

**XXIV научная конференции по радиофизике,
посвященная 75-летию радиофизического факультета**

**Разработка послойного алгоритма оценки
геофизических параметров донных слоев с помощью
когерентных сейсмоакустических импульсов
методами стохастического моделирования**

В.И. Калинина²⁾, А.И. Хилько^{1,2)}, И.П. Смирнов²⁾, А.И. Малеханов^{1,2)}

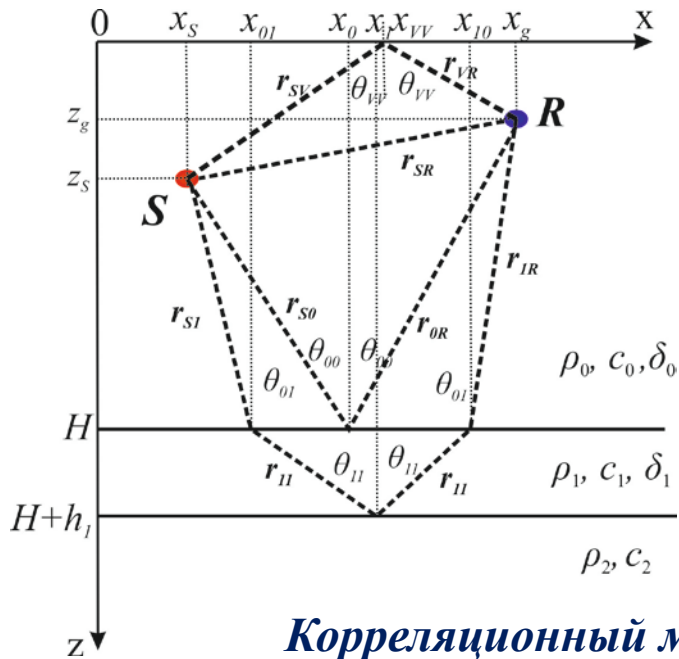
1) ННГУ им. Н.И. Лобачевского

2) Институт прикладной физики РАН



Нижний Новгород, Радиофизический факультет, 2020 г.

Модель сигналов и метод обработки



Вектор оцениваемых параметров $\mathbf{p} = \{\rho_i, h_i, c_i\}, i = 1 \dots N$

Спектральные амплитуды отраженных от поверхности дна и границ донных слоев сигналов на частоте ω в точке приема \mathbf{r}_R (в геометроакустическом приближении)

$$g^{(0)}(\omega, \mathbf{r}_R) = \hat{V}_{01}(\theta_{00}) \frac{\exp[-(\delta_0(\omega) + ik_0(\omega))(r_{S0} + r_{R0})]}{r_{S0} + r_{R0}},$$

$$g^{(1)}(\omega, \mathbf{r}_R) = \hat{V}_{12}(\theta_{11}) \hat{W}_{01}(\theta_{01}) \hat{W}_{10}(\theta_{10}) \frac{\exp[-\Delta_1(\omega) - i\varphi_1(\omega)]}{r_{S1} + r_{R1} + 2r_{11}},$$

$\hat{V}_{mn}, \hat{W}_{mn}$ — коэффициенты Френеля.

Корреляционный метод обработки сигналов — AMUSIC*

$$W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi) \rightarrow \min_{\phi \rightarrow \phi_{\text{истинное}}}$$

$$W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi) = [\mathbf{e}^+(\phi, \varepsilon) \hat{\Pi}_n \mathbf{e}(\phi, \varepsilon)]^{-1}$$

\mathbf{e} - направляющий сигнальный вектор на гидрофонах $\mathbf{r}_R(k), k = 1 \dots N_a$ приемной антенны, который формируется в модели из истинных спектральных амплитуд принятого на каждый гидрофон сигнала, рассчитанного по модели отражения когерентного СА сигнала от слоистого дна

$\hat{\Psi}_n = [\hat{\psi}_{J+1}, \dots, \hat{\psi}_N]$ - матрица, сформированная из собственных векторов шумового подпространства,

$\hat{\Pi}_n \equiv \hat{\Psi}_n \hat{\Psi}_n^+$ - проекционная матрица, ε - управляемый параметр процессора

*Сазонтов А.Г., Смирнов И.П., Матвеев А.Л. Локализация источника в мелководном канале с взволнованной поверхностью // Акустический журнал. 2015. Т. 61, № 1. С. 114-122

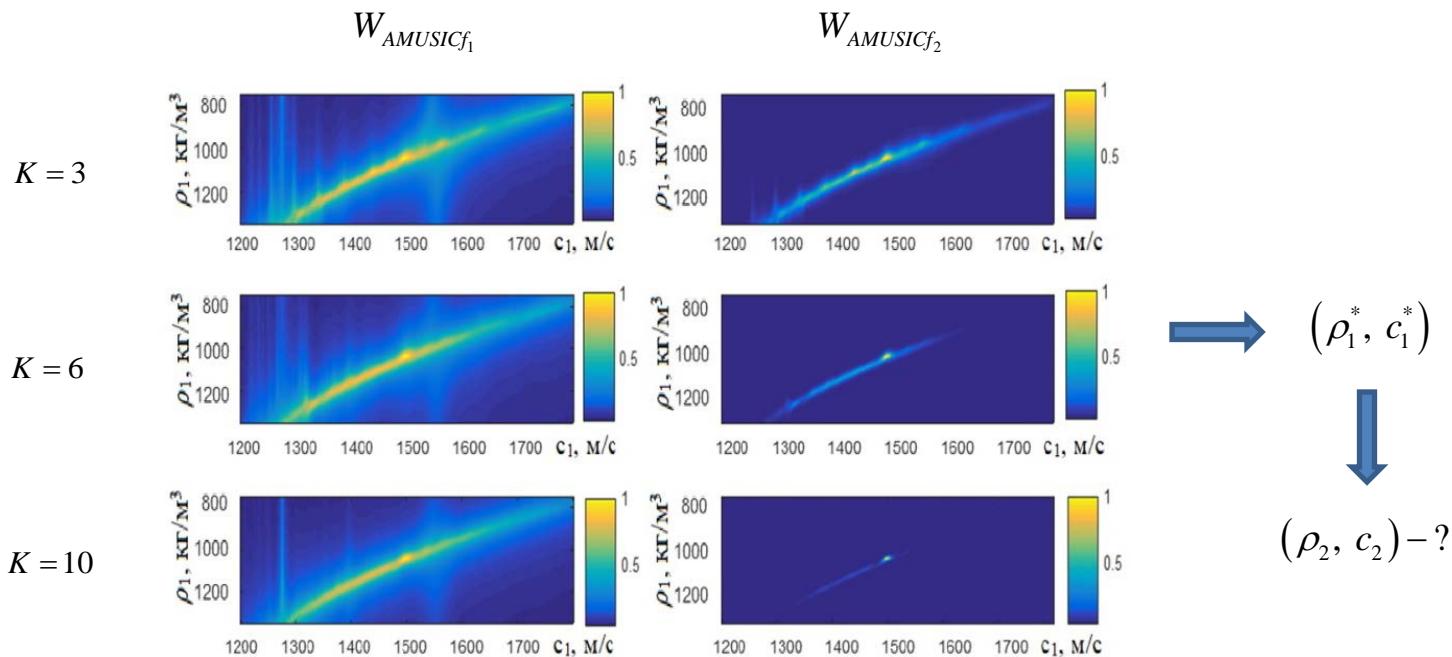
Использование послойного итерационного метода и обобщенных проекционных процессоров для оценок параметров дна

Обобщенные параметрические процессоры:

$$W_{AMUSICf_1}(\varepsilon, \phi, K) = \sum_{k=1}^K W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi, \omega_k),$$

K - количество отрезков, на которое разбивается весь интервал излучения сигнала (рассматривается излучаемый сигнал с широкой полосой, например, ЛЧМ-сигнал)

$$W_{AMUSICf_2}(\varepsilon, \phi, K) = \prod_{k=1}^K W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi, \omega_k),$$



Распределения мощностей обобщенных процессоров

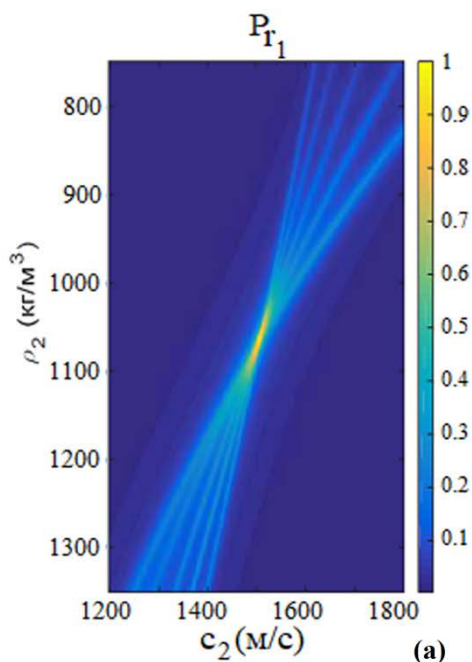
Использование послойного итерационного метода и обобщенных проекционных процессоров для оценок параметров дна

Обобщенный адаптивный процессор $W_{AMUSICr}$, который строится на одной частоте, но на разных удалениях приемной системы от излучателя

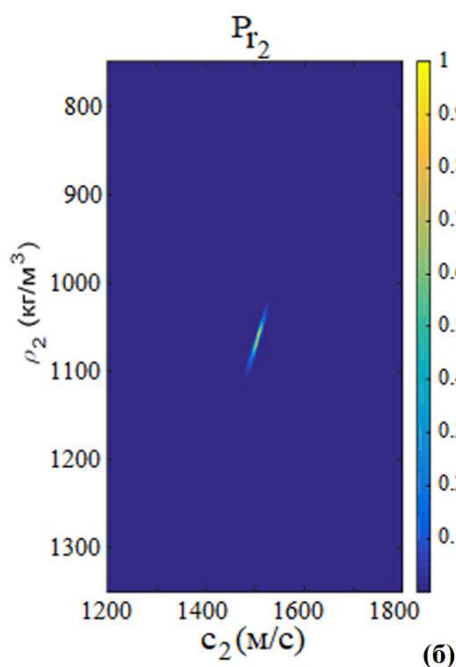
$$W_{AMUSICr_1}(\varepsilon, \phi, K) = \sum_{k=1}^K W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi, r_{Rk}),$$

$$W_{AMUSICr_2}(\varepsilon, \phi, K) = \prod_{k=1}^K W_{AMUSIC}(\varepsilon, \phi, r_{Rk}).$$

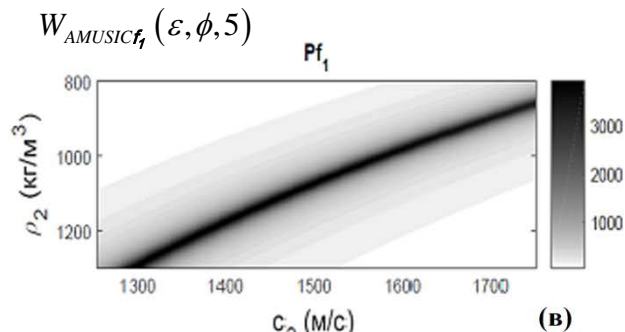
$$W_{AMUSICr_1}(\varepsilon, \phi, 5)$$



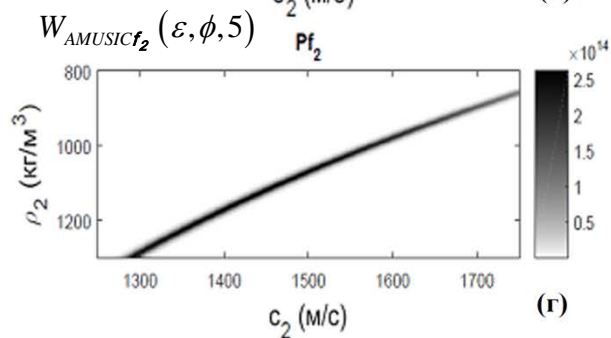
$$W_{AMUSICr_2}(\varepsilon, \phi, 5)$$



$$W_{AMUSICf_1}(\varepsilon, \phi, 5)$$



$$W_{AMUSICf_2}(\varepsilon, \phi, 5)$$



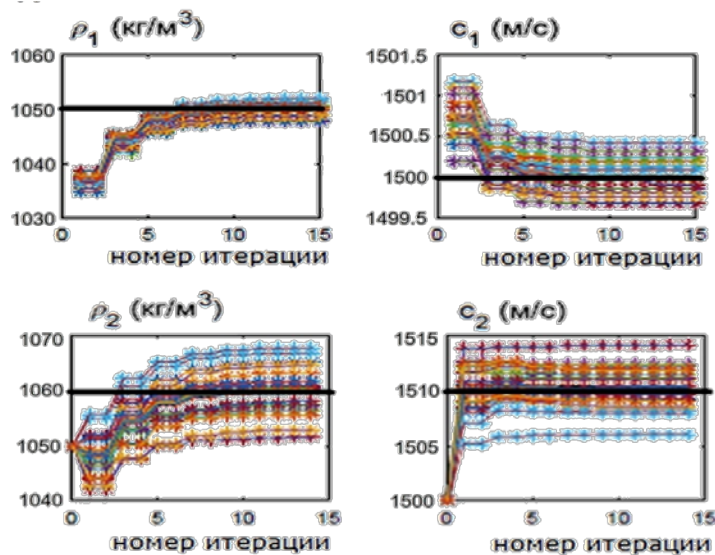
Распределения выходных мощностей обобщенных пространственных (а, б) и частотных (в, г) процессоров AMUSIC

Пример использования послойного итерационного алгоритма и скорости его сходимости к истинным значениям при реконструкции параметров дна, состоящего из жидкого слоя, лежащего на жидком полупространстве

Волновод								
c_V (м/с)	ρ_V (кг/м ³)	H (м)	c_0 (м/с)	ρ_0 (кг/м ³)	δ_0			
330	1.29	100	1465	1030	0			
Дно								
h_1 (м)	h_2 (м)	c_1 (м/с)	c_2 (м/с)	ρ_1 (кг/м ³)	ρ_2 (кг/м ³)	δ_1	δ_2	
20	∞	1500	1510	1050	1060	0	0	
Система								
f (Гц)	r_S (м)	z_S (м)	N_a	α_g	l_g (м)	r_g (л) (м)	z_g (л) (м)	s
$500 \div 1000$	0	10	20	0	1	$100 \div 300$	45	$10^{-1} \div 10$

начальное приближение 1: $\rho_2^{(0)} = 1050 \text{ кг/м}^3$, $c_2^{(0)} = 1500 \text{ м/с}$

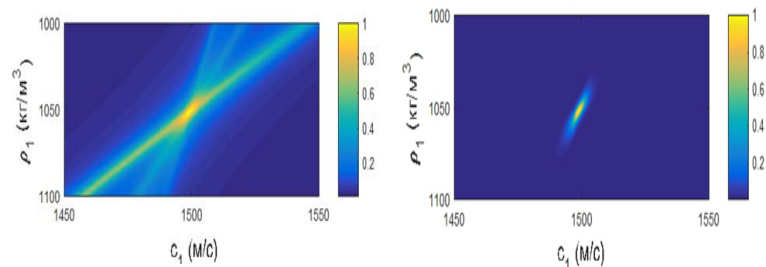
$C / \text{Ш} = 10 \text{ дБ}$



Усредненные на крайней итерации оценки параметров:

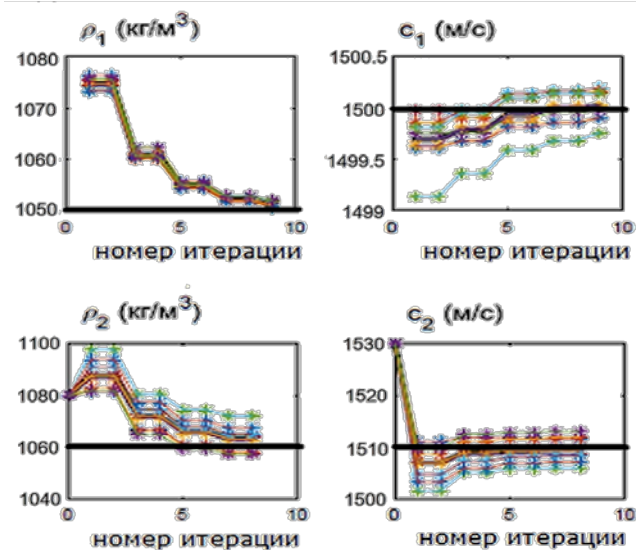
$$\begin{matrix} \langle \rho_1^{(15)} \rangle & \langle c_1^{(15)} \rangle & \langle \rho_2^{(14)} \rangle & \langle c_2^{(14)} \rangle \\ 1050.06 & 1499.99 & 1059.96 & 1510.24 \end{matrix}$$

Распределение мощностей процессоров AMUSIC
 $P_r(\varepsilon, \varphi)$ в плоскости (ρ_1, c_1) , $C / \text{Ш} = 25 \text{ дБ}$



начальное приближение 2: $\rho_2^{(0)} = 1080 \text{ кг/м}^3$, $c_2^{(0)} = 1530 \text{ м/с}$

$C / \text{Ш} = 10 \text{ дБ}$



Усредненные на крайней итерации оценки параметров:

$$\begin{matrix} \langle \rho_1^{(9)} \rangle & \langle c_1^{(9)} \rangle & \langle \rho_2^{(8)} \rangle & \langle c_2^{(8)} \rangle \\ 1051.04 & 1500.02 & 1063.26 & 1509.46 \end{matrix}$$

Выводы

Предложен послойный итерационный алгоритм поиска решения обратной задачи по оцениванию параметров донных слоев. Показано, что использование взаимосвязи параметров отдельных донных слоев позволило сузить интервалы поиска решения в многомерном пространстве параметров.

На примере алгоритма восстановления параметров двух донных слоев установлено, что итерационные последовательности для всех донных параметров сходятся с высокой вероятностью, однако скорость сходимости различна для различных параметров и определяется, в основном, выбором начального приближения для параметров второго слоя, которое определяется априорной информацией.

Точность определения параметров второго (последующего) слоя зависит от точности определения параметров первого (предыдущего) слоя и в общем случае понижается с ростом номера слоя и ошибки оценивания при восстановлении более глубоких слоев накапливаться. То есть, начиная с некоторых глубин, при заданной мощности акустического источника наблюдение станет не возможным.

Предложен итерационный метод получения оценок параметров слоистого дна с использованием целевой функции в виде процессора AMUSIC и его адаптивных обобщений. В численных экспериментах установлено, что распределение мощности процессора имеет овражную форму и характеризуется набором локальных максимумов, включающих истинные значения параметров верхнего слоя.