АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1999, том 45, № 5, с. 581–589

УДК 534.23

# СРАВНЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ В ВОЛНОВОДАХ С ПОСТОЯННЫМИ И ПЕРЕМЕННЫМИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© 1999 г. Н. К. Абакумова, О. П. Галкин

*Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН*
*117036 Москва, ул. Шверника, 4*
*E-mail: bvp@akin.ru*

Поступила в редакцию 03.09.98 г.

Приводятся результаты расчетов (на основе лучевой теории) изменений интенсивности звукового поля с расстоянием в волноводах с постоянными и переменными по трассе профилями скорости звука. Предполагалось, что изменения профилей происходят на ограниченном участке акустической трассы (5–40 км). При расчетах использовались профили скорости звука (в ряде случаев – и рельеф дна), измеренные в северо-западной части Тихого океана. Проведены оценки влияния на звуковые поля протяженности области перехода от одного профиля скорости звука к другому, а также глубин расположения излучателей и приемников звука. Показано, что, даже на больших дистанциях от излучателя (200–300 км), ошибки в оценке интенсивности звукового поля с помощью переходного расстояния, рассчитанного на основе профиля скорости звука в месте расположения приемника, могут достигать 10–12 дБ.

Вопросы исследования изменений интенсивности звукового поля с расстоянием являются необходимыми для составления акустического прогноза особенно для районов океана с крупномасштабными океанологическими неоднородностями.

Известно, что при распространении звука в условиях подводного звукового канала и расположении источника и приемника на глубинах вблизи оси подводного звукового канала интенсивность звука на дальних расстояниях $r$ можно определить, исходя из цилиндрического закона $I \approx -10\lg(r_0/r)$, где $r_0$ – так называемое переходное расстояние [1]. Для волновода с переменными гидрологическими условиями закон изменения интенсивности звукового поля с расстоянием может заметно отличаться от цилиндрического (см., например, [2–5]).

В статье [2] были приведены некоторые примеры расчетных зависимостей спадания интенсивности звукового поля $I$ с расстоянием $r$ для глубокого океана. Они были получены как для постоянного по трассе профиля скорости звука $c(z)$ – относительно простых зависимостей скорости звука от глубины и расстояния $c(z, r)$, позволяющих оценить влияние отдельных фрагментов профилей скорости звука, так и для реальных профилей $c(z, r)$, измеренных при проведении акустических опытов поперек континентального склона восточного побережья полуострова Камчатка. Исследование характеристик звуковых полей было проведено не только при условиях неизменного по толщине волновода, но и при переходе от берегового шельфа к глубокому океану. Показано, что при учете реального рельефа дна существенных изменений в акустических полях не наблюдалось.

Ниже приводятся результаты расчетов, дополняющие материалы статьи [2], выполненные по модернизированной программе, основанной на лучевой теории распространения звука (А.В. Вагин). Анализируется влияние ширины переходной области от одного профиля скорости звука к другому и влияние глубин излучения и приема на законы спада звуковых полей с расстоянием. Полученные результаты сопоставляются с результатами расчетов для волноводов с неизменными характеристиками.

При некоторых расчетах учитывался и реально измеренный рельеф дна. Глубина океана $H$ сначала медленно изменялась от 160 м при удалении от берега, затем $H$ росла значительно быстрее (углы наклона от 6.5° до 8.5°) и на дистанции $r \approx 9$ км, она достигла 1.12 км, что соответствует среднему углу наклона дна – 6.4°. Далее, глубина постепенно увеличивалась и на максимальной дистанции 300 км она составляла 3.74 км.

В качестве модели дна использовалось жидкое поглощающее полупространство. Расчеты звуковых полей проводились для двух наиболее сильно отличающихся по значениям коэффициента отражения типов осадков: песок и ил [6]. Осадки песчаного типа характеризовались следующими параметрами: $m = 1.9$, $n = 0.9$, $\eta = 0.02$, а осадки илистого типа – $m = 1.44$, $n = 0.98$, $\eta = 0.01$ (здесь $m = \rho_{гр}/\rho_в$,

**Таблица**

| $z$, км | $c_1$, км/с | $c_2$, км/с |
|---|---|---|
| 0.000 | 1.4567 | 1.4616 |
| 0.010 | 1.4535 | 1.4618 |
| 0.020 | 1.4534 | 1.4626 |
| 0.030 | 1.4493 | 1.4620 |
| 0.040 | 1.4484 | 1.4617 |
| 0.045 | 1.4486 | 1.4605 |
| 0.050 | 1.4489 | 1.4592 |
| 0.060 | 1.4493 | 1.4575 |
| 0.065 | 1.4495 | 1.4573 |
| 0.075 | 1.4499 | 1.4569 |
| 0.095 | 1.4506 | 1.4552 |
| 0.100 | 1.4507 | 1.4550 |
| 0.115 | 1.4514 | 1.4546 |
| 0.120 | 1.4515 | 1.4543 |
| 0.130 | 1.4518 | 1.4539 |
| 0.150 | 1.4525 | 1.4633 |
| 0.165 | 1.4531 | 1.4666 |
| 0.175 | 1.4534 | 1.4672 |
| 0.200 | 1.4558 | 1.4677 |
| 0.250 | 1.4624 | 1.4688 |
| 0.300 | 1.4664 | 1.4696 |
| 0.385 | 1.4693 | 1.4708 |
| 0.410 | 1.4697 | 1.4711 |
| 0.590 | 1.4730 | 1.4730 |
| 0.970 | 1.4774 | 1.4774 |
| 0.990 | 1.4777 | 1.4777 |
| 2.000 | 1.4888 | 1.4888 |
| 2.500 | 1.4950 | 1.4950 |
| 3.300 | 1.5036 | 1.5036 |
| 3.740 | 1.5083 | 1.5083 |

$n = c_в/c_{гр}$, где $\rho_{гр}$, $\rho_в$ – плотности грунта и воды, $c_в$ и $c_{гр}$ – скорости звука в воде и грунте, $\eta$ – коэффициент потерь).

Исследование законов спадания энергии звукового поля с расстоянием проводилось для двух трасс.

Трасса *1* соответствовала случаю, когда излучатель находился в береговом шельфе, а прием осуществлялся в глубоком океане. Профиль скорости звука $c(z, r)$ соответствовал условиям подповерхностного звукового канала, положение оси которого изменялось от 40 $\{c_1(z)\}$ до 130 м $\{c_2(z)\}$ (см. таблицу – минимальные значения скорости звука в таблице подчеркнуты).

Для трассы *2* характерен "обратный" рельеф, т.е. глубина океана уменьшалась от значений $H = 3.74$ км на начальной дистанции ($r = 0$) до 160 м в конце трассы (на максимальной дистанции $r = 300$ км) и другая последовательность профилей скорости звука: профиль $c_1(z)$ переходил в профиль $c_2(z)$. Трасса *2* соответствовала случаю расположения излучателя в глубоком океане, а приемника – в мелком море.

На рис. 1 приведены две зависимости скорости звука от глубины. Одна – для участка обеих трасс, прилегающего к береговому шельфу, $c_1(z)$ (звездочки), и другая – $c_2(z)$ (сплошная линия), относящаяся к глубоководной части каждой из трасс. В правой части рисунка профили скорости звука представлены до глубины 1000 м, а в левой – до максимальной глубины $H = 3.74$ км.

Следует отметить, что в районе проведения исследований переход от одного профиля скорости звука к другому по данным гидрологических измерений происходил в относительно неширокой области ($\Delta r \sim 10$ км) на расстоянии примерно 95–105 км от начала первой трассы.

Когерентная компонента сигналов, отраженных от взволнованной поверхности океана, учитывалась в соответствии с формулой Рэлея: коэффициент отражения в зеркальном направлении $V = \exp(-P^2/2) = \exp(2k^2\sigma^2\sin^2\chi)$, где $P$ – параметр Рэлея, $\chi$ – угол скольжения луча у поверхности воды, $k$ – волновое число звука, $\sigma$ – среднеквадратичное возвышение поверхности. Расчеты звуковых полей проводились для двух состояний поверхности океана: спокойной ($\sigma = 0$) и при волнении 5 баллов ($\sigma = 0.77$ м). Частота излученного тонального сигнала составляла, в основном, 630 Гц. Также рассматривались звуковые поля для сигналов с частотой излучения 700 и 1000 Гц.

Как уже упоминалось, в работе [2] было показано, что указанные выше изменения глубины океана при рассматриваемых профилях $c_1(z)$ или $c_2(z)$ практически не сказываются на зависимостях интенсивности звукового поля от расстояния. Уменьшение интенсивности с расстоянием $i(r)$ при $c(z) = \text{const}$ для волновода с учетом реально измеренного рельефа дна так же, как и для волновода постоянной толщины, соответствует цилиндрическому закону. Обе зависимости $I(r)$ близки, и их различия в уровнях звукового поля не превышают 2 дБ.

Приведем результаты расчетов влияния на законы спада звуковых полей ширины и местоположения области перехода от одного профиля скорости звука к другому при различных глубинах источника и приемника. В качестве источника звука при расчетах звуковых полей был выбран источник, у которого диаграмма направленности в пределах $\chi_1 = \pm 15°$ была постоянна, а боковое поле отсутствует (для рассматриваемых океанологических условий результаты расчетов не изменяются при увеличении $\chi_1$ до $\pm 20°$ [2]) и

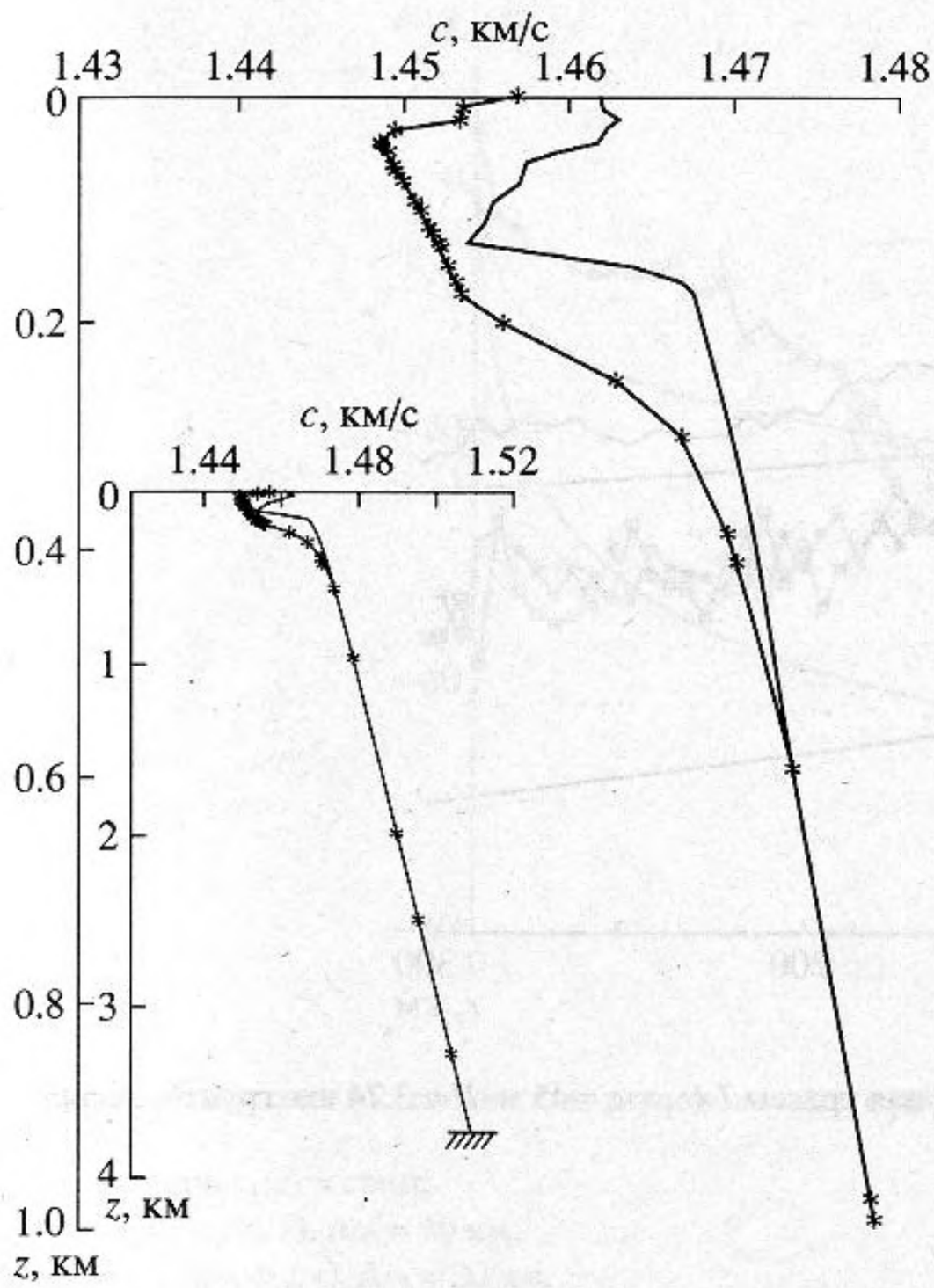


**Рис. 1.** Профили скорости звука:
–*–*– – $c_1(z)$ – вблизи шельфа;
—— – $c_2(z)$ – в глубоком океане.

для которого уровень звукового поля в однородной безграничной среде на расстоянии $r_0 = 1$ км равен 0 дБ.

На рис. 2 представлено изменение интенсивности звукового поля $I$ (дБ) с расстоянием $r$ (км) для волновода постоянной толщины ($H = 3.74$ км) при профиле скорости звука $c_1(z)$ с положением оси канала на глубине 40 м, неизменном по трассе (сплошная линия). Глубины расположения источника $z_1$ и приемника $z$ равны 45 м. Расчет проведен для песчаного грунта и спокойной поверхности океана ($\sigma = 0$).

Так же, как и на других аналогичных рисунках (рис. 2–9), здесь нанесены кривые *1* и *2*, соответствующие изменению звукового поля с расстоянием по цилиндрическому $I = -10\lg r$ и сферическому $I = -20\lg r$ законам соответственно.

Как видно, закон спада интенсивности с расстоянием в рассматриваемом случае соответствует цилиндрическому. На этом же рисунке (линия со звездочками) показано изменение интенсивности звукового поля $I(r)$ для волновода, глубина которого (3.74 км) на всей трассе сохраняется неизменной, но профиль скорости звука уже не остается постоянным, а изменяется от $c_1(z)$ к $c_2(z)$ при удалении на 95 км от начала трассы. Если на начальном участке трассы изменения интенсивности близки к цилиндрическому закону, то на дистанциях, превышающих 105 км, отклонение от него при пере-

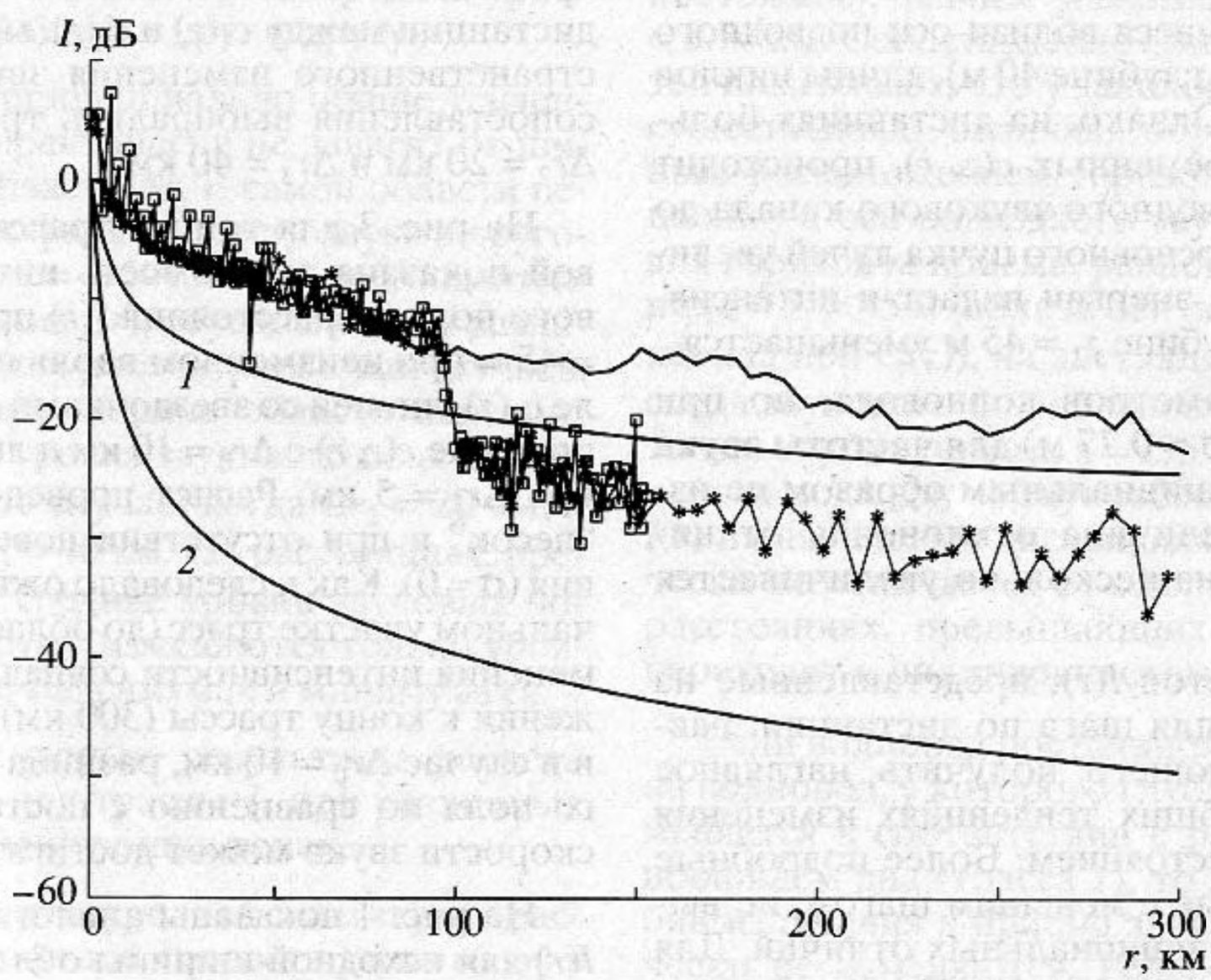


**Рис. 2.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы *1* (глубина источника и приемника $z_1 = z = 45$ м, $H = \text{const} = 3.74$ км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
—— – при $c_1(z) = \text{const}$;
–*–*– – при $c(z, r)$, $\Delta r_0 = 10$ км (с шагом по дистанции 5 км);
–□– – при $c(z, r)$, $\Delta r_0 = 10$ км (с шагом по дистанции 1 км).

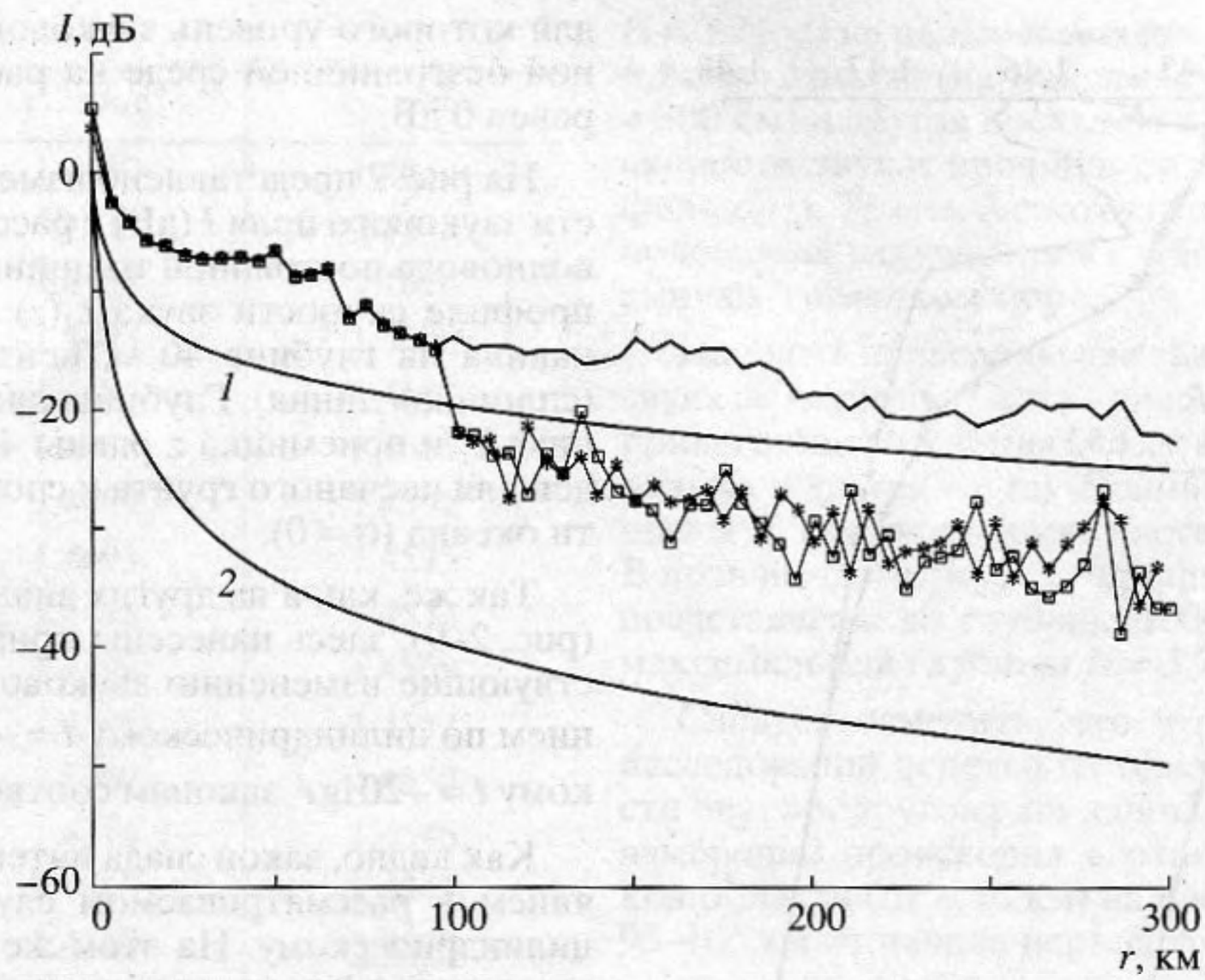


**Рис. 3.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы *1* ($z_1 = z = 45$ м, $H = 3.74$ км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
—— – при $c_1(z) = \text{const}$;
–*–*– – при $c(z, r)$, $\Delta r_0 = 10$ км;
–□– – при $c(z, r)$, $\Delta r_1 = 5$ км.

менном $c(z, r)$ составляет уже более 10 дБ. Это объясняется тем, что при $z = z_1 = 45$ м основной вклад в звуковое поле вносят сигналы водных лучей, распространяющиеся вблизи оси подводного звукового канала (на глубине 40 м), длины циклов которых невелики. Однако, на дистанциях больших 105 км, при переменных $c(z, r)$, происходит заглубление оси подводного звукового канала до 130 м, длины циклов основного пучка лучей увеличиваются, плотность энергии падает и интенсивность сигналов на глубине $z_1 = 45$ м уменьшается.

Для тех же параметров волновода, но при волнении 5 баллов ($\sigma = 0.77$ м) для частоты звука 630 Гц картина принципиальным образом не изменяется, только величина отклонения от цилиндрического закона несколько увеличивается (на 1–2 дБ).

Результаты расчетов $I(r)$, представленные на рис. 2–9 приведены для шага по дистанции, равном 5 км, позволяющего получить наглядное представление об общих тенденциях изменения звукового поля с расстоянием. Более подробные расчеты, проведенные с меньшим шагом, не выявили каких-либо принципиальных отличий. Для подтверждения сказанного на рис. 2 линией с квадратами показана зависимость $I(r)$ при расчете с шагом 1 км.

Расстояние между участками трассы с профилями $c_1(z)$ и $c_2(z)$, для реально измеренных гидрологических условий, как уже упоминалось, составляло $\Delta r_0 = 10$ км. Естественно, возникает вопрос насколько увеличение или уменьшение дистанции между $c_1(z)$ и $c_2(z)$, меняет картину пространственного изменения звукового поля. Для сопоставления выбирались трассы с $\Delta r_1 = 5$ км, $\Delta r_2 = 20$ км и $\Delta r_3 = 40$ км.

На рис. 3 для той же трассы *1* сплошной кривой показана зависимость интенсивности звукового поля от расстояния $I(r)$ при глубинах $z = z_1 = 45$ м при неизменном вдоль всей трассы профиле $c_1(z)$, линией со звездочками при изменяющемся профиле $c(z, r)$ с $\Delta r_0 = 10$ км и линией с квадратами при $\Delta r_1 = 5$ км. Расчет проведен для грунта типа "песок" и при отсутствии поверхностного волнения ($\sigma = 0$). Как и следовало ожидать, только на начальном участке трасс (до области перехода $\Delta r$) изменения интенсивности совпадают, а при приближении к концу трассы (300 км) для $\Delta r_1 = 5$ км, как и в случае $\Delta r_0 = 10$ км, разница в уровнях звукового поля по сравнению с постоянным профилем скорости звука может достигать 8–10 дБ.

На рис. 4 показаны аналогичные зависимости $I(r)$ для исходной ширины области перехода $\Delta r_0 = 10$ км (штриховая линия), для $\Delta r_2 = 20$ км (линия со звездочками) и $\Delta r_3 = 40$ км (линия с треугольниками). Остальные условия при расчетах оставались неизменными (глубины источника $z_1 = 45$ м и приемника $z = 45$ м, грунт – "песок", $\sigma = 0$). Как

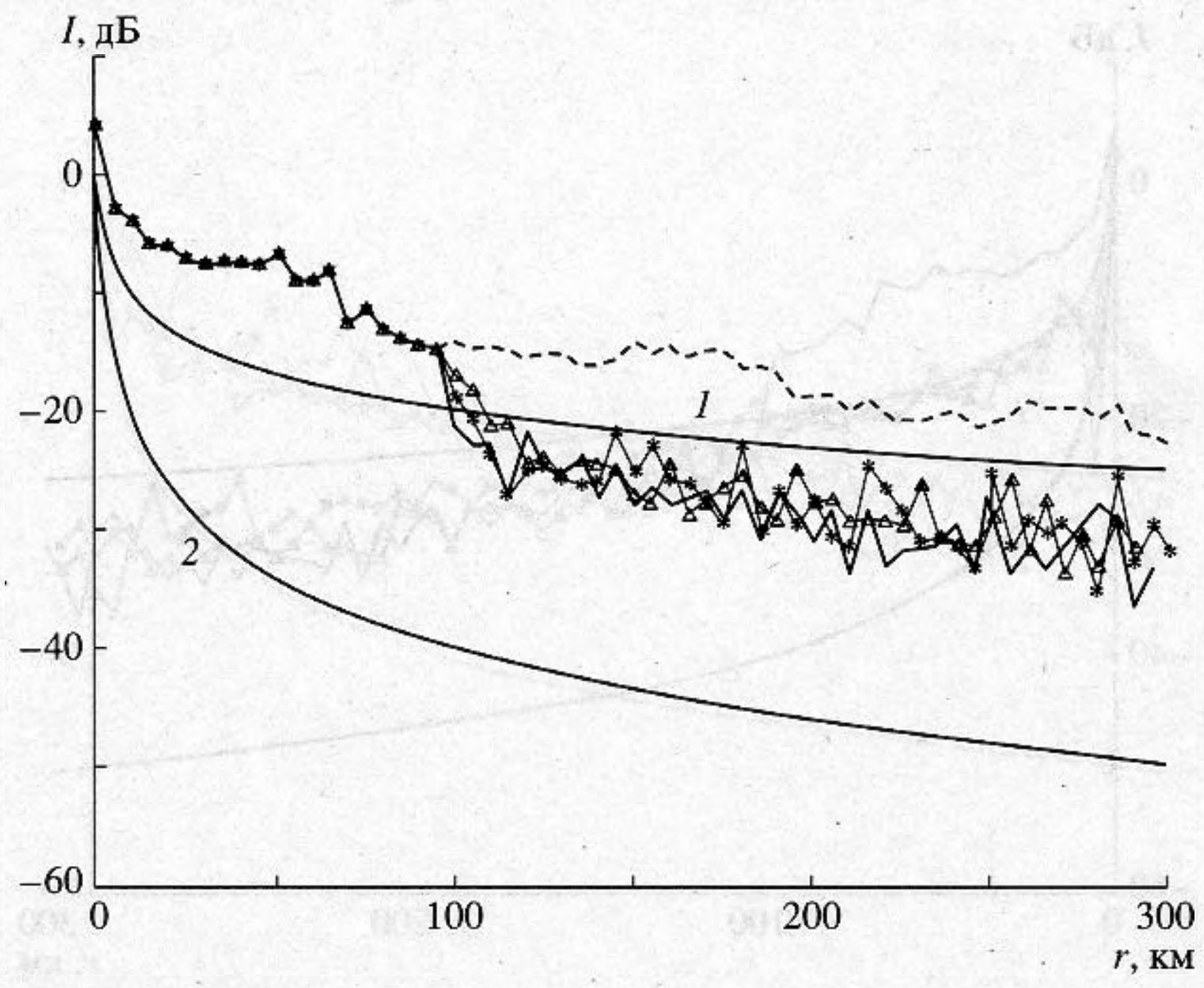


**Рис. 4.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы *1* ($z_1 = z = 45$ м, $H = 3.74$ км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
– – – – при $c_1(z) = \text{const}$;
—— – при $c(z, r)$, $\Delta r_0 = 10$ км;
–*–*– – при $c(z, r)$, $\Delta r_2 = 20$ км;
–△–△– – при $c(z, r)$, $\Delta r_3 = 40$ км.

видно из рис. 4, на расстояниях, превышающих 140 км, закономерности изменения средних уровней звуковых полей близки друг к другу.

Таким образом, принципиально общие тенденции поведения $I(r)$ практически не зависят от ширины переходной области $\Delta r$. В самой области перехода от одного профиля скорости звука к другому на дистанциях $r$ = 95–135 км наблюдаются закономерные отличия $I(r)$, обусловленные различием в величине $\Delta r$ для рассматриваемых случаев. Естественно, что при ширине области перехода $\Delta r_0 = 10$ км падение уровня звукового поля происходит быстрее, чем в случае, когда $\Delta r_2 = 20$ км, и тем более, когда $\Delta r_3 = 40$ км. На расстояниях, превышающих 200 км, средние уровни звуковых полей близки друг к другу (изменяются только уровни звуковых полей в максимумах и минимумах).

Рассмотрим некоторые результаты расчета полей, полученные для трассы *1*, при различных глубинах корреспондирующих точек.

На рис. 5 показан спад уровней силы звука с расстоянием $I(r)$ для профилей скорости звука $c(z, r)$ в предположении, что горизонт излучения $z_1$ равен 45 м (грунт – песок; $\sigma = 0$). Сплошной линией показаны результаты расчета для горизонта приема $z = 45$ м, звездочками – при глубине приема $z = 135$ м и треугольниками – при $z = 150$ м. Ширина переходной области $\Delta r_0 = 10$ км, толщина волновода – постоянная, равная максимальной глубине $H = 3.74$ км. Сопоставление приведенных зависимостей показывает, что у законов спада наблюдаются существенные отличия, обусловленные различным расположением горизонта приема по отношению к оси подводного звукового канала. Если для горизонта приема, равного горизонту излучения $z = z_1 = 45$ м (вблизи оси подводного звукового канала при $c_1(z)$), на дистанциях $r < 100$ км, закон спада звукового поля близок к цилиндрическому, то для глубин приема $z = 135$ м и $z = 150$ м, т.е. ниже оси подводного звукового канала, закон спада $I(r)$ на начальных дистанциях (до ~10 км) практически не отличается от сферического, а затем на расстояниях, превышающих 20 км, постепенно переходит к цилиндрическому.

Если волновод постоянной толщины заменить на волновод, у которого глубина вдоль трассы изменяется в соответствии с реально измеренным профилем дна (трасса *1*), то для выбранных глубин излучения и приема зависимости $I(r)$ практически не изменяются. Рельеф дна и параметры грунта в данных условиях не оказывают существенного влияния (см. рис. 6). Таким образом, в рассматриваемой акустико-океанологической ситуации результаты расчетов поля для $z_1 = 45$ м и $z = 45$ м, $z = 135$ м, $z = 150$ м, полученные для вол-

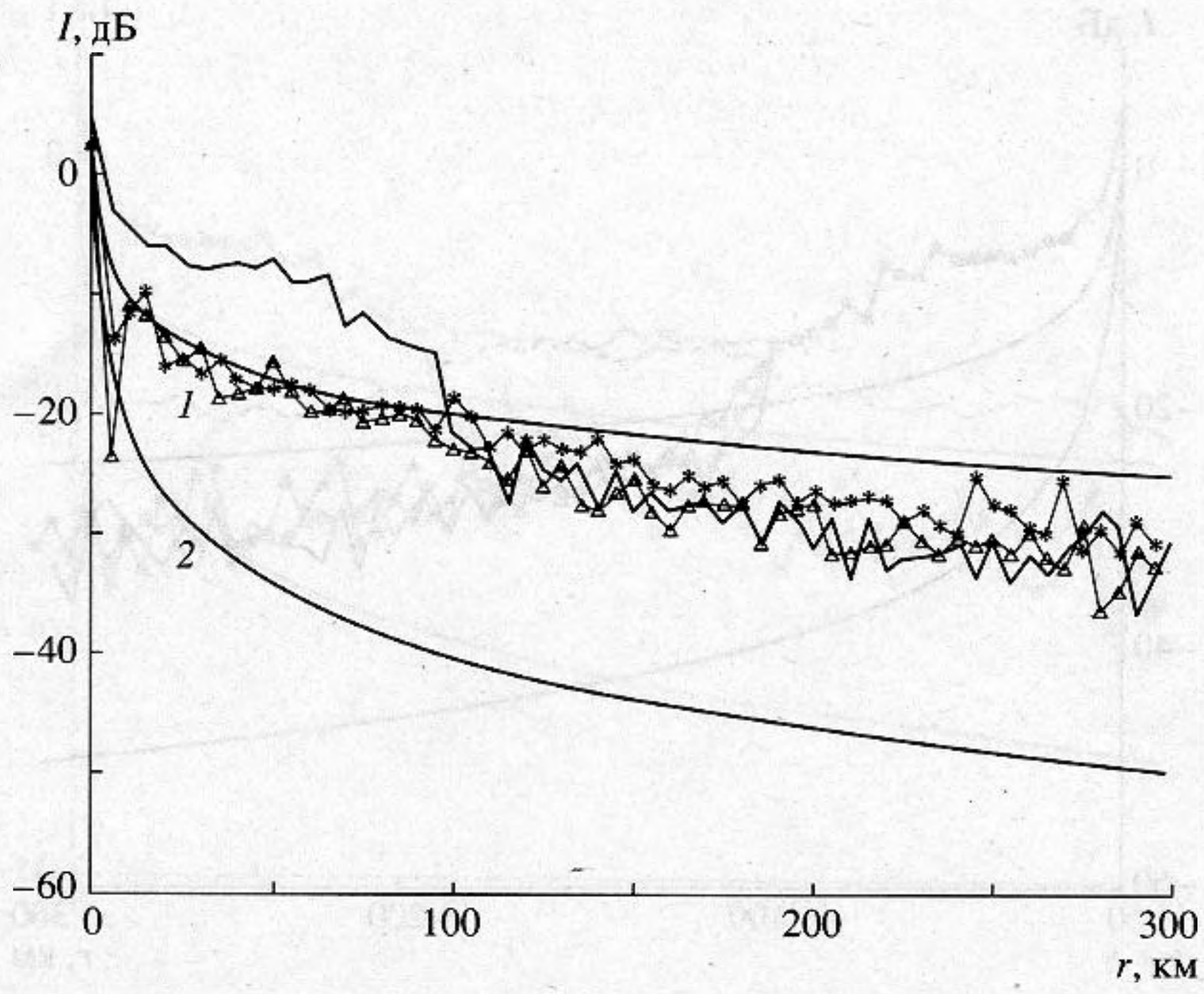


**Рис. 5.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы *1* при переменных условиях $c(z, r)$ для различных глубин приема $z$ ($z_1 = 45$ м, $H = 3.74$ км, $\Delta r_0 = 10$ км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
—— – $z = 45$ м;
–*–*– – $z = 135$ м;
–△–△– – $z = 150$ м.

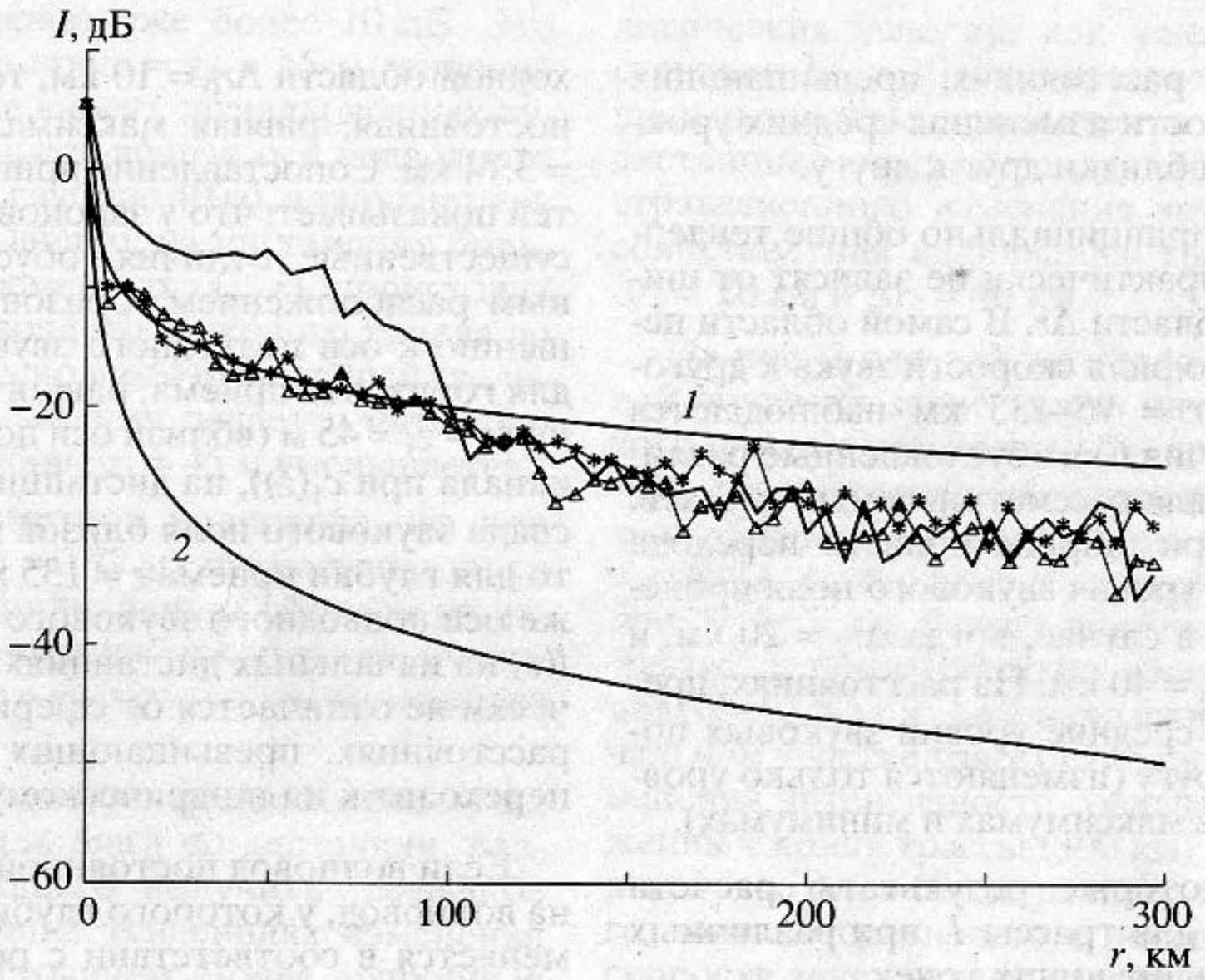


**Рис. 6.** То же, что на рис. 5, для реального рельефа дна.

новода постоянной глубины, можно считать правомерными и для волноводов с глубиной, изменяющейся в соответствии с реально измеренным профилем дна.

Рассмотрим некоторые результаты, полученные для источника, заглубленного не на 45 м, а на $z_1 = 135$ м, т.е. расположенного немного ниже оси подводного звукового канала $c_2(z)$. Глубины при-

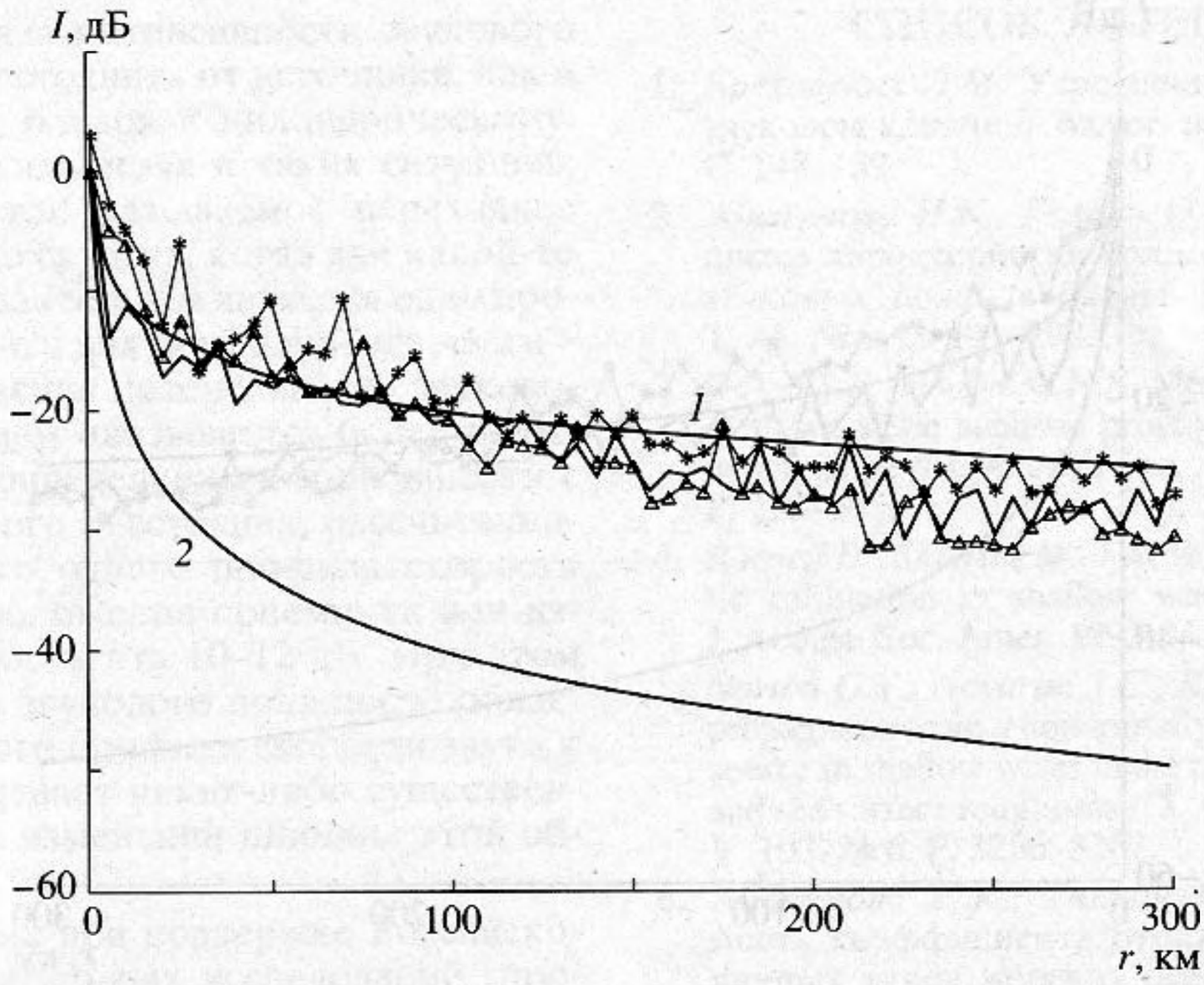


**Рис. 7.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы *1* при переменных условиях $c(z, r)$ для различных глубин приема $z$ ($z_1$ = 135 м, $H$ = 3.74 км, $\Delta r_0$ = 10 км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
—— – $z$ = 45 м;
–∗–∗– – $z$ = 135 м;
–△–△– – $z$ = 150 м.

ема предполагаются прежними: $z$ = 45 м, $z$ = 135 м, $z$ = 150 м, тип грунта – песок, $\sigma = 0$. На рис. 7 показаны спады уровней силы звука $I(r)$ для трассы *1* при изменяющемся профиле $c(z, r)$ в предположении, что океан имеет постоянную глубину 3.74 км, а ширина переходной зоны $\Delta r_0$ = 10 км. Сплошной линией показан спад звукового поля при глубине приема $z$ = 45 м, линией со звездочками – при $z$ = 135 м и линией с треугольниками – при $z$ = = 150 м. На дистанциях $r > 100$ км средние уровни звуковых полей для $z$ = 150 м, как и следовало ожидать, лежат несколько ниже уровней сигналов, принятых на горизонтах $z$ = 45 м и $z$ = 135 м, соответствующих глубинам осей звуковых каналов $c_1(z)$ и $c_2(z)$.

Перейдем к рассмотрению некоторых результатов расчетов, выполненных для трассы *2*. В этом случае излучатель расположен в глубоком океане, где профиль скорости звука – $c_2(z)$, а приемник – в мелком море (профиль $c_1(z)$). Поскольку сопоставление изменений интенсивности с расстоянием при различной ширине переходной области $\Delta r$, проведенное для трассы *1*, показало, что общие тенденции поведения $I(r)$ практически не зависят от ширины переходной области, проанализируем закономерности изменения средних уровней звуковых полей, ограничившись шириной области перехода $\Delta r_3$ = 40 км. При этом будем считать, что, как и раньше, область перехода от профиля $c_2(z)$ к профилю $c_1(z)$ расположена на прежнем месте, т.е. в 95–135 км от берегового шельфа. Учитывая, что для трассы *2* отсчет дистанции ($r = 0$) идет от источника, который находится в 300 км от шельфа, эта область будет соответствовать расстоянию $r$ от 165 до 205 км.

На рис. 8 представлены зависимости изменения интенсивности звукового поля $I(r)$ для трассы *2* при $z_1$ = 135 м. Сплошной линией показан спад интенсивности звукового поля для горизонта приема $z$ = 45 м, а линией со звездочками – для $z$ = 135 м. Как видно, на начальном участке трассы до расстояний $r < 170$ км интенсивность звукового поля при $z$ = 135 м примерно на 5–6 дБ превышает интенсивность на горизонте 45 м, а затем на дистанциях от 170 км до 300 км, т.е. вблизи берегового шельфа, уровни $I(r)$ в среднем практически совпадают (локальные отличия интенсивности не превышают 3 дБ).

Предположим теперь, что область перехода от профиля $c_2(z)$ к $c_1(z)$ с $\Delta r_0$ = 40 км находится не в 95 км от шельфа, а в 95 км от источника, расположенного в глубоководной части трассы. На рис. 9 представлены зависимости $I(r)$ для источника на глубине $z_1$ = 135 м и глубинах приемников $z$ = 45 м и $z$ = 135 м. Сплошной линией показан спад интенсивности $I(r)$ для приемника на горизонте $z$ = 45 м, а линией со звездочками – для горизонта $z$ = 135 м. Как видно из рисунка, спады интенсивности звуко-

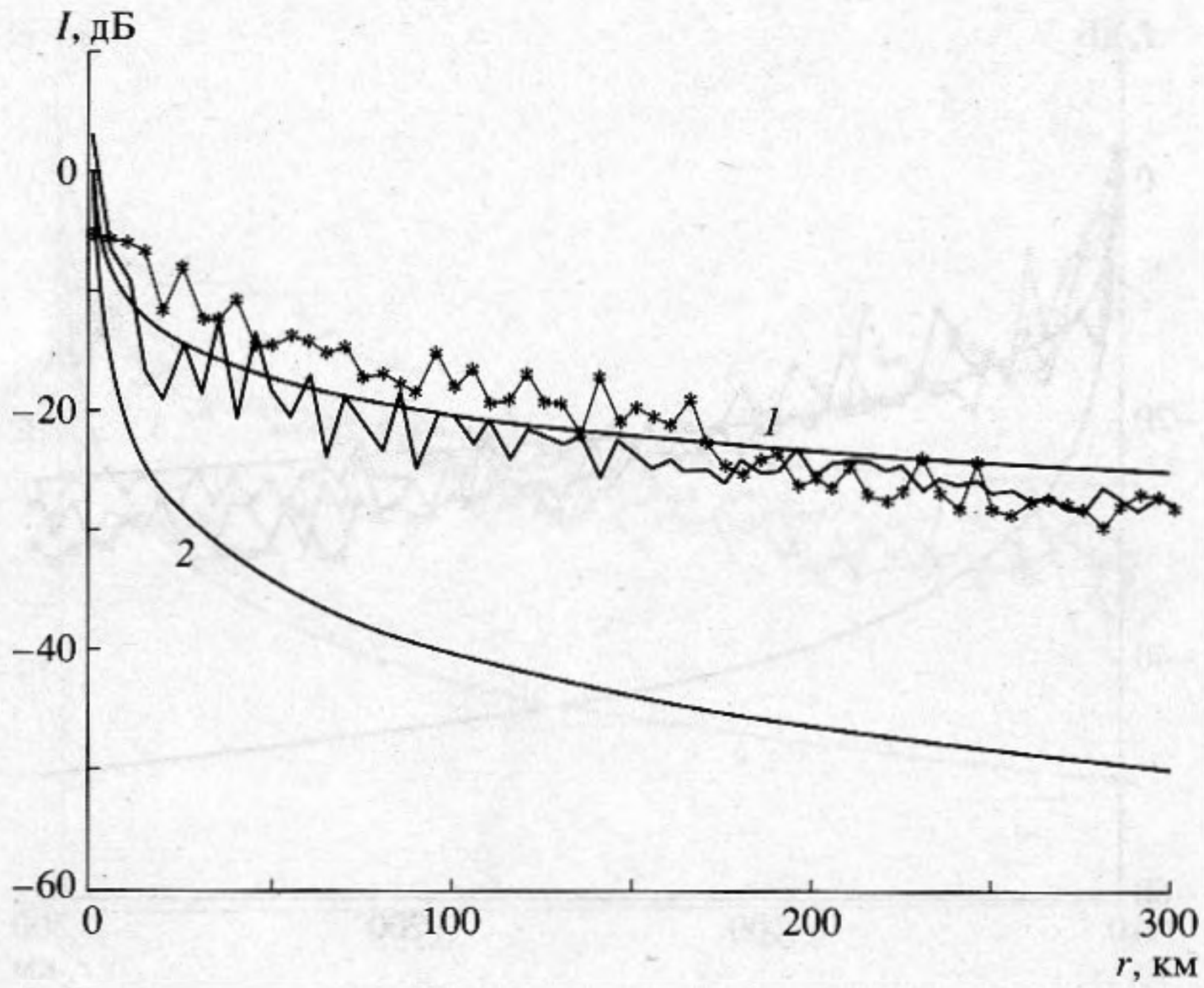


**Рис. 8.** Изменения интенсивности звукового поля с расстоянием для трассы 2 при переменных условиях $c(z, r)$ и расположении области перехода в 95–135 км от шельфа для различных глубин приема $z$ ($z_1$ = 135 м, $H$ = 3.74 км, $\Delta r_0$ = 40 км, грунт – песок, $\sigma = 0$):
—— – $z$ = 45 м;
–*–*– – $z$ = 135 м.

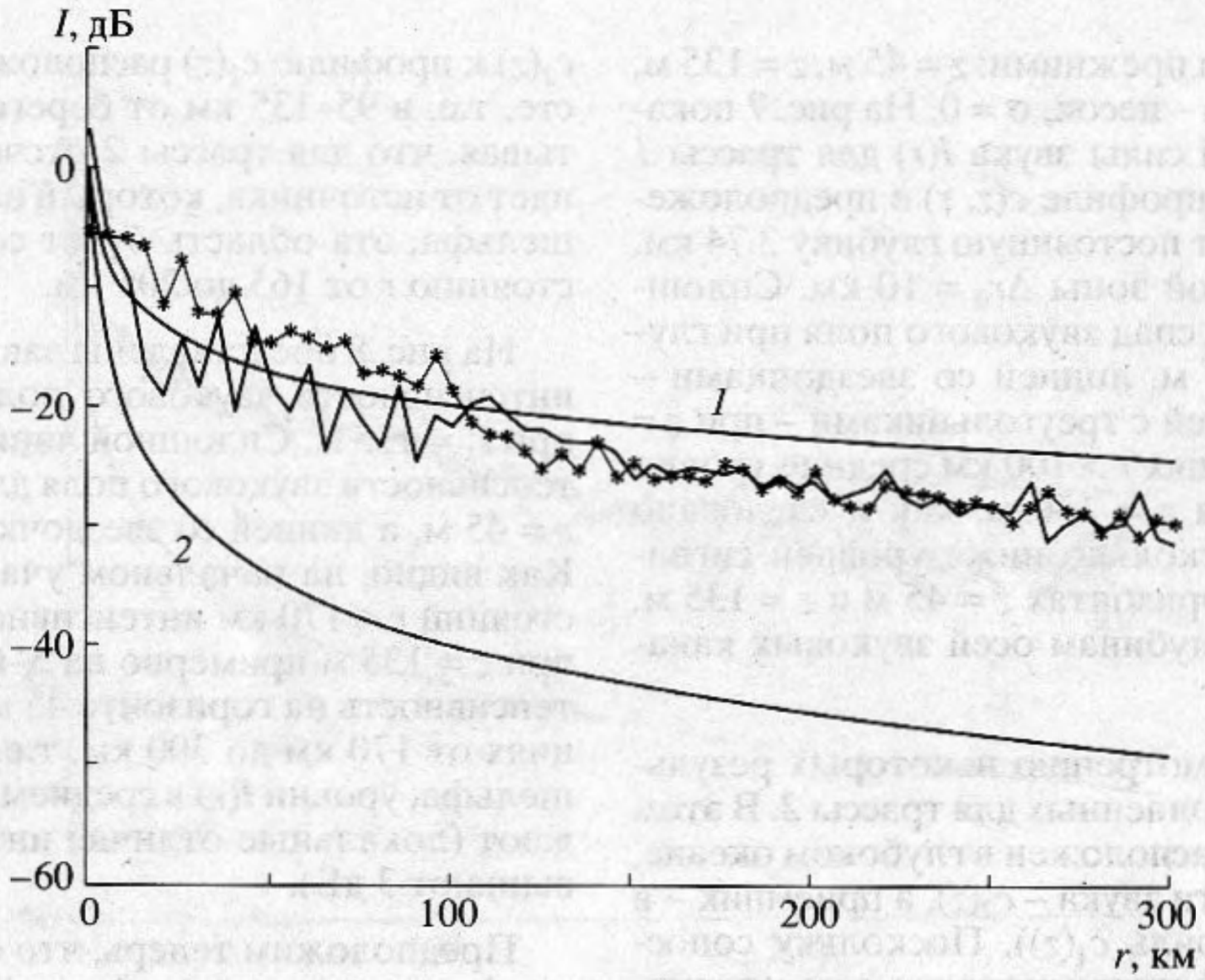


**Рис. 9.** То же, что на рис. 8, при расположении области перехода в 165–205 км от берегового шельфа.

вого поля до 95 км, естественно, совпадают со спадами $I(r)$, показанными на рис. 8 для тех же горизонтов приема. Однако, на дистанциях, превышающих 95 км, наблюдается быстрое уменьшение интенсивности звукового поля для $z$ = 135 м и повышение интенсивности для горизонта приема 45 м.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что при постоянном профиле скоро-

сти звука закон спада интенсивности звукового поля на больших расстояниях от источника, как и следовало ожидать, близок к цилиндрическому. Оценить интенсивность поля в таких ситуациях можно, используя так называемое переходное расстояние. В тех же случаях, когда для какой-то части волновода характерным является один профиль скорости звука, а для остальной его части – другой, закон изменения интенсивности звукового поля с расстоянием оказывается более сложным. Ошибка при определении интенсивности с помощью переходного расстояния, рассчитанного на основе только одного профиля скорости звука (в месте расположения приемника или излучателя), может достигать 10–12 дБ. При этом спад интенсивности звукового поля после области перехода от одного профиля скорости звука к другому не претерпевает каких-либо существенных изменений при изменении ширины этой области.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 96-02-19021).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бреховских Л.М.* Усредненное поле в подводном звуковом канале // Акуст. журн. 1965. Т. 11. № 2. С. 148–159.
2. *Абакумова Н.К., Галкин О.П.* Влияние изменяющихся характеристик волновода на законы спада звуковых полей в океане // Акуст. журн. 1997. Т. 43. № 3. С. 293–298.
3. *Dosso S.E., Chapman N.R.* Measurement and modeling of down-slope acoustic propagation loss over a continental slope // J. Acoust. Soc. Amer. 1987. V. 81. № 2. P. 258–268.
4. *Rouseff D., Siderius M., Fox W.L.J., Porter R.P.* Acoustic calibration in shallow water using sparse data // J. Acoust. Soc. Amer. 1995. V. 97. № 2. P. 1006–1013.
5. *Norton G.V., Novarini J.C., Keiffer R.S.* Modeling the propagation from a horizontally directed high-frequency source in shallow water in the presence of bubble clouds and sea surface roughness // J. Acoust. Soc. Amer. 1998. V. 103. № 6. P. 3256–3267.
6. *Абакумова Н.К., Галкин О.П.* Угловая зависимость коэффициента отражения от дна для различных типов морских осадков // Вопросы судостроения, сер. Акустика. 1980. Вып. 14. С. 90–100.

# Comparison of Acoustic Fields in Oceanic Waveguides with Constant and Variable Characteristics

**N. K. Abakumova and O. P. Galkin**

On the basis of the ray theory, variations of the sound field intensity with distance are calculated in waveguides with range-independent and range-dependent sound velocity profiles. It was assumed that sound velocity profiles change only within a limited segment of the acoustic track (5–40 km). In the calculations, the sound velocity profiles (sometimes, the bottom relief as well) measured in the north-western Pacific were used. The effect of the length of the transition region from one sound velocity profile to another as well as the effect of the transmission and reception depths on acoustic fields are estimated. It is shown that, even at large distances from the source (200–300 km), the errors in estimating the sound field intensity with the use of a transition distance (this quantity being calculated on the basis of the sound velocity profile at the point of reception) may reach 10–12 dB.