АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2005, том 51, № 4, с. 527–535

УДК 534.232

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

© 2005 г. А. Н. Рутенко

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43
E-mail: rutenko@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 12.11.03 г.

Приводятся результаты наблюдений за сезонной изменчивостью вертикального распределения температуры воды в шельфовой зоне Японского моря и его влиянием на параметры внутренних волн и распространение звука. Измерения проводились в разные сезоны года, с помощью вертикальной акустико-гидрофизической измерительной системы. Распространение звука (тональные и шумовые сигналы) исследовалось на трассе постоянной глубины (38 м) протяженностью 510 м. С помощью автономного резонансного (320 Гц) излучателя электромагнитного типа, устанавливаемого на дне (глубина 65 м), организовывалась стационарная акустическая трасса длиной 10.6 км, ориентированная поперек шельфа. Во время комплексных экспериментов проводились измерения пространственных характеристик внутренних волн, а также распределений температуры, солености, скорости звука и вариаций уровня моря.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, при значительном прогрессе в теории и численном моделировании влияния гидрофизических полей на распространение звука в мелком море [1–3], остаются актуальными задачи, связанные с экспериментальными исследованиями особенностей гидрофизических полей и гидродинамических процессов, происходящих в разные сезоны года в шельфовой зоне, и их влиянием на распространение звука.

При развитом сезонном пикноклине основными гидродинамическими источниками акустических неоднородностей в водном слое являются внутренняя приливная волна и более короткие внутренние волны (ВВ). Внутренняя приливная волна, индуцируемая приливным течением на кромке шельфа [4–7], распространяется по шельфу как длинная внутренняя волна (ДВВ). Вследствие нелинейности и взаимодействия с дном она претерпевает трансформации, сопровождающиеся генерированием более коротких ВВ и пакетов квазигармонических и солитоноподобных нелинейных ВВ [5–7]. Следовательно, поле ВВ на шельфе, как и акустические поля, имеет ряд особенностей, связанных с влиянием дна, а также с сезонной изменчивостью пространственных параметров поля плотности в водном слое. Рефракция и рассеяние акустических волн на неоднородностях поля скорости звука, создаваемых в водном слое ВВ, приводят к фокусировке или дефокусировке акустических волн в горизонтальной плоскости и перетокам энергии от распространяющихся нормальных акустических мод с малыми номерами к модам более высоких номеров, причем это взаимодействие может принимать резонансный характер [3, 8, 9].

В 1978 г. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН начал организацию на м. Шульца (см. карту на рис. 1) научно-исследовательской базы, и за 25 лет экспериментальных работ были получены в разные сезоны данные об изменчивости и динамике основных океанологических полей в данном районе шельфа Японского моря, влияющих на распространение звука. Выполнены многочисленные наблюдения за параметрами ВВ [10–14] и их влиянием на распространение звука [14–18]. Данная работа является логическим развитием предшествующих исследований с акцентом на изучении особенностей распространения звука из относительно глубоководной части шельфа в мелководную прибрежную область и влиянии ВВ на распространение звука вдоль трасс, ориентированных перпендикулярно и параллельно направлению распространения ВВ.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

На рис. 1 показана карта района исследований с указанием точек постановки измерительных средств и трасс, на которых проводились измерения. В данном районе шельфа Японского моря наблюдается неправильный полусуточный прилив с высотой до 35 см, но в то же время заметную роль в смещениях морской поверхности играют сгонно-нагонные явления, связанные с ветровы-

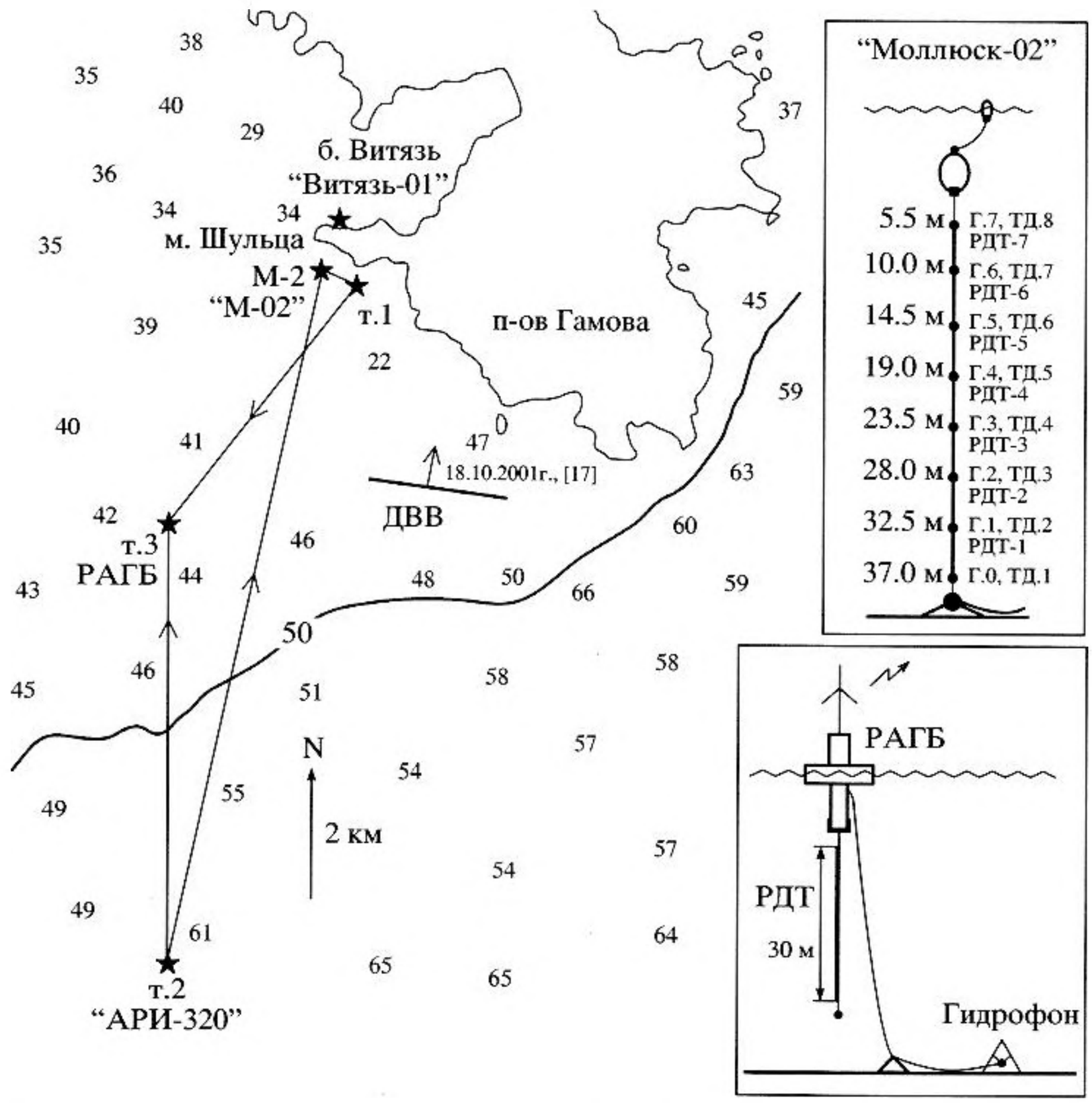

Рис. 1. Карта района с указанием точек постановки измерительных средств, акустических трасс, гребней и направлений распространения длинных внутренних волн (ДВВ), измеренных осенью в 2001 г. [17]. Схемы постановки вертикальной акустико-гидрофизической измерительной системы "Моллюск-02" и радио-акустико-гидрофизического буя – РАГБ в море. Обозначение: "Витязь-01" – уровнемер, "М-02" – измерительная система "Моллюск-02", "АРИ-320" – автономный резонансный излучатель тонального акустического сигнала с частотой 320 Гц, Г – гидрофон, ТД – точечный датчик температуры, РДТ – распределенный датчик температуры резистивного типа.

ми течениями и поверхностными волнами. Летний муссон вытесняет из мелководной части шельфа сезонный термоклин, и водный слой становится практически однородным по температуре, но осенью после продолжительного воздействия ветра северного и северо-западного направлений в мелководную область шельфа возвращается холодная придонная вода, и этот процесс сопровождается интенсивными нелинейными ВВ [17, 18].

Излучение акустических тональных и шумовых сигналов производилось с помощью излучателя пьезокерамического типа, стационарно установленного на глубине 37 м в точке т.1 [19]. На рис. 1 видно, что с помощью вертикальной акустико-гидрофизической измерительной системы "Моллюск-02" [20], автономного резонансного излучателя (АРИ-320) и радио-акустико-гидрофизических буев (РАГБ) организовывались стационарные трассы протяженностью до 10.6 км. С основными техническими характеристиками применяемых измерительных средств можно познакомиться в работе [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИКО-ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В апреле 2003 г. в точке 3 (см. рис. 1) был установлен радио акустико-гидрофизический буй, а в точке 2 с помощью АРИ-320 генерировался тональный акустический сигнал ТОН-320. В точке 1 излучались сигналы ТОН-295 и ТОН-450. Результаты синхронных измерений акустических сигналов и вариаций температуры воды в точках М-2 и 3 представлены на рис. 2. График $\eta(t)$ – вариации средней температуры 30-метрового вертикального слоя воды, получен с помощью распределенного датчика температуры РАГБ, установ-

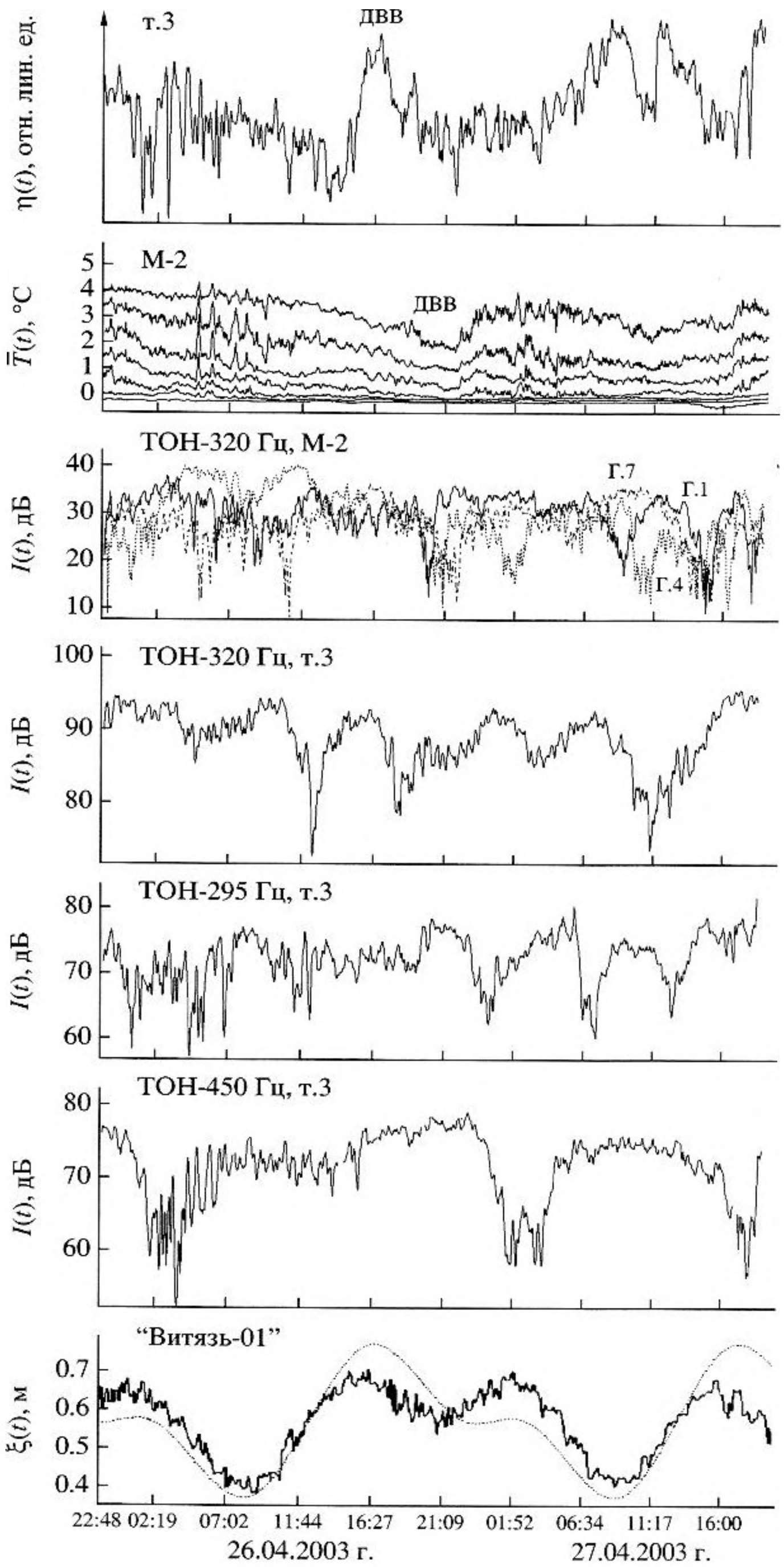

Рис. 2. Результаты синхронных акустико-гидрофизических измерений, проведенных в весеннем эксперименте. Сигнал ТОН-320 генерировался у дна на глубине 65 м в точке т.2 с помощью автономного излучателя. Сигналы ТОН-295 и ТОН-450 генерировались на глубине 37 м в точке т.1. Профиль ВВ в точке т.3 – график $\eta(t)$, получен с помощью РАГБ. График $\xi(t)$, показанный сплошной линией, соответствует натурным измерениям уровня моря, а пунктирной линией – аналитической оценке.

ленного в точке т.3. Этот график характеризует профиль распространяющихся по термоклину ВВ [22]. График – $\xi(t)$, показанный сплошной линией, получен с помощью уровнемера "Витязь-01", установленного у входа в бухту Витязь (см. рис. 1) и иллюстрирует вертикальные смещения морской поверхности. На этом же рисунке пунктирной линией показан прилив, вычисленный аналитически. На рис. 2 видно, что теоретическая кривая правильно предсказывает фазы и характер прилива в данном районе, и поэтому при анализе данных, полученных в экспериментах, в которых не проводились измерения $\xi(t)$, мы будем использовать теоретические кривые.

На рис. 2 можно выделить группу интенсивных ВВ, прошедших точку т.3 примерно в 02:19, 26.04.2003 г. (см. график $\eta(t)$). Известно [17], что в данном районе длинные внутренние волны (ДВВ), индуцируемые приливным течением, и связанные с ними более короткие ВВ [7] распространяются примерно вдоль трассы "т.2 – М-2" со скоростью ≈0.3–0.45 м/с. Следовательно, данная группа ВВ должна была бы подойти к точке М-2 примерно через 4 ч. Действительно, в графиках $\bar{T}(t)$, полученных с помощью семи РДТ измерительной системы "М-02", примерно в это время (5:00–9:00, 26.04.2003 г.) хорошо выражена группа нелинейных ВВ. На рис. 2 видно, что интенсивные ВВ, вызывающие синфазные вертикальные смещения изотерм на ≈4.5 м в 27-метровом слое воды, наблюдаются во время прохождения подошв ДВВ (см. кривые $\bar{T}(t)$ в 07:02, 26.04 и 01:52, 27.04). Теоретически ДВВ может генерироваться на кромке шельфа посредством гидравлического прыжка [4]. Такой прыжок может начать распространяться против течения в сторону берега в виде ДВВ, претерпевая существенные нелинейные трансформации [7], сопровождающиеся перетоками энергии в более короткие ВВ (см. график $\eta(t)$ на интервале 00:00–07:00, 26.04.2003 г.), но может и сохранить свой пространственно-временной масштаб (см. график $\eta(t)$ на интервале 15:00–20:00 и кривые $\bar{T}(t)$ на интервале 20:00–22:00, 26.04.2003 г.). Рассмотрим более подробно пространственно-временное образование из холодной воды, условно обозначенное на рис. 2 как ДВВ. Скорость ее распространения от точки т.3 до М-2 примерно равна 0.4 м/с, что согласуется с результатами измерений, которые проводились в данном районе в октябре 2001 г. [17]. Согласно графику $\xi(t)$, скорость приливного течения на кромке шельфа была максимальной примерно в 04:00, 26.04.2003 г., и если бы ДВВ, индуцированная в этой фазе поверхностного прилива, распространялась к берегу со скоростью 0.4 м/с, то она подошла бы к точке т.3 через 12 ч. Следовательно, можно предположить, что рассматриваемая ДВВ действительно связана с приливом и начала движение к берегу против отливного течения, что согласуется с моделью, предложенной в работе [4]. Ее пространственный масштаб в мелководной части шельфа, по измерениям в точке т.3, примерно равен 6.5 км.

Перейдем к рассмотрению результатов акустических измерений. На рис. 2 приведены графики вариаций интенсивностей $I(t)$ акустических сигналов с разными частотами, распространявшихся вдоль разных трасс. ТОН-320 Гц: "т.2 – т.3" (6.6 км), "т.2 – М-2" (10.6 км). Акустические сигналы ТОН-295 и ТОН-450 Гц генерировались в точке т.1 и распространялись вдоль трассы "т.1 – т.3" (4.7 км) и "т.1 – М-2" (510 м). Результаты измерений, проведенных синхронно в точках т.3 и М-2, (см. рис. 1) позволяют оценить эффекты от ВВ на разном удалении от точки излучения сигнала ТОН-320 (т.2), причем акустические сигналы ТОН-320 и ТОН-295 распространялись примерно вдоль одной трассы, но в противоположных направлениях. Сравним вариации их интенсивностей на временном интервале 22:48 (25.04)–11:44 (26.04), соответствующем прохождению по трассе "т.2 – М-2" группы интенсивных нелинейных ВВ. На рис. 2 видно, что на глубоководном участке трассы "т.2 – т.3" ВВ не оказали существенного влияния на звуковое поле, формируемое у дна в точке т.3 сигналом ТОН-320 (вариации $I(t)$ не превышают 5 дБ). В точке М-2 во время прохождения ВВ возле "М-02" короткопериодные вариации $I(t)$ достигали 15 дБ, как в придонном (график Г.1), так и в приповерхностном (график Г.7) слоях воды. Вариации $I(t)$ сигнала ТОН-295, измеренного в точке т.3, также достигают ≈15 дБ во время прохождения ВВ над точками приема и излучения. График $I(t)$ (ТОН-450) на данном интервале времени подобен графику $\eta(t)$.

Наблюдаемые в эксперименте вариации интенсивности акустического поля, измеряемые гидрофонами на фиксированных горизонтах, во время прохождения ВВ вблизи точки приема могут быть обусловлены изменениями вертикальной интерференционной структуры акустического поля, вызываемыми рефракцией акустических волн на пространственных акустических неоднородностях, создаваемых ВВ. По-видимому, следует также учитывать влияние ВВ на модовую структуру, генерируемого акустического поля, поскольку ВВ изменяют над источником пространственное распределение поля скорости звука. Для оценки этих эффектов было проведено численное моделирование в рамках адиабатического приближения нормальных мод. Результаты численного эксперимента представлены на рис. 3. Модельный волновод представляет собой трехслойный волновод с "жидким" осадочным слоем и "жидким" основанием. Водный слой разделен на приповерхностный однородный слой, в котором значение скорости звука C = 1490 м/с и при-

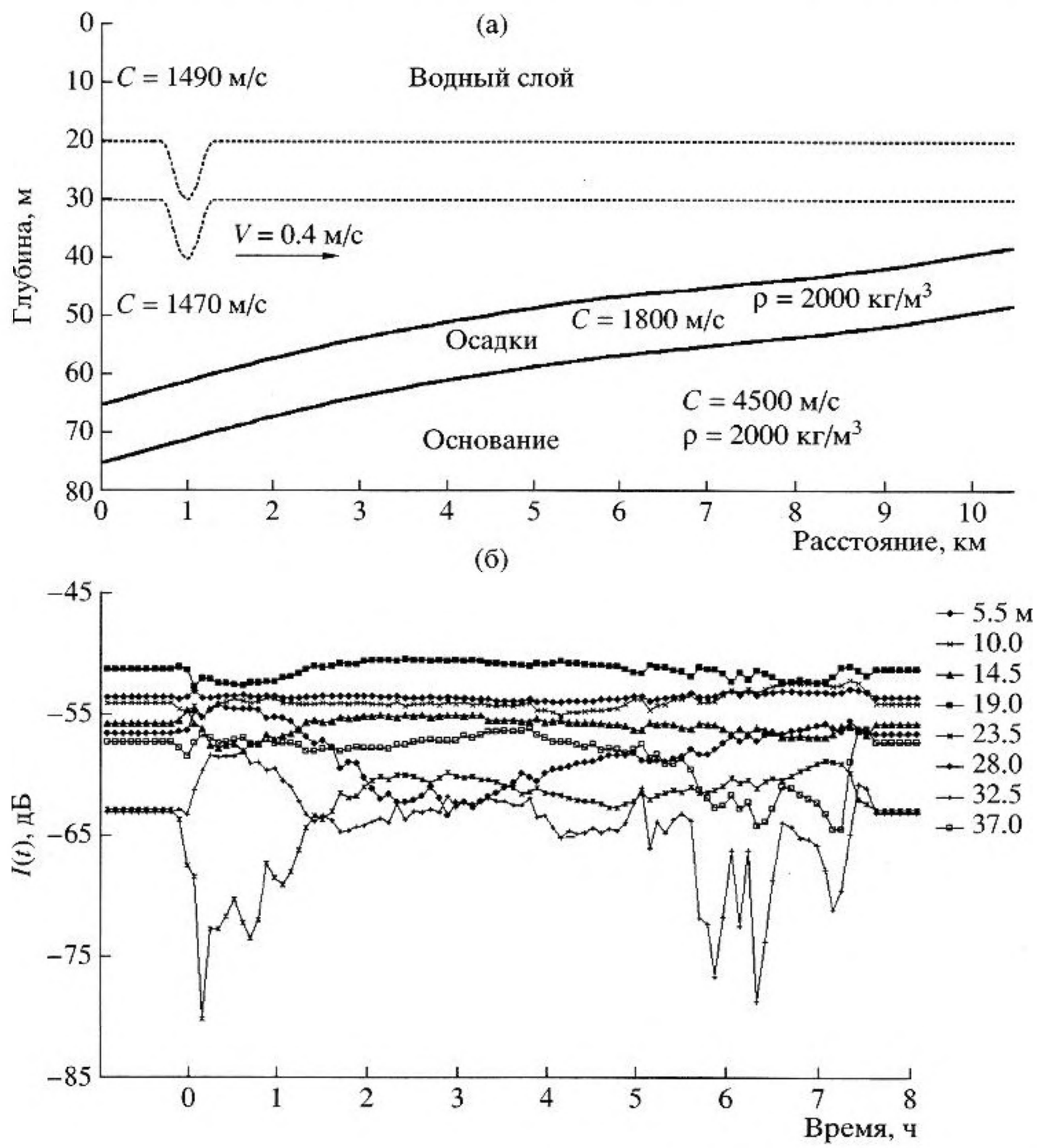

Рис. 3. Геометрия и параметры модельного волновода – (а), графики вариаций интенсивности $I(t)$ звука с частотой 320 Гц на 8 горизонтах во время движения по волноводу акустической неоднородности, формируемой из термоклина, распространяющейся по нему модельной внутренней волной – (б).

донный, тоже однородный, слой с C = 1470 м/с. Между ними расположен термоклин толщиной 10 м, в котором значение скорости звука изменяется линейно от 1490 до 1470 м/с. Источник звука расположен в начале трассы на глубине 64 м. Пунктирной линией показаны смещения границ термоклина, вызванные модельной уединенной внутренней волной с высотой 10 м и шириной в основании ≈300 м. В численном эксперименте, сформированная ею пространственная неоднородность в поле скорости звука распространялась со скоростью 0.4 м/с в неоднородном волноводе с геометрией, подобной натурному эксперименту.

На рис. 3б представлены результаты вычислений потерь при распространении звука с частотой 320 Гц в данном волноводе, проведенные для восьми горизонтов с помощью модернизированной программы MOATL [23]. Момент времени, равный 0 ч, соответствует прохождению внутренней волны над источником звука, а момент времени 7.2 ч соответствует прохождению модельной внутренней волной точки на трассе, в которой установлена вертикальная измерительная система. На рис. 3б видно, что в точке приема относительно кратковременные вариации интенсивности акустического поля максимальны во время движения модельной акустической неоднородности вблизи точек излучения и приема, причем наибольшие амплитуды вариаций наблюдаются на горизонтах соответствующих минимумам в пространственных интерференционных структурах формируемого в волноводе акустического поля. Таким образом, результаты моделирования согласуются с натурными данными. Кроме того, на рис. 2б видно, что короткопериодные вариации $I(t)$ действительно максимальны в акустических сиг-

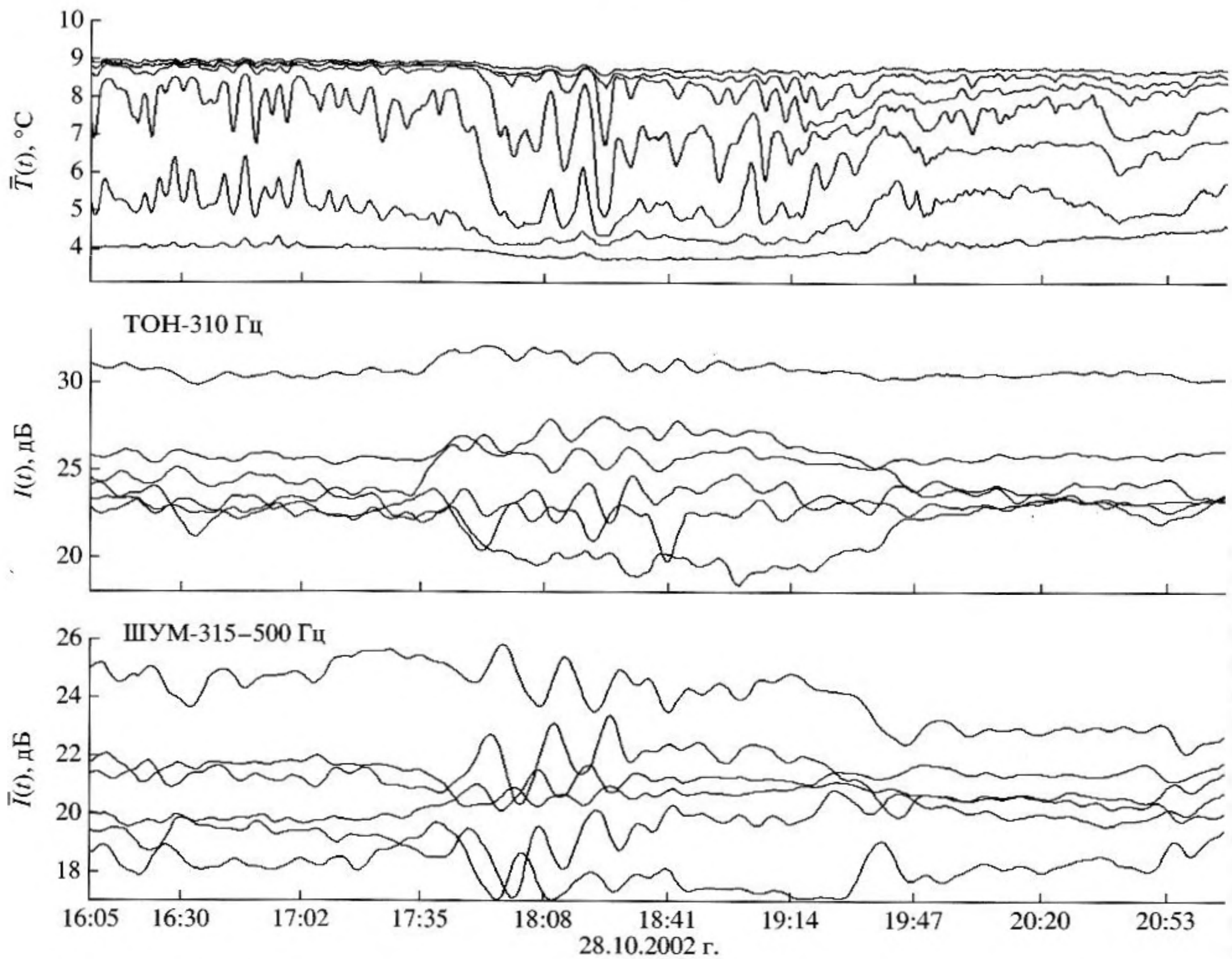

Рис. 4. Графики, иллюстрирующие влияние ВВ на распространение тонального и шумового сигналов вдоль трассы "т.1 – М-2".

налах, измеренных гидрофонами, находящимися в интерференционных минимумах акустического поля. Этот эффект был объяснен в работе [15].

На рис. 4 приведен пример, количественно иллюстрирующий влияние создаваемых ВВ гребневых волноводов на вертикальную интерференционную структуру акустического поля, формируемого тональным с частотой 310 Гц и шумовым сигналами, излучаемыми в точке т.1. Соответственно, звук распространялся вдоль трассы "т.1 – М-2", ориентированной примерно параллельно гребням ВВ. Анализ воздействия ВВ на интерференционную структуру акустического поля, генерируемого шумовым сигналом [15, 17] показал, что ВВ оказывают существенное влияние как на пространственную, так и на частотную интерференционные структуры акустического поля. Поэтому предлагается за счет усреднения спектральной плотности мощности акустического поля в широкой полосе частот с помощью алгоритма (1) исключить эффекты в частотной интерференции, вызванные ВВ, и выделить синхронные (в частотном диапазоне $f_n - f_m$) вариации вертикальной интерференционной структуры шумового поля.

$$\bar{I}(f_n; f_m) = 10\log\left(\frac{G(f_n) + \ldots + G(f_m)}{m - n + 1}\right), \text{дБ}, \quad (1)$$

где $G(f_n)$ – значение периодограммы на частоте $f_n = \frac{n f_д}{N}$, $f_д$ – частота дискретизации, N – длина ряда, по которому с помощью БПФ рассчитывалась периодограмма.

На рис. 4 видно, что, действительно, эффекты, вызванные ВВ, лучше выражены в графиках $\bar{I}(t)$, полученных с помощью алгоритма (1), но средняя интенсивность шумового акустического поля варьирует с периодами, превышающими периоды ВВ, наблюдаемых в точке М-2 (см. графики

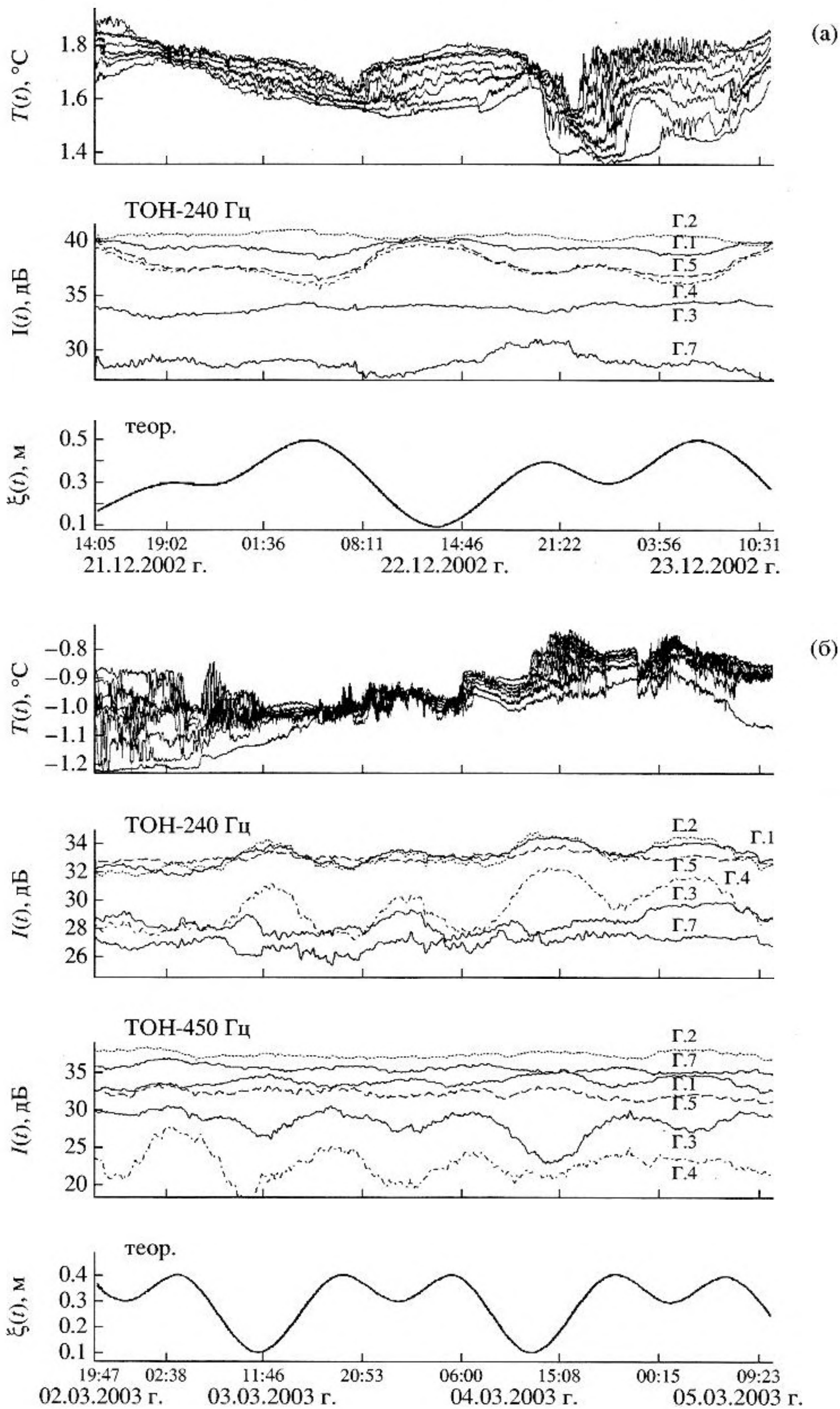

Рис. 5. Вариации температуры воды и интенсивностей тональных акустических сигналов, распространявшихся вдоль трассы "т.1 – М-2". Измерения проведены в зимних гидрологических условиях с помощью измерительной системы "М-02". Графики $\xi(t)$ соответствуют теоретическому поверхностному приливу.

$\bar{T}(t)$). По-видимому, ВВ пересекали трассу "т.1 – М-2" под углом меньше 90°.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ В ЗИМНИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В феврале 1995 г. в данном районе шельфа была организована стационарная акустическая трасса, оснащенная излучателем, установленным в прибрежной зоне и приемной радио гидроакустической станцией, которая была установлена в 15 км от берега и обеспечила измерение у дна акустического давления в течение 2.5 суток [24]. Измерения температуры, проведенные с помощью опрокидывающихся ртутных термометров, показали, что зимой в прибрежной области образуется относительно холодная (–1.8°C) и соответственно тяжелая вода, которая сползает к кромке шельфа, но с другой стороны, наблюдается горизонтальная адвекция в шельфовую зону более теплой (0.5°C) воды Японского моря, что приводит к образованию динамичного температурного фронта, простирающегося вдоль шельфа и оказывающего влияние на распространяющийся через него звук.

На рис. 5 представлены результаты акустико-гидрофизических измерений, проведенных на трассе "т.1 – М-2" в конце декабря 2002 г. и в начале марта 2003 г. В точке т.1 непрерывно излучались тональные (ТОН-240, ТОН-450) и шумовые акустические сигналы. Графики $T(t)$, представленные на рис. 5, соответствуют измерениям, проведенным с помощью 8 точечных датчиков температуры "М-02", и количественно иллюстрируют вариации вертикального распределения поля температуры во время активного конвективного охлаждения воды (рис. 5а), о чем свидетельствуют температурные инверсии. К сожалению, рисунок черно-белый, и поэтому их на нем не видно. На рис. 5 (см. графики $T(t)$) видно, что и в зимних гидрологических условиях ДВВ играют важную роль в гидродинамических процессах, протекающих на шельфе, причем ВВ вызывают синхронные вертикальные смещения изотерм во всем 30-метровом контролируемом слое воды.

Таким образом, на основе результатов измерений, проведенных в разные сезоны года с помощью вертикальной акустико-гидрофизической измерительной системы "Моллюск-02", можно констатировать, что ДВВ и связанные с ней ВВ регистрируются в данном районе шельфа Японского моря во все времена года и, по-видимому, орбитальные движения частиц воды во ВВ играют важную роль в зимних конвекционных процессах, протекающих на шельфе. На рис. 5 видно, что зимой из-за малой величины вертикального градиента температуры воды ≈0.032°C/м, а следовательно и скорости звука, влияние ДВВ и ВВ на распространение звука вдоль трассы "т.1 – М-2" становится несущественным по сравнению с влиянием поверхностного прилива, вызывающего изменения толщины водного слоя в соответствии с графиками $\xi(t)$, представленными на этом рисунке.

Автор выражает благодарность Борисову С.В., Гриценко А.В., Коротченко Р.А., Лихачеву В.В. и Пенкину С.И. за участие в подготовительных и экспериментальных работах, Круглову М.В. за помощь в проведении численного эксперимента и Моргунову Ю.Н. за предоставленную возможность использования в наших экспериментах широкополосного излучателя, установленного в т.1. а также Навроцкому В.В. за интерес к работе и полезное обсуждение ее результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 00-05-64844 и 03-05-65213).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tielbuger D., Finette S., Wolf S.* Acoustic propagation through an internal wave field in a shallow water waveguide // J. Acoust. Soc. Amer. 1997. V. 101. № 2. P. 789–808.
2. *Кацнельсон Б.Г., Петников В.Г.* Акустика мелкого моря. М.: "Наука". 1997. 189 с.
3. *Кацнельсон Б.Г., Переселков С.А., Петников В.Г. и др.* Акустические эффекты, обусловленные интенсивными внутренними волнами на шельфе // Акуст. журн. 2001. Т. 47. № 4. С. 494–500.
4. *Ильичев В.И., Навроцкий В.В.* Генерация внутренних волн и вертикальная структура температуры вблизи границы шельфа // ДАН СССР 1987. Т. 294. № 1. С. 216–220.
5. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 271 с.
6. *Holloway P.E., Pelinovsky E., Talipova T., Barnes B.* A nonlinear model of internal tide transformation on the Australian north shelf // J. of Physical Oceanography. 1997. Vol. 27. P. 871–896.
7. *Навроцкий В.В., Изергин В.Л., Павлова Е.П.* Генерация внутренних волн вблизи границы шельфа // ДАН. 2003. Т. 388. № 2. С. 249–253.
8. *Zhou J.X., Zhang X.Z., Rogers P.H.* Resonant interaction of sound wave with internal solitons in the coastal zone // J. Acoust. Soc. Amer. 1991. Vol. 90. № 4. P. 2042–2054.
9. *Кацнельсон Б.Г., Переселков С.А.* Резонансные эффекты при рассеянии звука пакетами внутренних волн в мелком море // Акуст. журн. 1998. Т. 44. № 6. С. 786–792.
10. *Серебряный А.Н.* Внутренние волны в прибрежной зоне приливного моря // Океанология. 1985. Т. 25. № 5. С. 744–751.
11. *Серебряный А.Н.* Внутренние волны над шельфом и вблизи материкового склона по данным буксиру-

емого распределенного датчика температуры // Океанология. 1987. Т. 27. № 2. С. 225–226.

12. *Коняев К.В.* Короткие внутренние волны на теплом фронте // Океанология. 1987. Т. 27. № 6. С. 896–898.
13. *Навроцкий В.В., Лазарюк А.Ю., Малышев А.А.* Особенности структуры гидрофизических характеристик и внутренних волн вблизи границы шельфа // ДАН СССР. 1989. Т. 309. № 1. С. 187–191.
14. *Борисов Н.Г., Гриценко А.В., Козицкий С.Б. и др.* Флуктуации гидроакустических сигналов, обусловленные внутренними волнами // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 5. С. 749–755.
15. *Рутенко А.Н.* Экспериментальное исследование влияния внутренних волн на частотную интерференционную структуру акустического поля в мелком море // Акуст. журн. 2000. Т. 46. № 2. С. 259–263.
16. *Рутенко А.Н.* Влияние внутренних волн на интерференционную и модовую структуры низкочастотного поля в мелком море // Сб. трудов VIII школы-семинара акад. Л.М. Бреховских "Акустика океана". М.: ГЕОС, 2000. С. 151–155.
17. *Рутенко А.Н.* Наблюдение воздействия внутренних волн на интенсивность и интерференционную структуру акустического поля на шельфе // Акуст. журн. 2003. Т. 49. № 4. С. 535–541.
18. *Бондарь Л.Ф., Бугаева Л.К., Рутенко А.Н.* Влияние прилива на распространение звука в шельфовой зоне Японского моря // Акуст. журн. 2000. Т. 46. № 5. С. 613–623.
19. *Акуличев В.А., Безответных В.В., Каменев С.И. и др.* Акустическая томография динамических процессов водной среды в шельфовой зоне Японского моря // ДАН. 2001. Т. 381. № 2. С. 243–246.
20. *Рутенко А.Н.* Вертикальная акустико-гидрофизическая антенна "Моллюск-97" // Приборы и техника эксперимента. 1998. № 5. С. 141–144.
21. *Борисов С.В., Гриценко А.В., Ковзель Д.Г. и др.* Аппаратурный комплекс для акустико-гидрофизических исследований на шельфе и результаты его применения в натурных экспериментах // Вестник ДВО. 2003. Т. 108. № 2. С. 16–29.
22. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Новые данные о внутренних волнах в море, полученные с помощью распределенных датчиков температуры // ДАН СССР. 1973. Т. 209. № 1. С. 86–89.
23. *Miller J.F., Wolf S.N.* Modal acoustic transmission loss (MOATL): A transmission loss computer program using a normal – mode model of the acoustic field in the ocean // Washington. Naval research laboratory. 1980. 58 p.
24. *Рутенко А.Н.* Сезонная изменчивость флуктуаций интенсивности и фазы низкочастотных гидроакустических сигналов, распространяющихся в шельфовой зоне Японского моря // Акуст. журн. 1997. Т. 43. № 1. С. 98–105.

The Effect of Internal Waves on the Sound Propagation in the Shelf Zone of the Sea of Japan in Different Seasons

A. N. Rutenko

Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Baltiĭskaya ul. 43, Vladivostok, 690041 Russia

e-mail: rutenko@poi.dvo.ru

Abstract—Results of the observation of seasonal variations in the vertical distribution of water temperature in the shelf zone of the Sea of Japan are presented, and the effect of this variability on the parameters of internal waves and on the sound propagation is studied. The measurements were carried out in different seasons using a vertical acoustical-hydrophysical measuring system. The propagation of sound (tone and noise signals) was studied on a 510-m-long track at a constant depth of 38 m. Using a self-contained resonance (320 Hz) transmitter of the electromagnetic type, which was bottom-moored at a depth of 65 m, a 10.6-km-long stationary acoustic track crossing the shelf was set up. During the in-sea experiments, spatial characteristics of internal waves were measured along with the distributions of temperature, salinity, sound velocity, and sea level variations.