



УДК 550.834.04

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В МЕЛКОМ МОРЕ

EXPERIMENTAL STUDY ACOUSTIC FIELD OF THE PNEUMATIC RADIATOR IN THE SHALLOW SEA

Величко Григорий Олегович

аспирант кафедры геофизических методов
поиска и разведки,
Кубанский государственный университет
grishavel@mail.ru

Гуленко Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры геофизических методов
поисков и разведки,
Кубанский государственный университет
v_gul@mail.ru

Захарченко Евгения Ивановна

кандидат технических наук, доцент,
заведующая кафедрой геофизических методов
поисков и разведки,
Кубанский государственный университет
evgenia-zax@yandex.ru

Аннотация. Возбуждаемое в условиях мелкого моря акустическое поле имеет сложную интерференционную структуру, обусловленную распространением акустических волн различного типа. Кроме того, в силу сейсмогеологических свойств мелководных акваторий, отличительной особенностью сейсмоакустических наблюдений на мелководье является относительно невысокое соотношение «сигнал – шум». Изучение структуры волновых полей пневматических источников представляет интерес с целью повышения геологической эффективности морской сейсморазведки. В работе рассмотрены результаты регистрации акустических сигналов, возбуждаемых одиночными пневматическими источниками на акватории Карского моря в условиях мелководья.

Ключевые слова: акустические волны, мелководные акватории, источник акустического сигнала, сейсмоакустические наблюдения, пневматические источники, амплитудно-частотные характеристики, нормированные сигналы при разном удалении источника.

Velichko Grigory Olegovich

postgraduate student of the Department
of Geophysical Methods of Prospecting
and Exploration,
Kuban State University
grishavel@mail.ru

Gulenko Vladimir Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Geophysical
Methods of Prospecting and Exploration,
Kuban State University
v_gul@mail.ru

Zakharchenko Evgeniya Ivanovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Department of Geophysical
Methods of Prospecting and Exploration,
Kuban State University
evgenia-zax@yandex.ru

Annotation. The acoustic field excited in shallow sea conditions has a complex interference structure due to the propagation of acoustic waves of various types. In addition, due to the seismogeological properties of shallow waters, a distinctive feature of seismic-acoustic observations in shallow water is a relatively low signal-to-noise ratio. The study of the structure of the wave fields of pneumatic sources is of interest in order to improve the geological efficiency of marine seismic exploration. The paper considers the results of recording acoustic signals excited by single pneumatic sources in the water area of the Kara Sea in shallow water.

Keywords: u acoustic waves, shallow water areas, acoustic signal source, seismic-acoustic observations, pneumatic sources, amplitude-frequency characteristics, normalized signals at different source distances.

Возбуждаемое в условиях мелкого моря акустическое поле имеет сложную интерференционную структуру, обусловленную распространением акустических волн различного типа. Кроме того, в силу сейсмогеологических свойств мелководных акваторий, отличительной особенностью сейсмоакустических наблюдений на мелководье является относительно невысокое соотношение «сигнал – шум» [1]. Изучение структуры волновых полей пневматических источников представляет интерес с целью повышения геологической эффективности морской сейсморазведки, где традиционно актуальной проблемой являются кратные отражения волн [2]. Сведения о характеристиках акустических полей предполагают решение задачи по разделению, так называемых, «волн – помех» и отражённых волн.

В настоящей работе рассмотрены результаты регистрации акустических сигналов, возбуждаемых одиночными пневматическими источниками (ПИ) на акватории Карского моря в условиях мелководья. Приводится сопоставление параметров волнового поля в зависимости от объёма рабочих камер ПИ (V_{1-3}) и расстояния (Δr) между приёмником и источником сигналов. Расчёт частотных характеристик производился в программной среде MathCAD 14.



Для регистрации данных в формате SEG Y использовалась кабельная телеметрическая система ARAM ARIES II с гидрофонами типа MP-25-250 (собственная частота 10 Гц, чувствительность 11,2 В/бар). Запись сигналов продолжалась в течение 3 с в полосе частот 3–656 Гц с предварительным усилением 12 дБ и дискретизацией 0,5 мс (6000 отсчётов).

В качестве источника акустического сигнала поочерёдно использовались пневматические излучатели «Volt» 1900LL с разными объёмами рабочих камер ($V_1, V_2, V_3 = 40, 90, 110$ куб. дюймов, соответственно). В ходе работ одиночный пневматический источник буксировался на расстоянии 25 м от кормы судна–источника с заглублением от поверхности воды (h_1) на 2 м (при $V_2 = 90$ куб. дюймов, глубина $h_2 = 4$ м). Воздух на него подавался при помощи компрессора под давлением 136 атм.

Согласно выбранной методике гидрофон занимал статичное положение на морском дне на глубине 12,5 м, тогда как пневматический источник линейно удалялся, инициируя подрывы каждые 50 м. При этом величина Δr варьировалась в диапазоне 100–2000 м. Перепады глубины в пунктах взрыва (ПВ) были незначительными (0–2 м), а волнение моря при проведении экспериментов минимальным. По данным мариметра «Valerport» скорость звука в воде была 1470 м/с, а температура воды плюс 6°С.

На рисунке 1 приведена общая схема методики эксперимента.

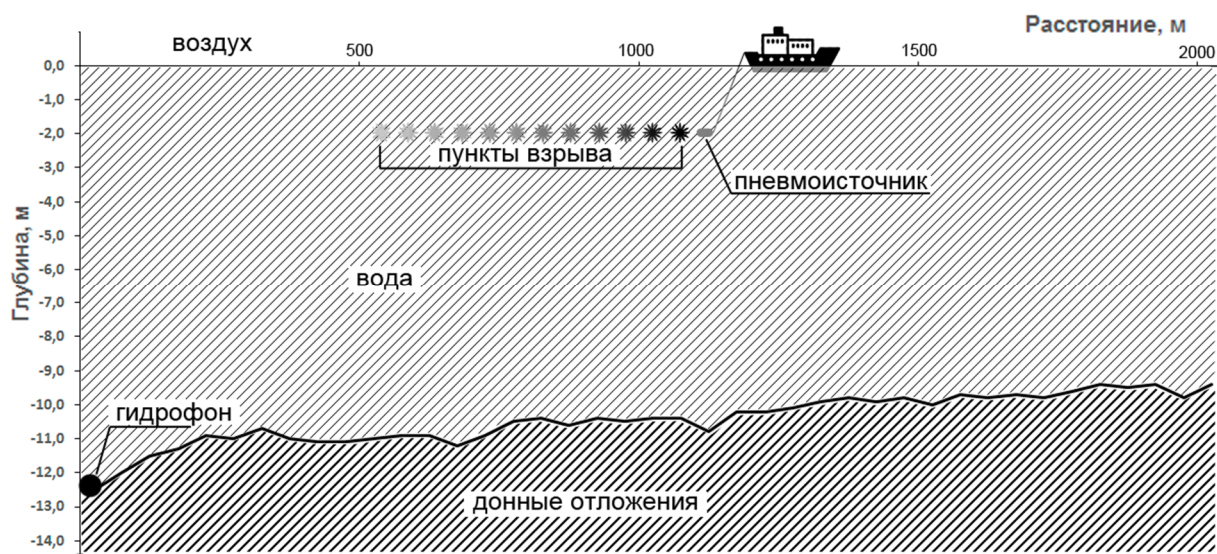


Рисунок 1 – Общая схема методики экспериментальных работ на мелководной акватории

В представленной модели среды, мы видим, что дистанция, на которую распространялись звуковые волны, во много раз превышала глубину моря. Слой морской воды снизу был ограничен, близким к горизонтальному, слоем дна, где скорость распространения упругих колебаний, как правило, выше. Граница вода–воздух является свободной отражающей поверхностью, т.е. практически идеальным отражателем [3]. Таким образом, можно утверждать, что процесс распространения акустических волн связан с волноводными явлениями, а мелководная акватория являлась волноводом.

На рисунке 2 приведены примеры зарегистрированных волновых сигналов.

Для обработки в системе MathCAD 14 исходные данные были переведены в текстовый формат, где каждому отсчёту соответствовало значение амплитуды в вольтах. Применялась выборка отсчётов $i00 = 0 \dots 1023$. Для корректного сопоставления данные были нормированы.

Низкочастотные импульсные акустические сигналы при распространении на дальние расстояния в волноводах малой глубины подвержены дисперсионным искажениям [4]. По форме сигналов (рис. 2) заметно, что с увеличением Δr влияние дисперсии усиливается.

На рисунке 3 приведены амплитудные спектры нормированных сигналов разных вариантов эксперимента.

Как видно из представленных рисунков, вне зависимости от объёма ПИ при увеличении расстояния между источником и приёмником наблюдаемое акустическое поле обладает более высокочастотными характеристиками. Кроме того, при $\Delta r \geq 1000$ м минимальный уровень амплитуд регистрируемых сигналов наблюдается в полосе частот $\sim 60 - 110$ Гц.

Спектры полученные при использовании ПИ с объёмом $V_2 = 90$ куб. дюймов несколько отличаются от остальных по амплитуде. Особенно выделяется высокий уровень амплитуд в диапазоне частот 210–350 Гц при удалении $\Delta r = 1000$ м. Следует предположить, что данное различие обусловлено нестандартным заглублением пневматического источника ($h_2 = 4$ м, тогда как $h_1 = 2$ м).



Нормированный сигнал гидрофона МР-25-250

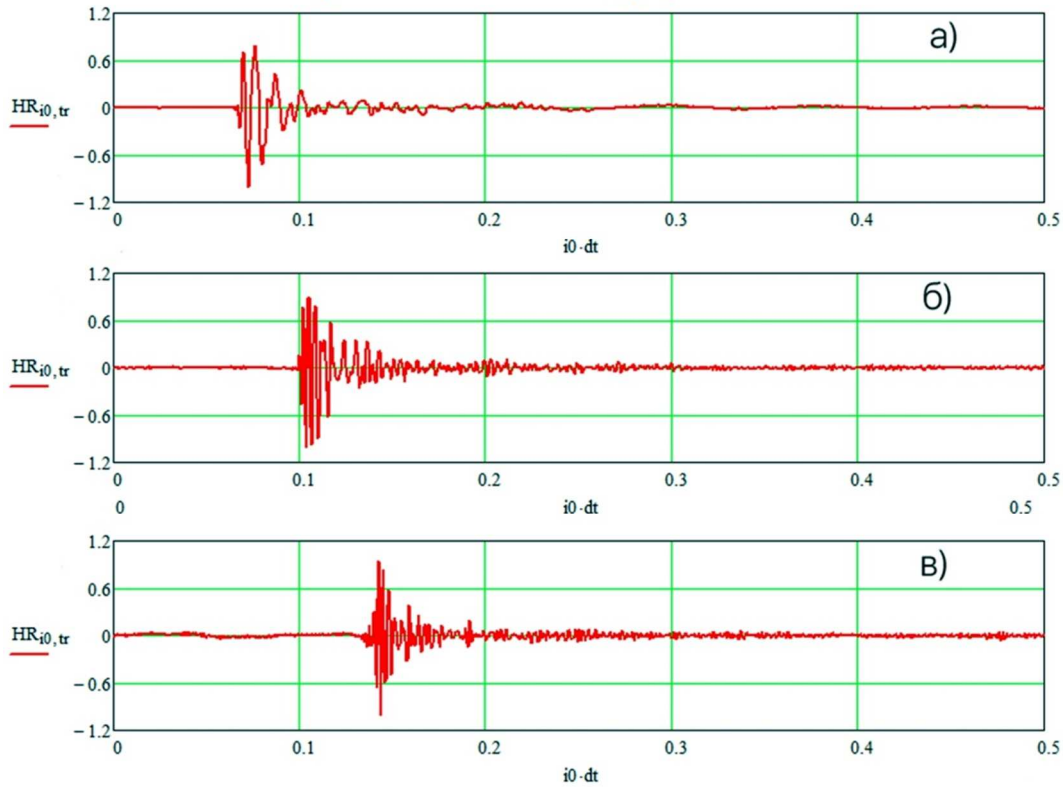


Рисунок 2 – Записи нормированных сигналов при разном удалении источника ($V_2 = 90$ куб. дюймов):
 а) $\Delta r = 100$ м; б) $\Delta r = 1000$ м; в) $\Delta r = 2000$ м

Амплитудные спектры сигналов гидрофона МР-25-250

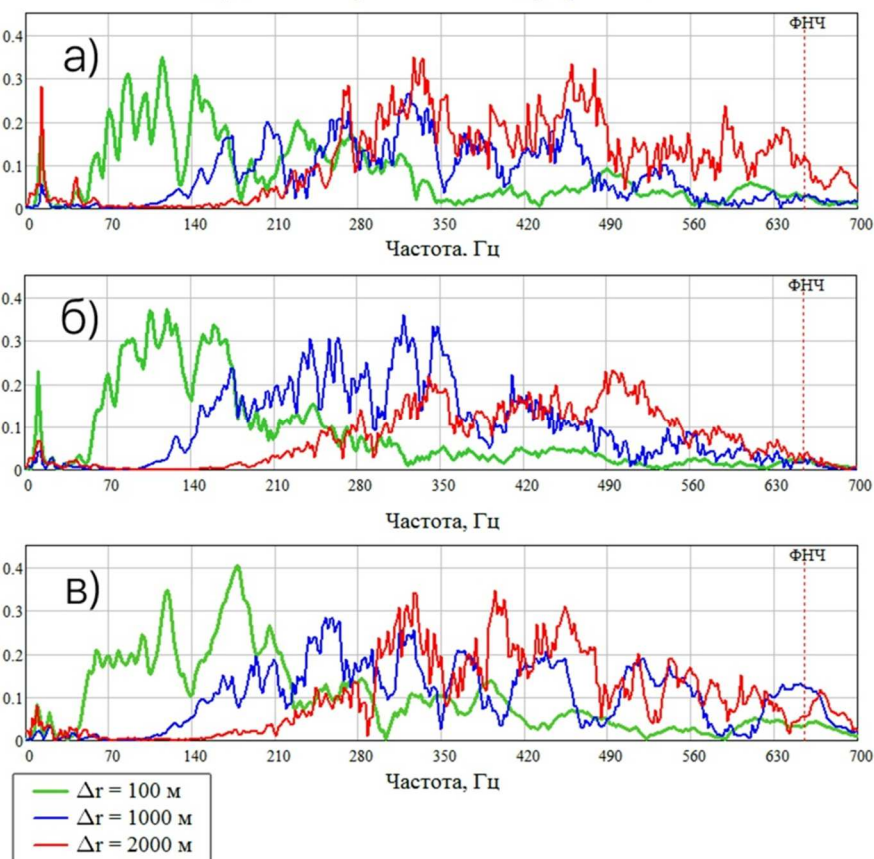


Рисунок 3 – Амплитудно-частотные характеристики нормированных сигналов при разных параметрах ПИ:
 а) $V_1 = 40$ куб. дюйм; б) $V_2 = 90$ куб. дюйм; в) $V_3 = 110$ куб. дюйм



Сравнивая спектры, полученные при идентичных параметрах заглубления h_1 и расстояния Δr , но при отличающихся объемах пневматических источников (V_1 и V_3), стоит отметить схожее распределение частотных характеристик. Различие заключается в уровне амплитуд сигнала, что является логичным следствием увеличения объема источника акустического сигнала более, чем в 2,5 раза.

Подводя итог вышесказанному отметим, что для амплитудно-частотных характеристик акустического поля, возбуждаемого в мелком море, наиболее существенными методическими параметрами являются: расстояние между источником и приёмником сигнала и заглубление пневматического источника. Амплитудно-частотное распределение носит неоднородный характер и в полосе средних частот отмечается относительно низкий уровень амплитуд.

Литература:

1. Шалаева Н.В., Старовойтов А.В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях : Учебное пособие. – М. : МГУ. 2010. – 256 с.
2. Гуленко В.И., Шумский Б.В. Технология морской сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне : Монография. – Краснодар : КубГУ, 2007. – 111 с.
3. Исакович М.А. Общая акустика. – М. : Изд-во «Наука», 1973. – 496 с.
4. Особенности дисперсионных искажений импульсных сигналов в акустических волноводах с поглощением / А.В. Вавилин [и др.]. – М. : ИОФ РАН «Акустический журнал», 1987. – Т. 23. – №5. – С. 830–833.

References:

1. Shalaeva N.V., Starovoitov A.V. Fundamentals of seismoacoustics in shallow water areas: Tutorial. – M. : Moscow State University, 2010. – 256 p.
2. Gulenko V.I., Shumskiy B.V. Marine seismic survey technology in shallow water and in transit zone : Monograph. – Krasnodar : KubGU, 2007. – 111 p.
3. Isakovich M.A. General acoustics. – M. : Nauka Publisher, 1973. – 496 p.
4. Peculiarities of dispersion distortions of pulse signals in the acoustic waveguides with absorption / A.V. Vavilin [et al.]. – M. : IOF RAS, «Acoustic Journal», 1987. – V. 23. – №5. – P. 830–833.