

Анализ возможностей применения альтернативной технологии подавления волн-спутников при работах на акваториях

Геофизик

ООО «ЛАРГЕО НефтеГазСервис»

Студент-магистрант кафедры сейсмометрии и геоакустики МГУ им. М. В. Ломоносова

М. В. Ломоносова

Егоров Антон Алексеевич

Научные руководители:

Владов Михаил Львович, д.ф.-м.н., зав. кафедрой сейсмометрии и геоакустики МГУ им. М.В. Ломоносова

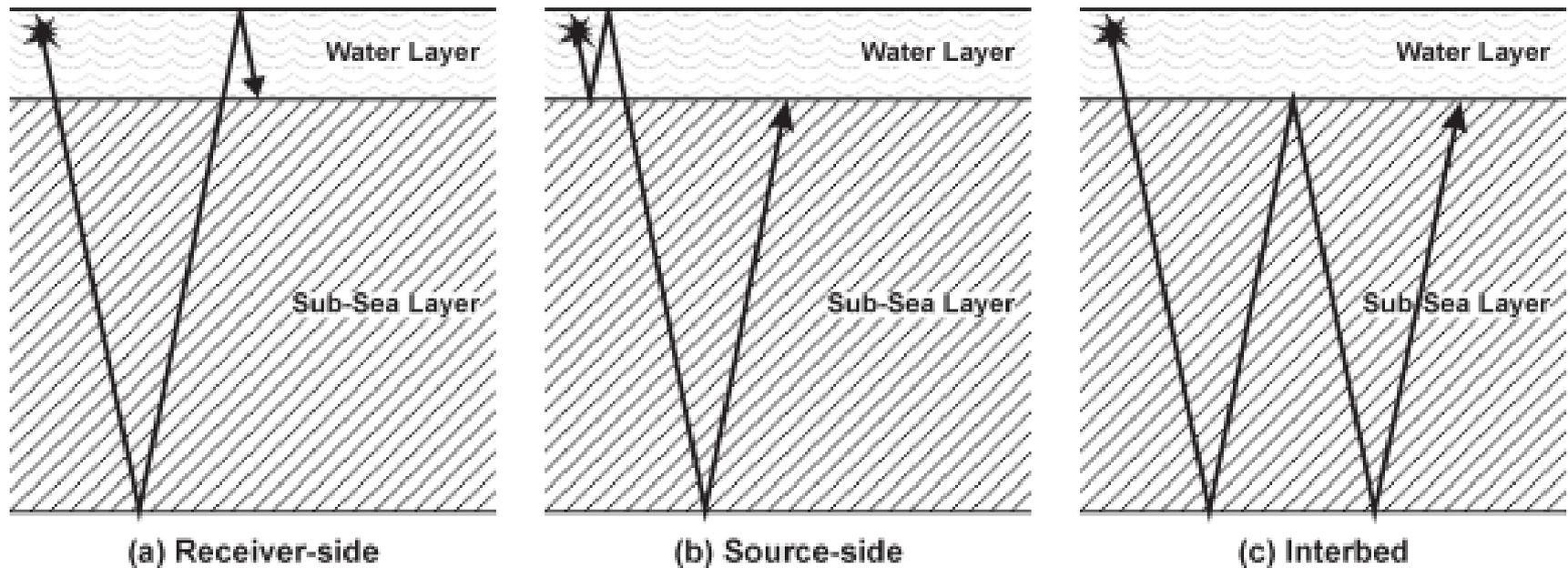
Горбачёв Сергей Викторович, к.т.н., Начальник отдела геофизики ООО «РН-ШЕЛЬФ-АРКТИКА»

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Проанализировать возможность использования однонаправленных антенн малых размеров, рассматриваемых в статье (Калинин, Владов, 2009)*, для подавления кратных волн в водном слое со стороны приёмника (волн-спутников, нисходящего волнового поля) в виде донных регистраторов для морской сейсморазведки.
- Оценить необходимые для проведения исследований в сейсмическом диапазоне частот размеры антенн

*Калинин В.В., Владов М.Л. Возможность создания однонаправленных антенн малых волновых размеров для сейсморазведки. Часть 1. Приближение плоских волн. // Технологии сейсморазведки – Ежекварт. официальное издание ЕАГЕ, 02/2009. С. 33-37.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ



Классификация кратных волн: (a) – со стороны приёмника (b) – со стороны источника (c) – внутри слоя (Hoffe et al., 2000).

Иллюстрация из статьи: Hoffe, B. H., Lines, L. R., and Cary, P. W., 2000, Applications of OBC Recording: The Leading Edge, April 2000, Vol. 19, No. 4.

ПРИЧИНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее популярным решением проблемы подавления волн-спутников со стороны приёмника является RZ-суммирование данных геофона и гидрофона.

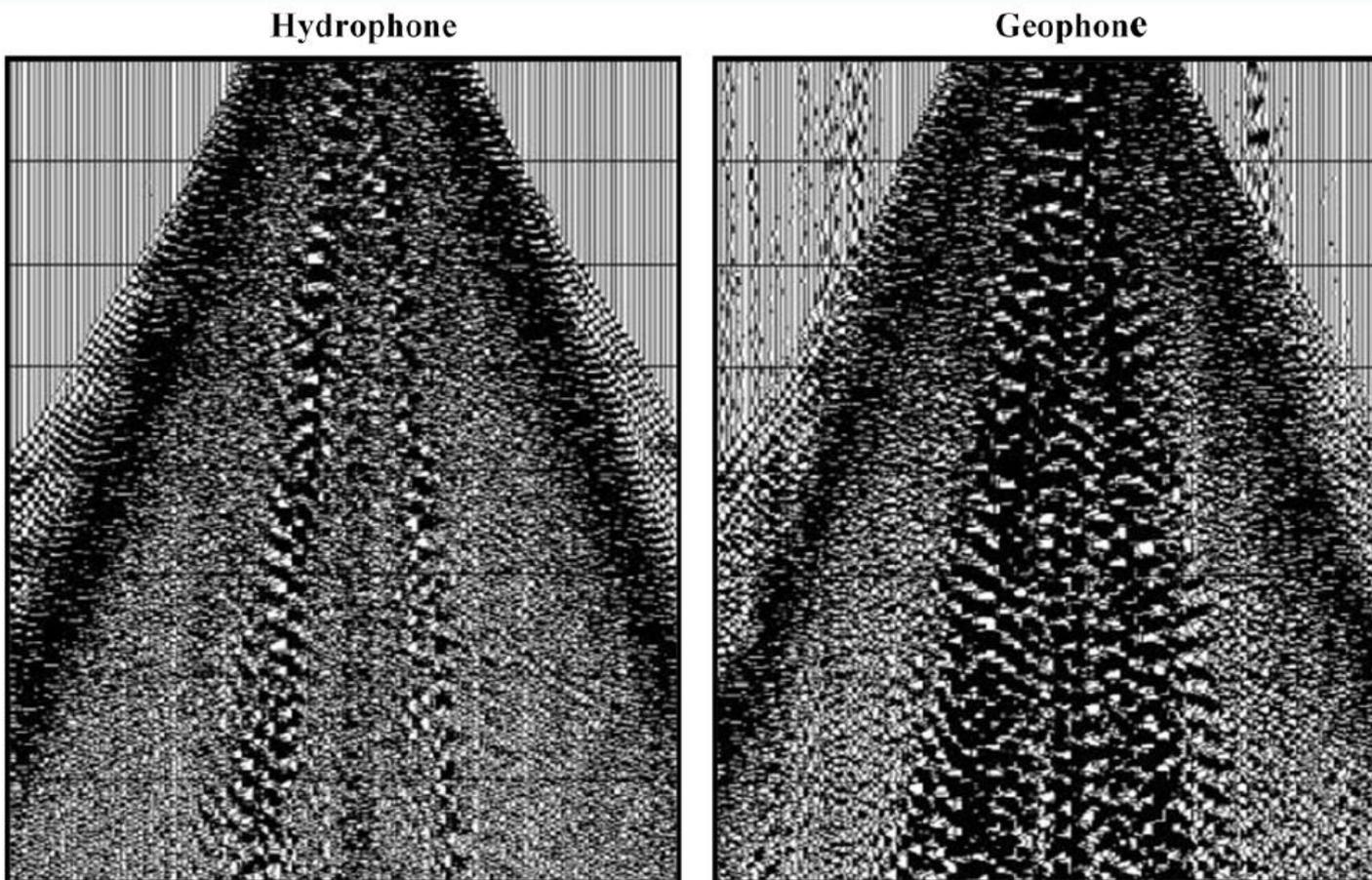
Данная методика имеет определённые недостатки, такие как:

А) необходимость приведения датчиков

Б) повышенная зашумленность данных геофона,

что послужило поводом к соображению, что использование рассматриваемой антенны из двух одинаковых гидрофонов может помочь справиться с этими проблемами.

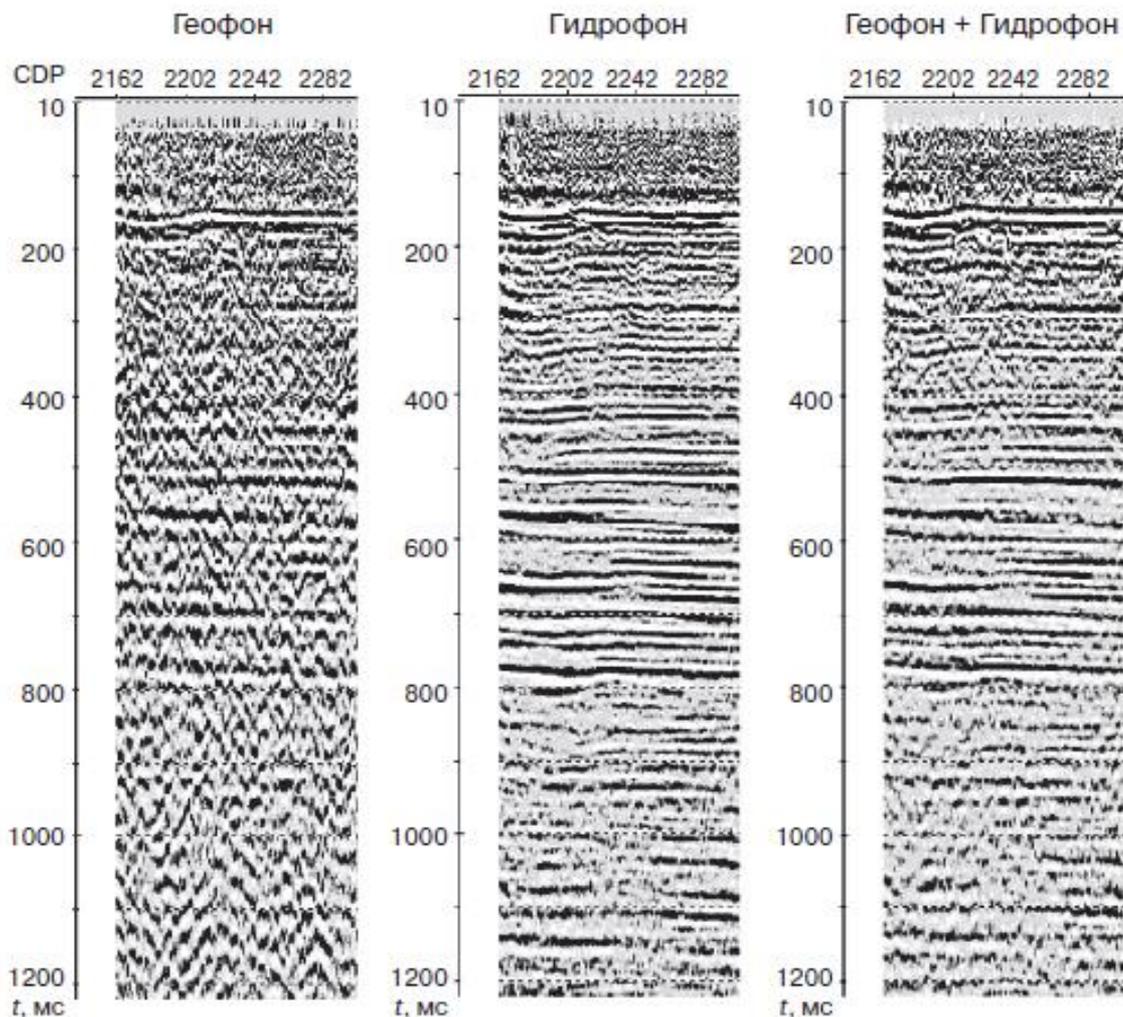
ПРИЧИНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



Сравнение данных, записанных геофоном и гидрофоном

Источник иллюстрации: McLain B., Carter C., Akkanti S., Rehm C., Sublette V., Scott L., Paliwal J.P. Attenuation of geophone-component OBC noise: a case study from the Gulf of Khambhat, 80th SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2010, 3560-3564.

ПРИЧИНЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

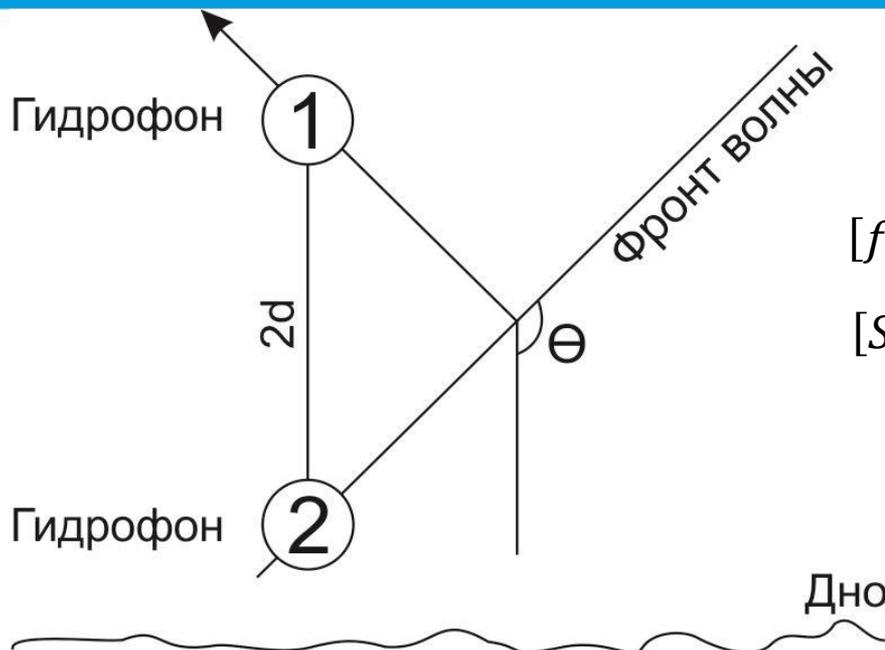


Сравнение данных, записанных геофоном, гидрофоном и результата их суммы

Источник иллюстрации: Жгенти С.А., Запорожец Б.В., Лещенко Д.П. Использование синхронного PZ приема колебаний при сейсморазведке в транзитных зонах для подавления интерференции волн в ближней зоне приемника // Технологии сейсморазведки – Ежекварт. официальное издание ЕАГЕ, 03/2008. С. 46-57.

Часть 1: Теоретические основы технологии

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ



$[f(t)]$ - входной сигнал

$[S(j\omega)]$ - спектр входного сигнала

$$f_2(t) = [f(t) - f(t - \tau)]s; \tau = \frac{2d \sin \theta}{c}$$

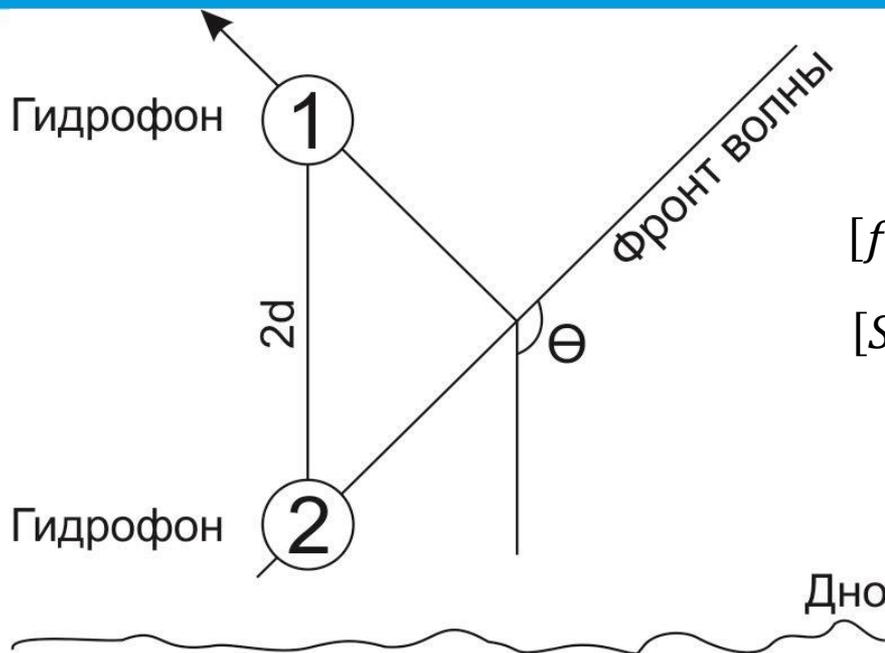
$$S_2(j\omega) = S(j\omega)s(1 - e^{-j\omega\tau}) = S(j\omega)2je^{-\frac{j\omega\tau}{2}} \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)s$$

введем в запись верхнего гидрофона задержку $\tau_0 = \frac{2d}{c}$

$$S_2(j\omega, \tau_0) = S(j\omega)s(1 - e^{-j\omega(\tau+\tau_0)}) = S(j\omega)2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin\left(\frac{\omega(\tau+\tau_0)}{2}\right) =$$

$$S(j\omega)2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin\left(\frac{\omega 2d(1 + \sin \theta)}{2c}\right) = S(j\omega)2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin(4\pi d(1 + \sin \theta)/2\lambda)$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ



$[f(t)]$ - входной сигнал

$[S(j\omega)]$ - спектр входного сигнала

$$S_2(j\omega, \tau_0) = S(j\omega) 2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin\left(\frac{4\pi d(1 + \sin\theta)}{2\lambda}\right)$$

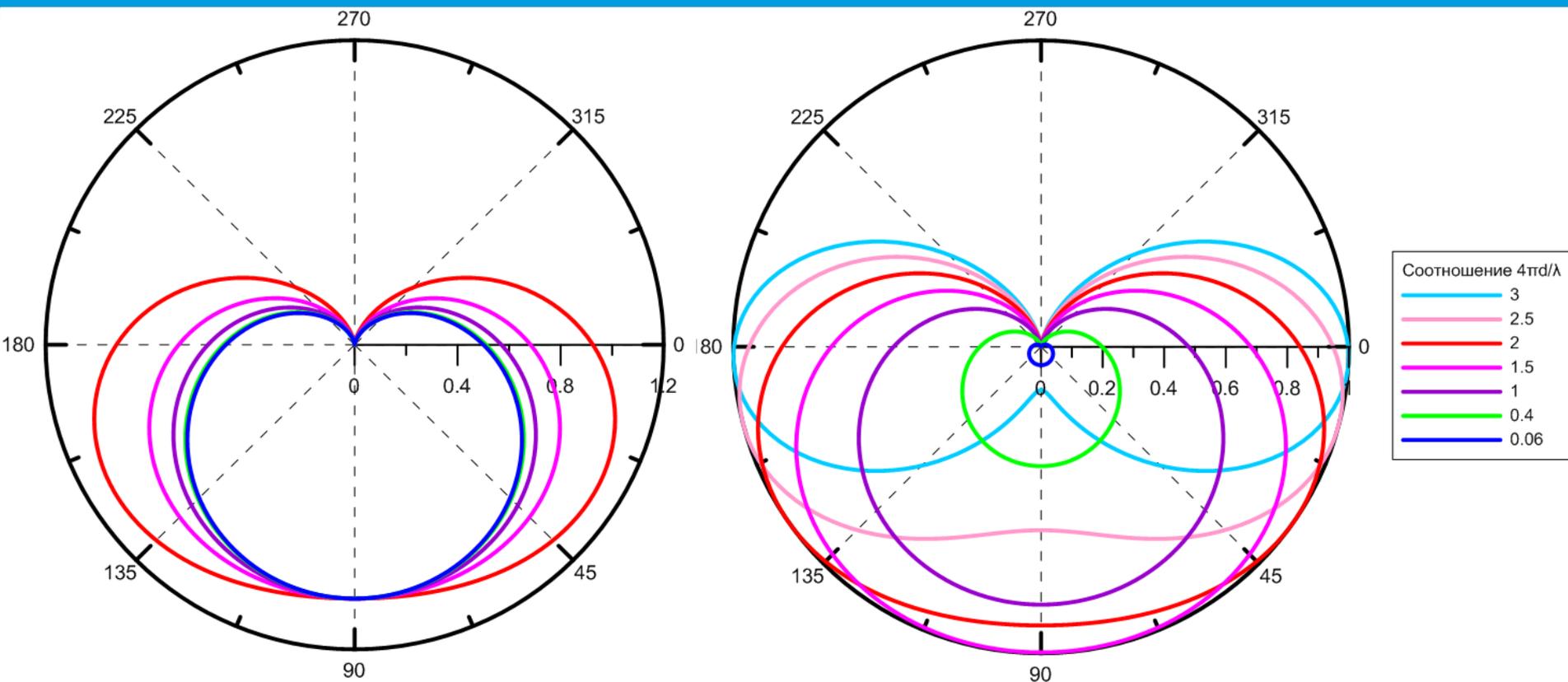
При условии $\frac{4\pi d}{\lambda} \ll 1$ имеем:

$$S(j\omega) 2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin\left(\frac{4\pi d(1 + \sin\theta)}{2\lambda}\right) = S(j\omega) 2j\omega \left(\frac{2d}{c}\right) se^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \frac{1 + \sin\theta}{2}$$

$$\Phi(\theta) = \frac{1 + \sin\theta}{2} \text{ - кардиоидная характеристика направленности}$$

условие $\frac{4\pi d}{\lambda} \ll 1$ будет выполняться уже при $\frac{4\pi d}{\lambda} < 0.4$, так как $\sin(0.4) = 0,3984$.

ПОДРОБНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ



$$S_{\text{ВЫХ}}(j\omega) = S_{\text{ВХ}}(j\omega) 2jse^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \sin\left(\frac{4\pi d(1 + \sin\theta)}{2\lambda}\right)$$

В действительности диаграмма направленности будет иметь форму, схожую с формой кардиоиды, вплоть до $\frac{4\pi d}{\lambda} = 1$

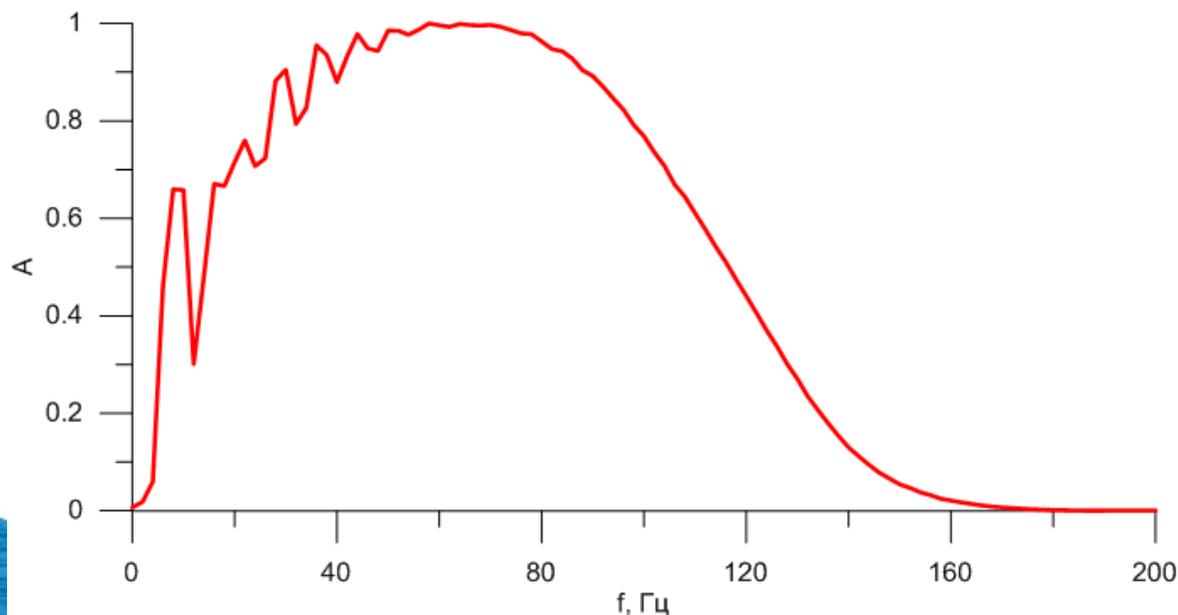
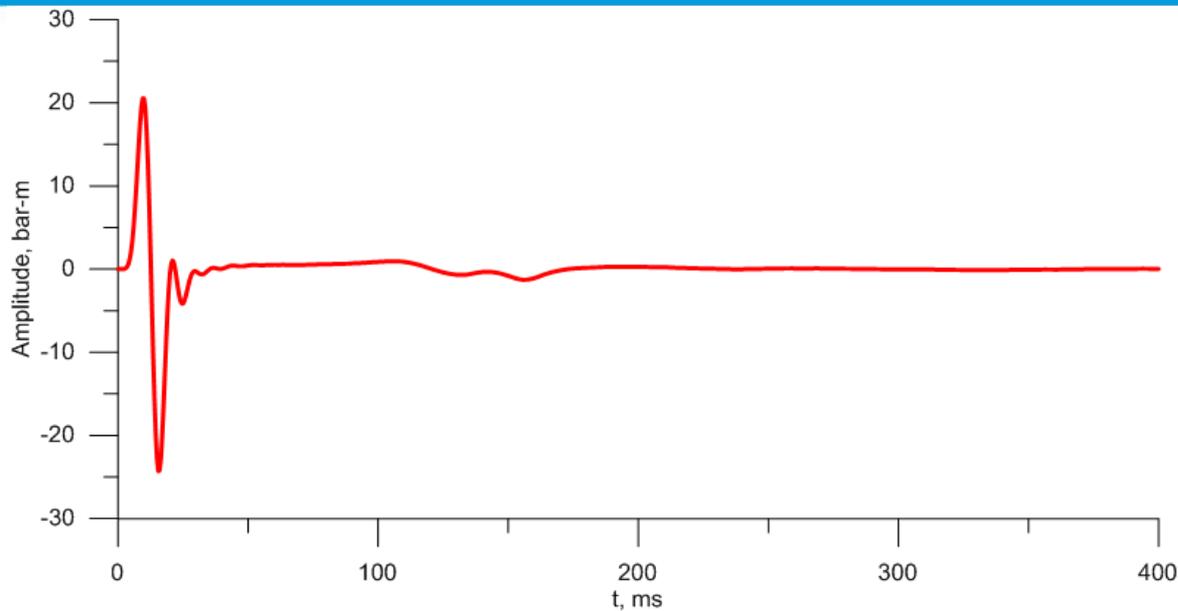
РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ

$$\frac{4\pi d}{\lambda} \leq 0.4$$

$$\frac{4\pi d}{\lambda} \leq 1$$

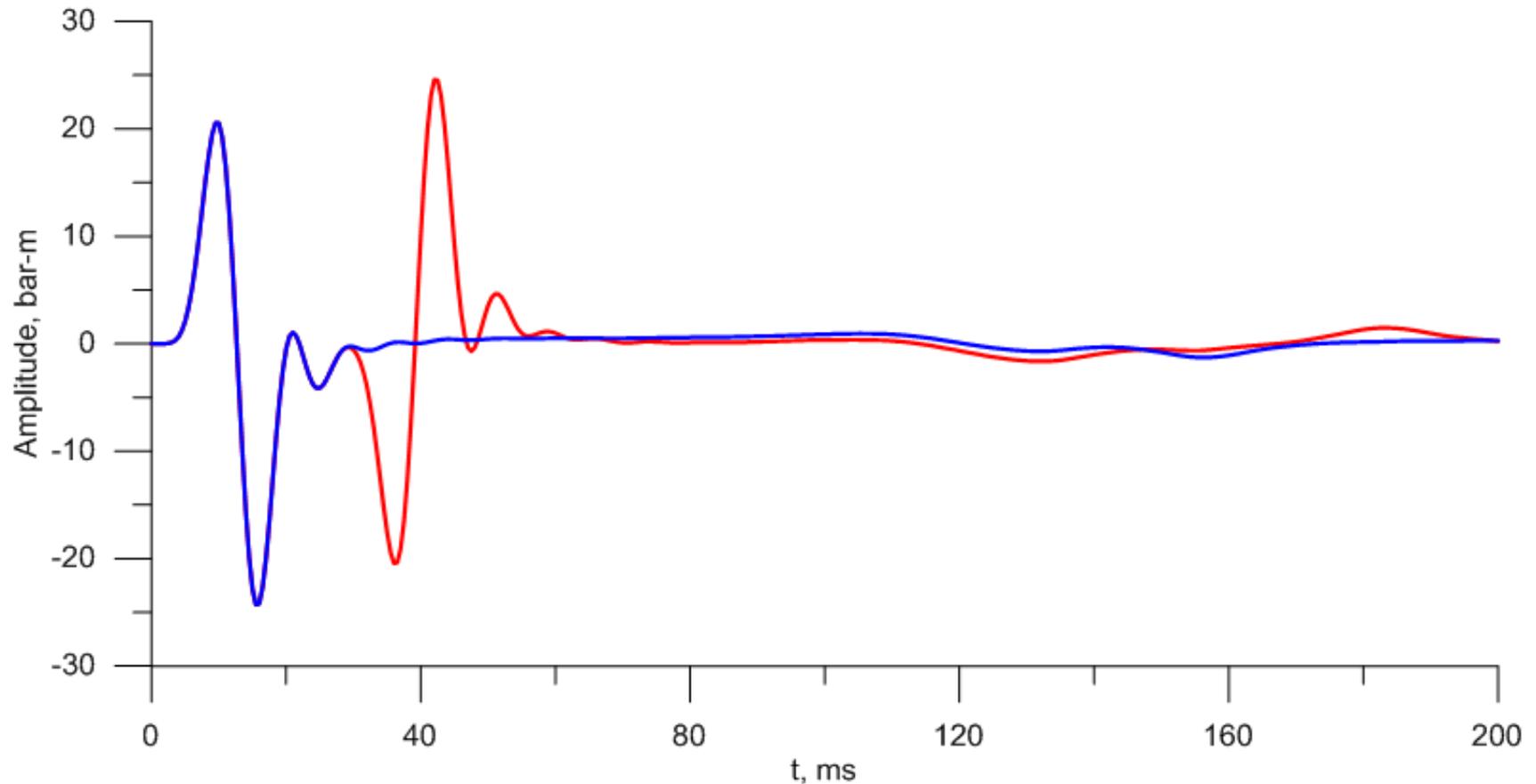
Граничная частота сигнала, Гц	Максимальный размер антенны, см	Максимальный размер антенны, см
30	300	800
50	180	480
75	120	320
100	90	240
250	36	96
500	18	48
1000	9	24

ВХОДНОЙ СИГНАЛ СИСТЕМЫ



Следующие далее рассуждения проведены с использованием сигнала пневматического источника, применяющегося в условиях предельного мелководья (рисунок слева), поэтому приведённые выводы о размерах антенны верны исключительно для данного источника, хотя в первом приближении их можно использовать для других сигналов со схожим частотным диапазоном.

СИГНАЛ С ВОЛНОЙ - СПУТНИКОМ



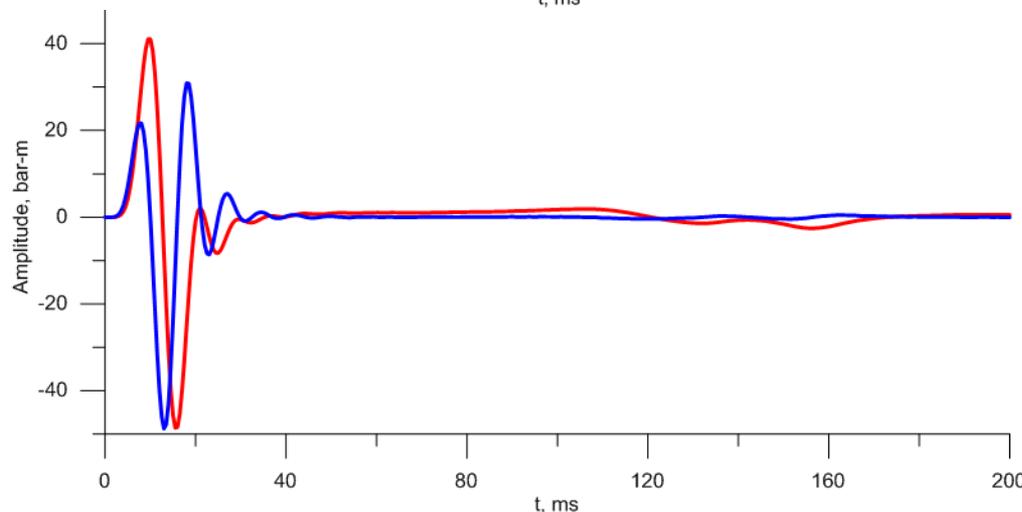
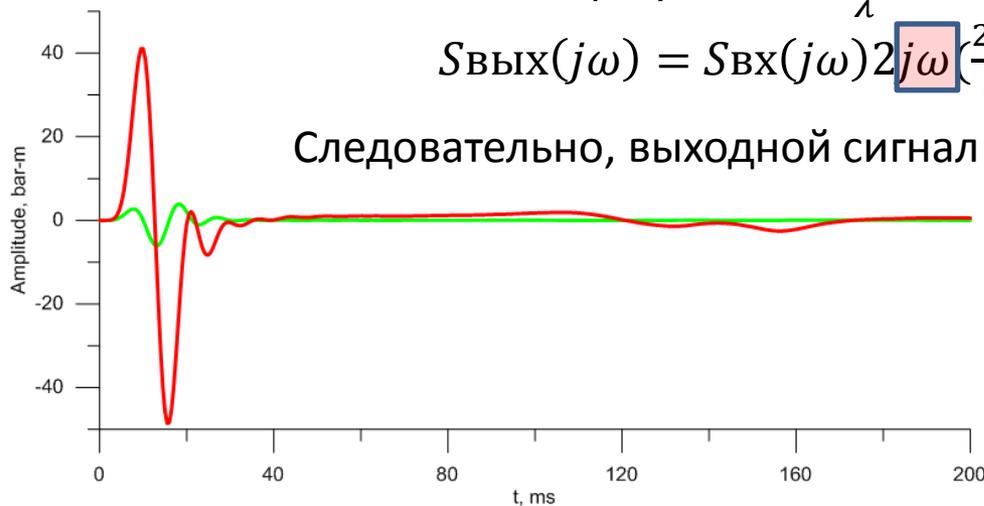
Сигнал с волной – спутником со стороны приёмника (красный) и без неё (синий)
Глубина приёмника – 20 метров

ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ СИСТЕМЫ

При условии $\frac{4\pi d}{\lambda} \ll 1$ имеем:

$$S_{\text{ВЫХ}}(j\omega) = S_{\text{ВХ}}(j\omega) 2j\omega \left(\frac{2d}{c}\right) se^{-\frac{j\omega(\tau+\tau_0)}{2}} \frac{1+\sin\theta}{2}$$

Следовательно, выходной сигнал – производная от входного



Входной (красный), выходной (зелёный) и выходной масштабированный (синий) сигналы системы в случае использования антенны из двух гидрофонов.

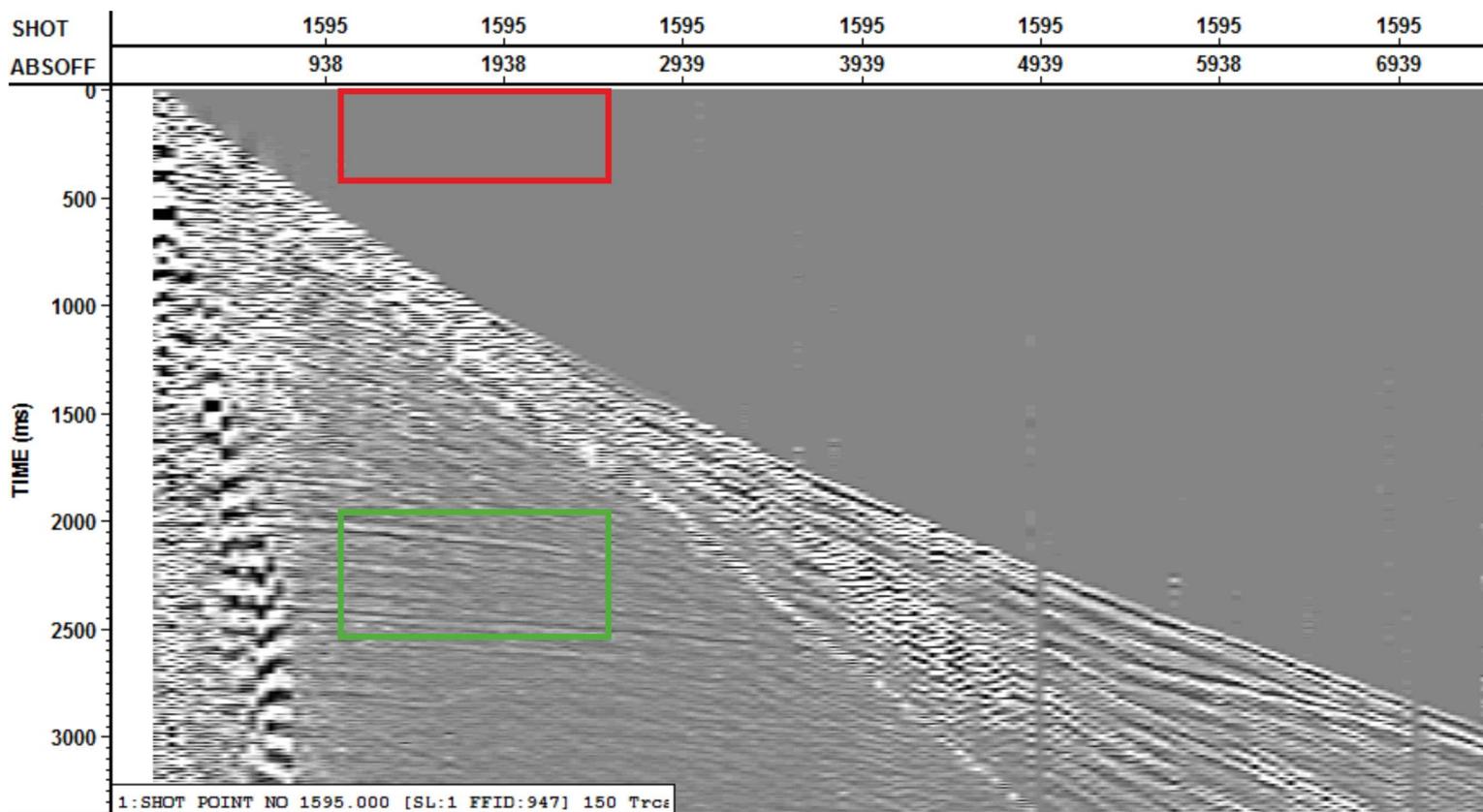
ВЫВОДЫ

- Диаграмма направленности данной системы имеет форму, схожую с формой кардиоиды вплоть до значения $\frac{4\pi d}{\lambda} = 1$, при этом она продолжает подавлять нисходящее волновое поле вплоть до $\frac{4\pi d}{\lambda} = 3$
- Выходной сигнал системы прямо пропорционален производной входного только при соотношении $\frac{4\pi d}{\lambda} < 0.4$.

Часть 2: Исследование влияния размеров антенны на соотношение сигнал/шум

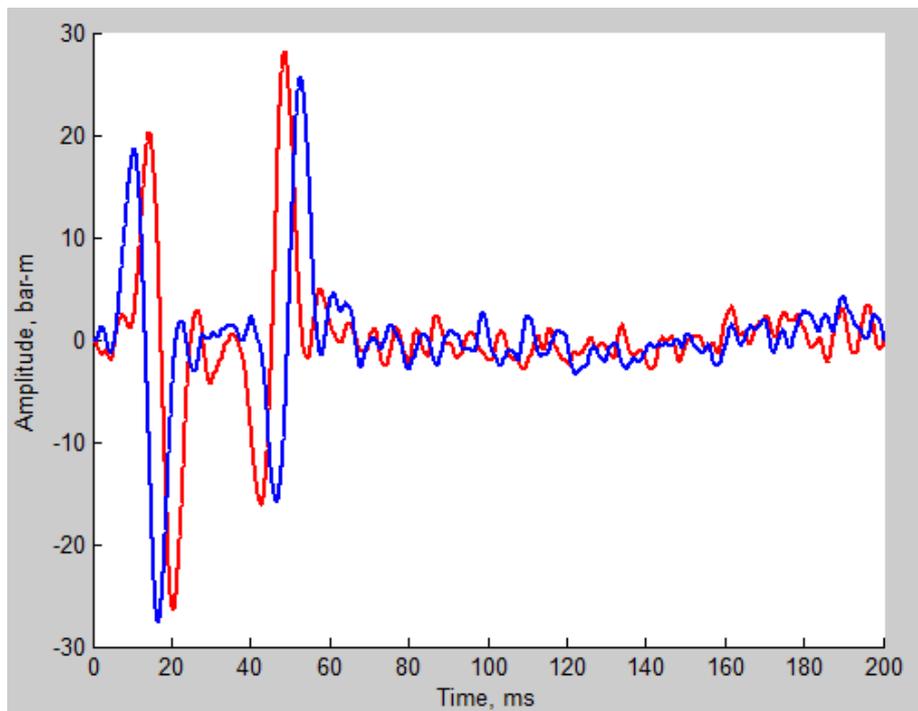
- Снизу размеры антенны теоретически не ограничены (в рамках принятой модели). Было сделано предположение, что размеры антенны существенно влияют на её помехоустойчивость и, соответственно, соотношение сигнал/шум результирующих данных. Поэтому был дополнительно исследован вопрос зависимости соотношения сигнал/шум на записи от размеров антенны.
- Расчёты основаны на результатах анализа полевых данных с Арктического шельфа РФ при глубинах моря около 20 метров. Анализ показал, что в данном регионе соотношение сигнал/шум на записях гидрофона меняется от 6 до 16 со средним 11. Этот факт использовался далее при проведении расчетов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ

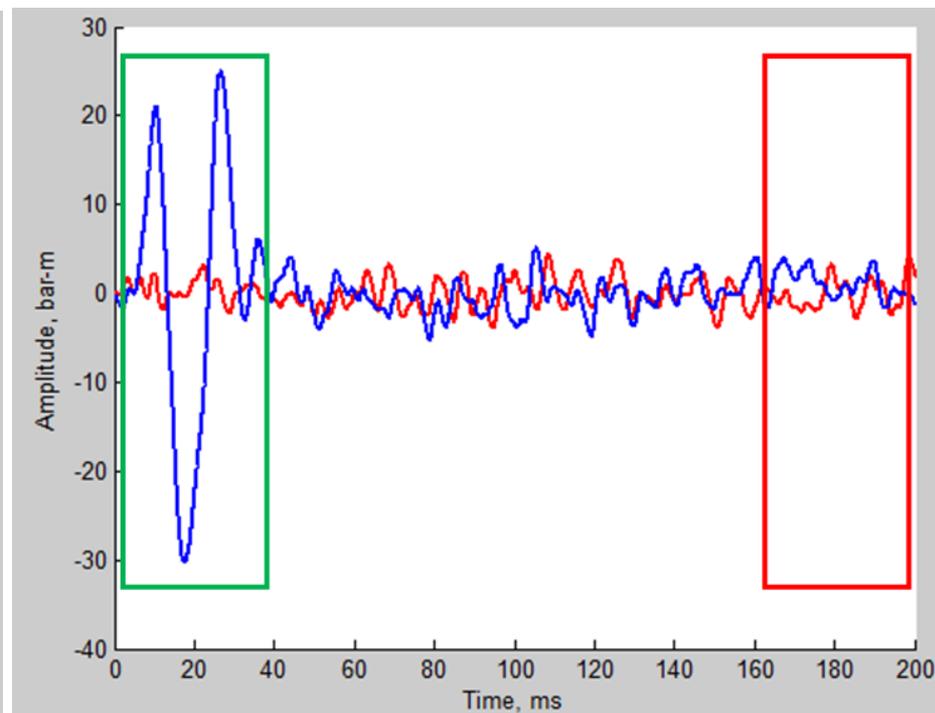


Окна для расчёта соотношения сигнал/шум.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ



Сигналы верхнего (красный) и нижнего (синий) гидрофонов



Выходной сигнал антенны из двух гидрофонов (исходное соотношение сигнал/шум 11) для длины антенны 7.5 сантиметров (красный) и 7.5 метров (синий)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ

Размер антенны (см)	Соотношение сигнал/шум в результате применения антенны		
	При исходном соотношении S/N=6	При исходном соотношении S/N=11	При исходном соотношении S/N=16
7.5	1	1.1	1
30	1.3	1.7	1.8
45	1.5	2.2	3.0
60	1.8	3.2	4.3
75	2.2	3.5	4.8
90	2.5	4.3	6.1
105	2.8	5.4	7.1
120	3.1	6.1	8.1
150	3.7	7.3	9.2
180	4.8	8.0	10.7
210	5.4	8.6	13.7
240	5.7	11	14.2
270	6	11	15.4
300	6	11	16

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ АЛЬТЕРНАТИВНОМ СПОСОБЕ ОБРАБОТКИ

Введём теоретический гидрофон, находящийся в центре используемой антенны. $U(t)$ и $D(t)$ – восходящее и нисходящее поля давлений в нём. Поля давлений в верхнем (OVER) и нижнем (UNDER) гидрофонах антенны в этом случае будут выглядеть следующим образом:

$$\text{OVER}(t) = U(t+dt) + D(t-dt)$$

$$\text{UNDER}(t) = U(t-dt) + D(t+dt),$$

где dt – половина расстояния между двумя гидрофонами во временном масштабе.

Приведённые выше выражения можно разложить в ряд Тейлора. При этом ограничим выражения до членов первого порядка. Например:

$$U(t+dt) = U(t) + U'(t)dt$$

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ АЛЬТЕРНАТИВНОМ СПОСОБЕ ОБРАБОТКИ

Подставим разложения в выражения для верхнего и нижнего гидрофонов:

$$\text{OVER}(t) = U(t) + U'(t)dt + D(t) - D'(t)dt$$

$$\text{UNDER}(t) = U(t) - U'(t)dt + D(t) + D'(t)dt,$$

Рассчитаем сумму (SUM) и разность (DIFF) получившихся трасс:

$$\text{SUM} = 2U(t) + 2D(t)$$

$$\text{DIFF} = -2U'(t)dt + 2D'(t)dt$$

При интегрировании разности по t получаем:

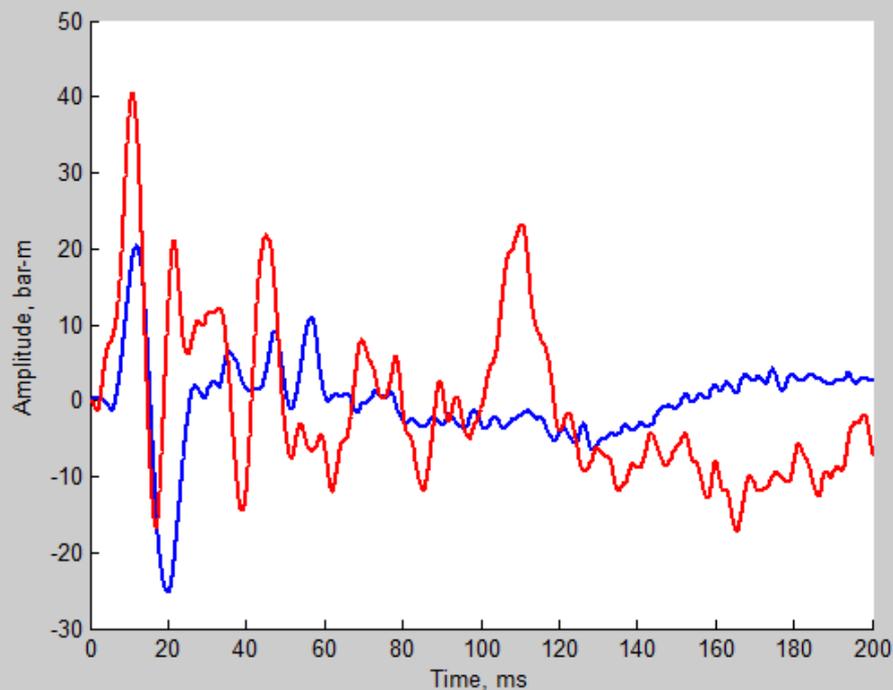
$$\text{INTDIFF} = -2U(t)dt + 2D(t)dt$$

Далее видно, что с помощью суммы и проинтегрированной разницы двух записей можно получить восходящее и нисходящее волновые поля:

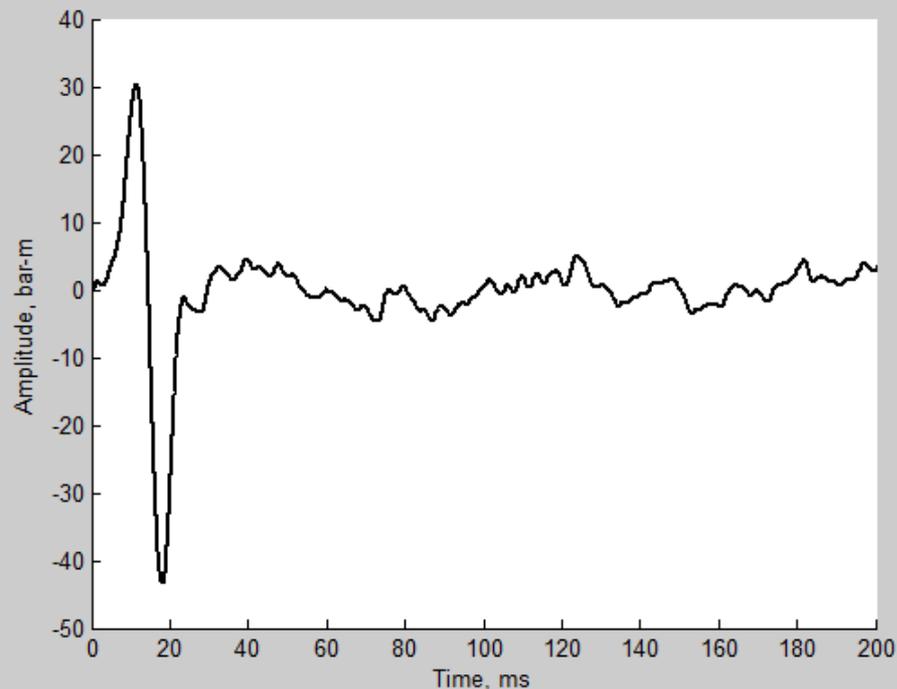
$$U(t) = (\text{SUM}(t) + (1/dt)\text{INTDIFF}(t))/4$$

$$D(t) = (\text{SUM}(t) - (1/dt)\text{INTDIFF}(t))/4$$

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ АЛЬТЕРНАТИВНОМ СПОСОБЕ ОБРАБОТКИ



Сигнал антенны из двух гидрофонов после обработки способом вычитания из суммотрассы интеграла разностной трассы (исходное соотношение сигнал/шум 11) для длины антенны 7.5 сантиметров (красный) и 7.5 метров (синий).



Сигнал антенны из двух гидрофонов после обработки способом вычитания из суммотрассы интеграла разностной трассы (исходное соотношение сигнал/шум 11) для длины антенны 3.75 метров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ АЛЬТЕРНАТИВНОМ СПОСОБЕ ОБРАБОТКИ

Размер антенны (см)	Соотношение сигнал/шум в результате применения антенны		
	При исходном соотношении S/N=6	При исходном соотношении S/N=11	При исходном соотношении S/N=16
7.5	1	1	1.2
30	1.1	1.2	1.3
60	1.2	1.9	1.7
90	1.5	2.4	2.4
120	2.3	3.0	2.8
150	2.4	3.2	3.1
180	2.6	3.3	4
240	2.8	4	6.2
300	3.2	5.7	6.5
360	3.6	6.1	9.8
420	3.8	6.9	10.3
540	4.4	8.7	12.3
600	4.6	8.8	13.1
720	4.8	9	14
750	5.9	9	15

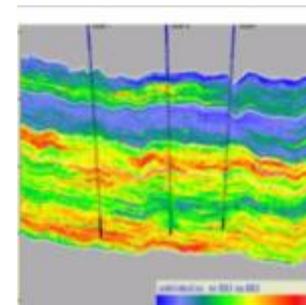
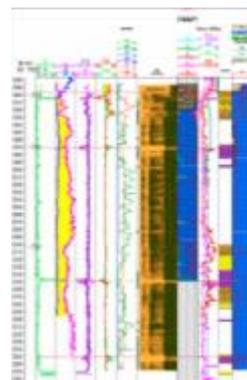
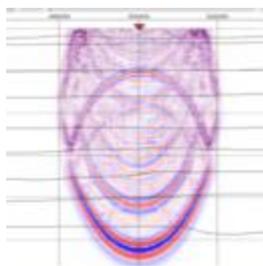
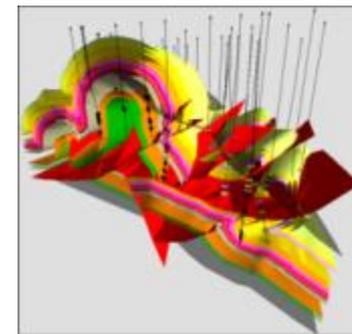
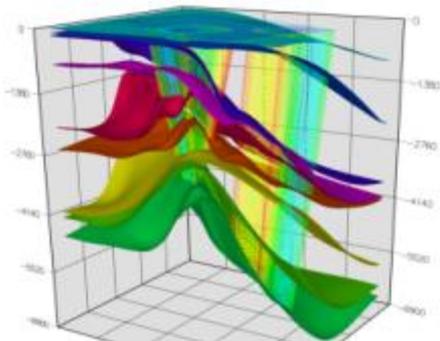
ВЫВОДЫ

- Из проведённого исследования можно сделать вывод, что при изменении размера антенны изменяются два основных параметра: её диаграмма направленности (или полоса частот, для которой диаграмма направленности является кардиоидной) и соотношение сигнал/шум результирующих данных.
- Для каждой конкретной частоты существует некая максимальная длина антенны, при превышении которой диаграмма направленности перестаёт быть кардиоидной. При уменьшении же размера антенны уменьшается её помехоустойчивость и, соответственно, чем меньше антенна – тем меньше соотношение сигнал/шум в результате её применения.

ВЫВОДЫ

- Таким образом, результаты показывают, что антенну из двух гидрофонов нецелесообразно использовать в транзитной зоне или на предельном мелководье в виде донных станций в присутствии течений, так как антенны большой высоты будут подвержены влиянию движения воды, что создаст дополнительные шумы.
- В то же время приведённые расчёты могут быть использованы при создании любых систем регистрации, предполагающих запись данных на разных уровнях с целью подавления кратных волн, при этом рассмотрены два способа анализа записей, полученных подобными конфигурациями.
- Несмотря то, что получившиеся в результате данного исследования размеры антенн слишком велики, в дальнейшем возможно рассмотрение систем из большего числа гидрофонов, а также численный анализ возможности данной конфигурации при работе с более высокочастотными источниками колебаний (например, спаркером).

Спасибо за внимание!



Москва, Сокольнический Вал 2А стр.2 .

tel: +7 (495) 933-09-49;

lngs@largeo.com

info@largeo.com

www.largeo.com