АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2006, том 52, № 3, с. 351–359

УДК 534.23

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ПРИЛИВА НА МЕДЛЕННЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ПРОТЯЖЕННОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ТРАССЕ

© 2006 г. А. В. Микрюков, О. Е. Попов

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН

117036 Москва, ул. Шверника 4

E-mail: a–mikr@rambler.ru

Поступила в редакцию 08.09.03 г.

На экспериментальном материале, полученном на протяженной стационарной трассе в северо-западной части Тихого океана, рассматриваются временные флуктуации энергии импульсных сигналов от мощных взрывных источников звука. Прием сигналов проводился на шельфе у полуострова Камчатка при глубинах места около 200 м в двух точках, разнесенных по широте на 115 км. Одна из них находилась глубоко в шельфе, а другая на кромке шельфа. Излучение осуществлялось в глубоком океане на расстоянии около 1000 км от кромки шельфа. Подрыв зарядов производился с интервалом в один час в течение более пяти суток. Для диапазона 10–80 Гц измерена частотная зависимость флуктуаций энергии сигналов и, отдельно, энергии первой моды. Показано, что амплитуды флуктуаций первой моды в узких полосах достигают величины более 10 дБ, внося основной вклад во флуктуации энергии всего сигнала. Максимум энергии первой моды достигается во время полной воды. Делается предположение о влиянии изменения поля скорости звука на шельфе, вызванного внутренним приливом, на степень взаимодействия энергии первой моды с дном.

PACS: 43.30.+m

Флуктуации параметров акустических сигналов в океане определяются динамикой условий распространения звука и диапазоном частот. Ввиду многообразия условий распространения звука и причин, вызывающих их изменение, не существует универсальных оценок параметров флуктуаций [1]. Имеется лишь два общих представления о закономерностях их формирования. Во-первых, флуктуации уменьшаются с понижением частоты, и, во-вторых, сигнал, связанный с отдельным узким пучком лучей или с одной модой, стабильнее суммарного сигнала [2]. В этой работе рассматривается интересный случай, когда оба этих представления оказываются несправедливыми.

В начале осени, когда подводный звуковой канал наиболее ярко выражен, в северо-западной части Тихого океана был проведен комплексный эксперимент на протяженной стационарной трассе по изучению дальнего распространения звука в сложных гидрофизических условиях. Два приемных судна, разнесенных по широте на 115 км, стояли на якорях в области берегового шельфа у полуострова Камчатка при глубинах места около 200 м. Одно из них (южная точка) располагалось глубоко в шельфе – в 34-х км от его кромки, а второе (северная точка) – стояло непосредственно у кромки шельфа. Сигналы регистрировались на глубинах 45 и 200 м в южной точке и на глубине 60 м – в северной. Соответственно точкам приема, в дальнейшем будет обсуждаться распространение звука на южной и северной трассах.

Излучающее судно, удаленное от точек приема примерно на 1000 км, подрывало заряды весом 25 кг на глубине 100 м, соответствующей глубине залегания оси подводного звукового канала. Подрыв зарядов осуществлялся в открытом океане над подводной горой при глубине места около 1250 м, в непосредственной близости от заякоренной на вершине горы плавучести, что обеспечивало относительно стабильное положение точки излучения. С интервалом в один час было произведено 128 подрывов. Применение больших зарядов позволило изучать сигналы в широком частотном диапазоне, начиная с 10 Гц, при высоком отношении сигнала к шуму.

Поле скорости звука вдоль глубоководного участка трассы распространения изучалось одновременно с проведением акустического опыта тремя гидрографическими судами, выполняющими измерения профилей скорости звука вдоль обеих трасс в верхнем слое воды толщиной 500 м. Средний интервал между станциями составлял 25–30 км. Измерения в каждой точке повторялись примерно через двое суток. На рис. 1 представлена одна из реализаций поля скорости звука вдоль глубоководного участка южной трассы. К сожалению, измерений поля скорости звука вдоль мелководного 34-х километрового участка

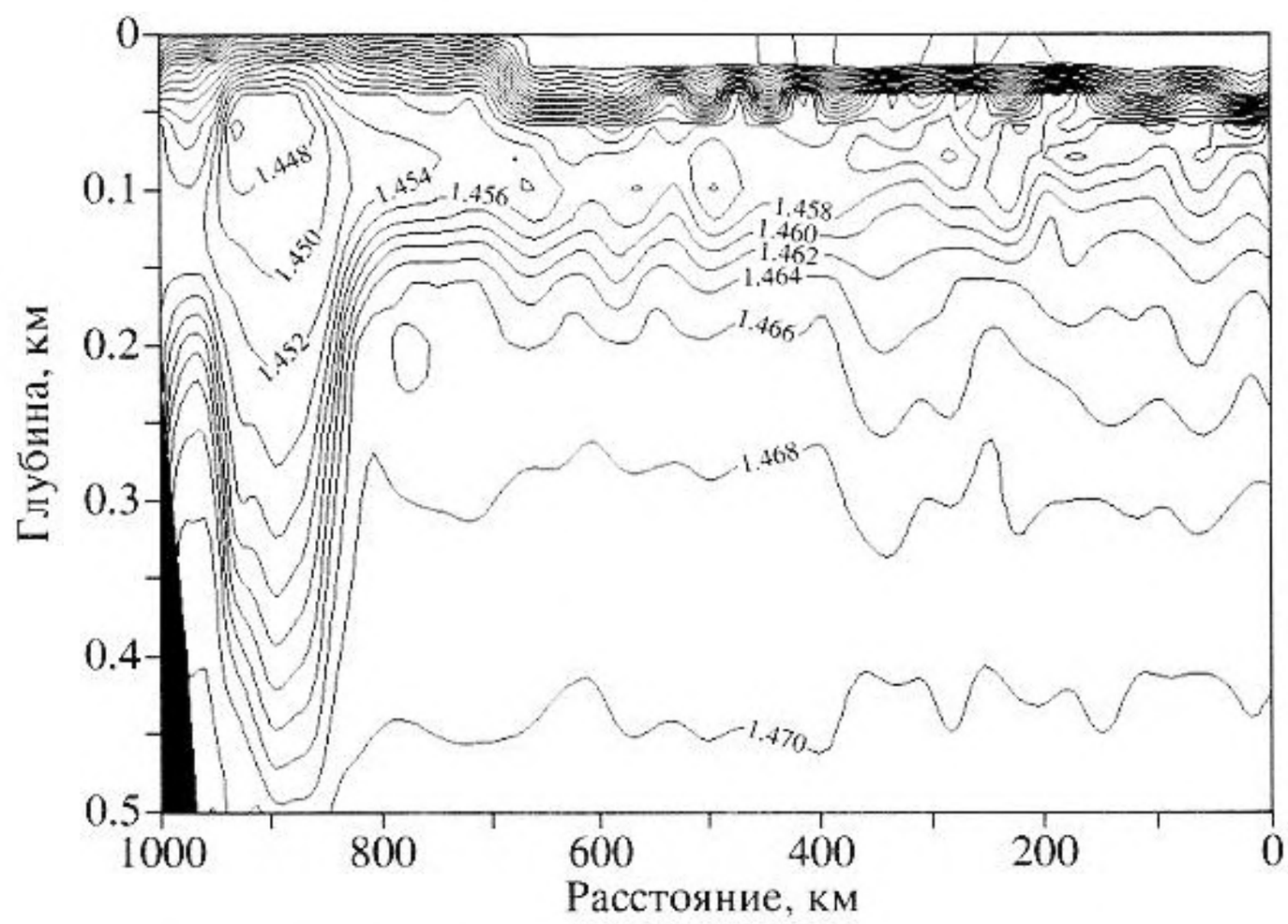

Рис. 1. Поле скорости звука для южной трассы и рельеф дна для конечного 30-ти км участка трассы.

данной трассы, от кромки шельфа (500 м) до точки постановки на якорь приемного судна (216 м), не производилось.

Анализ показал, что временная структура и длительность регистрируемых сигналов обусловлены в значительной степени распространением звука вдоль протяженного глубоководного участка трассы (около 990 км) и определяются, главным образом, разностью групповых скоростей чисто водных мод глубокого океана, где первая мода распространяется с наименьшей групповой скоростью. Размещение источника звука у оси подводного звукового канала обеспечивало приоритетное возбуждение первой моды.

По мере уменьшения глубины в районе материкового склона, все более низкие номера мод начинают взаимодействовать с дном. Их групповые скорости меняются, и дисперсия групповых скоростей постепенно приобретает вид, характерный уже для распространения звука в мелком море, где первая мода имеет самую большую групповую скорость. Однако, как показывают расчеты, небольшого мелководного участка распространения звука оказывается недостаточно, чтобы существенным образом изменить накопленные в глубоководной части трассы временные задержки между вступлениями отдельных мод глубокого океана.

В связи с этим характерной особенностью регистрируемых в опыте сигналов является наличие в конце сигнала мощного импульса, имеющего ярко выраженную частотную дисперсию, характерную для первой моды глубокого океана (рис. 2). Этот импульс в конце сигнала мы будем в дальнейшем называть импульсом первой моды. Его запаздывание относительно времен приходов импульсов мод более высоких номеров в диапазоне частот от 10 до 80 Гц оказалось достаточным для уверенного измерения энергии этого импульса в относительно узких полосах анализа, от 5 до 10 Гц (8 Гц – величина, близкая к периоду осцилляции спектра сигнала от подводного взрыва). В частности, запаздывание первой моды по сравнению со второй на частоте 30 Гц составляло 2.5 с при общей длительности сигнала около 7 с.

На рис. 3 представлены результаты измерений энергии сигналов, зарегистрированных на южной трассе для горизонта приема 45 м в различных частотных полосах. При построении графиков проводилось сглаживание кривых с использованием низкочастотного фильтра, убирающего из спектра частоты с периодом менее 3 ч.

На кривой изменения во времени энергии в широкой полосе 25–100 Гц можно отметить наличие целого ряда ярко выраженных максимумов, которые в той или иной степени проявляются и на кривых при более узкополосном анализе сигналов. Среди них отчетливо выделяются четыре локальных максимума в интервале времени от 28 до 74 ч, наиболее характерно проявляющиеся для полосы анализа 25–35 Гц. Интервалы между данными максимумами составили 10, 14 и 12 ч. Аналогичным образом ведут себя и кривые для горизонта приема 200 м.

Периодичность появления максимумов и близость средней величины временных интервалов между ними к периоду полусуточного прилива наводит на мысль, что источником наблюдаемых флуктуаций энергии может служить наличие значительных приливных явлений в районе проведения эксперимента. В связи с этим было проведено синхронное по времени сопоставление графиков

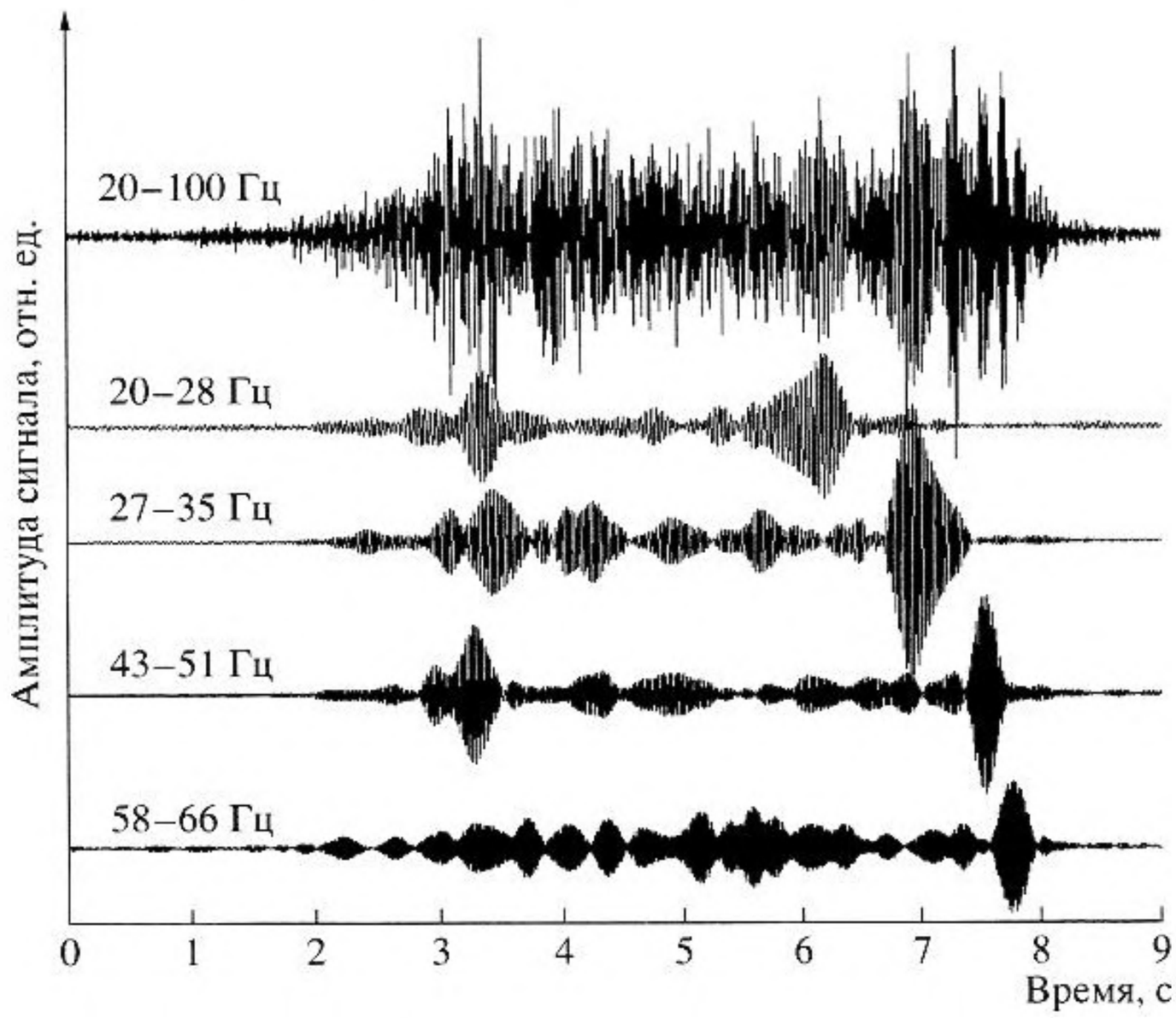

Рис. 2. Временные реализации сигнала для южной точки приема в различных частотных полосах анализа. Горизонт приема 45 м.

изменения уровня воды на близлежащем от точки приема береговом посте (около 80 км) с графиком изменения энергии сигналов. Сравнение графиков показало, что появление отмеченных выше локальных максимумов энергии сигналов хорошо совпадает по времени с моментами полной воды (наивысшим уровнем воды в фазе прилива).

Совпадение во времени максимумов энергии с максимальным уровнем воды во время прилива не могло оказаться случайным. Необходимо было найти ответ на вопрос, каким образом прилив, во время которого уровень воды меняется в пределах всего лишь от 0.53 до –0.82 м, может вызвать столь значительные – до 10 дБ, а в узких полосах и более, флуктуации энергии регистрируемых сигналов.

Обычно флуктуации энергии велики, когда сигнал представляет собой результат интерференции импульсов двух и более мод с близкими амплитудами. Поэтому можно было ожидать, что флуктуации суммарной энергии будут определяться, главным образом, флуктуациями начальной части сигнала, представляющей собой группу мод с малой разницей групповых скоростей, значительно опережающих импульс первой моды. Однако анализ сигналов показал, что энергия импульса первой моды изменяется в больших пределах, чем у остальной части сигнала (рис. 4). При этом, поскольку первая мода переносит значительную часть энергии всего сигнала, именно флуктуации энергии первой моды вносят основ-

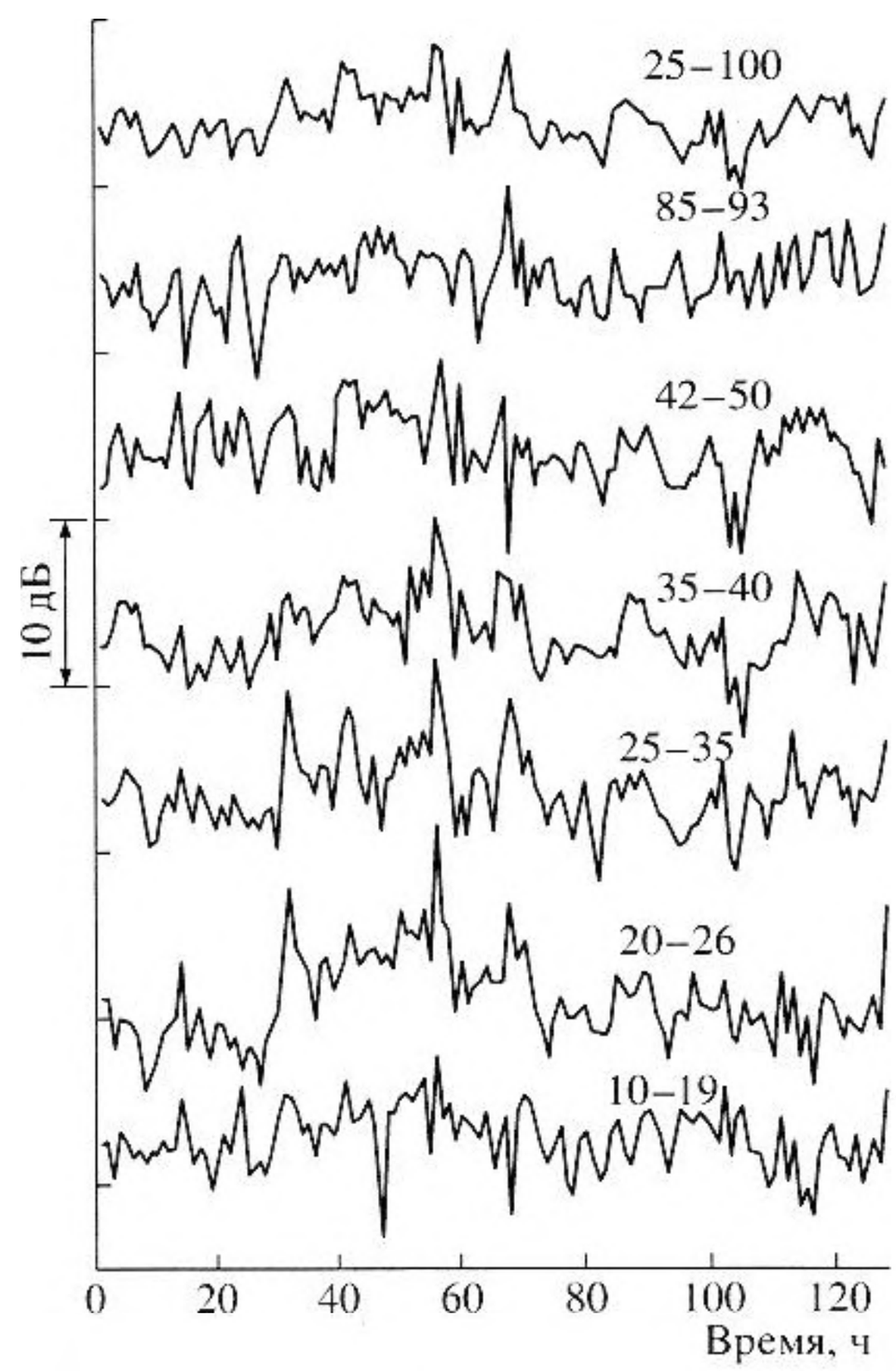

Рис. 3. Изменение во времени энергии сигналов, зарегистрированных в южной точке в различных частотных полосах. Горизонта приема 45 м.

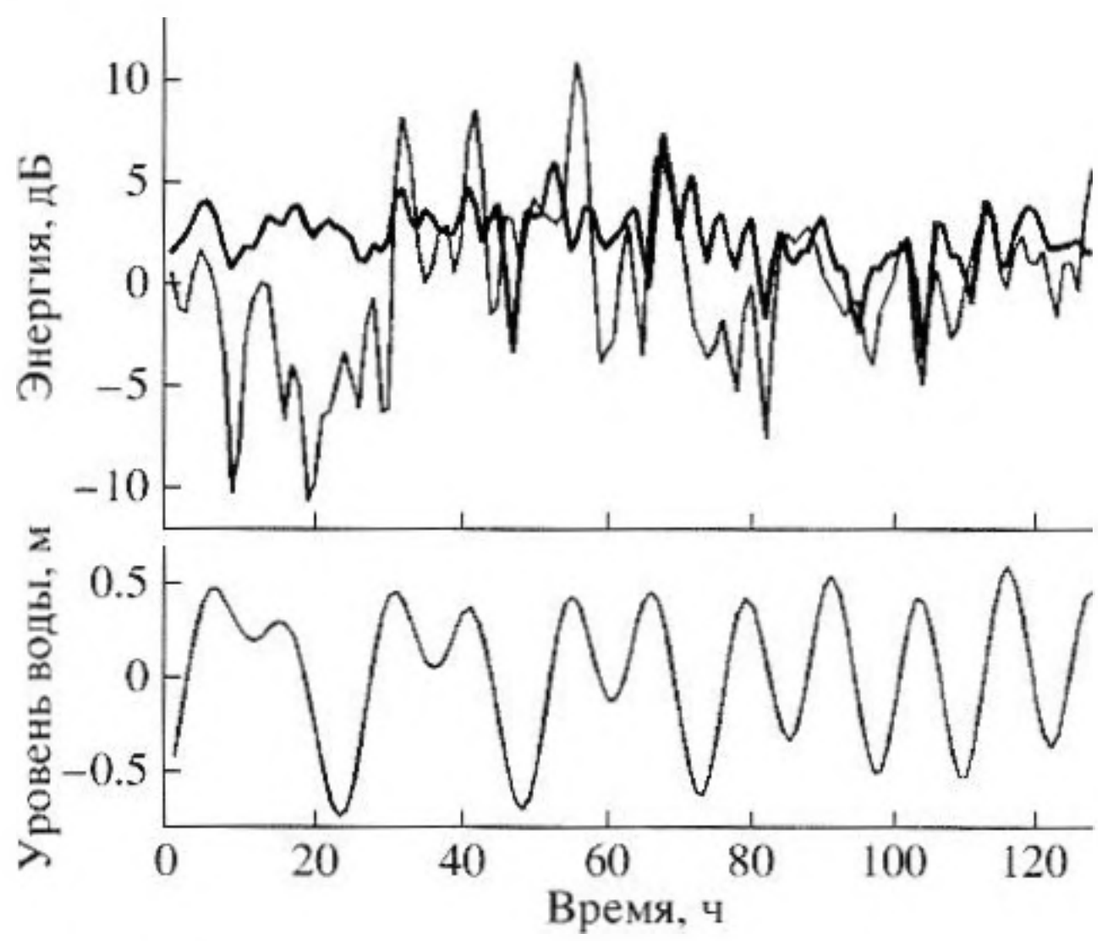

Рис. 4. Вверху: флуктуации во времени энергии первой моды (тонкая кривая) и остальной части сигнала перед первой модой (жирная кривая). Полоса анализа 27–35 Гц. Внизу – изменение уровня воды по данным берегового поста.

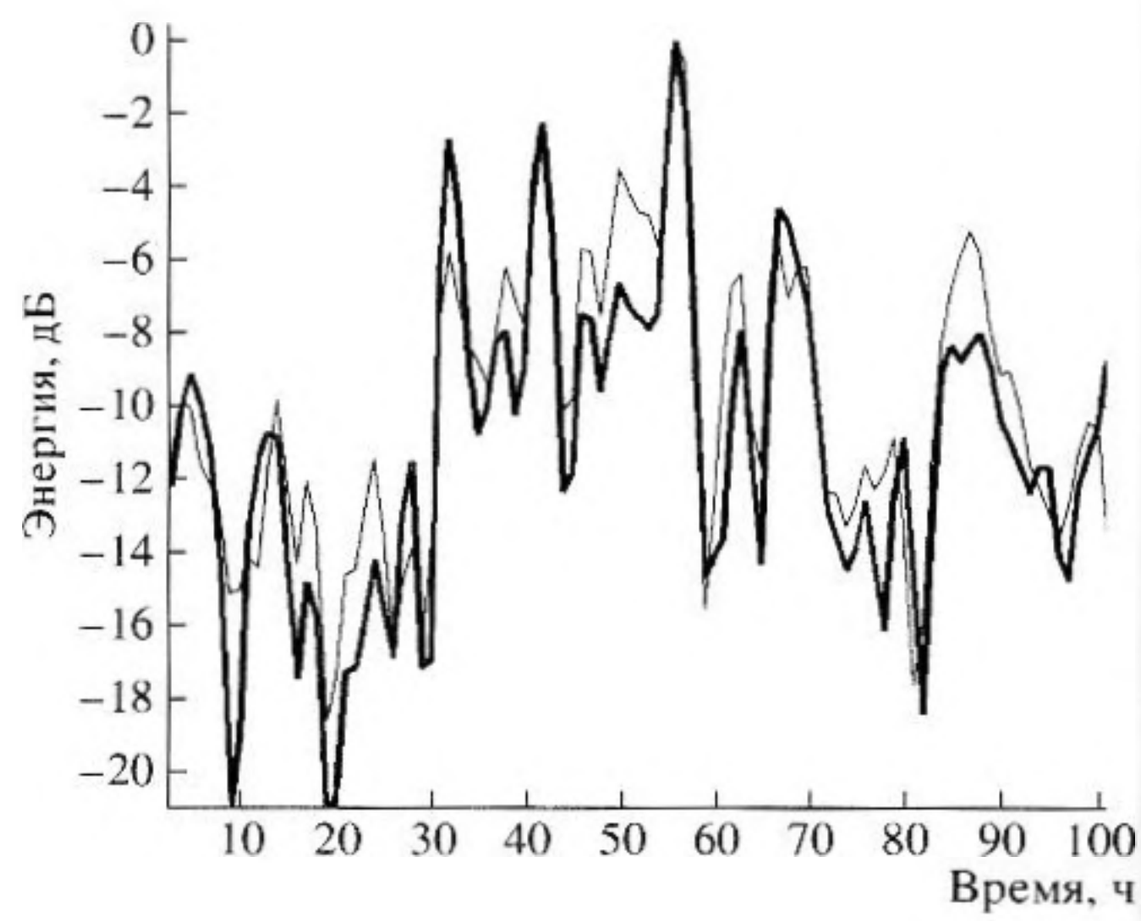

Рис. 5. Флуктуации во времени энергии первой моды в южной точке на двух горизонтах приема 45 м (жирная кривая) и 200 м (тонкая кривая). Полоса анализа 27–35 Гц.

ной вклад во флуктуацию энергии всего сигнала. Из рисунка видно также, что максимумы энергии первой моды соответствуют по времени максимальному уровню воды во время прилива.

Попробуем ответить на вопрос, почему именно энергия первой моды подвержена наиболее значительным флуктуациям при распространении.

Модуляция уровня в конце сигнала может возникать, например, по мере распространении звука через неустойчивое в пространственно-временном отношении холодное Камчатское течение и далее при его проникновении из глубокого океана в мелководье в результате эффекта взаимодействия мод, т.е. при передаче первой модой энергии в моды более высоких номеров. При малой разности групповых скоростей мод на конечном участке трассы и незначительном пробеге от бровки шельфа до точки приема разность времен приходов вновь возбужденной и первой мод будет незначительной. В случае если их уровни окажутся сопоставимыми, модуляция импульса в конце сигнала может оказаться весьма существенной. Для проверки этого предположения было проведено численное моделирование распространения первой моды на двух трассах с учетом рельефа дна и поля скорости звука. При этом в больших пределах варьировались ширина фронтальной зоны Камчатского течения и положение его холодного ядра. Расчет проводился по программе Авилова К.В., реализующей широкоугольное параболическое приближение [3]. В точке излучения возбуждалась одна первая мода, а в точках приема анализировался модовый состав поля. Расчет показал слабую степень передачи энергии первой моды другим модам. Амплитуды наиболее хорошо возбуждаемых второй и третьей мод не превышали 4% от амплитуды первой моды.

Результаты расчета надежно подтверждаются и экспериментальными результатами. Флуктуации энергии импульса первой моды для горизонтов приема 45 и 200 м практически повторяют друг друга (рис. 5), что говорит в пользу того, что основная часть энергии в хвостовой части сигнала переносится именно первой модой. Действительно, если бы импульс, приходящий в конце сигнала, был результатом интерференции импульсов разных мод, например, первой и второй, то флуктуации на двух горизонтах приема не совпадали бы из-за изменения с глубиной амплитудных и фазовых соотношений между модами.

Чтобы окончательно ответить на вопрос о возможном влиянии приливных явлений в глубоководной части океана на флуктуации энергии сигналов, регистрируемых на южной трассе, было проведено синхронное по времени сравнение флуктуаций первой моды для южной и северной точек приема (рис. 6). Основное отличие двух трасс распространения заключается, главным образом, в характере рельефа дна в непосредственной близости от их точек приема. Если у южной трассы имеется длинный мелководный участок с небольшим практически постоянным наклоном дна, то у северной трассы такого участка нет, и приемник находился практически у кромки крутого материкового склона. Как следует из графика на рисунке, изменение энергии первой моды в северной точке приема заметно меньше, чем в южной, и практически не коррелирует с измене-

нием уровня воды. Следует отметить, что ввиду конфигурации рельефа дна на этой трассе, уровень звукового поля в точке приема практически полностью определяется распространением звука в глубоком океане. В связи с этим можно сделать вывод о незначительном воздействии приливных явлений на низкочастотное распространение звука непосредственно в глубоководной части трассы.

Таким образом, теперь можно с полной определенностью утверждать, что участком, при распространении вдоль которого в результате приливных явлений периодически происходят значительные изменения энергии первой моды, является участок южной трассы от кромки шельфа до точки приема длиной 34 км и глубинами, меняющимися по направлению к точке приема от 500 до 200 м.

Собственная функция первой моды значительней, чем у других мод, сконцентрирована у оси канала. Приходя из глубокого океана и пройдя мелководный участок трассы, она лучше других мод сохраняет энергию, поскольку начинает испытывать влияние наклонного дна значительно позже. Изменения профиля скорости звука на этом участке, ведущие к трансформации собственной функции первой моды у дна, будут вызывать и изменение потерь энергии данной моды в точке приема.

К сожалению, мы обладаем крайне скудной информацией о динамике поля скорости звука и приливных течениях на мелководном участке исследуемой трассы. В связи с этим, в дальнейшем, пытаясь ответить на вопросы, что же может вызвать столь значительные, до 10 дБ и более, флуктуации энергии именно первой моды и почему во время прилива эта мода проникает в шельф с меньшими потерями, чем во время отлива, мы будем использовать океанологические данные, полученные в других работах.

Распространяясь из открытого океана и встречая на своем пути резкое уменьшение глубин в районе материкового склона, баротропный прилив генерирует внутренний (бароклинный) прилив с таким же периодом, вызывающий значительные горизонтальные и вертикальные перемещения водных масс. При этом существуют условия наиболее эффективной передачи энергии от баротропного прилива внутреннему. Они возникают в тех случаях, когда плотностная стратификация водной толщи такова, что наклон (тангенс угла) траектории распространения энергии внутреннего прилива γ совпадает с углом наклона дна [4]. В нашем случае период полусуточного прилива, измеренный по реализации длиной 360 ч, оказался равным 12.34 ч. Вычисленное по формуле из работы [4] значение наклона γ для такого значения периода составляет величину

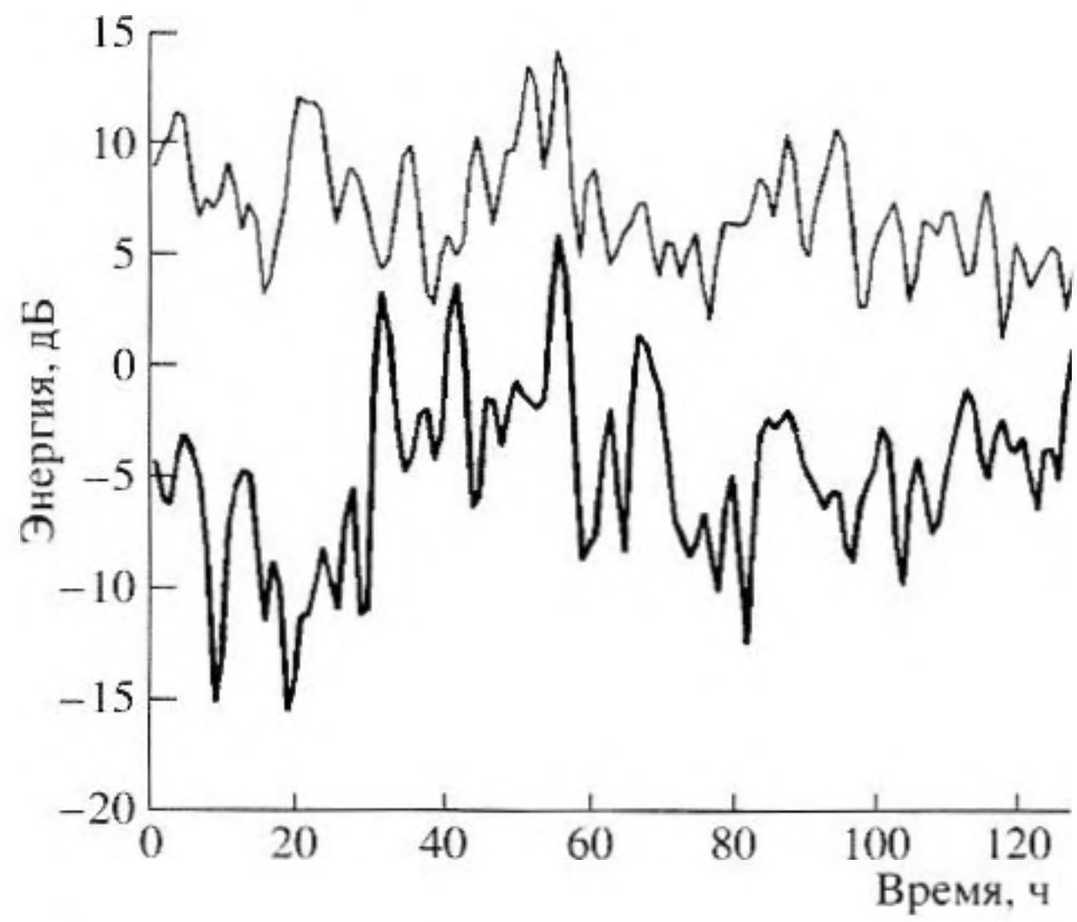

Рис. 6. Изменение во времени энергии первой моды сигналов для двух точек приема, южной (жирная кривая) и северной (тонкая кривая). Полоса анализа 27–35 Гц.

0.0111–0.0119 (для глубин 250–450 м, соответственно):

$$\gamma = \pm((\omega^2 - f^2)/(N^2 - \omega^2))^{0.5}, \qquad (1)$$

где ω – частота волны, f – инерционная частота, N – частота плавучести.

Средний угол наклона дна на участке южной трассы для этого диапазона глубин составил величину около 0.0098, так что его отношение к γ дает величину, близкую к единице: 1.13–1.21, что соответствует, как отмечалось выше, условию наиболее эффективной передачи энергии баротропного прилива внутреннему. Так, в эксперименте на шельфе Австралии [5] при отношении γ к углу наклона дна порядка 1.2 отмечались большие амплитуды внутреннего прилива с максимальными скоростями у дна порядка 0.4 м/с [6].

По-видимому, в рассматриваемом здесь случае также следует ожидать в фазе прилива мощных придонных перемещений воды вдоль участка южной трассы, начиная с глубин около 500 м и практически до точки приема. Этот вывод подкрепляется данными, полученными в районе, близком к проведению эксперимента, где были зарегистрированы большие, до 40–60 м, высоты полусуточных колебаний изогалинных поверхностей, вызванные внутренним приливом [7]. Кроме того, измерения профилей скорости звука в ходе эксперимента в окрестности точки с глубиной океана около 500 м показали, что скорость звука на горизонте 400 м в фазе прилива оказывается выше, чем в фазе отлива на величину до 6 м/с, что соответствует амплитудам вертикальных смещений изогалинных поверхностей примерно на 30–40 м. Для таких амплитуд вертикаль-

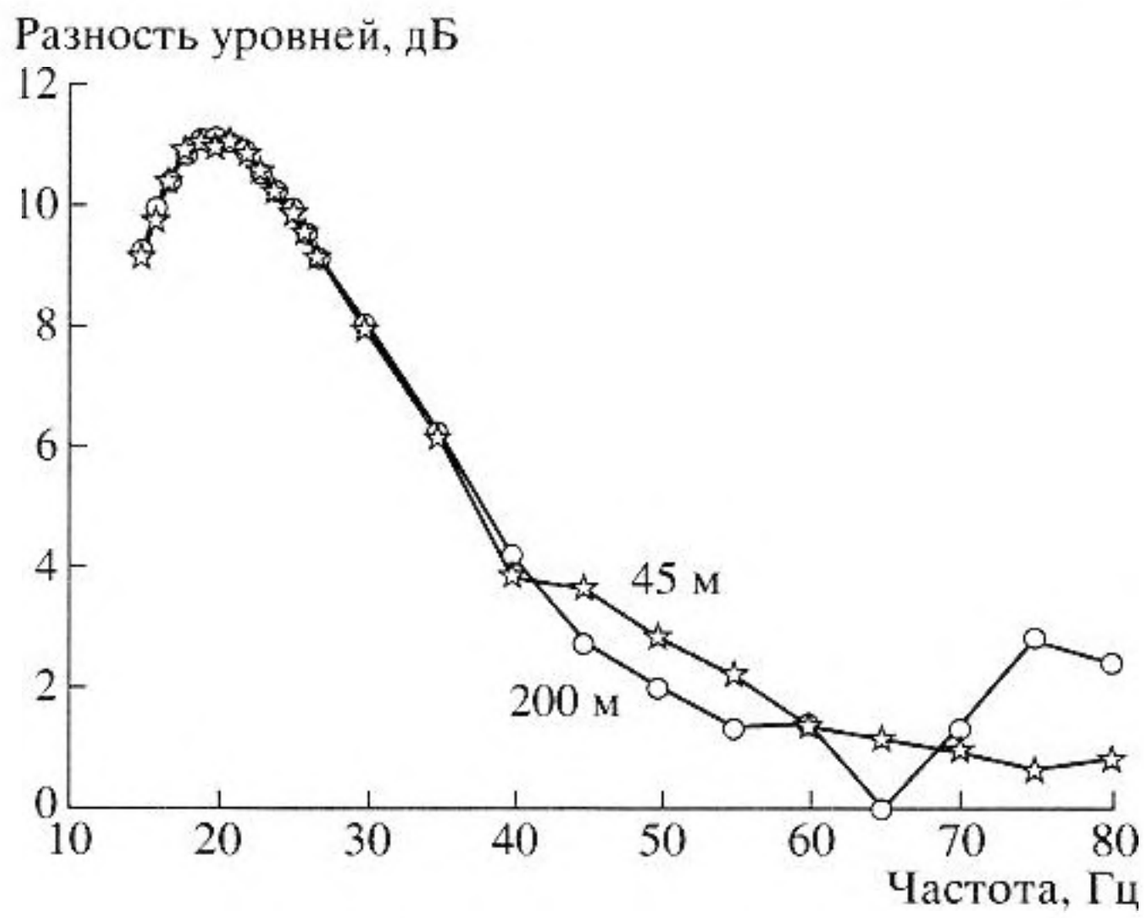

Рис. 7. Частотная зависимость разности уровней энергии сигналов, принятых в фазах прилива и отлива.

ных смещений и рассчитанного ранее угла наклона траектории распространения энергии внутреннего прилива мы получим горизонтальную амплитуду смещений порядка 5.2 км. Зная горизонтальную амплитуду смещений и умножая ее на частоту полусуточной волны, получаем оценку для амплитуды скорости внутреннего (в простейшем случае – одномодового) прилива: 0.49–0.73 м/с.

Таким образом, наиболее вероятной причиной наблюдаемых в эксперименте флуктуации энергии сигналов можно с полным основанием считать внутренний прилив на шельфе, приводящий к существенной трансформации профиля скорости звука на мелководном участке трассы за счет значительных вертикальных и горизонтальных смещений водных масс.

Для района у восточного побережья Камчатки в целом характерна субарктическая структура вод [8]. Одной из особенностей такого типа вод является наличие холодного подповерхностного слоя воды на глубинах 50–300 м, ниже которого, на глубинах 300–700 м находится теплый промежуточный слой воды с более высокой температурой и соленостью. По результатам измерений в ходе эксперимента в районе материкового склона температура и соленость теплого промежуточного слоя в среднем примерно выше на 1.5–2.5°C и 0.7–1.0‰, соответственно. Подъем внутренним приливом более теплой и соленой воды и ее перемещение вдоль дна мелководного участка в сторону берега на расстояние порядка нескольких километров (по оценкам, приведенным выше, до пяти и более километров) должно приводить к заметному повышению скорости звука в придонном слое.

Кроме того, обычно внутренний прилив на шельфе имеет модальное строение с преобладанием первой моды, так что фаза вертикальных отклонений мало изменяется по глубине, а разность фаз течений в приповерхностных и придонных слоях равна 180° [4, 5]. Если в первом приближении учитывать скорость течения в виде эффективной добавки к скорости звука, то имеет место дополнительное увеличение скорости звука у дна на величину, равную скорости течения, т.е. примерно на 0.49–0.73 м/с, и соответственно уменьшение эффективной скорости у поверхности на величину того же порядка. Такая трансформация профиля скорости звука должна дополнительно вызывать смещение минимума скорости звука ближе к поверхности и уменьшение ширины звукового канала в фазе прилива.

Все эти факторы должны приводить к локализации собственной функции первой моды в пределах водного слоя и лишь к незначительному взаимодействию с дном на самом конечном участке трассы, непосредственно перед точкой приема. Потери при распространении импульса первой моды будут в этом случае минимальными. В фазе отлива, когда направление скорости течения внутреннего прилива меняется на противоположное и теплые воды начинают стекать вниз за кромку шельфа, подводный звуковой канал значительно расширяется. Минимум скорости звука существенно заглубляется, а профиль скорости звука в слое воды ниже оси канала по мере уменьшения глубины места все более приближается к изоскоростному. Взаимодействие первой моды с дном в фазе отлива будет начинаться на много большем расстоянии от точки приема (возможное увеличение по сравнению с фазой прилива – 10 км и более) и происходит с большими эквивалентными углами скольжения, вызывая тем самым существенное ослабление переносимой ей энергии.

Для проверки выдвинутой гипотезы о причинах флуктуаций было проведено численное моделирование распространения звука вдоль мелководного участка трассы от 500 до 216 м. Рассчитывалась разность уровней энергии принятых сигналов в третьоктавных полосах для поля скорости звука на данном участке в фазах прилива и отлива. В качестве исходного профиля для поля скорости звука в фазе отлива был выбран профиль скорости звука, измеренный в точке приема и продленный до глубины 500 м с неизменным градиентом (0.0126 $с^{-1}$). Результаты численного моделирования показали, что если профили скорости звука в этих двух фазах идентичны от поверхности до глубины 100 м, а далее в фазе прилива вертикальный градиент возрастает до 0.067 $с^{-1}$, то частотная зависимость рассчитанной разности уровней энергии принятых сигналов качественно весьма удовлетворительно воспроизводит наблюдаемую в эксперименте (рис. 7).

Рассчитанные формы сигналов вдоль всей исследуемой трассы в полосе частот 20–25 Гц для данных двух случаев поля скорости звука над континентальным склоном приведены на рис. 8. Из приведенных записей наглядно следует, что, как и отмечалось, основная энергия регистрируемых сигналов переносится первой модой, и именно ее значительное ослабление в фазе отлива ведет к заметным флуктуациям, наблюдаемым при приеме сигналов в береговом шельфе.

Несколько завышенный вертикальный градиент скорости звука, который пришлось использовать в фазе прилива для получения соответствия с экспериментом, объясняется, по всей видимости, упрощенной моделью дна, взятого при расчетах в виде жидкого полупространства со скоростью продольных волн в нем 1470 м/с.

Предложенные выше объяснения причин, вызывающих флуктуации энергии сигналов, не противоречат и наблюдаемым зависимостям флуктуаций энергии от номера моды и частоты.

Высокие номера мод падают на дно под более крутыми, чем первая мода, эквивалентными углами. В результате они, с одной стороны, в большей степени взаимодействуют с дном, а с другой, оказываются менее чувствительными к трансформации профиля скорости звука, то есть их энергия в меньшей степени оказывается подверженной влиянию периодического изменения поля скорости звука. Поэтому флуктуации энергии всего сигнала определяются в большей степени флуктуациями энергии первой модой. По этой же причине малые флуктуации энергии в низкочастотной части анализируемого диапазона частот от 10 до 20 Гц, несмотря на то, что практически вся переносимая на этих частотах энергия сконцентрирована в первой моде, объясняются низкой чувствительностью на этих частотах параметров первой моды к профилю скорости звука в воде.

По мере роста частоты первая мода начинает все сильнее концентрироваться у оси подводного звукового канала, откликаясь на все его деформации. Однако для частот выше 80 Гц вновь наблюдается уменьшение флуктуаций энергии первой моды. Это можно объяснить тем, что собственная функция первой моды с ростом частоты настолько концентрируется у оси канала, что перестает взаимодействовать с дном, даже в случае заметного расширения звукового канала во время отлива.

В заключение отметим еще одно важное наблюдение. Изменения амплитуды полусуточного прилива в северо-западной части Тихого океана нередко происходят с полумесячным периодом [4]. На рис. 9 совместно с графиком изменения энергии первой моды представлен график изменения уровня воды за период времени, охватывающий время проведения эксперимента, и результат разложения этой временной реализации на суточную и полусуточную составляющие с помощью обработки фильтрами низкой и высокой частот. Как легко убедиться, амплитуды обеих составляющих в нашем случае действительно изменяются примерно с полумесячным периодом. В связи с этим интересно отметить, что максимальные значения энергии первой моды в эксперименте наблюдались в тот момент, когда амплитуды суточной и полусуточной составляющих были близки друг к другу. В данном конкретном случае это происходит, когда амплитуда суточного изменения уровня воды падает, а полусуточного – растет. Изучение медленных флуктуаций энергии с периодами порядка полумесяца и более при приеме сигналов глубоко в шельфе могло бы стать отдельной интересной задачей.

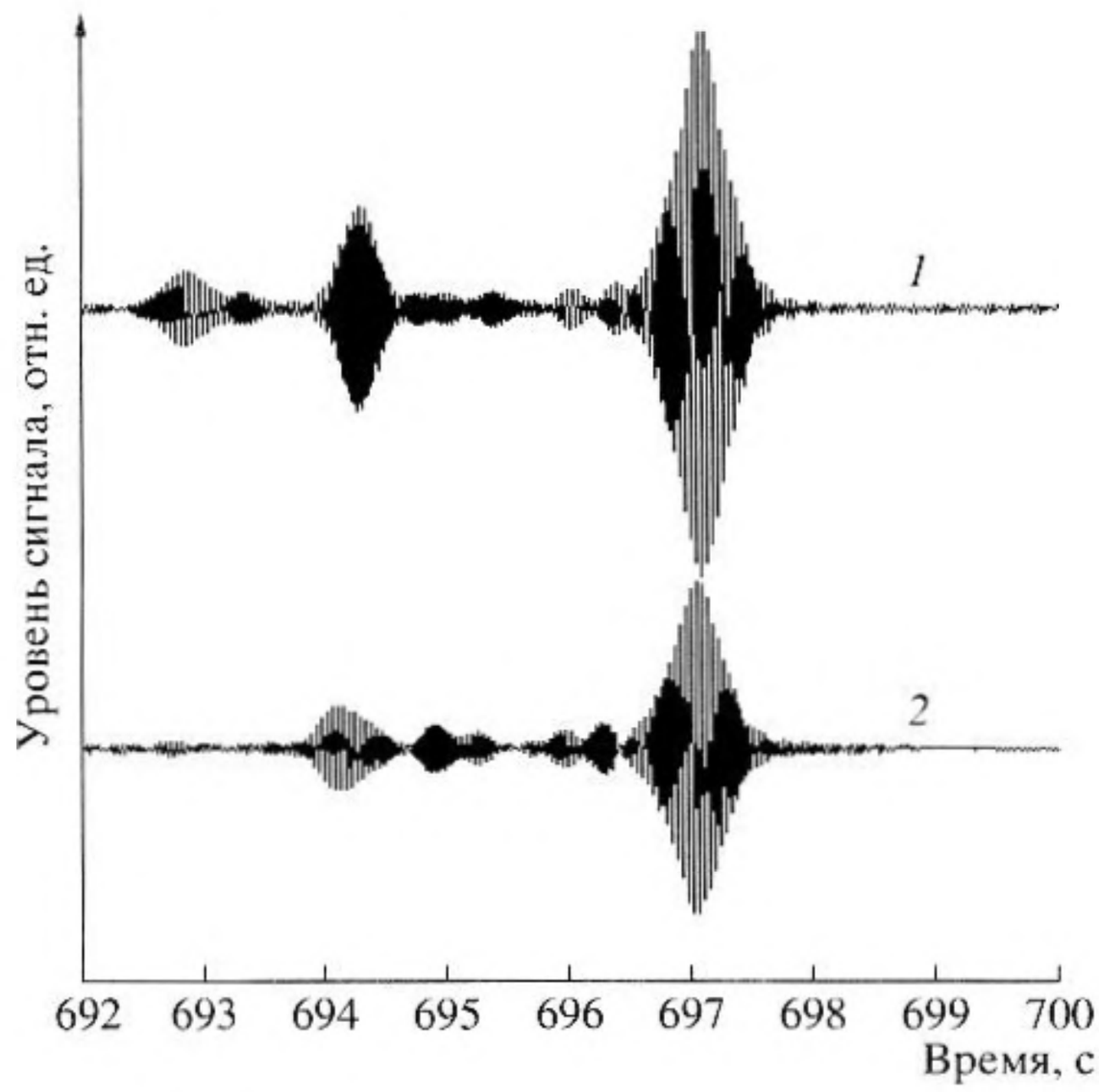

Рис. 8. Рассчитанные формы сигналов для поля скорости звука на шельфе в фазах прилива (*1*) и отлива (*2*).

Таким образом, при проведении акустических работ в северо-западной части Тихого океана при длительной регистрации в прибрежном шельфе сигналов от мощных взрывных источников звука в глубоком океане установлено следующее. При регистрации сигналов на шельфе, на достаточно большом расстоянии от кромки материкового склона, в низкочастотном диапазоне от 20 до 80 Гц наблюдаются значительные, до 10 дБ, флуктуации энергии сигналов. При удалении от границ данного частотного диапазона, как в область более низких, так и в область более высоких частот, флуктуации энергии заметно уменьшаются.

Из физических соображений, подкрепленных данными из океанографических работ, делается предположение, что флуктуации энергии первой

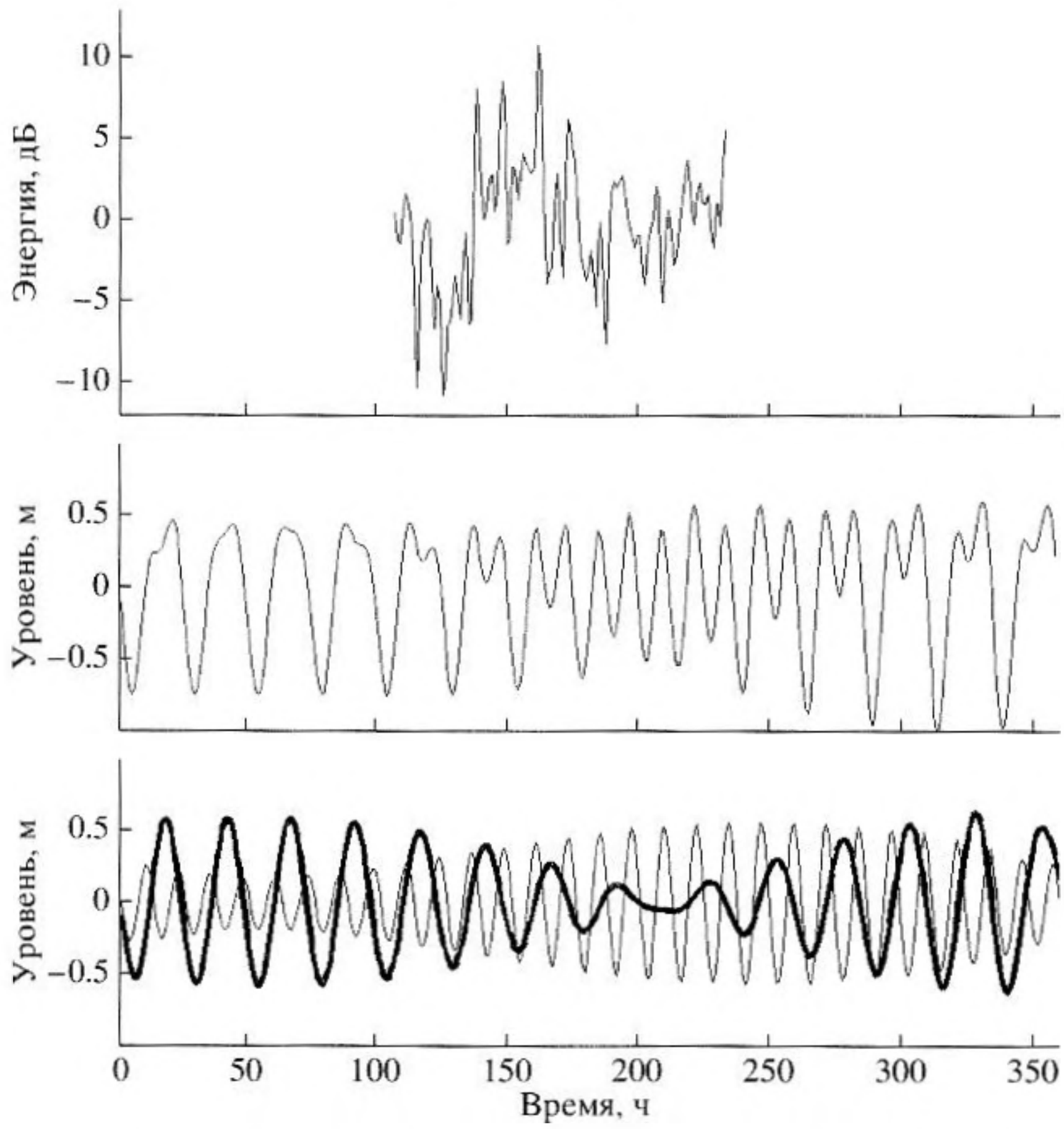

Рис. 9. Сверху вниз: флуктуации во времени энергии первой моды (полоса анализа 27–35 Гц, горизонт приема 45 м); график изменения уровня воды и результат его разложения на суточную (жирная кривая) и полусуточную (тонкая кривая) составляющие.

моды вызваны изменениями поля скорости звука под воздействием полусуточного внутреннего прилива на шельфе. Происходящие перемещения водных масс вызывают такую трансформацию поля скорости звука, которая приводит к относительно "беспрепятственному" распространению энергии первой моды в фазе прилива и, наоборот, к ее значительным потерям в результате интенсивного взаимодействия с дном в фазе отлива. Это явление в значительной степени связано с местом положения приемной точки на шельфе и рельефом дна в области перехода от ложа океана к мелководью. Важную роль в формировании наблюдаемого явления по-видимому имеют и акустические свойства дна на шельфе, их пространственная изменчивость.

Мы благодарны Р.А. Вадову, Р.Ю. Попову, К.Д. Сабинину и А.Н. Серебряному за внимание к работе и полезные консультации.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 03-02-16565, 02-02-17325, 01-02-16636).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куртепов В.М.* Влияние внутренних волн, волн Россби, мезомасштабных вихрей и течений на распространение звука в океане. В кн. Акустика океана. Современное состояние. М.: Наука, 1982.

2. *Гончаров В.В., Зайцев В.Ю., Куртепов В.М., Нечаев А.Г., Хилько А.И.* Акустическая томография океана. ИПФ РАН. Нижний Новгород, 1997.

3. *Авилов К.В.* Псевдодифференциальные параболические уравнения распространения звука в океане, плавно неоднородном по горизонтали, и их численные решения // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 1. С. 5–12.

4. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Волны внутри океана. Санкт-Петербург. Гидрометеоиздат, 1992.

5. *Holloway P.E.* A comparison of semidiurnal internal tides from different bathymetric locations on the Australian north west shelf // J. Phys. Oceanogr. 1985. V. 15. P. 240–251.

6. *Holloway P., Chatwin P.G., Craig P.* Internal Tide Observations from the Australian North West Shelf in Summer 1995 // J. Phys. Oceanogr. 2001. V. 31. P. 1182–1199.

7. *Сабинин К.Д.* Внутренние приливы в Камчатском течении // Океанология. 1996. Т. 36. № 6. С. 814–818.

8. *Богданов К.Т., Мороз В.В.* Структура, динамика и акустические характеристики вод проливов Командоро-Алеутской гряды. Владивосток. Дальнаука., 2002.

Effect of Internal Tides on Slow Energy Fluctuations of Impulse Signals in an Experiment on a Long-Distance Stationary Path

A. V. Mikryukov and O. E. Popov

Andreev Acoustics Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Shvernika 4, Moscow, 117036 Russia

e-mail: a_mikr@rambler.ru

Abstract—Temporal energy fluctuations of impulse signals generated by powerful explosive sources of sound are considered by using the experimental data obtained on a long-distance stationary path in the northwestern Pacific. The signals were received on the Kamchatka shelf (a characteristic ocean depth of about 200 m) at two points spaced by 115 km in the latitudinal direction, one of the reception points being located on the shelf far from its edge and the other, on the shelf edge. The signal radiation was performed in the deep ocean, at a distance of about 1000 km from the shelf edge. Charges were exploded every hour during more than five days. The frequency dependent energy fluctuations of the signals and those of the first mode alone were measured in the frequency range 10–80 Hz. It is shown that the amplitudes of energy fluctuations of the first mode in narrow bands can exceed 10 dB and make the main contribution to the energy fluctuations of the total signal. The maximum energy of the first mode is reached on the high tide. It is hypothesized that internal tide-induced variations of the sound velocity field on the shelf affect the degree of energy interaction between the first mode and the bottom.