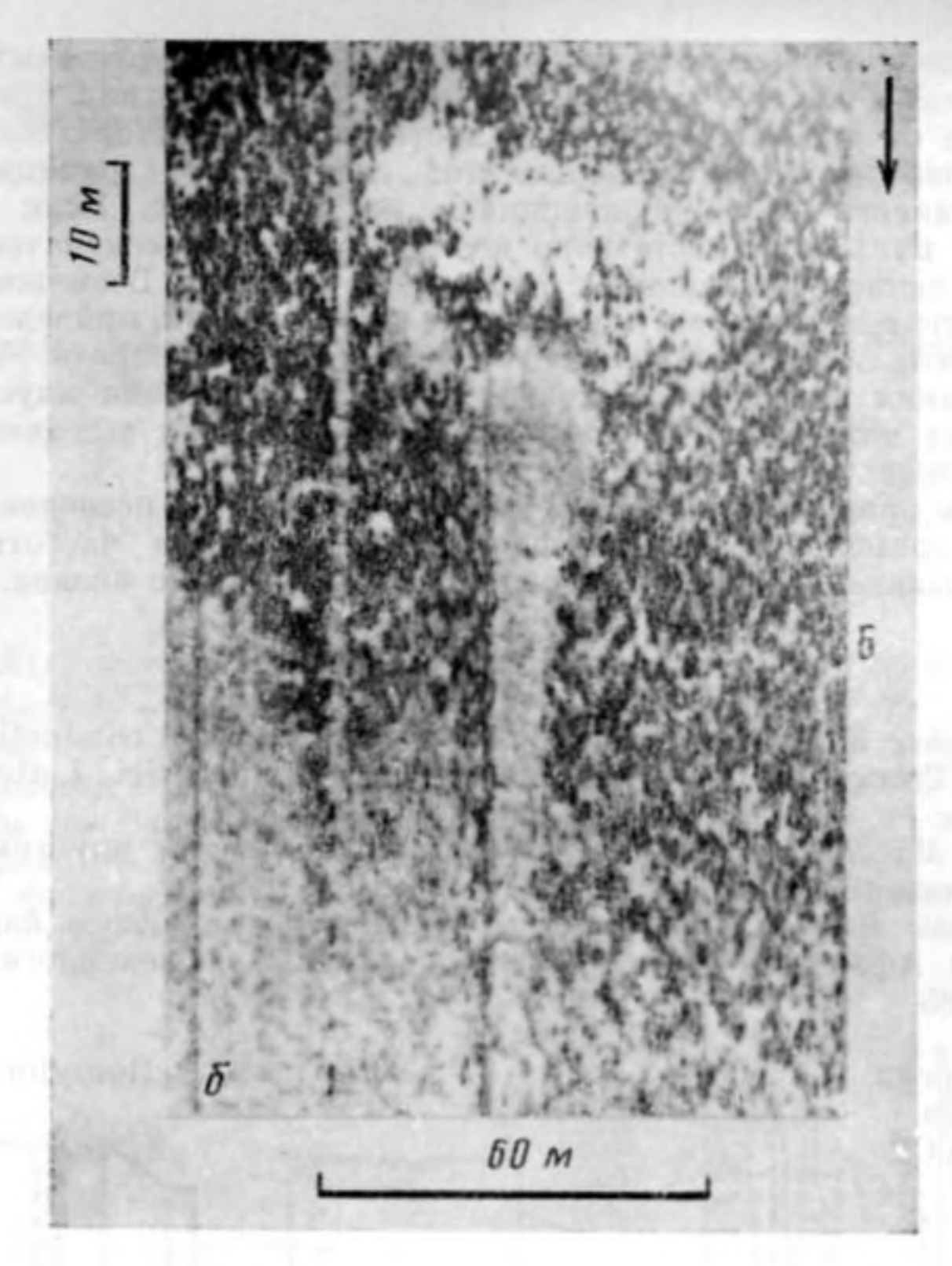
Фиг. 2. Примеры записи пульсаций температуры в центре рассеивающего объема (*1*) и на расстояниях 5 см (*2*) и 10 см (*3*) поперек струи, *4* – запись огибающей рассеянного акустического сигнала. Стрелками указаны моменты включения и выключения нагревателя



Фиг. 3. Фрагменты записей: *а* – правого ГБО (*1* – дым, *2* – «курильщик», *3* – профиль дна); *б* – АП (*1* – «курильщик», *2* – профиль дна, *3* – основание «курильщика», *4* – верхний слой осадка). Стрелками указано направление посылки. А – горизонтальное расстояние, Б – глубина, В – наклонная дальность



Фиг. 4. Фрагменты записей: *а* – правого ГБО (*1* – дымы, *2* – система «курильщиков», *3* – метка времени); *в* – левого ГБО (*1* – треугольная тень, *2* – система «курильщиков», *3* – метка времени); *в* – АП (*1* – вершины гидротермальных образований, *2* профиль дна, *3* – метка времени). Стрелками указано направление посылки. А – горизонтальное расстояние, Б – глубина, В – наклонная дальность



Фиг. 5. Фрагмент записи правого ГБО гидротермального образования с треугольной тенью. А – горизонтальное расстояние, Б – наклонная дальность

восстанавливался до исходного значения, обусловленного влиянием границ бассейна. Таким образом, уверенно регистрировавшееся от опыта к опыту возрастание амплитуды принимаемого сигнала было обусловлено рассеянием звуковой волны на восходящем тепловом потоке. Экспериментально измеренное значение коэффициента m_V составляло 55–58 дБ, что свидетельствует о возможности практического применения акустического лоцирования для поиска гидротермальных образований в натурных условиях.

Натурная локация гидротермальных источников проводилась с помощью буксируемого аппарата «Звук-4» в 12-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Калифорнийском заливе в бассейне Гуаймас. Проведенные ранее исследования показали здесь наличие высокотемпературных (до 300° С) выходов термальных вод [1].

Акустическая система «Звук-4» состоит из сдвоенного гидролокатора бокового обзора (ГБО), работающего на частоте 78 кГц, и акустического профилографа (АП) с частотой 8 кГц [3]. Основной лепесток диаграммы направленности ГБО составляет 60° в вертикальной плоскости и 1° – в горизонтальной. АП имеет практически круговую диаграмму направленности в вертикальной плоскости. Дальность действия ГБО составляла 300 м, а уверенно регистрируемая глубина проникновения сигналов АП в грунт – 30 м.

Исследования с обитаемых аппаратов [1] показали, что гидротермальные потоки истекают из построек, которые имеют вид либо небольшого холма, либо вертикального столба или столба со «шляпкой» (зафиксированная нашим ГБО максимальная высота постройки составляла 40 м). На фиг. 3, *а* приведена запись правого ГБО, на которой хорошо различим растущий холм, извергающий гидротермальный поток (так называемый «курильщик»). Акустическое изображение теплового потока напоминает дым (или плюм [1]). Зарегистрированная высота дыма составила 16 м. Синхронная запись АП (фиг. 3, *б*) свидетельствует, что основание холма уходит под поверхность осадка, однако дыма «курильщика» на этой записи не видно. Интересно отметить, что чувствительность приемно-излучающего тракта АП позволяла фиксировать поверхность океана с глубины 2 км, тем не менее дым с расстояния 20 м не регистрировался.

На фиг. 4 приведены записи системы «курильщиков» протяженностью около 140 м, на которых высота дымов доходит до 25 м. Отметим, что интенсивность зарегистрированного сигнала на записи правого ГБО (фиг. 4, *а*) намного выше, чем в предыдущем случае, тем не менее дымы на записи АП также не фиксировались. Это указывает, в частности, на сильную частотную зависимость обратного рассеяния звука гидротермальной струей. Можно предположить, что она связана с особенностями пространственного спектра пульсаций температуры в потоке.

В двух приведенных примерах акустическая фиксация тепловых потоков оказывалась возможной в случае, когда рассеянный от них сигнал приходил раньше первого отражения от дна. Но могут ли гидротермальные потоки создавать акустические тени? Из лабораторных экспериментов следует, что граница интенсивных пульсаций представляет собой сужающийся кверху конус. Если рассеивающая способность таких пульсаций достаточно велика, то акустическая тень будет представлять собой на записи сужающийся светлый треугольник. Возможно именно этим объясняется удивительная, на наш взгляд, похожесть записей, приведенных на фиг. 4, *б* и 5, и записи цели АЗ с американского буксируемого аппарата [1]. Еще одной причиной образования таких теней может служить рефракция акустических волн на неоднородностях показателя преломления в окрестностях выходов высокотемпературных гидротермальных потоков.

Таким образом, результаты лабораторных и натурных исследований показали перспективность применения акустического лоцирования в частотном диапазоне 78–160 кГц для выявления гидротермальных выходов на дне океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lonsdale P., Becker K.* Hydrothermal plums, hot springs and conductive heat flow in the Southern Trough of Guaymas Basin // Earth Planet. Sci. Letters. 1985. V. 73. P. 211–225.
2. *Бреховских Л. М., Лысанов Ю. П.* Теоретические основы акустики океана // Л.: Гидрометеоиздат, 1982. С. 232.
3. *Римский-Корсаков Н. А., Шрейдер А. А.* Опыт геологического картирования на вершине горы Афанасия Никитина с ПА «Звук-4» // Океанология. 1982. Т. 22. № 4. С. 680–685.

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

Поступило в редакцию
31.VIII.1987

УДК 620.178

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

Ваганов Е. А., Велижанина К. А., Дудкин Д. А., Хирных К. Л.

В последнее время вырос интерес к проблеме глушения шумов в инфразвуковой области, поскольку шумы инфразвуковых частот особенно вредны для человека. В качестве инфразвуковых звукопоглощающих систем в [1, 2] предложено использовать резонансный звукопоглотитель с дифракционным экраном. Однако исследования акустических характеристик резонансных звукопоглотителей в области низких и особенно инфразвуковых частот наталкивается на трудности. Действительно, методы измерения импеданса, используемые до настоящего времени (интерферометра [3], малой камеры [4]), здесь практически непригодны, поскольку минимальные линейные размеры интерферометра должны быть четверть λ, а камеры – половина λ (λ – длина звуковой волны). В этом плане предпочтительнее выглядит метод измерения амплитуды и фазы давления в двух точках интерферометра, расстояние между которыми известно. Однако все эти методы требуют значительных затрат времени на эксперимент.

Часто бывает необходимо получить частотную характеристику резонансного поглотителя в натурных условиях, т. е. когда резонатор в виде ограниченной по размерам панели с одним или несколькими отверстиями размещается, скажем, в спинке кресла или какой-то детали помещения (балке, колонне и т. п.). Предлагаемый ниже метод может с успехом служить достижению данной цели. Несмотря на то что метод предназначен только для измерения при некоторых допущениях (таких, как определенный вид частотной зависимости реактивной компоненты импеданса поглотителя, а активная компонента, наоборот, предполагается не зависящей от частоты, что в области низких частот оправдано), он позволяет быстро определить основные характеристики резонатора в достаточно широком диапазоне частот.

Метод основан на следующем. Пусть звуковой импульс падает на исследуемый резонансный звукопоглотитель. Резонансный звукопоглотитель, как известно, состоит из панели с отверстием или перфорированной панели, поставленной на некотором расстоянии L от жесткой стенки, так что между панелью и стенкой образуется воздушная полость (см. фиг. 1). Полагая, что масса m сосредоточена в горле резонатора, а упругость в полости (при $L \ll \lambda$), с учётом того, что для резонатора с объемом полости V и площадью горла S_0 гибкость равна $C=V/(\rho_0 c_0^2 S_0^2)$ (где c_0 – скорость звука в воздухе, ρ_0 – плотность воздуха) для частотного коэффициента передачи K (K – отношение амплитуд давлений в полости резонатора p_1 к амплитуде падающей волны p_2), можно записать

$$K(\omega)=\frac{p_1}{p_2}=1\Big/\left\{-\frac{\omega^2 mV}{\rho_0 c_0^2 S_0^2}+\frac{i\omega rV}{\rho_0 c_0 S_0^2}+1\right\} \qquad (1)$$