

моря. Максимальные изменения pH достигают 0.8. Таким образом, если приведенная выше зависимость низкочастотного поглощения от pH выполняется, то существуют в Черном море слои, которые различаются по коэффициенту поглощения в 4 раза.

Реально сигнал распространяется вдоль того или иного луча, пересекая водные слои, различающиеся значениями pH , значениями коэффициента поглощения. Каждый луч можно характеризовать средним за полный цикл коэффициентом поглощения, а следовательно и средним вдоль луча эффективным значением pH . Для горизонтов приема 60 и 250–500 м в соответствии с результатами расчета эффективные значения водородного показателя различаются на 0.3. Такое различие в $pH_{эфф}$ приводит (при условии справедливости приведенной выше связи a с pH) к различию в коэффициенте поглощения в 1.7 раза. Экспериментально на частотах 500–1250 Гц (в Черном море релаксационная частота процесса, связанного с бором, составляет около 800 Гц) было определено различие в коэффициентах затухания звука, оцененных при приеме в канале и на горизонтах

250 и 500 м в 1.5–1.9 раза. Такое согласие результатов эксперимента с расчетной оценкой можно расценивать как подтверждение существенного влияния водородного показателя pH на низкочастотный релаксационный процесс, связанный с бором.

В середине 80-х годов был обобщен накопленный экспериментальный материал по затуханию звука в таких различающихся температурой и соленостью вод морях, как Черное, Средиземное, Японское, а также в Северозападной части Тихого океана. В результате совместного анализа этого материала были сконструированы соотношения, несколько отличающиеся от предложенных в литературе, но достаточно хорошо описывающие низкочастотное поглощение звука в упомянутых регионах океана.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить глубокую признательность Юрию Михайловичу Сухаревскому за постоянный интерес к проводимым исследованиям, активное участие в обсуждении полученных результатов и их интерпретации.

УДК 551.463

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ИМПУЛЬСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В МОРЕ

© 1997 г. Э. П. Гулин

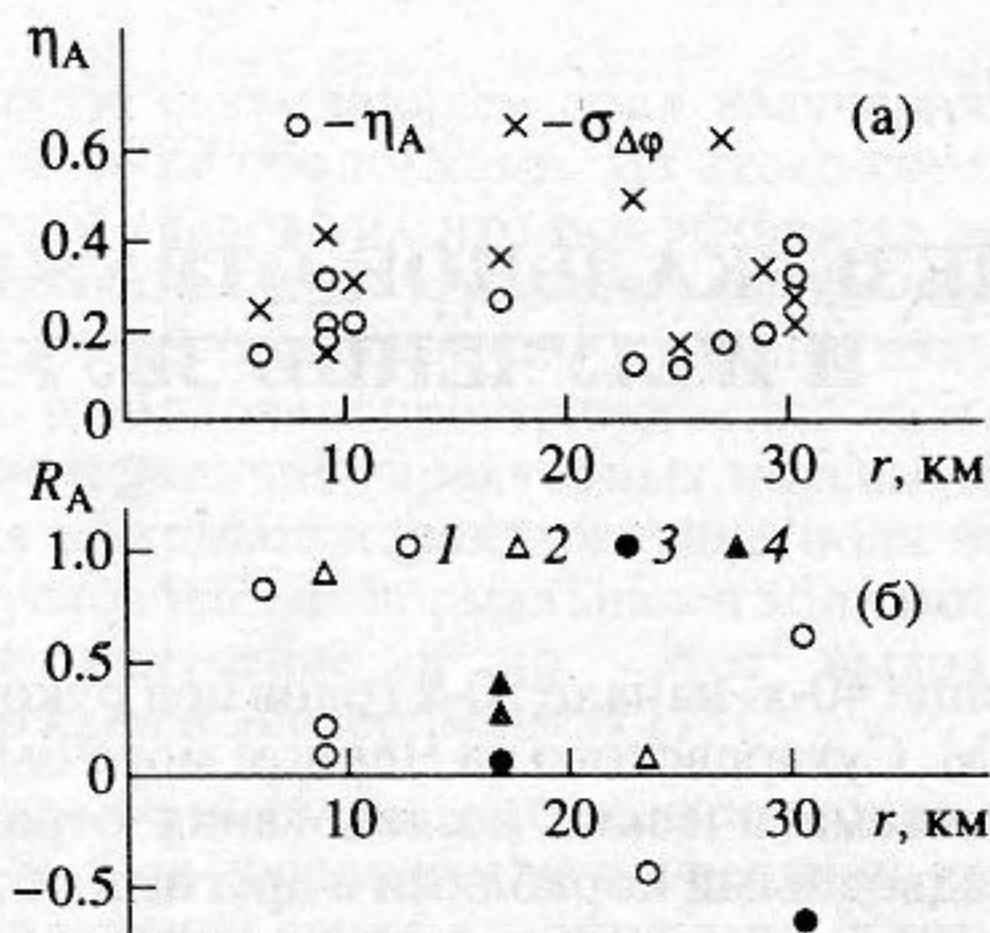
В конце 50-х годов в рамках выполнявшейся под руководством Ю.М. Сухаревского программы комплексных исследований гидроакустических сигналов и помех проводились экспериментальные исследования флуктуаций акустических сигналов в Черном море на полигоне Сухумской научной морской станции Акустического института. Полигон был оснащен установленными на склоне дна на разных глубинах (от 4 до 80 м) приемно-излучающими акустическими системами, которые в данных экспериментах использовались для излучения короткоимпульсных сигналов с тональным заполнением на частотах от 4 до 36 кГц. Поскольку уклон дна на глубинах до 400–500 м был достаточно большим, при направленном в вертикальной плоскости излучении фактически имитировались условия распространения звука в глубоком море, а влияние берегового клина было несущественным. Прием сигналов осуществлялся вертикальной цепочкой гидрофонов, опускавшихся с борта дрейфовавшего судна, которое переходило от точки к точке вдоль исследуемой трассы. Максимальное удаление от источников излучения составляло в разных экспериментах от 10 до 50 км.

Исследования проводились в разное время года при существенно различавшихся вертикальных распределениях скорости звука (ВРСЗ), что позволило получить данные о сезонной изменчивости интенсивности флуктуаций на трассе. В зависимости от сезона наблюдений, глубин излучения и приема реализовывались условия распространения звука при слабо выраженной слоистости, в приповерхностном и подводном звуковых каналах. Применение коротких импульсов длительностью 1–3 мс позволило добиться во многих случаях (в частности, при глубинах излучения и приема около 80 м) разделения по времени прихода сигналов, имеющих контакты с поверхностью моря, и сигналов, рефрагирующих в толще водной среды ("прямых" сигналов), а также сигналов, приходящих по отдельным лучам (или группам лучей с малой разностью времен запаздывания), на достаточно больших дистанциях.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что интенсивность флуктуаций как прямых, так и отраженных от морской поверхности импульсов существенно зависит от условий рефракции (вида ВРСЗ), дистанции, горизонтов

излучения и приема и, как правило, увеличивается с повышением частоты. Коэффициенты вариации амплитуды (КВА) отраженных от поверхности сигналов η_s определяются значениями параметра Рэлея для лучей, формирующих принимаемые сигналы, а зависимость η_s от дистанции определяется характером изменения с дистанцией углов скольжения лучей у поверхности ψ_s в тех или иных рефракционных условиях. В большей части случаев даже при сравнительно слабом волнении поверхности (1–3 балла) значения η_s для интервала частот 4–15 кГц превышали значения КВА прямых сигналов. В условиях приповерхностного канала КВА сигналов в среднем не зависят от дистанции, но в соответствии с изменениями углов скольжения ψ_s энергетических лучей имеют заметный разброс значений. Отсутствие нарастания флуктуаций с дистанцией соответствует модели формирования рассеянного поля в точке приема участками поверхности, прилегающими к источнику и приемнику, когда рассеянные волны, появляющиеся при промежуточных контактах лучей с поверхностью, не удерживаются каналом и покидают его пределы [1].

Амплитуда прямых импульсов в условиях слабо выраженной слоистости в большей части случаев испытывала быстрые (секундные) флуктуации, при этом обычно наблюдалось увеличение КВА с дистанцией. Экспериментальные зависимости КВА от расстояния можно объяснить воздействием температурных неоднородностей с интегральным масштабом корреляции $\bar{a} = 1$ м (или внешним масштабом турбулентности 2.5 м для модели локально-изотропной турбулентности) и среднеквадратичным отклонением (СКО) температуры $\sigma_t = 0.005–0.015^\circ\text{C}$ [2]. Присутствие таких неоднородностей в районе проведения исследований подтверждено специальными экспериментами с температурными датчиками, перемещавшимися на разных глубинах. В условиях подводного звукового канала быстрые флуктуации прямых сигналов (в среднем) практически не зависят от дистанции, либо слабо нарастают с дистанцией. В первом случае, согласно экспериментальным оценкам тепловой микроструктуры, в пределах точности измерений (0.002°C) температурные неоднородности под слоем скачка в районе оси канала отсутствовали, а наблюдавшиеся небольшие флуктуации амплитуды ($\eta = 0.02–0.1$), по-видимому, были обусловлены влиянием вертикальных перемещений приемника при качке судна и неустойчивостью уровня излучения. Во втором случае рост флуктуаций сигналов с дистанцией может быть объяснен воздействием температурных неоднородностей с параметрами $\bar{a} = 1$ м и $\sigma_t = 0.006–0.03^\circ\text{C}$.



Коэффициенты вариации амплитуды η_A , среднеквадратичные отклонения разности фаз $\sigma_{\Delta\phi}$ и коэффициенты взаимной корреляции флуктуаций амплитуды R_A в разнесенных точках приема на различных дистанциях.

В период формирования слоя скачка (период прогрева) в ПЗК наблюдались достаточно интенсивные медленные вариации амплитуды сигналов с характерным полупериодом 15–80 с. Результаты исследования медленных вариаций на разных дистанциях представлены на рисунке, где наряду с КВА η_A приведены значения СКО разности фаз $\sigma_{\Delta\phi}$ сигналов с частотой $f = 4$ кГц, принятых в разнесенных по вертикали на $\Delta Z = 10$ м точках приема (а), а также значения коэффициента взаимной корреляции флуктуаций амплитуды R_A (б) в разнесенных по вертикали на $\Delta Z = 10$ м (1, 2) и по горизонтали (примерно поперек трассы) на $\Delta r = 34$ м (3, 4) точках приема (1, 3 – $f = 4$ кГц; 2, 4 – $f = 7$ кГц). КВА и СКО разности фаз изменяются вдоль трассы в пределах $\eta_A = 0.1–0.4$, $\sigma_{\Delta\phi} = 0.12–0.6$ рад ($8^\circ–35^\circ$), однако явного нарастания вариаций с дистанцией не наблюдалось, что может быть следствием локального характера рассеяния неоднородностями среды (крупными турбулентными образованиями и короткопериодными внутренними волнами). Поскольку в разнесенных точках приема сохраняется заметный уровень корреляции медленных вариаций, можно сделать заключение о наличии во время экспериментов в толще морской среды неоднородностей с пространственными масштабами порядка нескольких десятков метров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулин Э.П. Модели гидроакустического канала с многократными отражениями от взволнованной поверхности океана // IX Всесоюзная Акустическая конференция. М., 1977. ДШу–I.
2. Чупров С.Д., Швачко Р.Ф. Звуковое поле в океане с учетом случайных неоднородностей среды. В кн. Акустика океана. М., Наука, 1974. С. 559–614.