

Анализ обратных задач акустического зондирования

(по материалам диссертации на соискание уч. ст. к.ф.-м.н.)

Андрей Сущенко^{1,2}

¹ Департамент математического и компьютерного моделирования
Дальневосточный федеральный университет

² Институт прикладной математики ДВО РАН



Работа выполнена при финансовой поддержке Дальневосточного центра математических исследований

О СЕБЕ



› Работа:

- Директор и доцент департамента математического и компьютерного моделирования ДВФУ
- Рук. ОП «Прикладная математика и информатика – Системное программирование»
- М.н.с. ИПМ ДВО РАН
- Председатель СМУ ДВО РАН

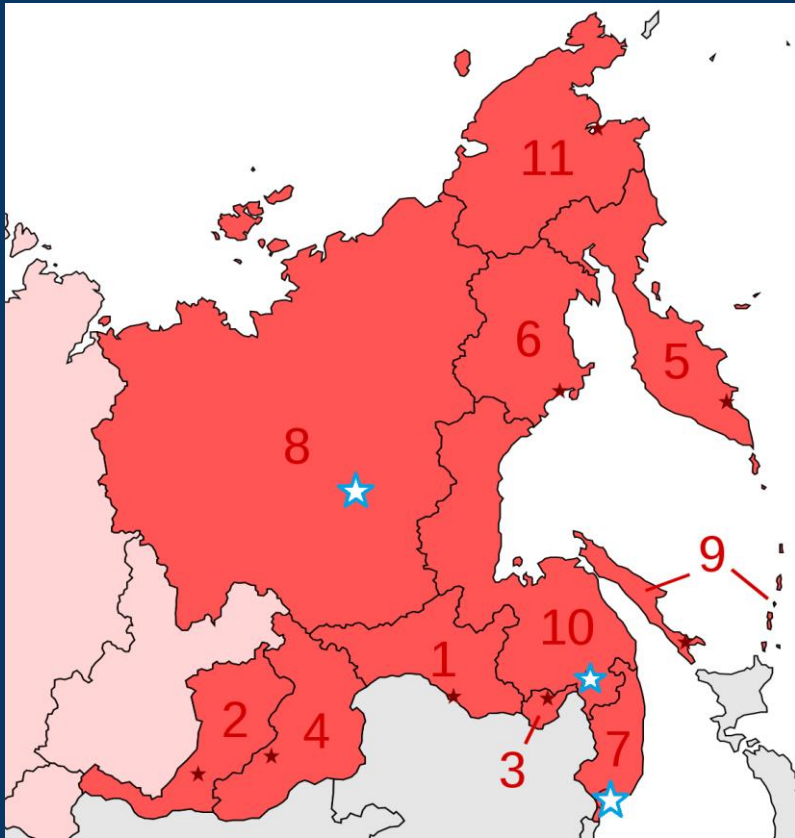
› Публикации:

WoS	SCOPUS	РИНЦ	ПО ЭВМ
20	29	99	40

› Гранты:

- Грант Миноборнауки РФ и DAAD "Применение математического моделирования в задачах сложного теплообмена" (2014, 2018)
- Стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики "Разработка облачного сервиса для обработки гидроакустических изображений" (2016-2021).
- Грант РФФИ «Исследование задач акустической томографии океана методами теории переноса излучения»

О ДЦМИ



Консорциум:

Владивосток (ДВФУ),

Хабаровск (ТОГУ),

Якутск (СВФУ).

Основные направления деятельности:

- › Алгебра и геометрическая теория функций. Геометрия и топология.
- › Дифференциальные уравнения. Краевые задачи для нелинейных параболических уравнений
- › Современные технологии анализа, моделирования и принятия решений. Игры среднего поля, управляемые случайные процессы.
- › Прикладной анализ и вариационные неравенства. Вариационные и квазивариационные задачи механики сплошных сред
- › Численный анализ и научные вычисления

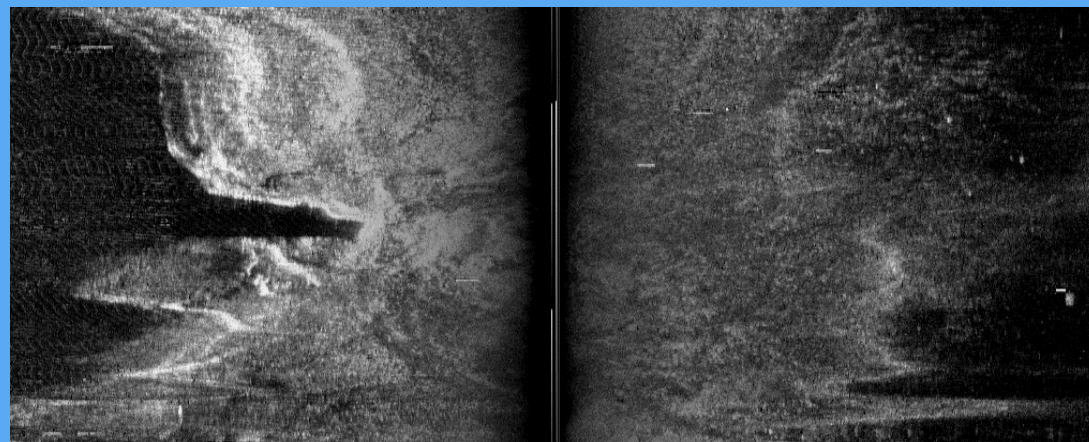
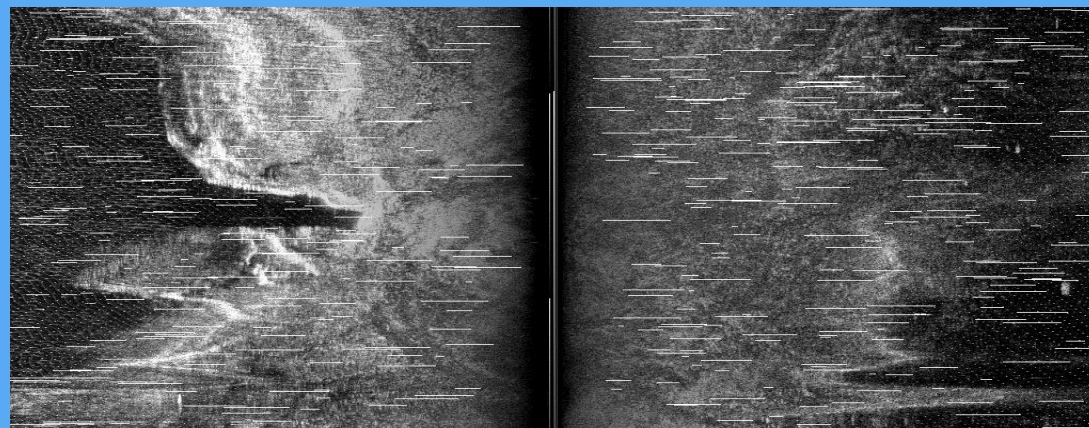
Научно-образовательные мероприятия:

- › Организация всероссийских и международных конференций (СТАМ-2022)
- › Олимпиады школьников
- › Конференции молодых ученых
- › Повышения квалификации учителей, преподавателей математических дисциплин

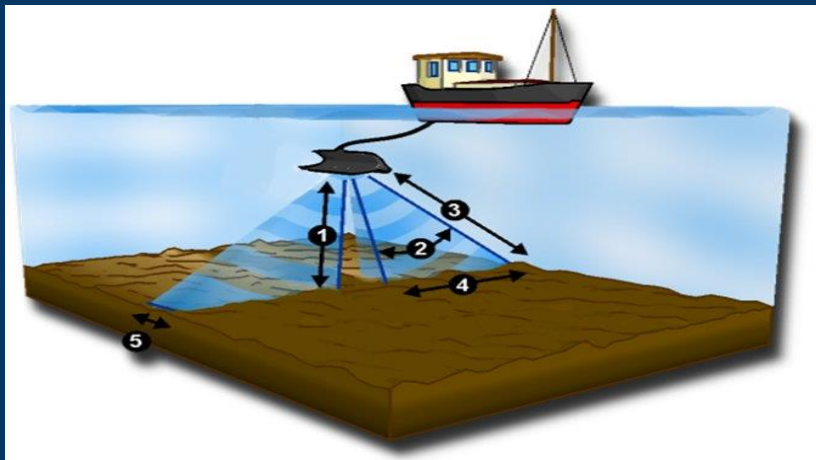


ПЕРВЫЕ ШАГИ

Совместное исследование
ИПМ ДВО РАН и
Института проблем
морских технологий ДВО
РАН



АКТУАЛЬНОСТЬ



1. Средняя глубина
2. Угол ширины диаграммы направленности под аппаратом
3. Наклонная дальность
4. Дальность зондирования
5. Ширина диаграммы направленности антенны «по левому», «правому» борту

› Главная цель задач **акустической томографии** - *определение количественных характеристик неоднородности структуры на основании измерений обратно рассеянного поля.*

Улучшение качества гидроакустических изображений

› Траекторные нестабильности

[1] Агеев А.Л. и др. Синтезирование апертуры многоканального гидролокатора бокового обзора с компенсацией траекторных нестабильностей // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2013. Т. 5. С. 496–500.

[2] Андросов В.В. и др. Алгоритмы автофокусировки радиоизображений в условиях динамических траекторных нестабильностей // Цифровая обработка сигналов. 2012. № 1. С. 64–70.

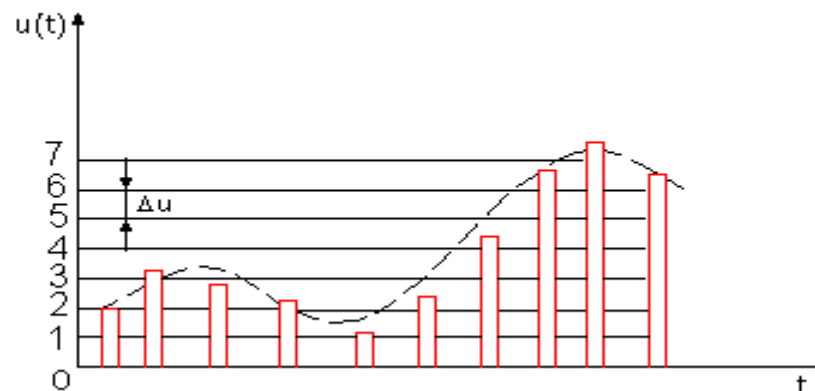
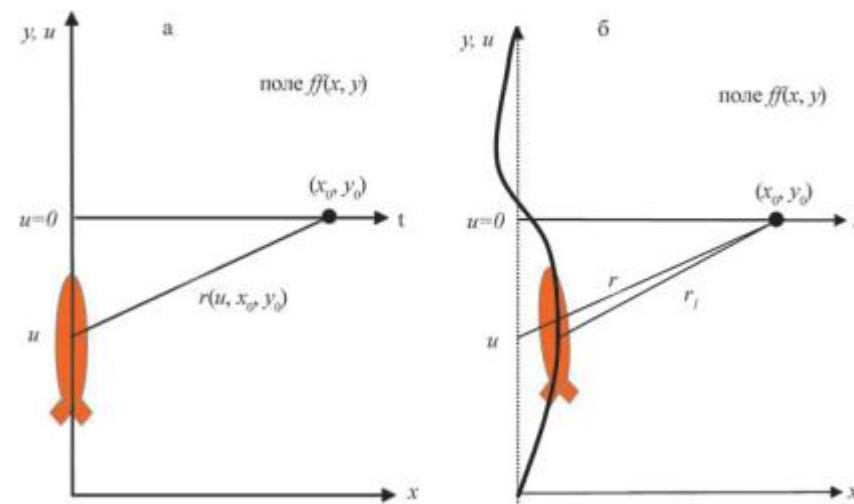
[3] Callow H.J. et al. Autofocus for circular synthetic aperture imaging // Proc. Inst. Acoust. 2010. Vol. 32. P. 31–36.

› Потери сигнала

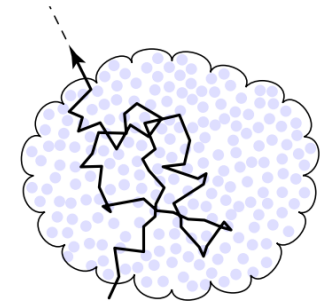
[4] Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи // УФН. 2006. Т. 176. С. 762–770.

[5] Хургин Я.И., Яковлев В.П. Методы теории целых функций в радиофизике, теории связи и оптике. М. : Едиториал УРСС, 2020. 224 с.

[6] Айзенберг Л.А. Формулы Карлемана в комплексном анализе. Новосибирск: Наука, 1990. 246 с



Объемное рассеяния в океане



[1] Андреева И.Б., Тарасов Л.Л. Акустические свойства морских организмов, образующих звукорассеивающие слои океана // Акуст. журн. 2003. Т. 49. С. 318–324.

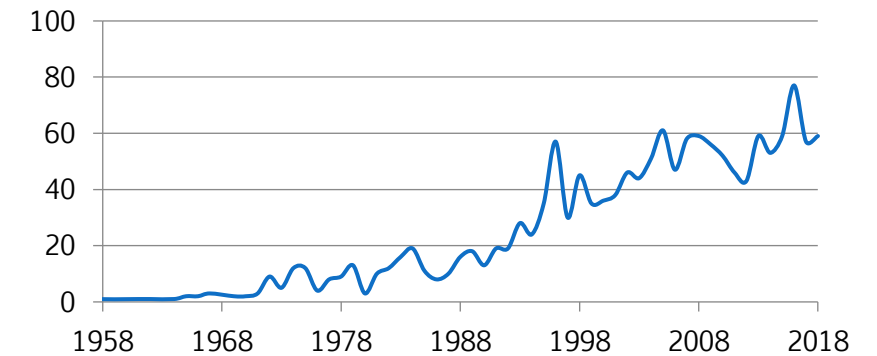
[2] Андреева И.Б., Белоусов А.В. О допустимости использования приближения однократного рассеяния акустических волн в задачах о скоплениях гидробионтов // Акустич. журн. 1996. Т. 42. С. 560–562.

[3] Hosseini S.H., Akbarinasab M., Khalilabadi M.R. Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman sea // J. Earth and Space Phys. 2018. Vol. 44. P. 215–225.

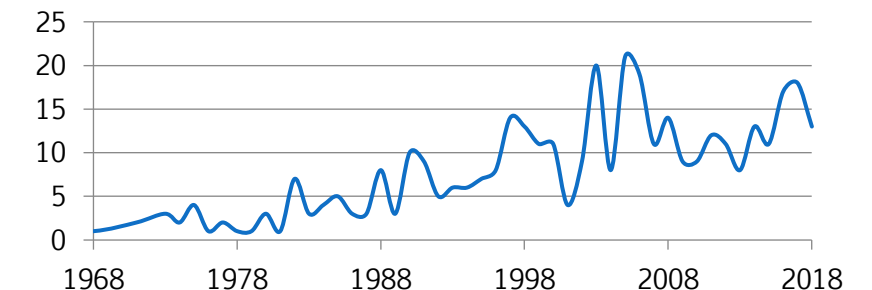
[4] Stanton T.K. Volume scattering: Echo peak PDF // J. Acoustical Society of America. 1985. Vol. 77. P. 762–770.

[5] Poulin C, et al. Diel variations of the attenuation, backscattering and absorption coefficients of four phytoplankton species and comparison with spherical, coated spherical and hexahedral particle optical models // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2018. Vol. 217. P. 288–304.

volume scattering and acoustic



radiation or radiative and transfer equation and ocean

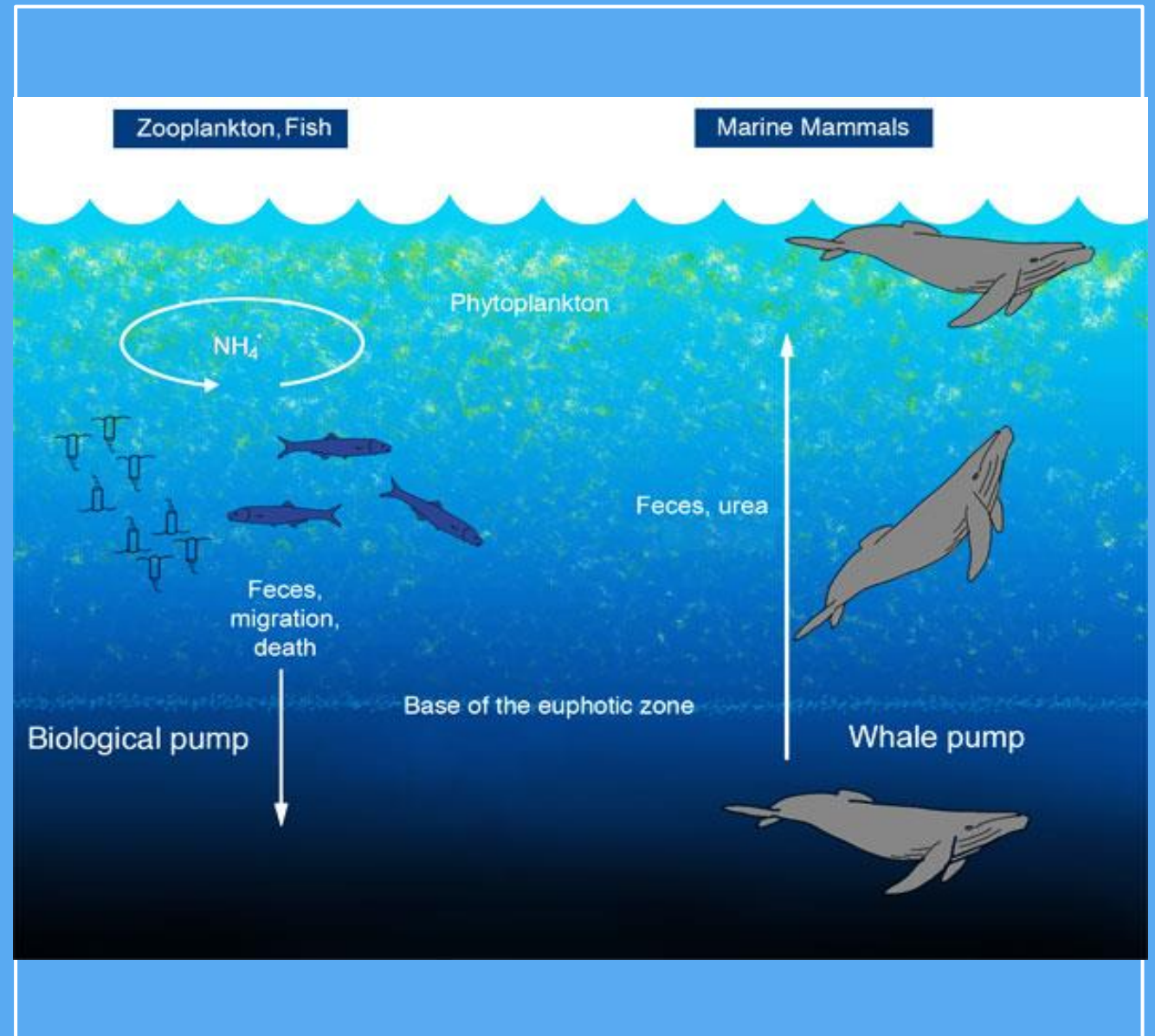


ИСТОЧНИКИ ОБЪЕМНОГО РАССЕЯНИЯ

Рыбы и планктон

Воздушные пузырьки –
разрушение ветровых волн

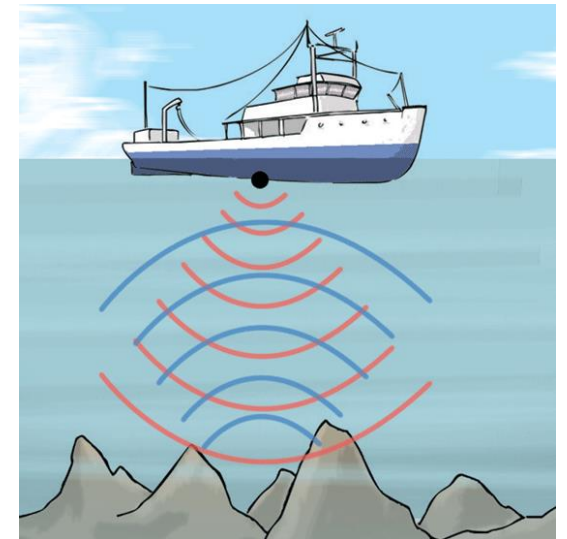
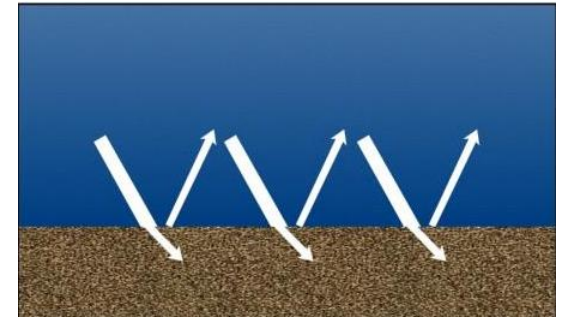
Придонные взвеси



Задачи акустической томографии

- › Задача восстановления коэффициента донного рассеяния

- › Задача батиметрии
 - [1] Казанский Б.А. Батиметрический анализ Тихого океана по цифровым данным ETOPO 2 // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25. С. 115–123.
 - [2] Завьялов В.В., Ключева С.Ф., Лабюк Ф.И. Анализ статистической структуры поля глубин для целей батиметрической навигации // Транспортное дело России. 2015. С. 227–230.
 - [3] Аншаков Г.П. и др. Моделирование решения задач батиметрии водоемов самарской области средствами дистанционного зондирования Земли // Вестник Самарского гос. аэрокосмич. ун-та. 2013. Т. 42. С. 49–58.



Кинетическая модель

➤ Риманова метрика:

- [1] Деревцов, Е.Ю. Численное решение задачи рефракционной томографии в цилиндрической области // Сиб. журн. индустр. математики. - 2015. - Т. 18, № 2. С. 99–110.

➤ Условия непрерывной склейки решения:

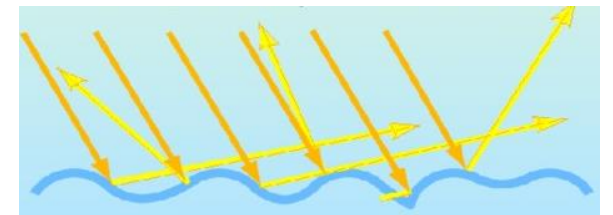
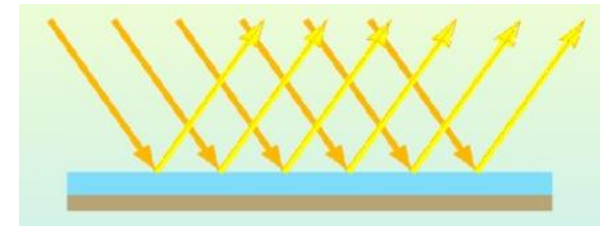
- [2] Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.
- [3] Черчиньяни К. Теория и приложения уравнения Больцмана. М. : Мир, 1978. 496 с.

➤ Френелевские условия сопряжения

- [4] Amosov, A.A. Boundary value problem for the radiation transfer equation with reflection and refraction conditions // J. Math. Sci. - 2013.- т. 191, № 2. - с. 101–149.
- [5] Amosov, A. Boundary value problem for radiation transfer equation in multilayered medium with reflection and refraction conditions / A. Amosov, M. Shumarov // Applicable Analysis. - 2016. - Vol. 95, № 7. - Pp. 1581-1597.

➤ Диффузные условия сопряжения:

- [6] Amosov, A.A. Boundary value problem for the radiation transfer equation with diffuse Reflection and Refraction Conditions // J. Math. Sci. - 2013. - т. 193, № 2. - С. 151--176.



Алгоритмы обработки сигнала с ГБО

› ВАРУ:

[1] Агафонов, И.Б. Подготовка гидролокационной информации для ее распознавания на борту АНПА/ И.Б. Агафонов, В.В. Золотарёв, Е.А. Мадисон // Технические проблемы освоения Мирового океана. - 2013. - Т.5. -с. 501- 504.

› EdgeTech Discover

[2] Edgetech sonar data file format // Edgetech Document No. 990-0000048-1000
Revision: 1.7 / Nov 2006



EdgeTech

The Leader in Underwater Technology

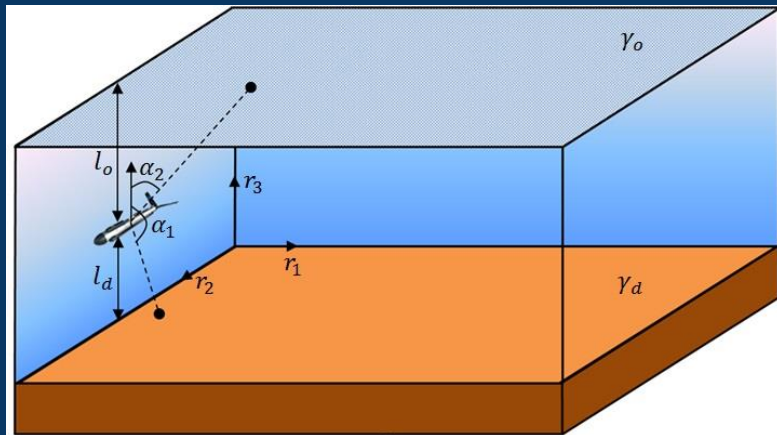


В СУХОМ ОСТАТКЕ

- › Существует запрос на разработку новых методов решения задач акустической томографии:
 - В задаче реконструкции морского дна необходимы новые математические модели
 - В задаче батиметрии остается актуальным исследование ее как задачи дистанционного зондирования с использованием ГБО
 - В задаче акустической томографии океана остаются открытыми вопросы о корректной разрешимости

ЗАДАЧИ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ

$$\gamma_a(t) = \{\mathbf{r} + t\mathbf{V}, \mathbf{r} \in \gamma_a(0)\}, \quad \mathbf{V} = (0, V, 0), \quad V = |\mathbf{V}| = \text{const},$$

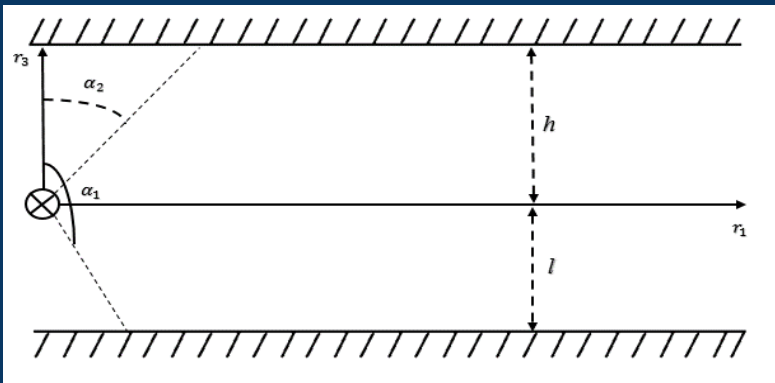


- › Задача реконструкции морского дна

$$G = \{\mathbf{r} \in \mathbb{R}^3 : -l < r_3 < h\}$$

$$\partial G = \gamma_d \cup \gamma_0$$

$$\gamma_d = \{\mathbf{r} \in \mathbb{R}^3 : r_3 = -l\}, \gamma_0 = \{\mathbf{r} \in \mathbb{R}^3 : r_3 = h\}.$$



- › Задача батиметрии

$$\partial G = \gamma := \{\mathbf{y} \in \mathbb{R}^3 : y_3 = -l + u(r_1, r_2)\}$$

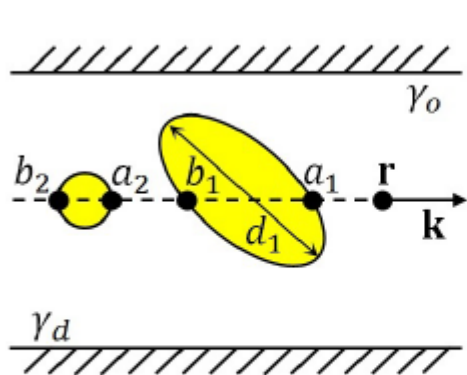
Задача реконструкции морского дна

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I}{\partial t} + \mathbf{k} \cdot \nabla I + \mu I(\mathbf{r}, \mathbf{k}, t) = \sigma \int_{\Omega} I(\mathbf{r}, \mathbf{k}', t) d\mathbf{k}' + J(\mathbf{r}, \mathbf{k}, t), \quad (1)$$

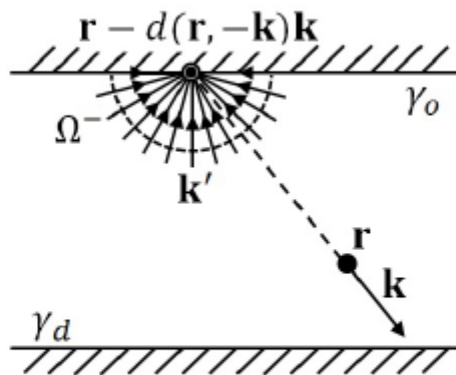
Начальные условия: $I|_{t < 0} = 0. \quad (2)$

Граничные условия: $I|_{\Gamma^-}(\mathbf{r}, \mathbf{k}, t) = \frac{\sigma_d(\mathbf{r})}{\pi} \int_{\Omega_+} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}') I|_{\Gamma^+}(\mathbf{r}, \mathbf{k}', t) d\mathbf{k}' \quad (3)$

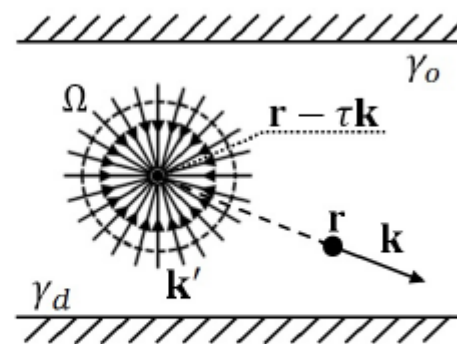
$$I|_{\Gamma^-}(\mathbf{r}, \mathbf{k}, t) = \frac{\sigma_d(\mathbf{r})}{\pi} \int_{\Omega_+} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}') I|_{\Gamma^+}(\mathbf{r}, \mathbf{k}', t) d\mathbf{k}' \quad (4)$$



Источники
(I)



Диффузное рассеяние
(II), (III)



Объемное рассеяние
(IV)

Допущения

Дополнительные условия:

$$\int_{\Omega} S^{\pm}(\mathbf{k}) I|_{\Gamma^+}(\mathbf{V}t, \mathbf{k}, t) d\mathbf{k} = I^{\pm}(t) \quad (5)$$

Источник:

$$J(\mathbf{r}, \mathbf{k}, t) = \delta(\mathbf{r} - \mathbf{V}t) \sum_{i=0}^m J_i \delta(t - t_i)$$

Малость величин:

$$\frac{V^2}{c^2} \ll 1$$

$$\exp(\mu c(t_{i+1} - t_i)) \ll 1$$

$$\frac{\sigma^2}{\mu^2} \ll 1; \sigma_d^2 \ll 1; \sigma_o^2 \ll 1$$

Диаграмма направленности приемной антенны:

$$S^{\pm} = \chi_{[0,1]}(\mp k_1) \frac{\chi_{[-\epsilon, \epsilon]}(k_2)}{2\beta} \chi_{[\cos(\alpha_1), \cos(\alpha_2)]}(k_3)$$

$$\epsilon = \sin(\beta) \sqrt{1 - k_3^2} \text{ и}$$

$$\chi_{[a,b]}(x) = \begin{cases} 1, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Обратная задача

$$S^\pm(\mathbf{k}) = \chi_{[0,1]}(\mp k_1) \delta(k_2) \chi_{[\cos(\alpha_1), \cos(\alpha_2)]}(k_3)$$

$$\sigma_d(\pm y_1, y_{2,i}) = \frac{8\pi}{cl} l_i^3 |y_1| I_i^\pm(y_1) \exp(2\mu l_i) - \frac{\sigma}{l} |y_1| l_i A(\alpha_1, \alpha_2, l, l_j, h) - \chi_{[0,1]}\left(\frac{h}{l_i}\right) \sigma_o \frac{h|y_1|}{l \sqrt{l_i^2 - h^2}},$$

где $y_1 = \sqrt{l_i^2 - l^2}$ и $y_{2,i} = V t_i$,

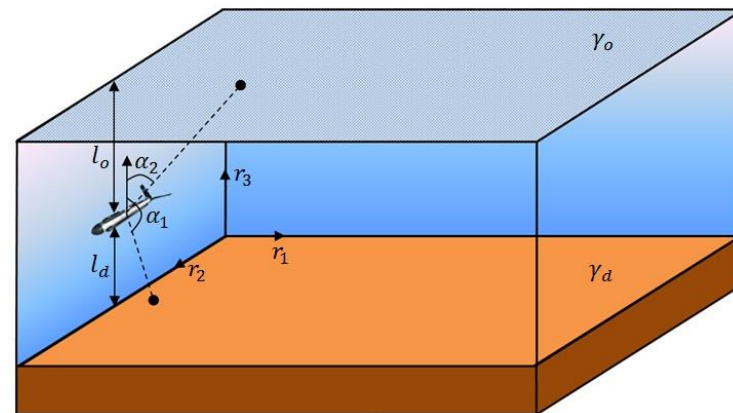
$$A(\alpha_1, \alpha_2, l, l_j, h) = \begin{cases} \alpha_1 - \alpha_2, & \text{если } -l \leq l_j \cos \alpha_1 \wedge h \geq l_j \cos \alpha_2 \\ -\alpha_2 + \arccos \alpha_1 \left(-\frac{l}{l_j}\right), & \text{если } -l > l_j \cos \alpha_1 \wedge h \geq l_j \cos \alpha_2 \\ \alpha_1 - \arccos \left(\frac{h}{l_j}\right), & \text{если } -l \leq l_j \cos \alpha_1 \wedge h < l_j \cos \alpha_2 \\ \arccos \left(-\frac{l}{l_j}\right) - \arccos \left(\frac{h}{l_j}\right), & \text{если } -l > l_j \cos \alpha_1 \wedge h \geq l_j \cos \alpha_2 \end{cases}$$



[1] Зиньков С.Ю., Сущенко А.А., Сущенко К.В. Анализ влияния поверхностного и объемного рассеяния в задаче гидролокации морского дна // СЭМИ, т. 15 (2018), стр. 1361-1377.

Вычислительный эксперимент

Параметры эхолокации



μ	σ	σ_o	$t_{i+1} - t_i$	c	I_{tr}	l	h	α_1	α_2
0.018	0.0018	0.01	0.4	1500	1	12	12	150	90

$$\sigma_d(\mathbf{y}) = \begin{cases} 0.3, & \text{если } \sqrt{(y_1 - 100)^2 + (y_2 - 25)^2} < 5, \\ 0.2, & \text{если } \sqrt{(y_1 - 200)^2 + (y_2 - 25)^2} < 10, \\ 0.1, & \text{иначе.} \end{cases}$$



ЭКСПЕРИМЕНТ 1

Цель эксперимента:
исследовать влияние
фильтрации поверхностного и
объемного рассеяние на
качество восстановления
гидроакустического
изображения

Определение коэффициента донного рассеяния при $\beta = 1^\circ$



Точное решение



Без учета фильтрации объемного и поверхностного рассеяния



Без учета фильтрации поверхностного рассеяния



С учетом фильтрации объемного и поверхностного рассеяния

ЭКСПЕРИМЕНТ 2

Цель эксперимента:

исследовать влияние ширины диаграммы направленности приемной антенны на качество восстановления гидроакустического изображения

Определение коэффициента донного рассеяния при различной ширине диаграммы направленности β



Точное решение



$\beta = 1^\circ$



$\beta = 2^\circ$



$\beta = 4^\circ$

ЭКСПЕРИМЕНТ 3

Цель эксперимента:
исследовать влияние
расположения аппараты в
толще воды на качество
восстанавливаемого
гидроакустического
изображения

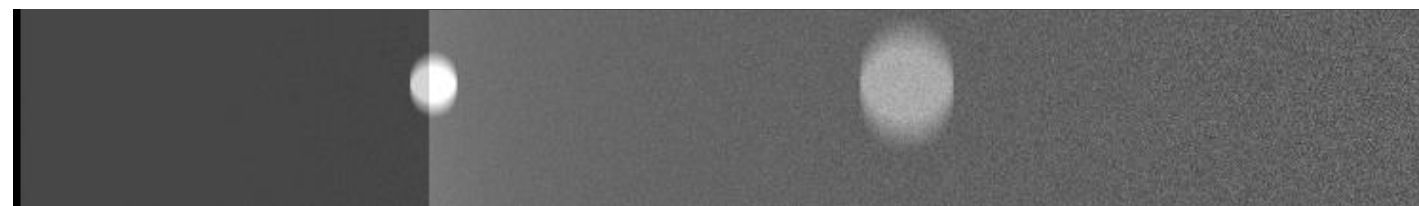
Определение коэффициента донного рассеяния при
различной высоте зондирования h без учета фильтрации
поверхностного рассеяния



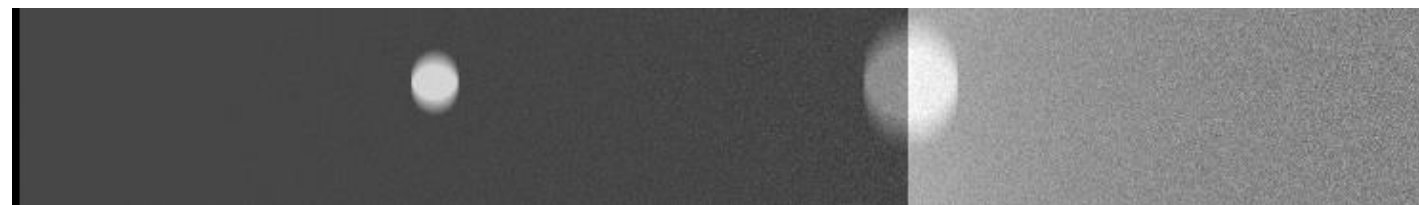
Точное решение



$h = 24$ м



$h = 86.6$ м



$h = 173.2$ м

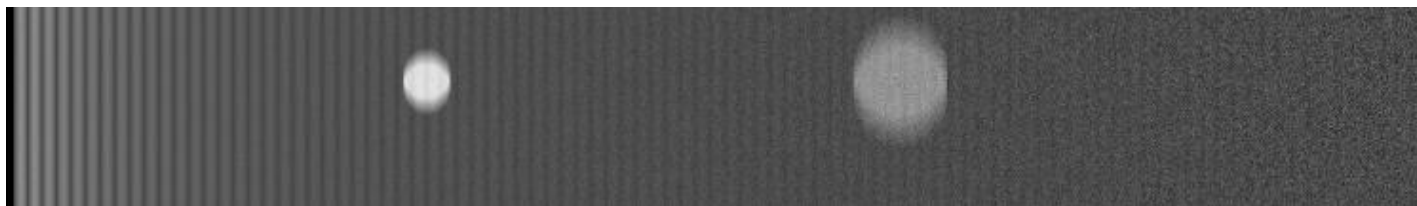
ЭКСПЕРИМЕНТ 4

Цель эксперимента:
исследовать влияние
поверхностного шума на
качество восстановления
коэффициента донного
рассеяния

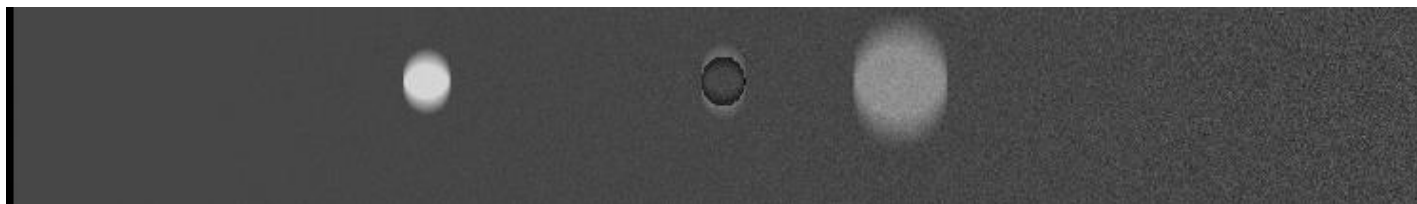
Определение коэффициента донного рассеяния при
различном коэффициенте поверхностного рассеяния



Точное решение



Определение КДР с учетом ширины диаграммы направленности
приемной антенны $\beta = 1^\circ$ с учетом фильтрации объемного и
поверхностного рассеяния $\sigma_o = \frac{\sin(x)}{x}$



Определение КДР с учетом ширины диаграммы направленности
приемной антенны $\beta = 1^\circ$ с учетом фильтрации объемного и
поверхностного рассеяния -

$$\sigma_o = \begin{cases} 0.2, & \text{если } \sqrt{(y_1 - 150)^2 + (y_2 - 25)^2} < 10 \\ 0.05, & \text{иначе} \end{cases}$$

Анализ влияния объемного рассеяния

$$g(y_1, \alpha_1, \alpha_2) = \frac{\sigma}{l} |y_1| l_i A(\alpha_1, \alpha_2, l, l_j, +\infty)$$

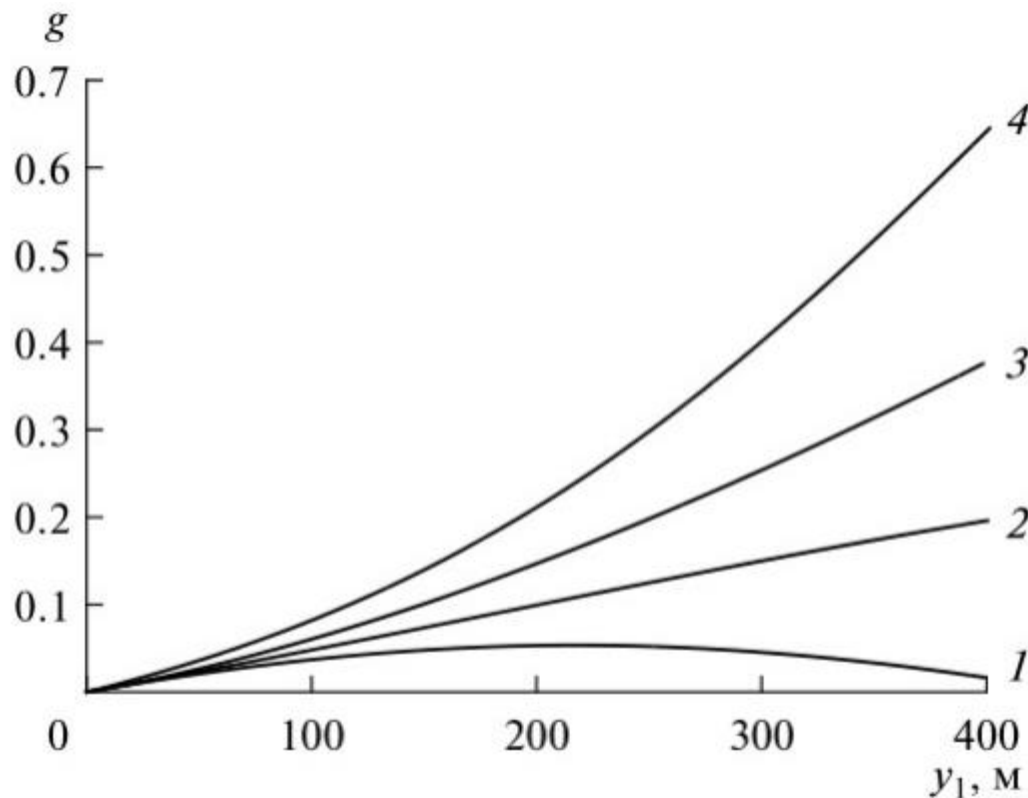
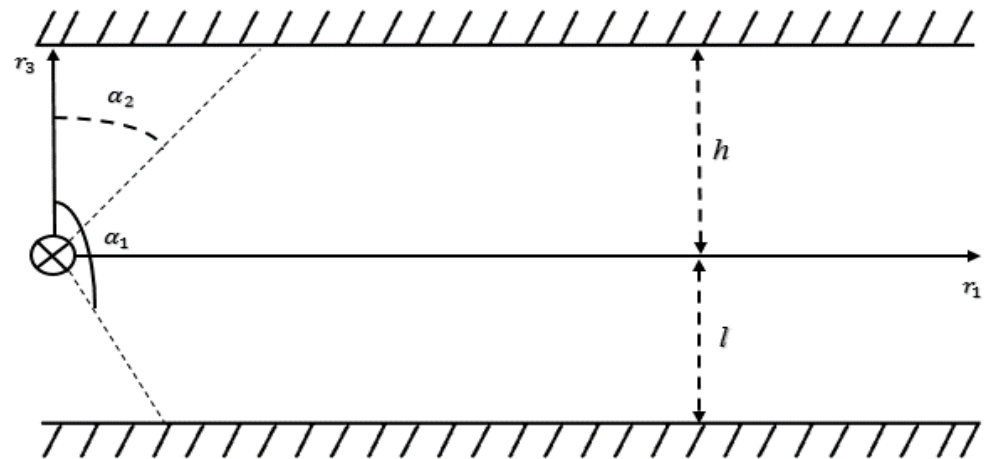
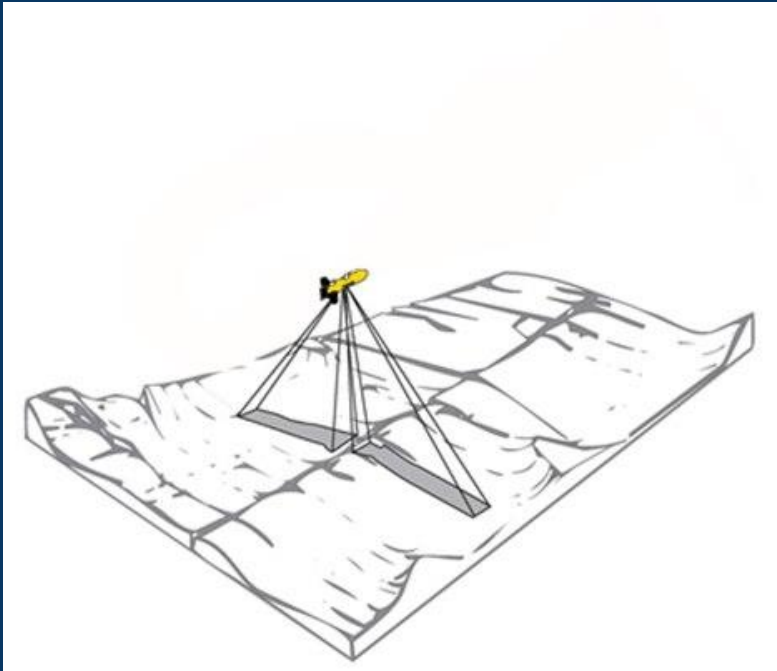


График функции g для различной ориентации диаграммы направленности: 1 – $\alpha_2 = 92^\circ$, 2 – $\alpha_2 = 90^\circ$, 3 – $\alpha_2 = 88^\circ$, 4 – $\alpha_2 = 85^\circ$



α_2	Ошибка определения σ_d без фильтрации ОР	Ошибка определения σ_d с фильтрацией ОР
85°	448%	49%
86°	387%	44%
87°	326%	39%
88°	265%	33%
89°	203%	27%
90°	142%	22%
91°	81%	16%
92°	45%	13%

ЗАДАЧА БАТИМЕТРИИ



$$G = \{r \in \mathbb{R}^3: r_3 > -l + u(r_1, r_2)\}$$

Граничное условие:

$$I(\mathbf{y}, \mathbf{k}) = \frac{\sigma_d}{\pi} \int_{\Omega^+} |\mathbf{n}(\mathbf{y}) \cdot \mathbf{k}'| I(\mathbf{y}, \mathbf{k}') d\mathbf{k}', \mathbf{y} \in \partial G, \mathbf{k} \in \Omega^-$$

Допущения:

$$u = O(\varepsilon), \quad u'_{y_1} = O(\varepsilon^2), \quad u'_{y_2} = O(\varepsilon^2),$$

где $\varepsilon > 0$ некоторый малый параметр: $\varepsilon^2 \ll 1$.

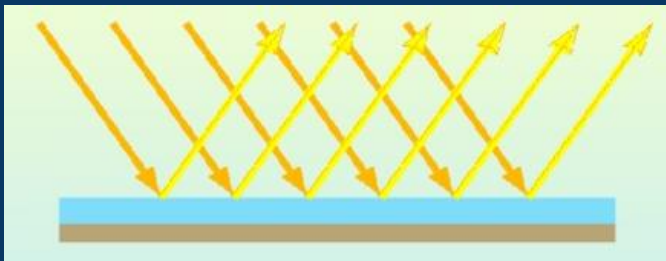
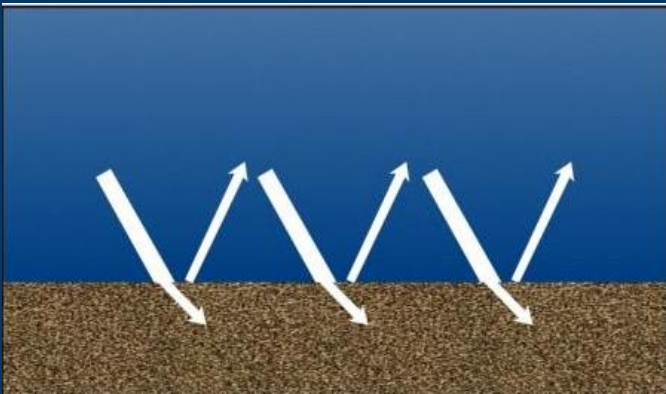
- Функция описывающая рельеф дна с учетом объемного рассеяния в среде:

$$u(\pm y_1, y_2, j) = \frac{4y_1^2}{\sigma y_1^2 + 4\sigma_d \left(2l - \frac{l^3}{y_1^2 + l^2}\right)} \left(\frac{\sigma_d l^2}{y_1^2 + l^2} + y_1 \left(\frac{\sigma}{4} \arccos \left(-\frac{l}{\sqrt{y_1^2 + l^2}} \right) - I^\pm(t) \exp \left(2\mu \sqrt{y_1^2 + l^2} \right) 2\pi (y_1^2 + l^2) / cJ_j \right) \right),$$

- Без учета объемного рассеяния в среде:

$$\hat{u}(\pm y_1, y_2, j) = \frac{y_1^2}{\sigma_d (2l - l^3 / (y_1^2 + l^2))} \left(\frac{\sigma_d l^2}{y_1^2 + l^2} - I^\pm(t) 2\pi y_1 (y_1^2 + l^2) \exp \left(2\mu \sqrt{y_1^2 + l^2} \right) / \sigma_d cJ_j \right)$$

КОРРЕКТНОСТЬ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ



Постановка задачи:

$$\frac{1}{v(r)} \frac{\partial I}{\partial t} + \omega \cdot \nabla I + \sigma(r)I(r, \omega, t) = \sigma(r)\Lambda(r) \int_{\Omega} p(r, \omega \cdot \omega')I(r, \omega', t)d\omega' + J(r, \omega, t) \quad (1)$$

$$G_1 = \{r = (r_1, r_2, r_3) \in \mathbb{R}^3 : r_3 > 0\}, G_2 = \{r = (r_1, r_2, r_3) \in \mathbb{R}^3 : r_3 < 0\}$$

$$G = G_1 \cup G_2, \partial G = \{r = (r_1, r_2, r_3) \in \mathbb{R}^3 : r_3 = 0\}$$

$$X = G \times \Omega, \Gamma^{\pm} = \partial G \times \Omega_{\pm}, \Omega_{\pm} = \{\omega \in \Omega : \pm\omega_3 > 0\}$$

$$\int_{\Omega} p(r, \omega \cdot \omega') d\omega' = 1$$

$$I \Big|_{t=0} = I_0 \text{ на } X \quad (2)$$

$$I^- = BI^+ \text{ на } \Gamma^- \times [0, +\infty) \quad (3)$$

Условия сопряжения:

$$(B_f I^+)(z, \omega, t) = R(\omega)I^+(z, \omega_{re}, t) + T(\omega)I^+(z, \omega_{tr}, t)$$

$$(B_d I^+)(z, \omega, t) = \frac{R_d(z, \omega)}{\pi} \int_{\Omega(z, -\omega)} |n \cdot \omega'| I^+(z, \omega', t) d\omega' + \frac{T_d(z, \omega)}{\pi} \int_{\Omega(z, +\omega)} |n \cdot \omega'| I^+(z, \omega', t) d\omega'$$

Постановка задачи

$$\mathcal{A}f = -v(r)(\omega \cdot \nabla f(r, \omega) + \sigma(r)f(r, \omega)) - (\mathcal{S}f)(r, \omega)$$

$$\mathcal{A}: D(\mathcal{A}) \rightarrow C_b(X)$$

$$\mathcal{S}f = \sigma(r)\Lambda(r) \int_{\Omega} p(r, \omega \cdot \omega')f(r, \omega') d\omega'$$

$$\mathcal{S}: C_b(X) \rightarrow C_b(X)$$

$$D(\mathcal{A}) = \{f \in W_c^1 | f^- = \mathcal{B}f^+ \text{ на } \Gamma\}$$

$$W_c^1 = \{f \in C_b(X) : \omega \cdot \nabla f \in C_b(X)\}$$

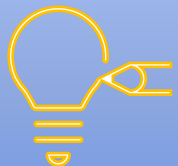
Решение начально-краевой задачи (1) - (3) будем называть вектор-функцию $I(t)$:

1) $I(t) \in D(\mathcal{A})$ для $t \in [0, +\infty)$

2) $\forall t$ существует **сильная** производная функции $I(t)$, принадлежащая пространству $C([0, +\infty); C_b(X))$

3) Справедливы соотношения:

$$\partial I(t)/\partial t = \mathcal{A}I(t) \text{ и } I(0) = I_0, \text{ где } I_0 \in D(\mathcal{A}) \tag{4}$$



$$\exists \mathcal{R}_\lambda = (\lambda \mathcal{J} - \mathcal{A})^{-1} \text{ для } \forall \lambda > \beta \text{ и } \|\mathcal{R}_\lambda\| < \frac{1}{\lambda - \beta}.$$

Теорема

Решение неоднородной задачи Коши

$$\frac{\partial I(t)}{\partial t} = \mathcal{A}I(t) \text{ и } I(0) = I_0, \text{ где } I_0 \in D(\mathcal{A})$$

$$I(0) = I_0,$$

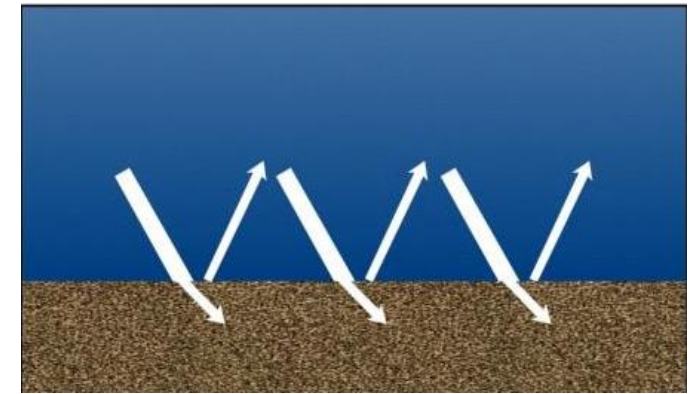
существует, единственно и при выполнении неравенства

$$\bar{\Lambda} \max\{\|\mathcal{B}\|_{C_b(\Gamma) \rightarrow C_b(\Gamma)}, 1\} < -\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$$

стабилизируется к стационарному решению

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = I_\infty, \text{ где } I_\infty = -\mathcal{A}^{-1}vJ_\infty, J_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} J(t).$$

$$\lambda_+ = \max\{\sigma_1 v_1, \sigma_2 v_2\}, \lambda_- = -\min\{\sigma_1 v_1, \sigma_2 v_2\}$$



[1] И. В. Прохоров, А. А. Сущенко Задача Коши для уравнения переноса излучения в неограниченной среде // Дальневост. матем. журн., 18:1 (2018), 101–111.

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕС КИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



Рис. 1 - Измеренный сигнал ГБО

$$\begin{aligned} & \sigma_d(\pm y_1, y_{2,i}) \\ &= \frac{8\pi}{cl} l_i^3 |y_1| I_i^\pm(y_1) \exp(2\mu l_i) \\ & \quad - \frac{\sigma}{l} |y_1| l_i A(\alpha_1, \alpha_2, l, l_j, h) \end{aligned}$$

Фильтрация объемного рассеяния

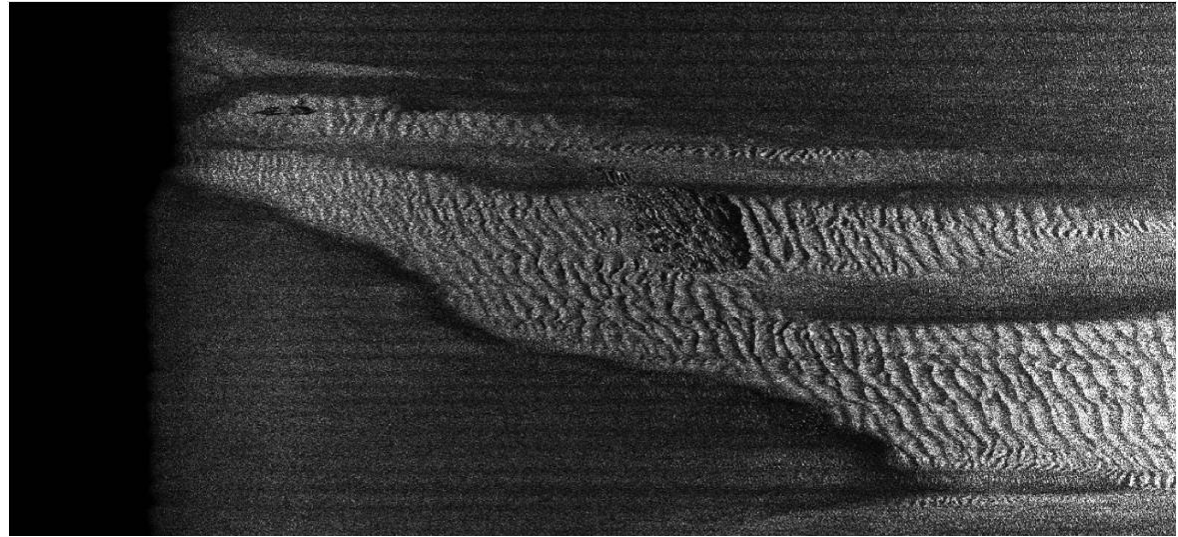


Рис. 2 – Обработка без фильтрации ОР

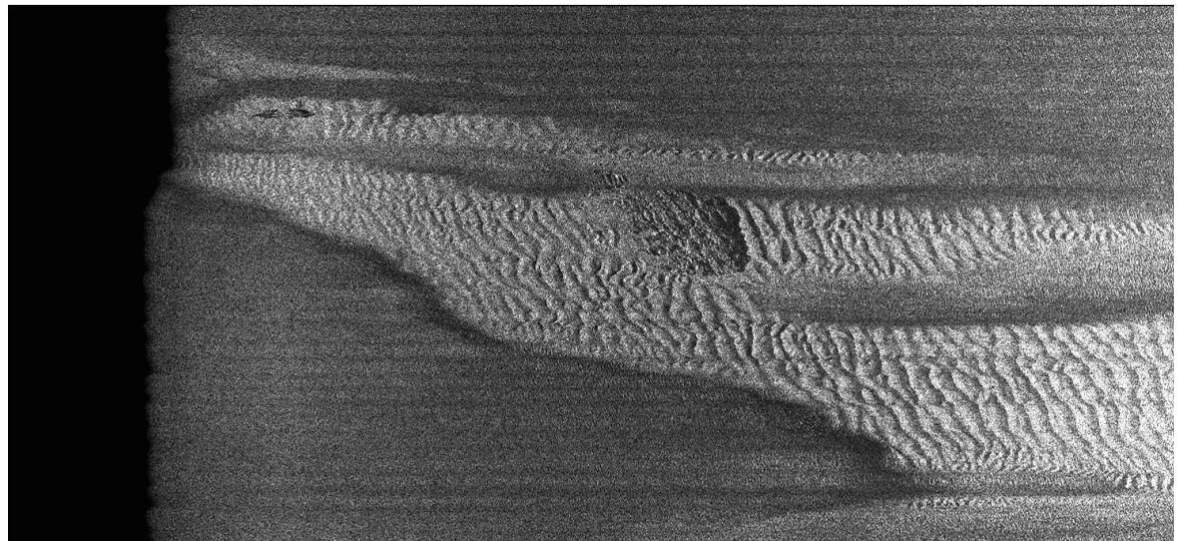
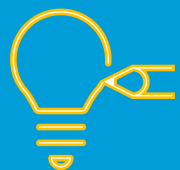


Рис. 3 – Фильтрация объемного рассеяния

ЛИНЕЙНОЕ УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА



Линейное удаление
пиковых значений.
Значение максимума
подбирается из статистики.



Рис. 1 – Сырые данные

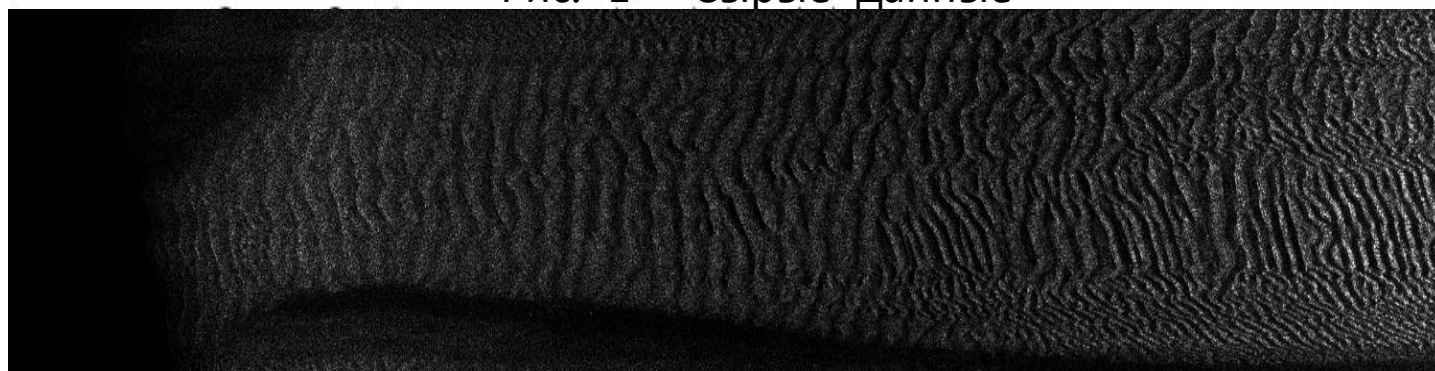


Рис. 2 – Линейное усиление сигнала

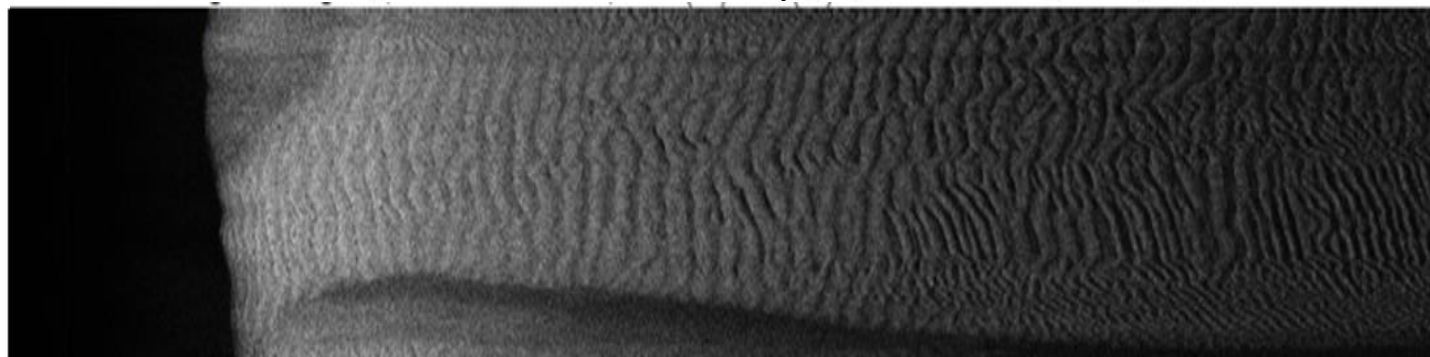


Рис. 3 – Линейное усиление сигнала +
Фильтрация объемного рассеяния

ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

$$y(x) = 255 \log_a(bx + 1)$$



Рис. 1 – Сырые данные

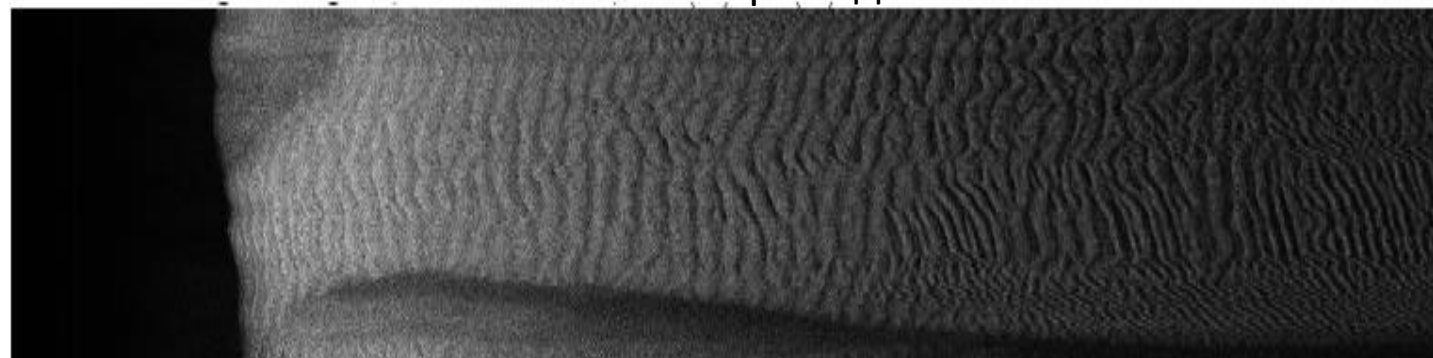


Рис. 2 – Фильтрация объемного рассеяния

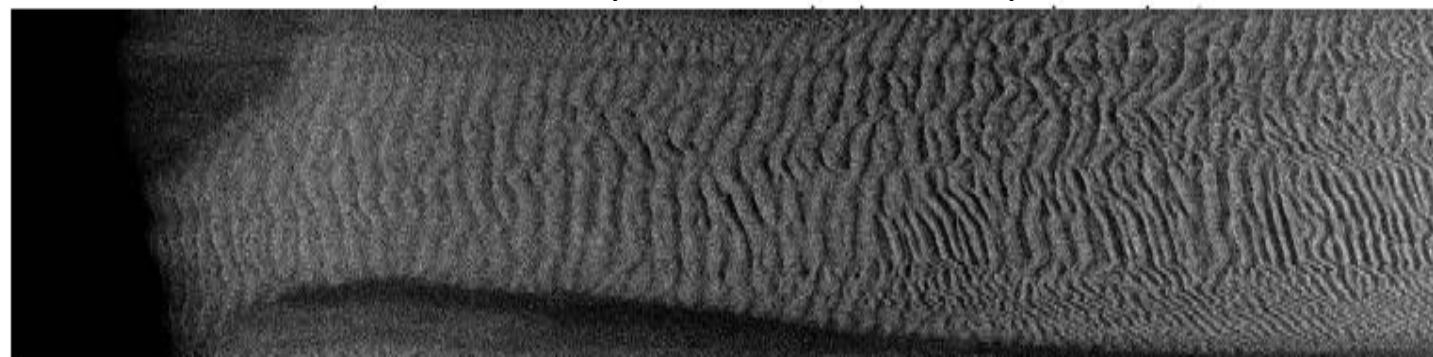


Рис. 3 – Логарифмическая фильтрация +
фильтрация объемного рассеяния

ДВОЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

1 этап: восстановление сигнала по формуле Айзенберга

2 этап: сглаживание изображения с помощью метода наименьших квадратов с окном 3

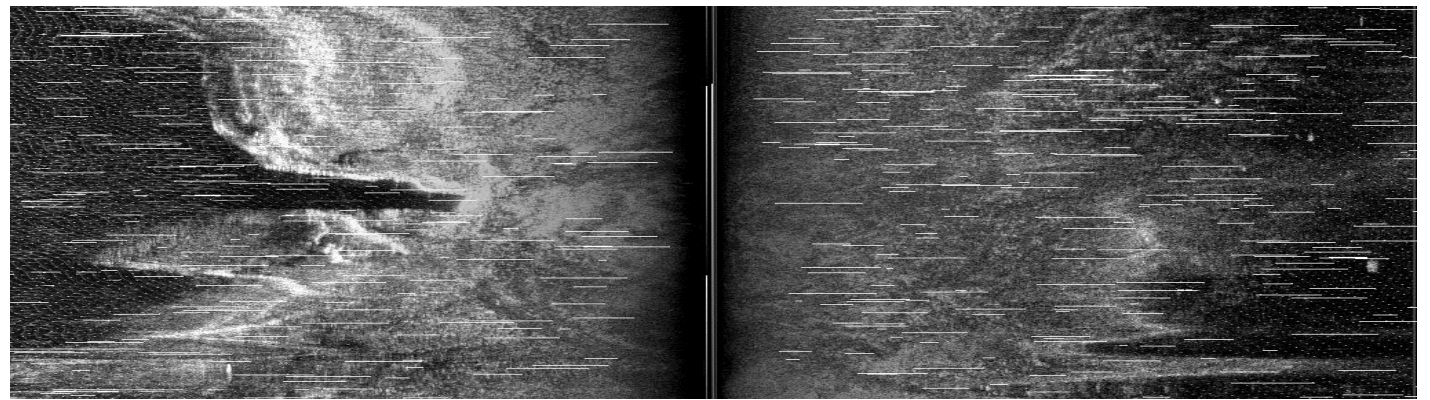


Рис. 1 – Усиление сигнала

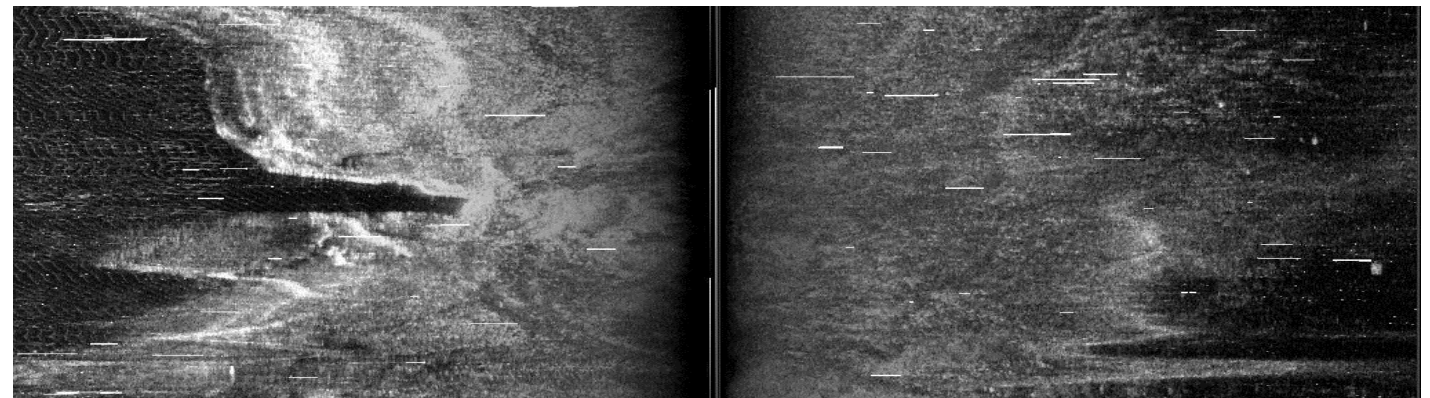


Рис. 2 – Медианная фильтрация

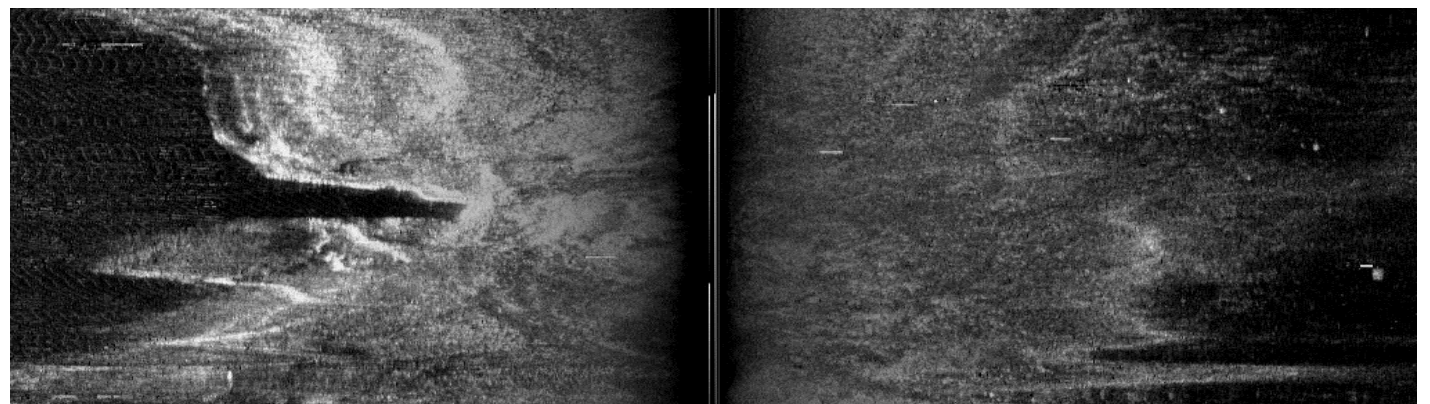
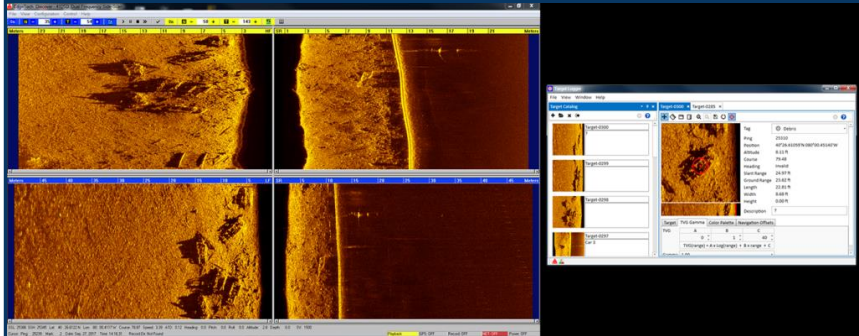


Рис. 3 – Двойная фильтрация

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕС КИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



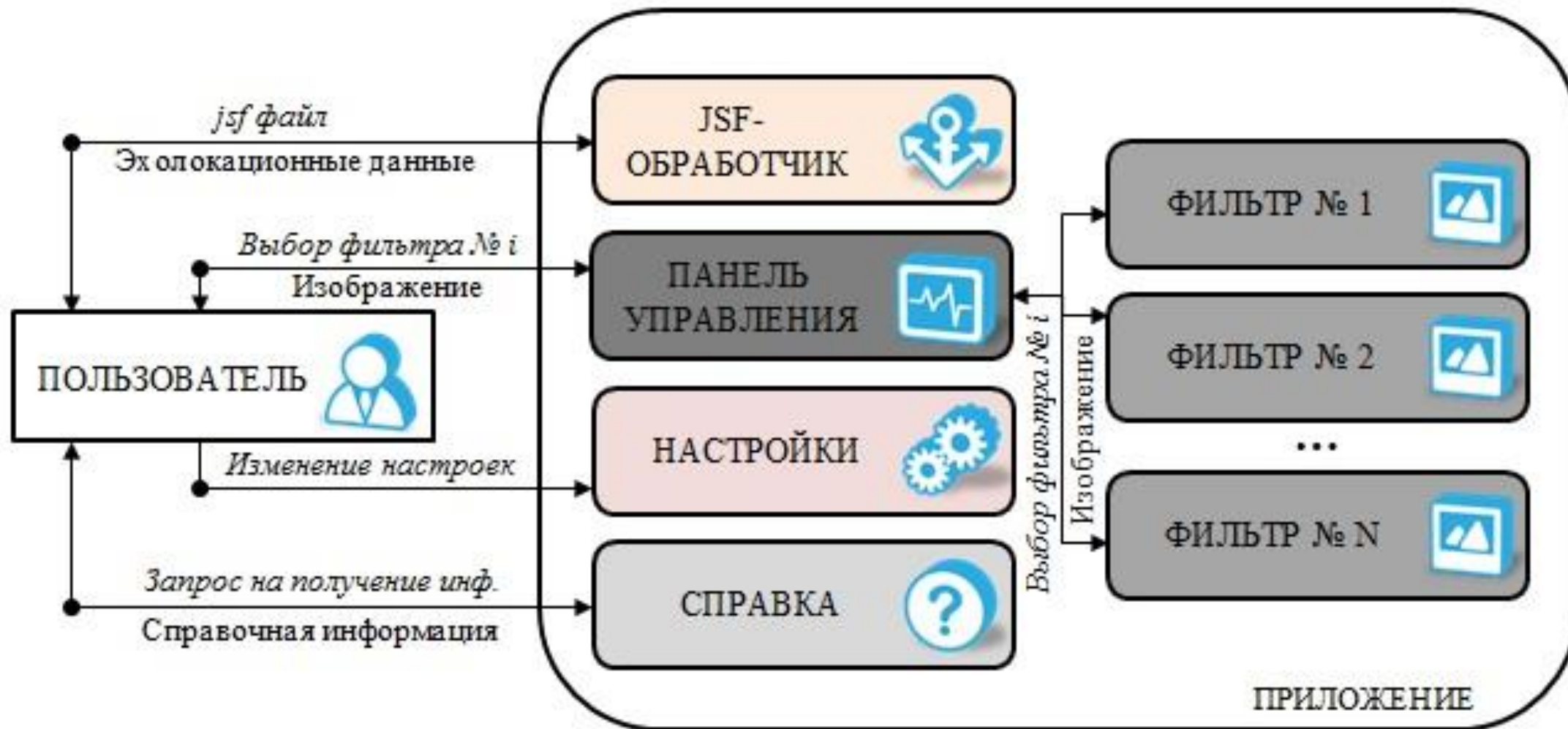
Функциональные требования

1. Обработчик jsf-файлов
2. Работа с несколькими файлами одновременно
3. Наличие фильтров из главы 4
4. Управление пользовательскими настройками
5. Изменение масштаба изображения
6. Вывод параметров зондирования
7. Сохранение изображений в выбранном формате
8. Наличие справочной информации
9. Навигация между строками изображения
10. Отображение сигнала для верхней строки изображения
11. Загрузка новых jsf-файлов

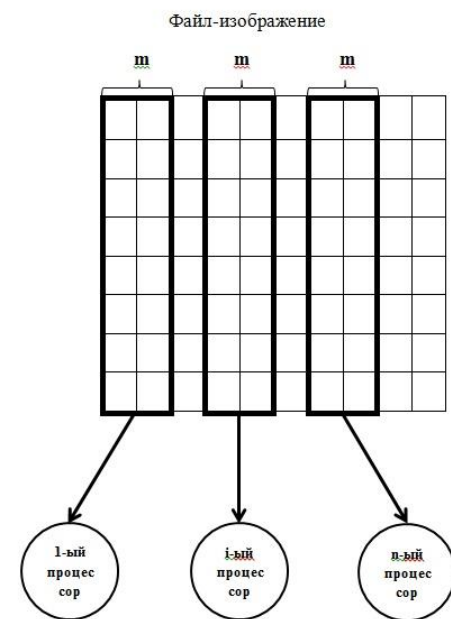
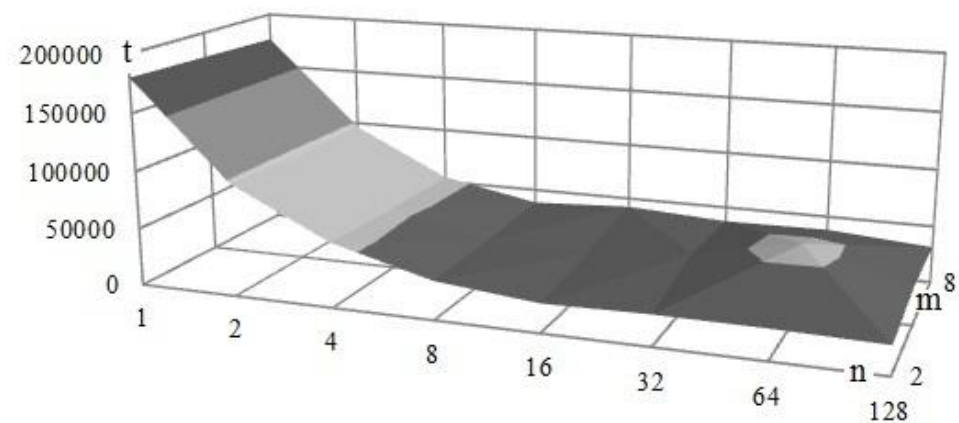
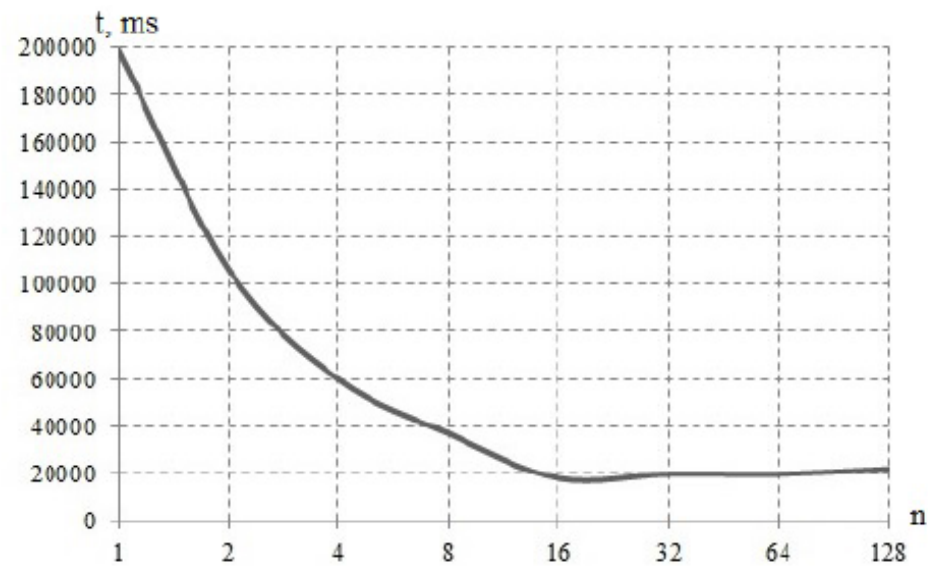
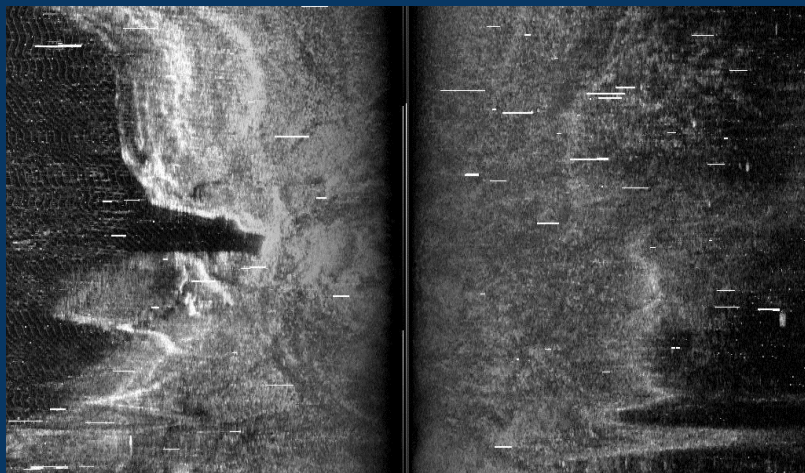
Приложение должно содержать следующие страницы:

1. Стартовая страница
2. Настройки
3. Справка
4. Главный экран
5. О программе

Проект приложения



АЛГОРИТМЫ



- › Доказана корректность начально-краевой задачи для УПИ в многокомпонентной неограниченной среде со смешанными условиями сопряжения на границе.
- › Исследованы задачи акустической томографии.
 - Для задачи реконструкции морского дна в приближении однократного рассеяния и ограничений на диаграмму направленности приемной антенны получена явная формула для определения коэффициента донного рассеяния. Проведены вычислительные эксперименты.
 - Для задачи батиметрии при наличии схожих ограничений и дополнительных ограничений на функцию, описывающую отклонения рельефе дна от некоторой заданной глубины, получена явная формула для определения батиметрической функции.
- › Разработаны и апробированы на реальных данных методы обработки гидроакустических изображений:
 - фильтрация объемного рассеяния,
 - линейной усиление сигнала,
 - логарифмическая фильтрация,
 - двойная фильтрация, а так же их параллельная реализация.
- › Разработан программный комплекс для обработки гидроакустических изображений, получаемых на основе данных с гидролокатора бокового обзора EdjeTech Sonar.

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Статьи в рецензируемых журналах, индексируемых в БД Web of Science, Scopus

1. Прохоров, И.В. Об одной задаче определения рельефа дна флуктуирующего океана / И.В. Прохоров, А.А. Сущенко, В.А. Кан // Сибирский журнал индустриальной математики. — 2015. — Т. 18, № 2. — С. 99–110.
2. Прохоров, И.В. Исследование задачи акустического зондирования морского дна методами теории переноса излучения / И.В. Прохоров, А.А. Сущенко // Акустический журнал. — 2015. — Т. 61, № 3. — С. 400–408.
3. Прохоров, И.В. О корректности задачи Коши для уравнения переноса излучения с френелевскими условиями сопряжения / И.В. Прохоров, А.А. Сущенко // Сиб. мат. журн. — 2015. — Т. 56, № 4. — С. 922–933.
4. Прохоров, И.В. Начально-краевая задача для уравнения переноса излучения с диффузными условиями сопряжения / И.В. Прохоров, А.А. Сущенко, А. Ким // Сибирский журнал индустриальной математики. — 2017. — Т. 20, № 1. — С. 75–85.
5. Sushchenko, A. A. Analysis of surface and volume scattering in the problem of seabottom sounding / A. A. Sushchenko, S. Y. Zinkov, K. V. Sushchenko // Siberian Electronic Mathematical Reports. — 2018. — Vol. 15. — Pp. 1361–1377.

Публикации в рецензируемых журналах из списка ВАК

6. Улучшение качества гидроакустических изображений методом двойной фильтрации / А.Е. Ковтаниук, А.А. Сущенко, И.Б. Агафонов, В.В. Золотарев // Подводные исследования и робототехника. — 2011. — Т. 12, № 2. — С. 31–37.
7. Прохоров, И.В. Задача Коши для уравнения переноса излучения в неограниченной среде / И.В. Прохоров, А.А. Сущенко // Дальневосточный математический журнал. — 2018. — Т. 18, № 1. — С. 101–111.
8. Сущенко, А.А. Об актуальности исследования задач акустической томографии методами теории переноса излучения / А.А. Сущенко // Вестник ДВО РАН. — 2021. — № 2. — С. 104–113.

Положения, выносимые на защиту

- › 1. Доказана корректность начально-краевой задачи для уравнения переноса излучения в многослойной неограниченной среде с обобщенными условиями сопряжения на границе раздела сред.
- › 2. Построена математическая модель, описывающая процесс акустического зондирования морского дна гидролокатором бокового обзора, движущегося прямолинейно с постоянной скоростью.
- › 3. В приближении однократного рассеяния решены обратные задачи для нестационарного уравнения переноса излучения с диффузными условиями сопряжения на границе раздела сред, заключающиеся в определении коэффициента донного рассеяния и рельефа морского дна.
- › 4. Предложены эффективные вычислительные алгоритмы для улучшения качества гидролокационных изображений морского дна, учитывающие ослабление и объемное рассеяние излучения в океане, наличие шумов в приемо-передающих устройствах и другие особенности ГБО-сигнала. Проведена апробация алгоритмов на модельных и реальных данных.
- › 5. Разработан программный комплекс для обработки данных, полученных с гидролокатора бокового обзора, реализующий алгоритмы реконструкции изображений морского дна.