



Российская Академия Наук

Отделение наук о Земле

Научная конференция

**ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ:
причины, последствия, возможности предотвращения
(Лавёровские чтения – 2024)**

**Сейсмоакустика: фундаментальные решения
и прикладные технологии**

чл.-корр. РАН Собисевич А.Л.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН



*г. Москва, Ленинский пр., 32а, Красный зал
1 февраля 2024 г.*

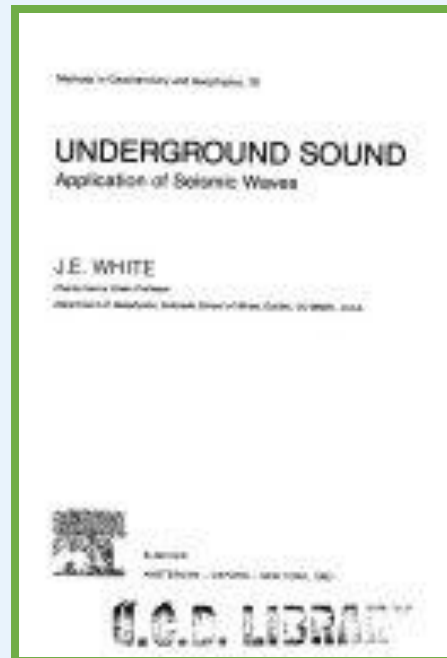
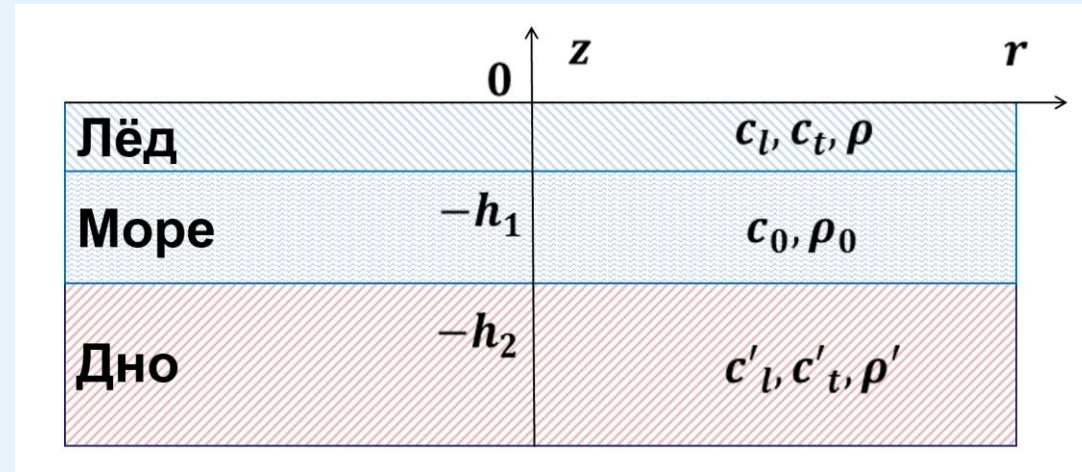
Сейсмоакустика или «подземный звук»

Упругие колебания и волны – основа сейсмических и геоакустических исследований массива горных пород.

Методы ГИС, основанные на изучении упругих волн, распространяющихся в скважине, околоскважинном и межскважинном пространствах: ВСП, акустический каротаж, межскважинное прозвучивание и др.

РФФИ – 05-413 – Сейсмоакустика

Термин «подземный звук» предназначен для обозначения приборов и методов наблюдения, исследования и интерпретации, которые были разработаны для использования сейсмических волн в твёрдой земле, по аналогии с «подводным звуком», т.е. с гидроакустикой.



Уайт Д.Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. М: «Недра», 1986, 264 с.

Перевод изд.: Underground sound: application of seismic waves / J.E. White (Amsterdam etc., 1983)

Модель структуры «морское дно – водный слой – ледовый покров»

Малые смещения
в твёрдом теле

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

$$\rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} - (\lambda + \mu) \text{grad div } \vec{u} - \mu \Delta \vec{u} = 0$$

Закон Гука для изотропного
твёрдого тела

$$\sigma_{ij} = \lambda \text{div } \vec{u} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

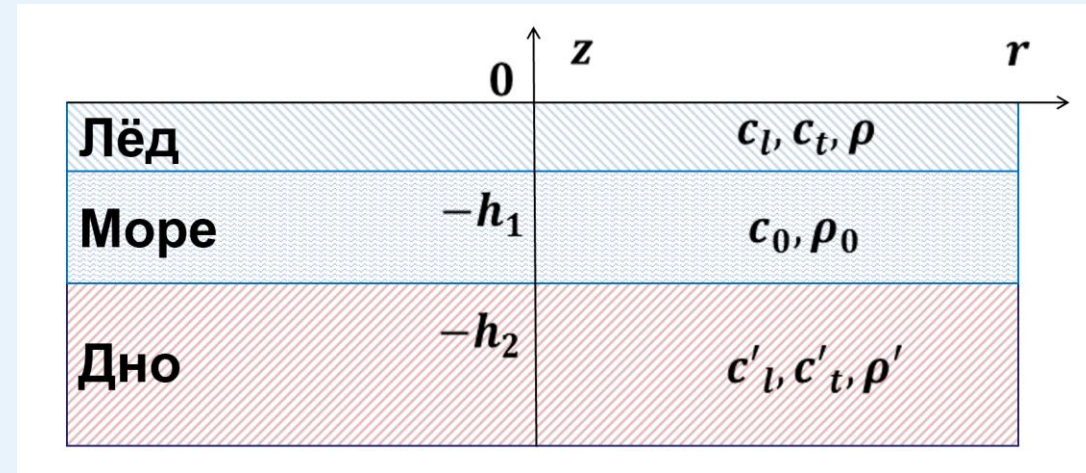
Возмущения плотности, давления и колебательной скорости
в жидкости – линеаризованные уравнения гидродинамики

$$\frac{\partial \rho_0}{\partial t} - \rho_0 \text{div } \vec{v} = 0 \quad \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{\nabla p}{\rho_0} = 0 \quad p = c_0^2 \rho_0$$

Граничные условия

$$\begin{aligned} \sigma_{zz}|_{z=0} &= 0, & \sigma_{zr}|_{z=-h_1} &= 0, & \sigma'_{zr}|_{z=-h_2} &= 0, \\ \sigma_{zr}|_{z=0} &= 0, & (\sigma_{zz} - \sigma_{0zz})|_{z=-h_1} &= 0, & (\sigma_{0zz} - \sigma'_{zz})|_{z=-h_2} &= 0, \\ & & (u_z - u_{0z})|_{z=-h_1} &= 0, & (u_{0z} - u'_z)|_{z=-h_2} &= 0. \end{aligned}$$

отсутствие касательных напряжений на границах твёрдого тела и жидкости



$$c_l = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad c_t = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \lambda = \kappa - \frac{2}{3}\mu$$

Цилиндрическая симметрия задачи:

$$\begin{aligned} \vec{u} &= \{u_r, u_\theta, u_z\} \\ u_\theta = 0 &\Rightarrow \varphi(r, \theta, z) = \varphi(r, z) \\ &\Rightarrow \vec{\psi} = \{0, \psi_\theta, 0\} = \psi(r, z) \end{aligned}$$

$$\vec{u} = \text{grad } \varphi + \text{rot } \vec{\psi}$$

волновые уравнения
для потенциалов...

Модель структуры «морское дно – водный слой – ледовый покров»

Волновые уравнения для потенциалов

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - c_l^2 \Delta \varphi = 0$$

$$\frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial t^2} - c_0^2 \Delta \varphi_0 = 0$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - c_t^2 \left(\Delta \psi - \frac{\psi}{r^2} \right) = 0$$

Решения в виде интегралов Фурье-Бесселя

$$\varphi(r, z, t) = \int_0^\infty \left[A(k) e^{i\alpha_l z} + B(k) e^{-i\alpha_l z} \right] k J_0(kr) e^{-i\omega t} dk$$

$$\psi(r, z, t) = \int_0^\infty \left[C(k) e^{i\alpha_t z} + D(k) e^{-i\alpha_t z} \right] k J_1(kr) e^{-i\omega t} dk$$

Граничные условия

$$\sigma_{zz} \Big|_{z=0} = 0,$$

$$\sigma_{zr} \Big|_{z=-h_1} = 0,$$

$$\sigma'_{zr} \Big|_{z=-h_2} = 0,$$

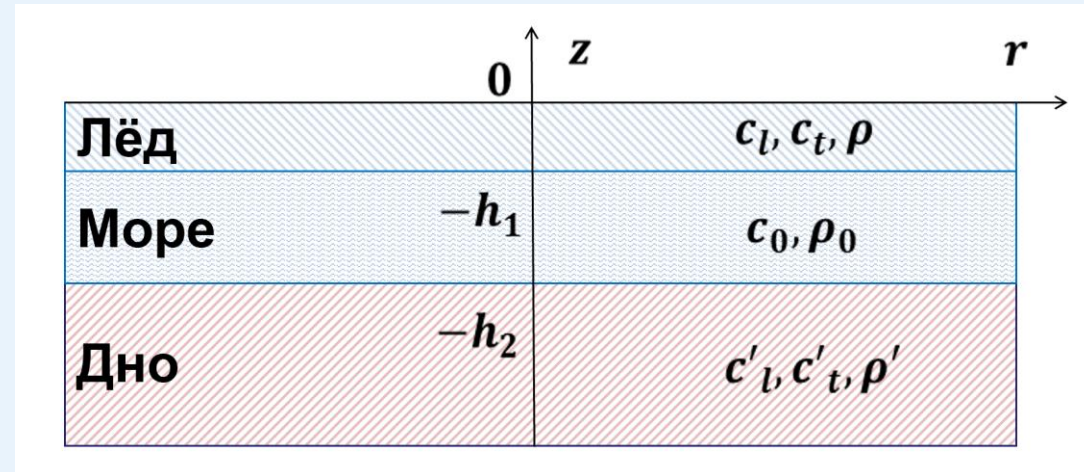
$$\sigma_{zr} \Big|_{z=0} = 0,$$

$$(\sigma_{zz} - \sigma_{0zz}) \Big|_{z=-h_1} = 0,$$

$$(\sigma_{0zz} - \sigma'_{zz}) \Big|_{z=-h_2} = 0,$$

$$(u_z - u_{0z}) \Big|_{z=-h_1} = 0,$$

$$(u_{0z} - u'_z) \Big|_{z=-h_2} = 0.$$



$$\varphi_0(r, z, t) = \int_0^\infty \left[E(k) e^{i\alpha_0 z} + F(k) e^{-i\alpha_0 z} \right] k J_0(kr) e^{-i\omega t} dk$$

С учётом граничных условий и условия излучения на бесконечности получаем систему из восьми линейных алгебраических уравнений для Фурье-образов...

Дисперсионное уравнение для модельной слоистой структуры

Определитель системы

$$\begin{pmatrix} k^2 - \alpha_t^2 & k^2 - \alpha_t^2 & 2 i k \alpha_t & -2 i k \alpha_t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 i k \alpha_l & -2 i k \alpha_l & k^2 - \alpha_t^2 & k^2 - \alpha_t^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 i k \alpha_l e^{i h_1 \alpha_t} & -2 i k \alpha_l e^{2 i h_1 \alpha_l + i h_1 \alpha_t} & e^{i h_1 \alpha_l} (k^2 - \alpha_t^2) & (k^2 - \alpha_t^2) e^{i h_1 \alpha_l + 2 i h_1 \alpha_t} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k^2 - \alpha_t^2}{k^2 + \alpha_t^2} & \frac{e^{2 i h_1 \alpha_l} (k^2 - \alpha_t^2)}{k^2 + \alpha_t^2} & \frac{2 i k \alpha_t e^{i h_1 (\alpha_l - \alpha_t)}}{k^2 + \alpha_t^2} & -\frac{2 i k \alpha_t e^{i h_1 (\alpha_l + \alpha_t)}}{k^2 + \alpha_t^2} & \frac{\rho_0 e^{i h_1 (\alpha_l - \alpha_0)}}{\rho} & \frac{\rho_0 e^{i h_1 (\alpha_0 + \alpha_l)}}{\rho} & 0 & 0 \\ i \alpha_l e^{i h_1 (\alpha_0 - \alpha_l)} & -i \alpha_l e^{i h_1 (\alpha_0 + \alpha_l)} & k e^{i h_1 (\alpha_0 - \alpha_t)} & k e^{i h_1 (\alpha_0 + \alpha_t)} & -i \alpha_0 & i \alpha_0 e^{2 i \alpha_0 h_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 i k \alpha_l' e^{i (\Delta h + h_1) \alpha_l'} & ((\alpha_t')^2 - k^2) e^{i (\Delta h + h_1) \alpha_t'} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\rho_0 (k^2 + (\alpha_t')^2)}{\rho_1} & \frac{\rho_0 e^{2 i \alpha_0 (\Delta h + h_1)} (k^2 + (\alpha_t')^2)}{\rho_1} & (k^2 - (\alpha_t')^2) e^{i (\Delta h + h_1) (\alpha_0 + \alpha_l')} & -2 i k \alpha_t' e^{i (\Delta h + h_1) (\alpha_0 + \alpha_t')} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -i \alpha_0 & i \alpha_0 e^{2 i \alpha_0 (\Delta h + h_1)} & -i \alpha_l' e^{i (\Delta h + h_1) (\alpha_0 + \alpha_l')} & k e^{i (\Delta h + h_1) (\alpha_0 + \alpha_t')} \end{pmatrix}$$

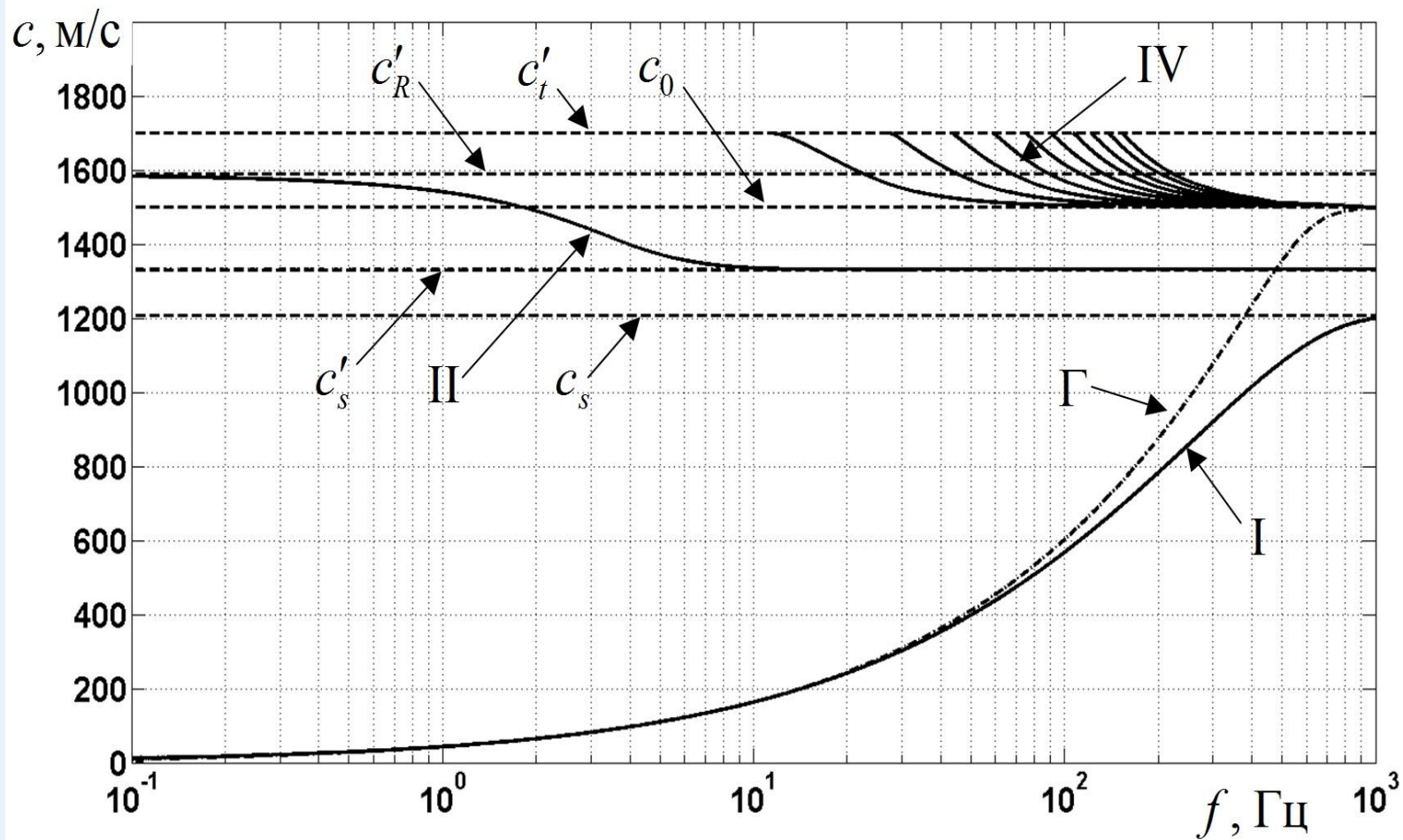
$$\omega^4 \frac{\rho \rho_0}{\mu^2} \alpha_l \left[\omega^4 \frac{\rho_0 \rho'}{\mu'^2} \alpha_l' \sin \alpha_0 \Delta h + i \alpha_0 R' \cos \alpha_0 \Delta h \right] \left[(k^2 - \alpha_t^2)^2 \cos \alpha_l h_1 \sin \alpha_t h_1 + 4 \alpha_l \alpha_t k^2 \sin \alpha_l h_1 \cos \alpha_t h_1 \right] +$$

$$+ \alpha_0 \left[\omega^4 \frac{\rho_0 \rho'}{\mu'^2} \alpha_l' \cos \alpha_0 \Delta h - i \alpha_0 R' \sin \alpha_0 \Delta h \right] \left[8 \alpha_l \alpha_t k^2 (k^2 - \alpha_t^2)^2 (1 - \cos(\alpha_l + \alpha_t) h_1) + R^2 \sin \alpha_l h_1 \sin \alpha_t h_1 \right] = 0$$

$$R = (k^2 - \alpha_t^2)^2 + 4 k^2 \alpha_l \alpha_t$$

Параметры модели для расчёта:

	$c_l, \text{ м/с}$	$c_t, \text{ м/с}$	$c_0, \text{ м/с}$	$c'_l, \text{ м/с}$	$c'_t, \text{ м/с}$	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$
$c_t < c_0 < c_l$	2226	1096	1500	2945	1700	0,3	20

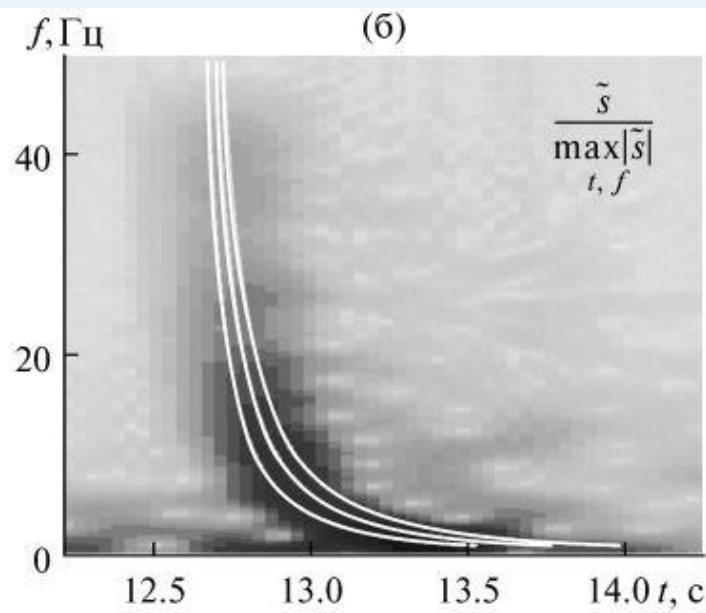
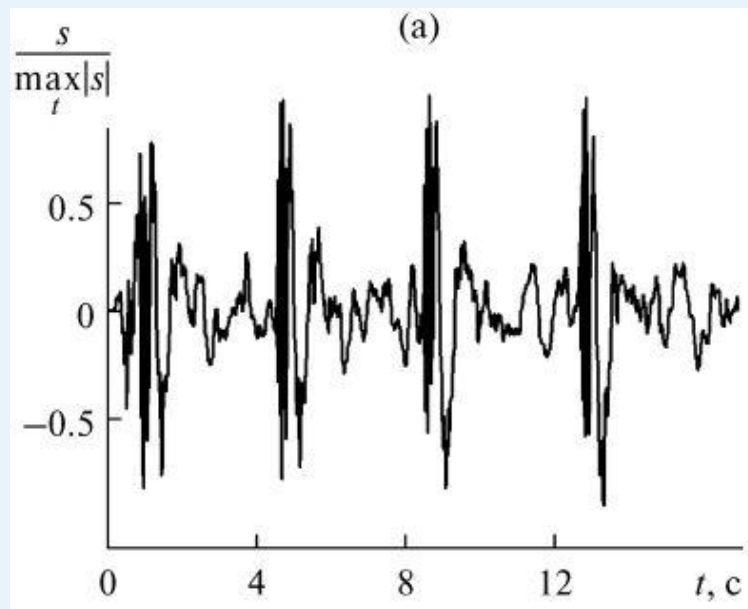


Модовый состав волнового поля:

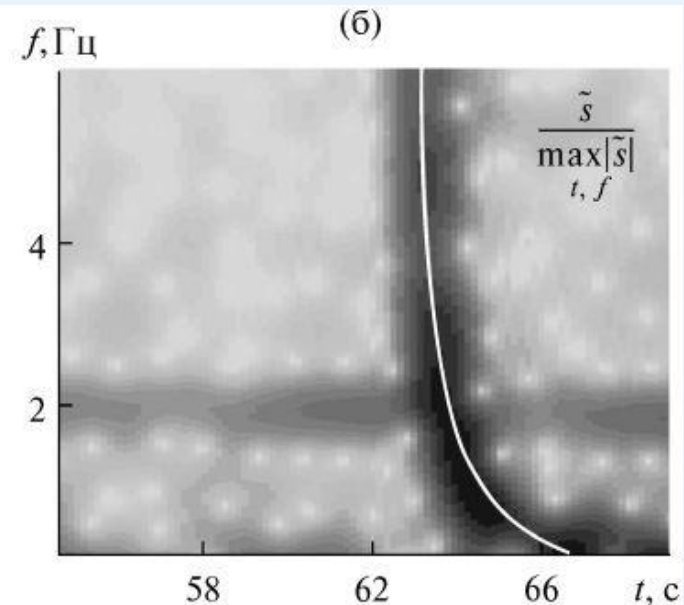
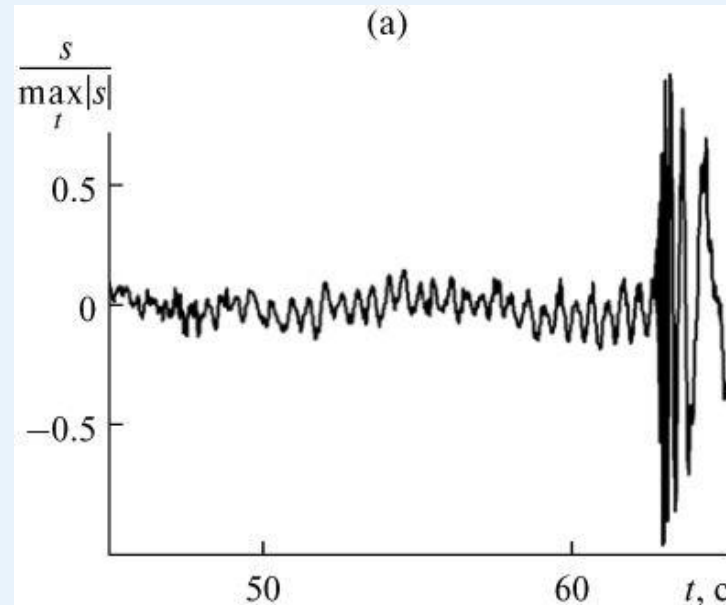
I. Изгибно-гравитационная мода ледовой пластины, существует при любом соотношении фазовых скоростей продольных и поперечных волн в среде, **фазовая скорость зависит от толщины льда**. Для задачи о слое льда на жидком п/п [Marsan et al., 2011], решения совпадают для $f < 10$ Гц.

II. Поверхностная волна типа Шолте-Стоунли на границе «дно – вода». Для задачи без ледового покрова – донная поверхностная волна [Лапин, 1993].

IV. Гидроакустические моды.

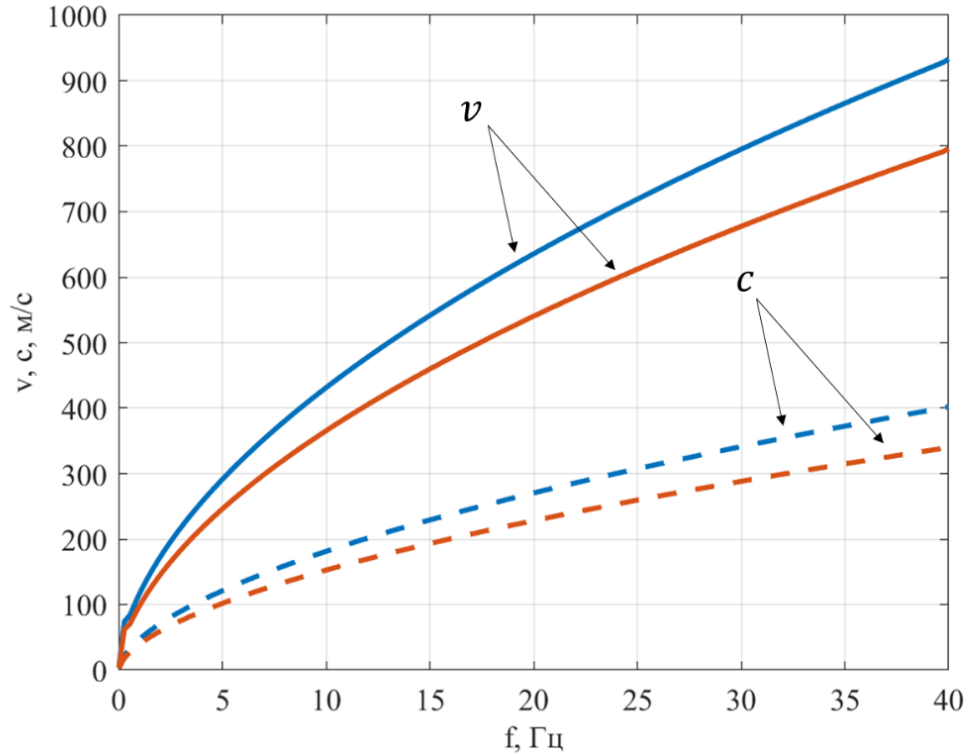


Сейсмограмма серии импульсных воздействий на поверхность льда (а) и спектрограмма одного из импульсов (б) + дисперсионные кривые изгибной моды, рассчитанные для толщины льда (слева – направо) 0.20, 0.25 и 0.30 м.



Сейсмограмма (а) и спектрограмма (б) удалённого промышленного взрыва; дисперсия изгибной моды рассчитана для толщины льда 0.25 м.

Оценка значений параметров ледового покрова в пассивном режиме



По заданным параметрам льда рассчитать дисперсионную зависимость фазовой скорости изгибно-гравитационной волны

теория / эксперимент

$$v = \frac{c}{1 - \frac{f}{c} \frac{dc}{df}}$$

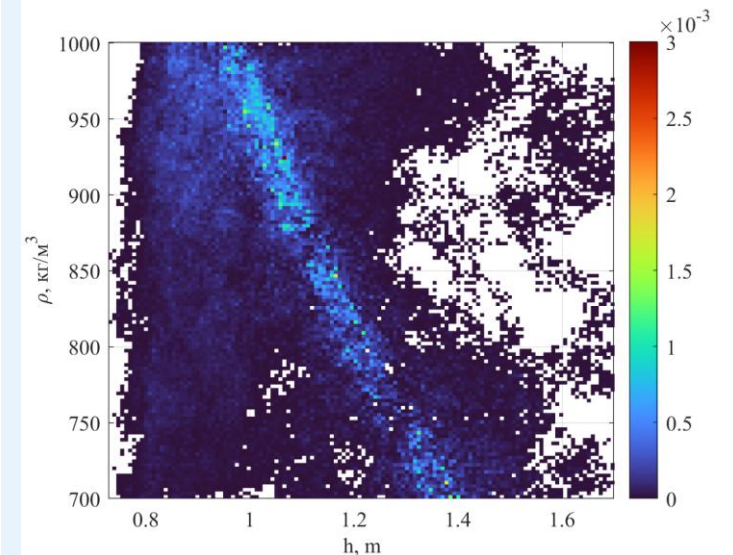
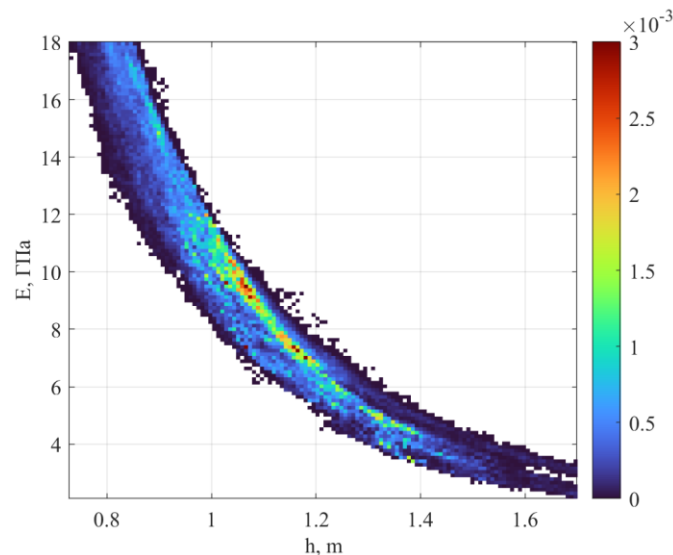
Дисперсионное уравнение изгибно-гравитационной волны

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)^4 - \frac{\omega^2 \rho}{h_1^2 D} + \frac{\rho_0}{h_1^3 D} \left(g - \frac{i\omega c c_0}{\sqrt{c^2 - c_0^2}} \right) = 0$$

$$D = E / [12(1 - \mu^2)] \text{ – жёсткость ледовой пластины}$$

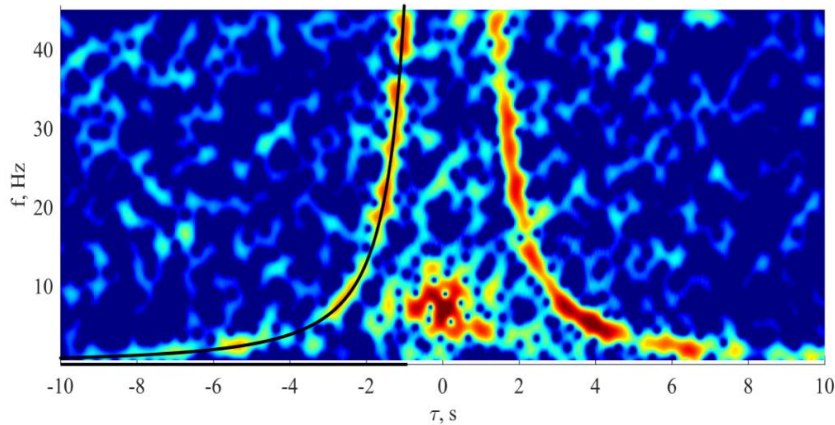
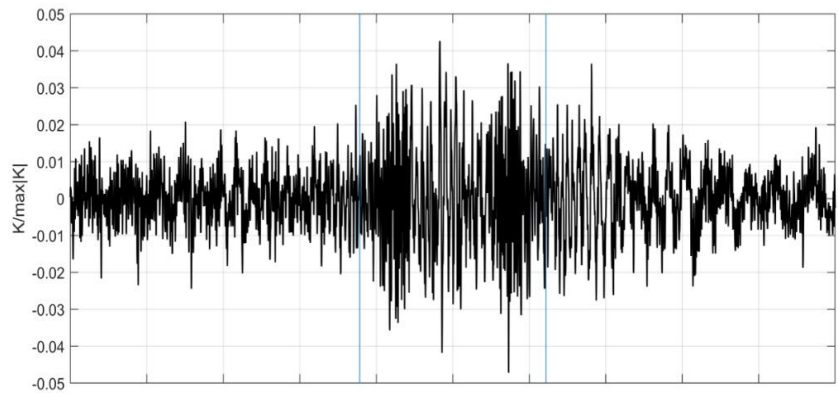
Минимизация функционала невязки $\chi_c = \left\| c^{\text{exp}} - c^{\text{mod}}(h, \rho, E, \mu) \right\|$

алгоритм Монте-Карло с Марковскими цепями 500000 реализаций

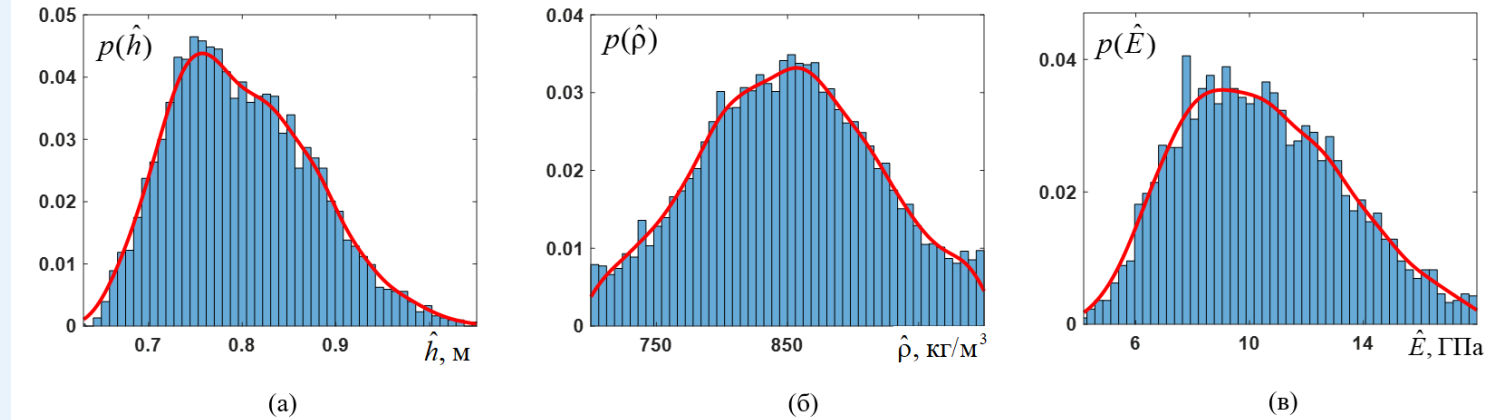


Оценка значений параметров ледового покрова в пассивном режиме

Усреднённая за двое суток, получасовая взаимно-корреляционная функция пары датчиков разнесённых на 978 м на поверхности льда



Апостериорные функции плотностей вероятностей восстанавливаемых параметров



Итоговые оценки

	$\langle x \rangle \pm \sigma_x$	$\bar{x} \pm \bar{\sigma}_x$
Толщина льда, h , м	1 ± 0.3	0.79 ± 0.08
Плотность, ρ , кг/м ³	$(8.5 \pm 0.7) \cdot 10^2$	$(8.4 \pm 0.7) \cdot 10^2$
Модуль Юнга, E , ГПа	7 ± 5	10 ± 3
Коэффициент Пуассона, μ	0.25 ± 0.15	0.22 ± 0.13

РАН в решении проблем научно-технологического развития РФ

2016

УТВЕРЖДЕНА
Указом Президента
Российской Федерации
от 1 декабря 2016 г. № 642

СТРАТЕГИЯ

научно-технологического развития Российской Федерации

I. Общие положения

1. Настоящей Стратегией определяются цель и основные задачи научно-технологического развития Российской Федерации, устанавливаются принципы, приоритеты, основные направления и меры реализации государственной политики в этой области, а также ожидаемые результаты реализации настоящей Стратегии, обеспечивающие устойчивое, динамичное и сбалансированное развитие Российской Федерации на долгосрочный период.

2. Правовую основу настоящей Стратегии составляют Конституция Российской Федерации, Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», другие федеральные законы и иные нормативные правовые акты Российской Федерации.

3. Настоящая Стратегия направлена на научное и технологическое обеспечение реализации задач и национальных приоритетов Российской Федерации, определенных в документах стратегического планирования, разработанных в рамках целеполагания на федеральном уровне.

4. В настоящей Стратегии используются следующие основные понятия:

а) научно-технологическое развитие Российской Федерации - трансформация науки и технологий в ключевой фактор развития России и обеспечения способности страны эффективно отвечать на большие вызовы;

б) большие вызовы - объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены,

Значимые с точки зрения научно-технологического развития РФ большие вызовы, среди них:

«необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путём преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики».

Северный морской путь:

Йокогама – Роттердам: 9230 или 22540 км (59%);
Шанхай – Гамбург: 13600 или 20000 км (32%)

Российская академия наук в решении проблем научно-технологического развития Российской Федерации – развитие критических технологий для **повышения качества жизни и безопасности.**

Вектор развития задаётся двумя основными направлениями:

- повышение качества жизни населения
- обеспечение суверенитета и комплексной безопасности государства.

Совместные работы не наших военных и учёных – «Ice Exercise»

Центр разработки подводных вооружений США
(Naval Undersea Warfare Center):

«Необходимо подготовить военнослужащих к выполнению широкого спектра задач в арктическом регионе... мы постоянно проверяем новые тактики подо льдом **вместе с нашими академическими партнёрами...**»

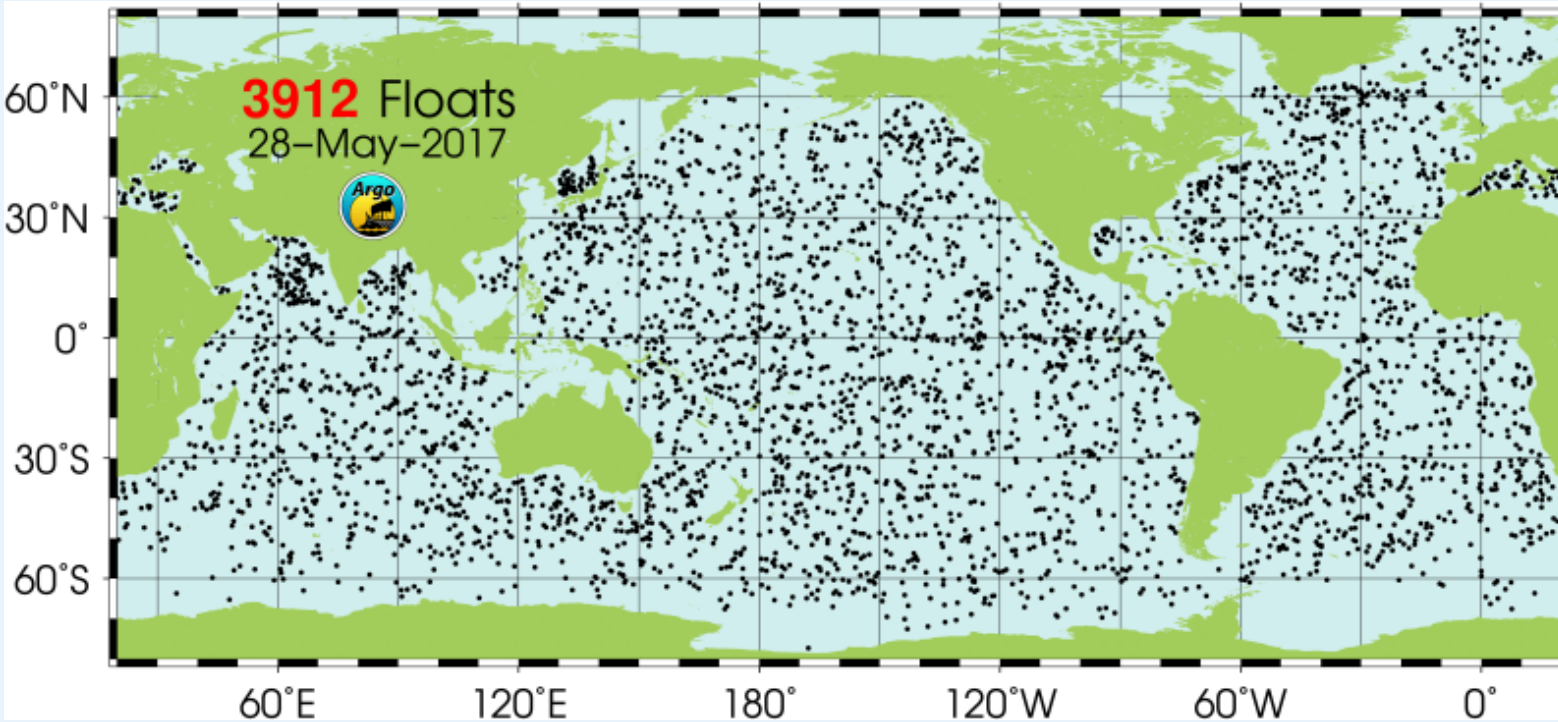
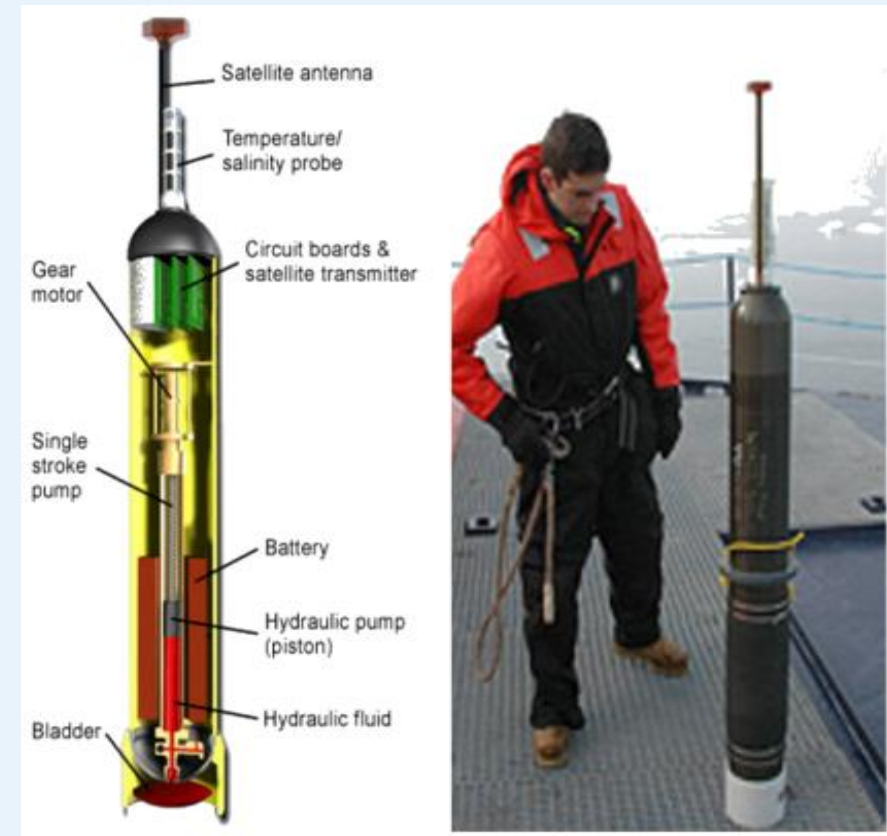


Научно-исследовательских лагерь и командный пункт учений ICEX – 2016 для исследования Арктики и испытания новых образцов вооружения подводных лодок и отработки применения в ледовых условиях.

Дрейфующий буй-профилограф для работы в Арктике

Профилографы ARGO, свободно дрейфующие в мировом океане до глубин ~2 км; измеряют температуру, солёность океана, при всплытии - координаты для оценки локальных скоростей течений.

<http://www.argo.ucsd.edu>



Полярный профилограф (<http://www.whoi.edu>)

Разработка основана на результатах программы ARGO, отличия в усиленной головной части для контакта с ледовой поверхностью, доп. наборе приёмо-передающих устройств для связи с ледовыми маяками. Заявлена возможность самостоятельного обнаружения участков, свободных от ледового покрова и срок работы устройства в течение 3-4 лет.




2017

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «Концерн «МПО - Гидроприбор»

 В.В.Патрушев
« 15 » 11 2017г.

ПОЛОЖЕНИЕ О ВНЕШТАТНОМ ПОДРАЗДЕЛЕНИИ

**ЛАБОРАТОРИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНО – ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ
МОРСКОГО ПОДВОДНОГО ОРУЖИЯ**

Создано в соответствии с соглашением от 24 января 2017г.
о научном сотрудничестве между Российской академией наук
и АО «Концерн «МПО - Гидроприбор»

Теоретические исследования условий формирования структуры геоакустических полей в покрытом льдом море. Исследование пространственной структуры полей отдельных мод в системе «литосфера – гидросфера – ледовый покров – атмосфера».

Проведение натурального эксперимента в сложных ледовых условиях, анализ корреляционной функции шумов, зарегистрированных сетью донных широкополосных сейсмометров.

Развитие нового класса вмораживаемых сейсмоакустических информационно-измерительных модулей (в том числе с использованием молекулярно-электронных первичных преобразователей), отработка конструкций и технологий мониторинга заглубленных неоднородностей на арктическом шельфе.

Дрейфующая антенная система

Схема дрейфующей антенной системы ледового класса (включая блок-схему автономного вмораживаемого модуля), обеспечивающей мониторинг слоистых геологических структур и протяжённых подводных объектов подо льдами.

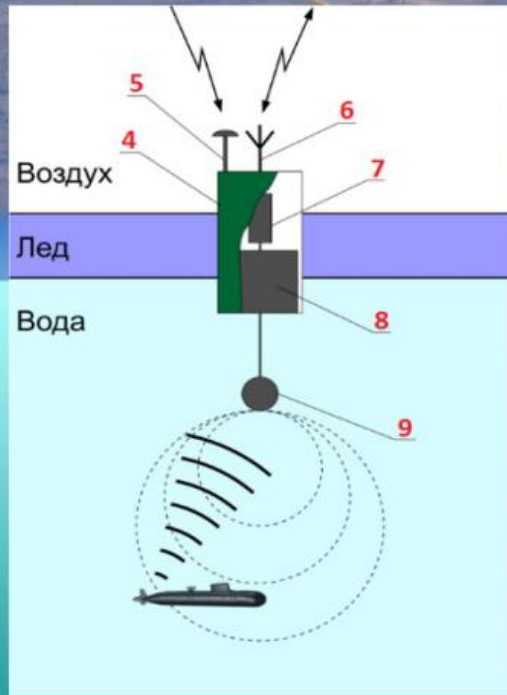
1, 2 – надлёдная и подлёдная части антенной системы,

3 – дежурные блоки в режиме ожидания,

4 – корпус вмораживаемого модуля,

5, 6 – антенны систем навигации и передачи данных,

7, 8, 9 – блоки управления, питания, гео-гидроакустических преобразователей.



Рабочие макеты гео-гидроакустических буёв ледового класса



Вертикальный широкополосный сейсмометр (СМЕ-4211) в водонепроницаемом корпусе, диаметром 108 мм,

рабочая полоса частот 0.03 – 50 Гц;

коэффициент преобр. 2000 В/м/с;

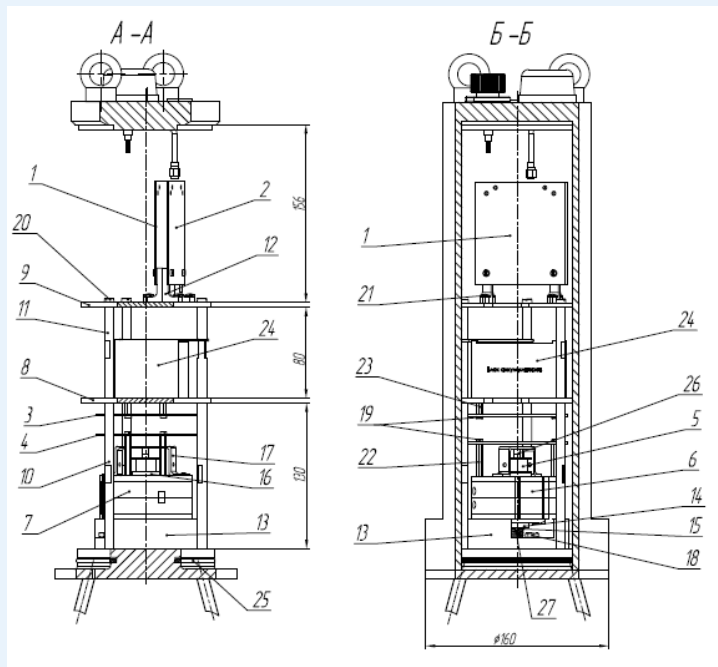
спектральная плотность
собственного шума 10^{-7} м/с²/√Гц.

Система регистрации NDAS-8224,
питание от аккумулятора,
число каналов – 4,
частоты регистрации 1 – 1000 Гц;
разрядность – 24 бит;
внутренний накопитель – до 32 Гбайт.

Внешние интерфейсы

Wi-Fi (конфигурирование и управление,
предпросмотр сигнала в реальном времени);

USB (загрузка данных).

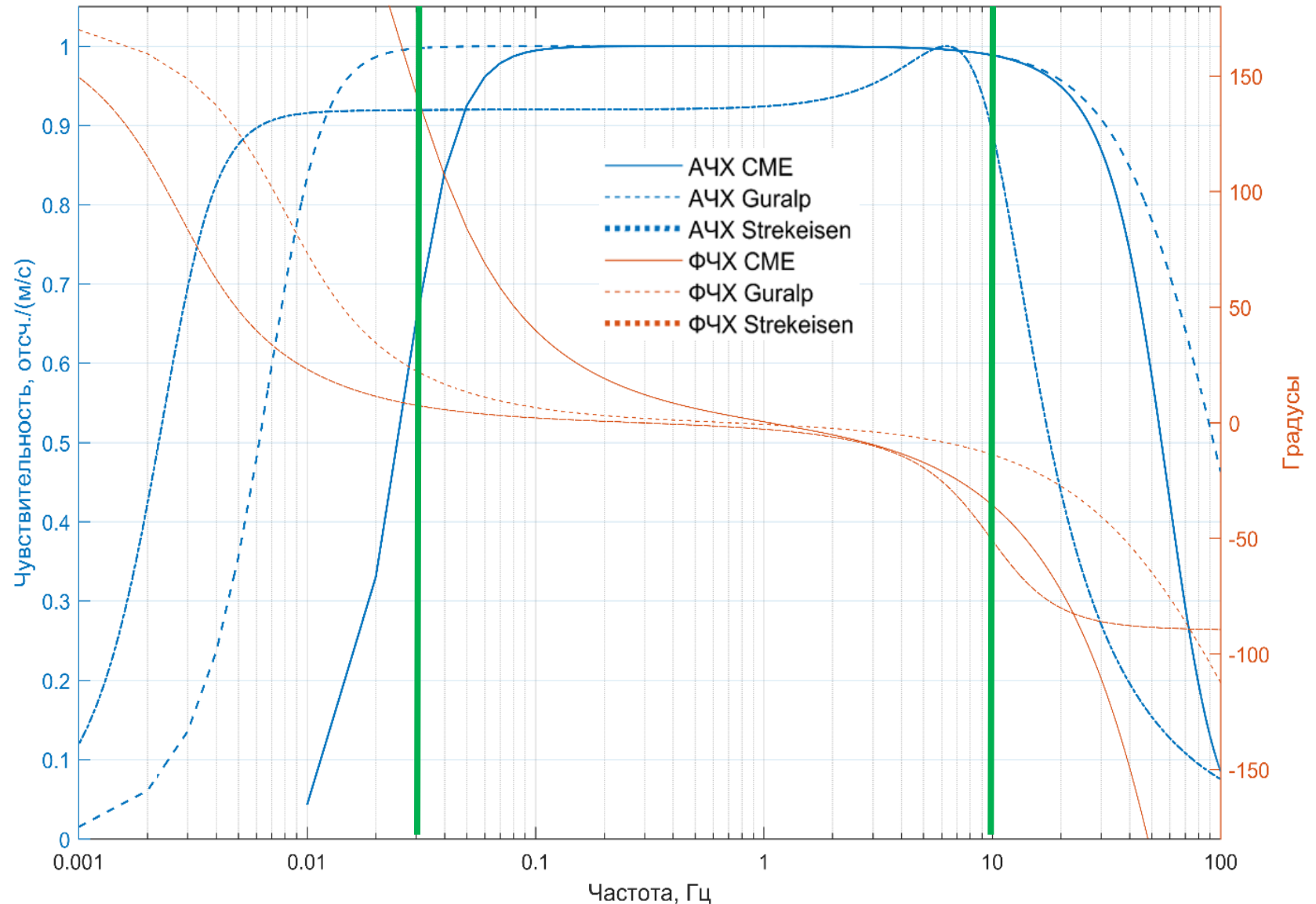


Sobisevich L., Agafonov V., Presnov D., Gravirov V., Likhodeev D., Zhostkov R.
The Advanced Prototype of the Geohydroacoustic Ice Buoy // Sensors, 2020,
V. 20, № 24

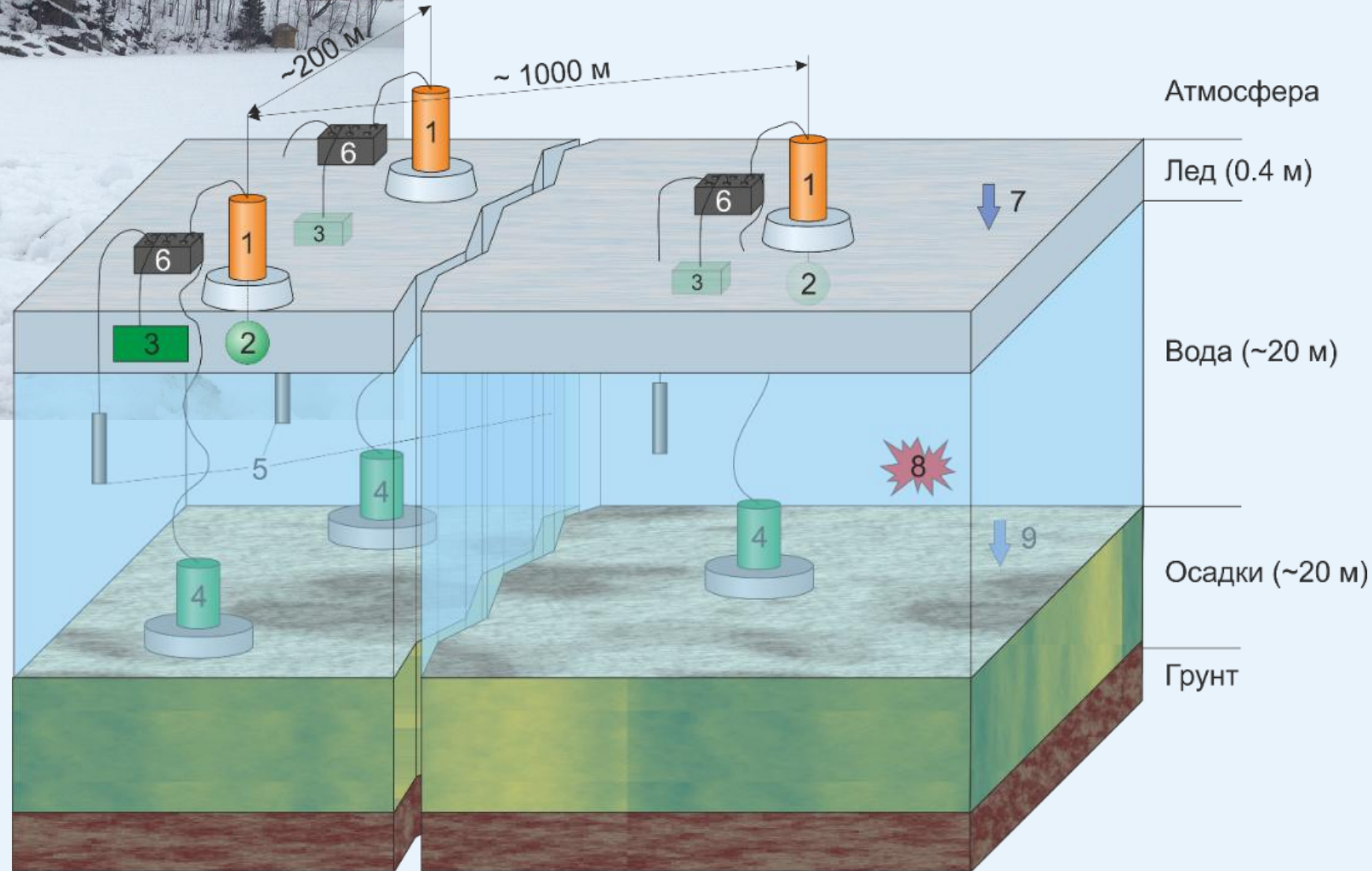
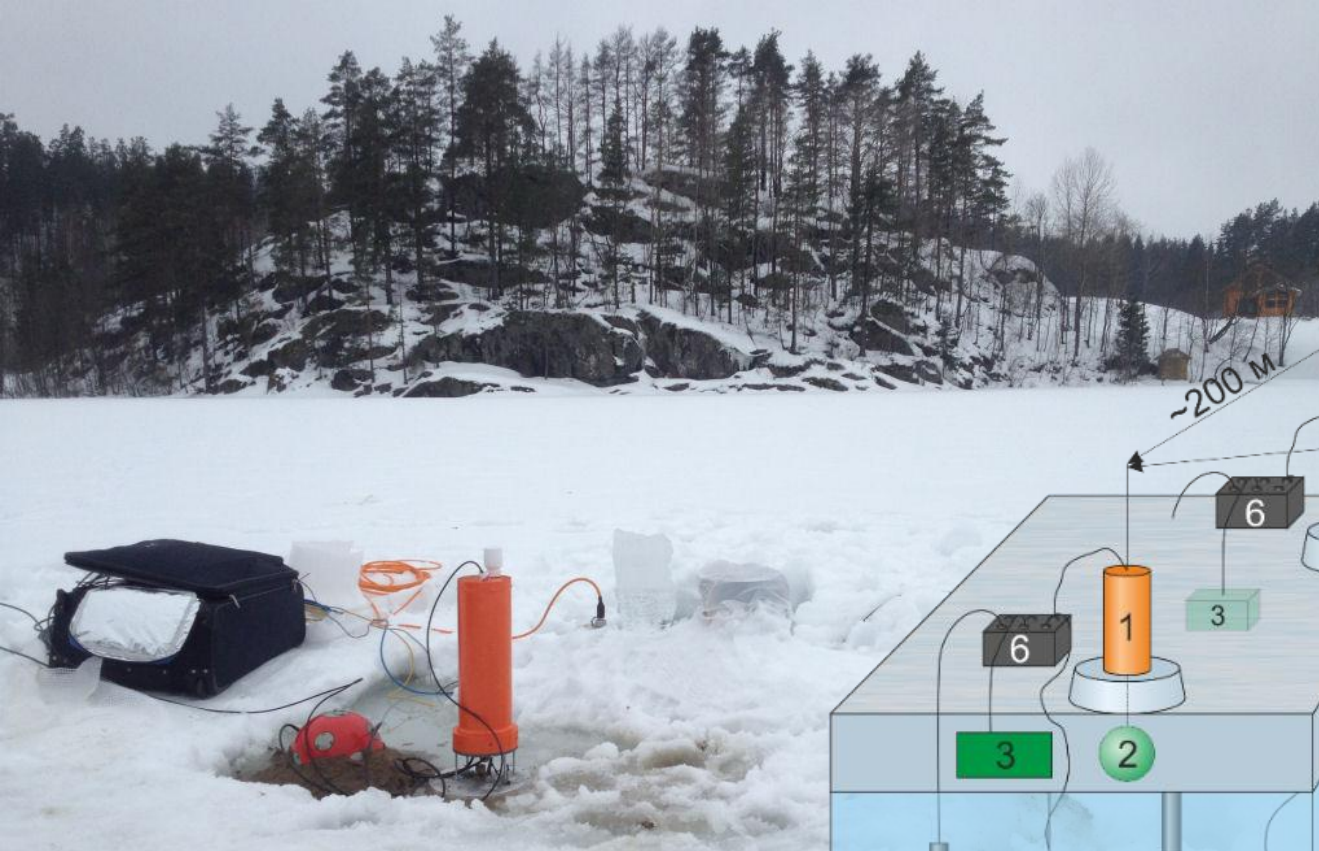
Сравнительные испытания рабочих макетов ледовых модулей



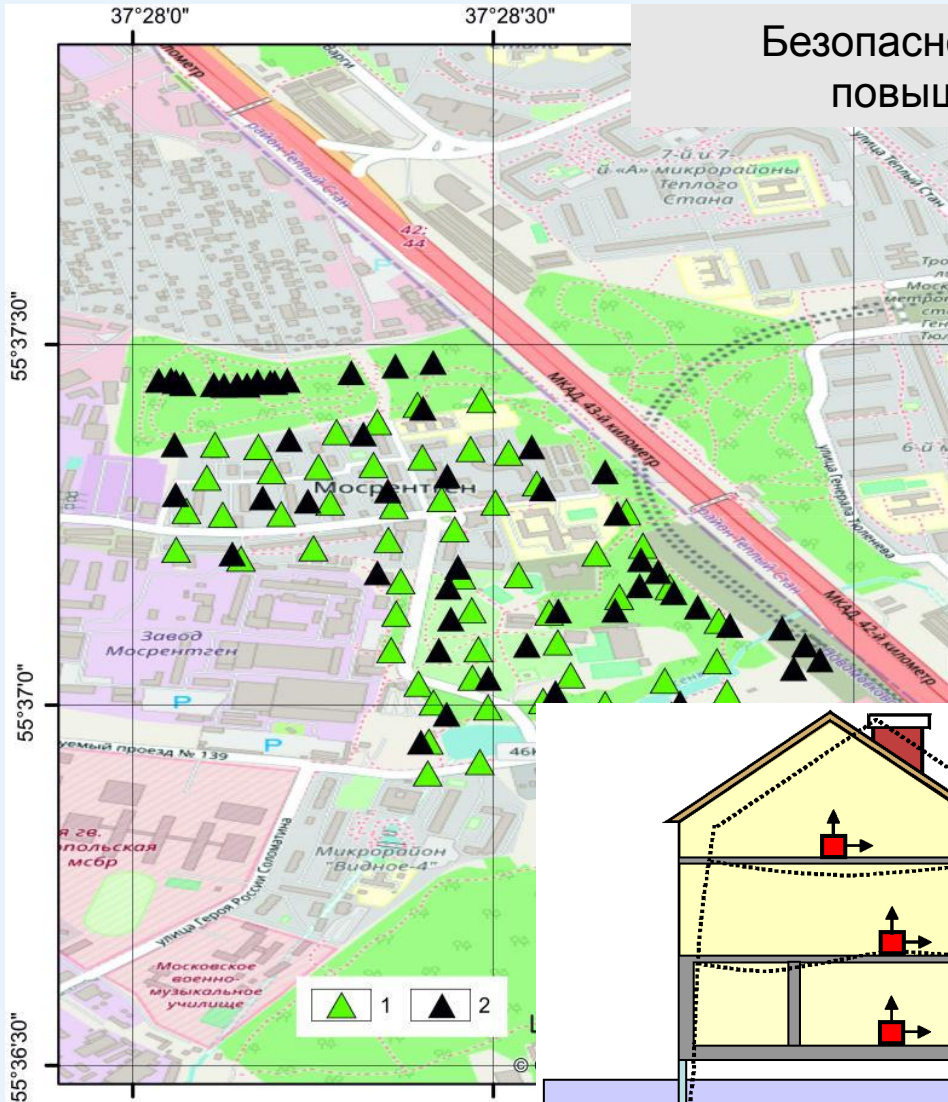
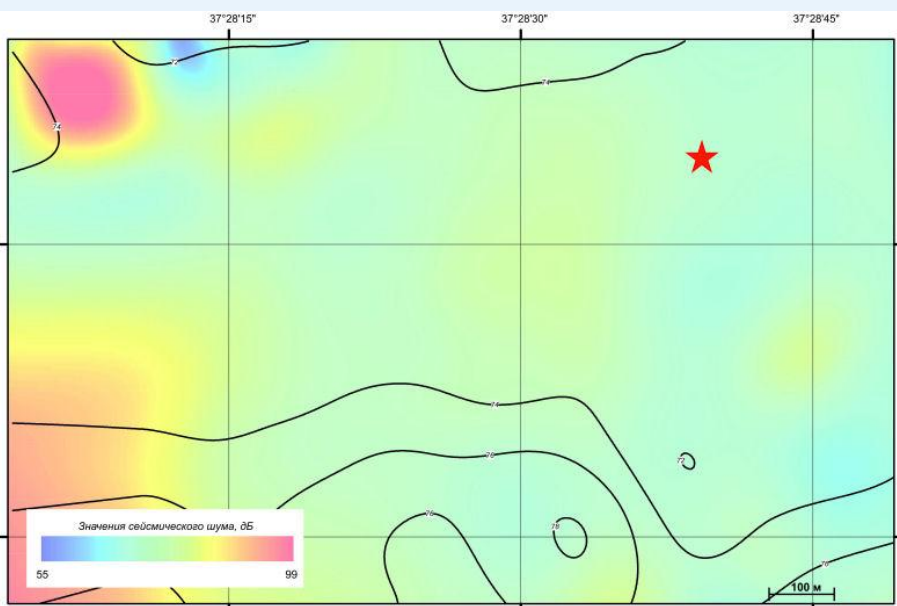
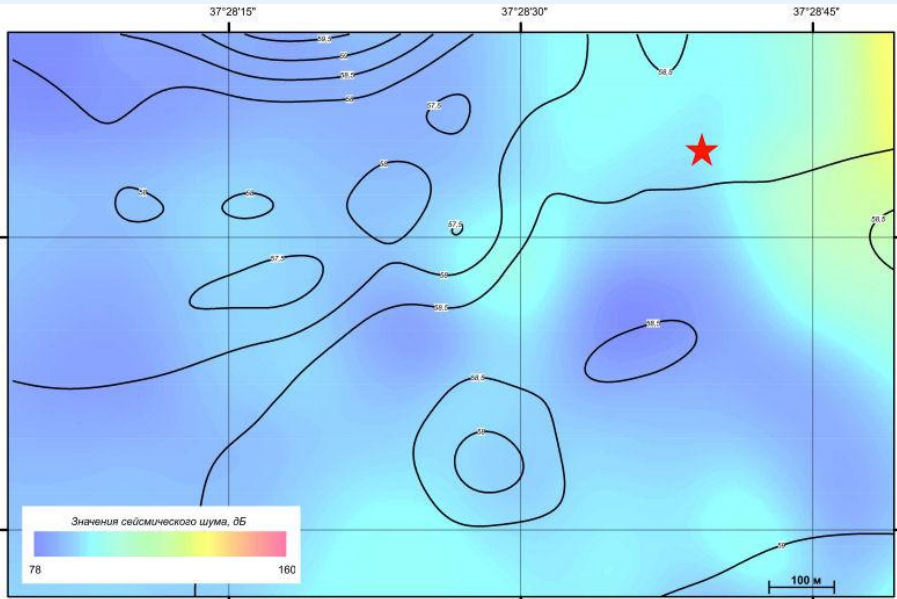
Сравнительные испытания маятниковых сейсмометров (Guralp, Streckeisen) и автономных гео-гидроакустических модулей на основе молекулярно-электронных вертикальных велосиметров (совместная разработка «R-sensors», ИФЗ РАН и АО «Концерн МПО – «Гидроприбор») на постаменте Геофизической службы РАН (г. Обнинск).



Ледовые эксперименты на Ладожском озере



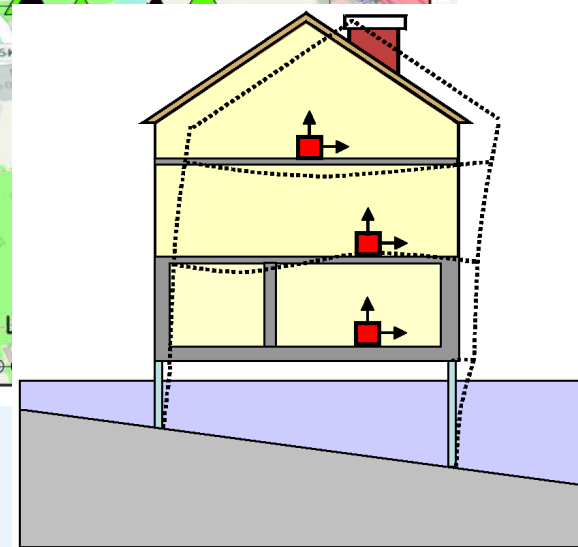
НЧ шумовое загрязнение среды обитания: геоэкология мегаполисов



Безопасность жизнедеятельности,
повышение качества жизни



Сейсмоакустические карты
зашумлённости пос.
Мосрентген в разное время



Котов А.Н., Агибалов
А.О., Сенцов А.А.
Низкочастотное шумовое
загрязнение северо-
восточной части пос.
Мосрентген (г. Москва) //
Геофизические процессы
и биосфера. 2023. Т. 22,
№ 2. С. 109–121.
<https://doi.org/10.21455/GPB2023.2-4>

Распределённые акустические датчики (DAS, distributed acoustic sensors)

На повестке дня – вопросы применения распределённых сейсмоакустических датчиков на основе оптоволокна, основанных на принципе анализа фазы обратно рассеянного сигнала, для решения задач изучения недр Земли, включая поиск и разведку полезных ископаемых, а также при организации долговременных систем мониторинга.

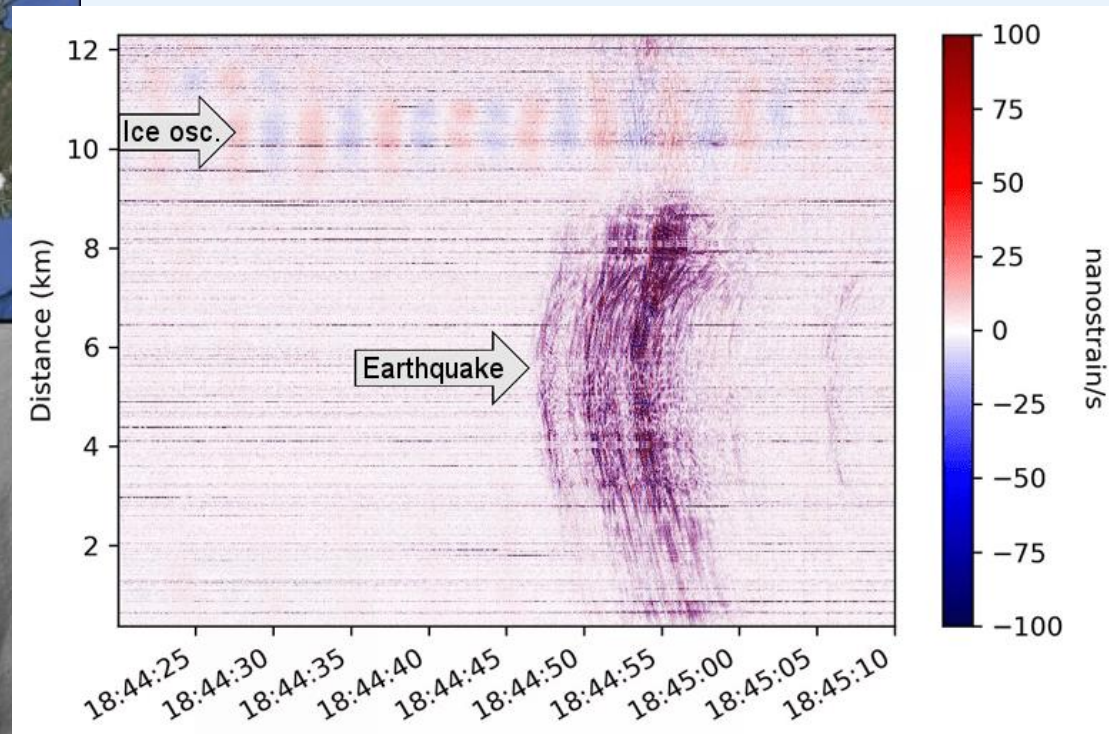
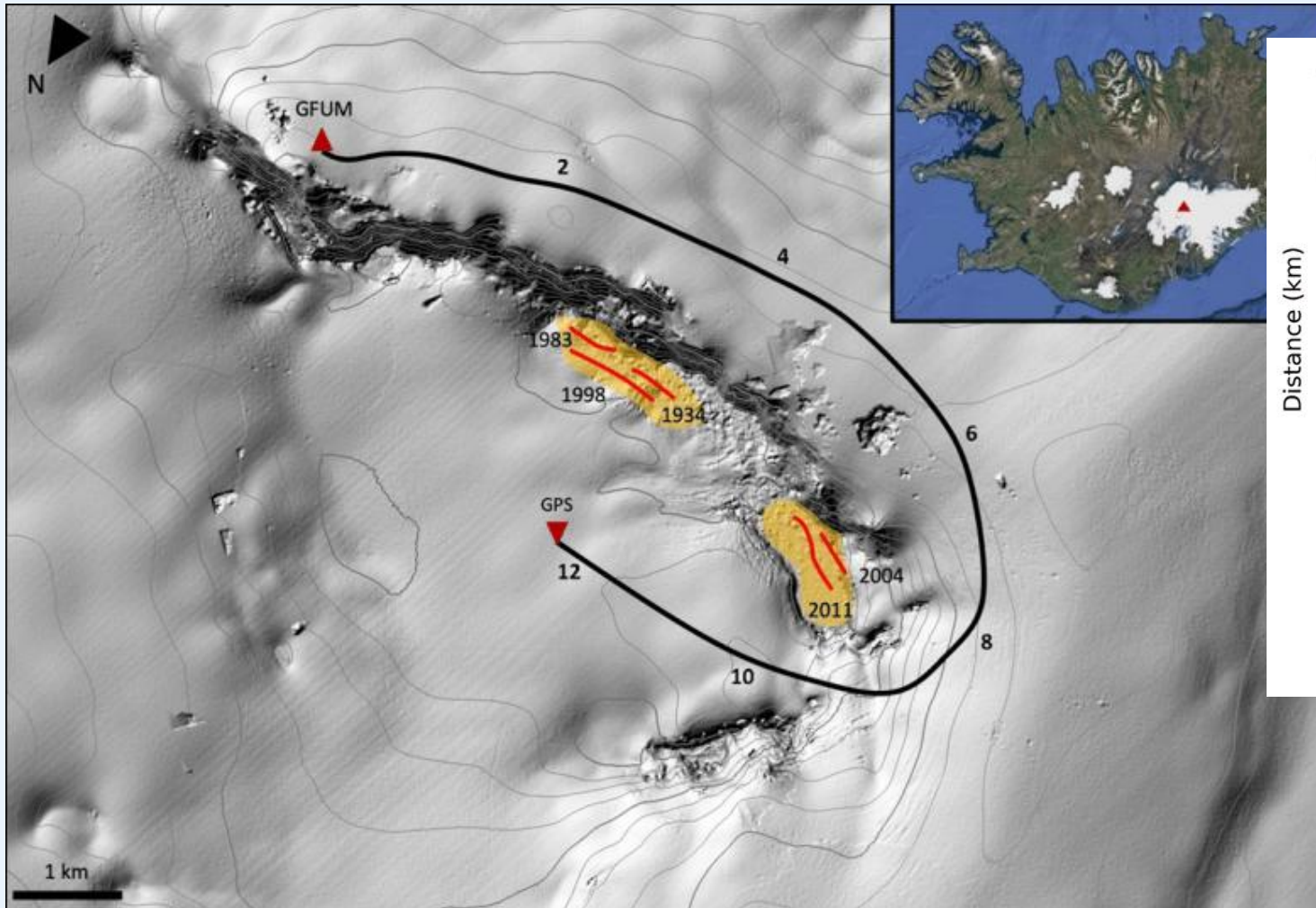


По информационным материалам компании Т8

Когерентная рефлектометрия - оптические импульсы при распространении отражают часть света обратно от дефектов волокна и от неоднородностей показателя преломления (центров рассеяния), равномерно распределённых по волокну, отражённые сигналы складываются когерентно (разность их фаз относительно друг друга постоянна во времени). Для каждой точки волокна максимальной разности между несколькими последовательными рефлектограммами. Анализируя изменения в интерференционной картине сигнала обратного рассеяния, можно определить место и характер воздействия на волокно.

Области применения системы: контроль трубопроводов, ВСП, мониторинг объектов транспортной инфраструктуры.

Применение распределённых акустических сенсоров (DAS)



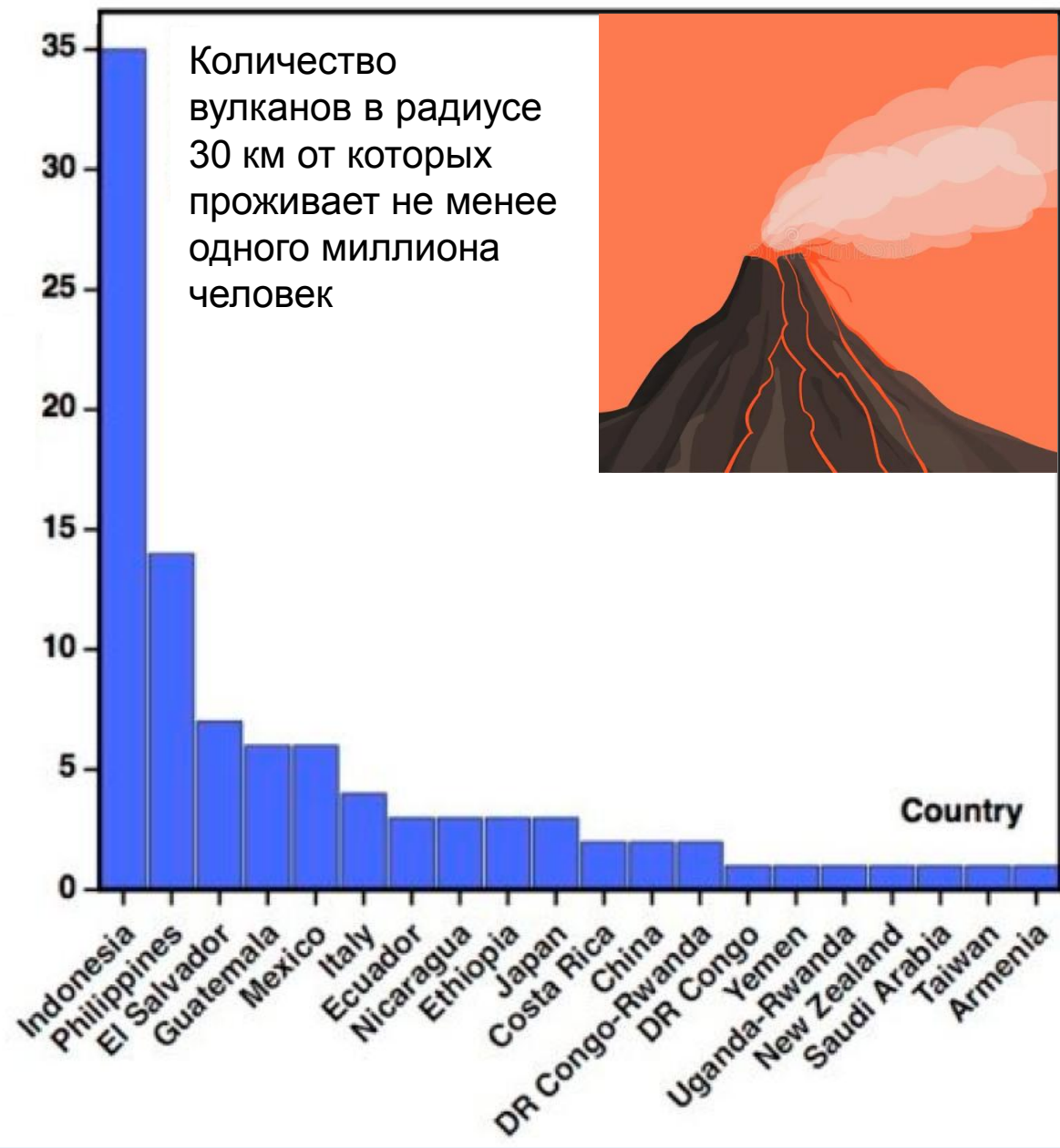
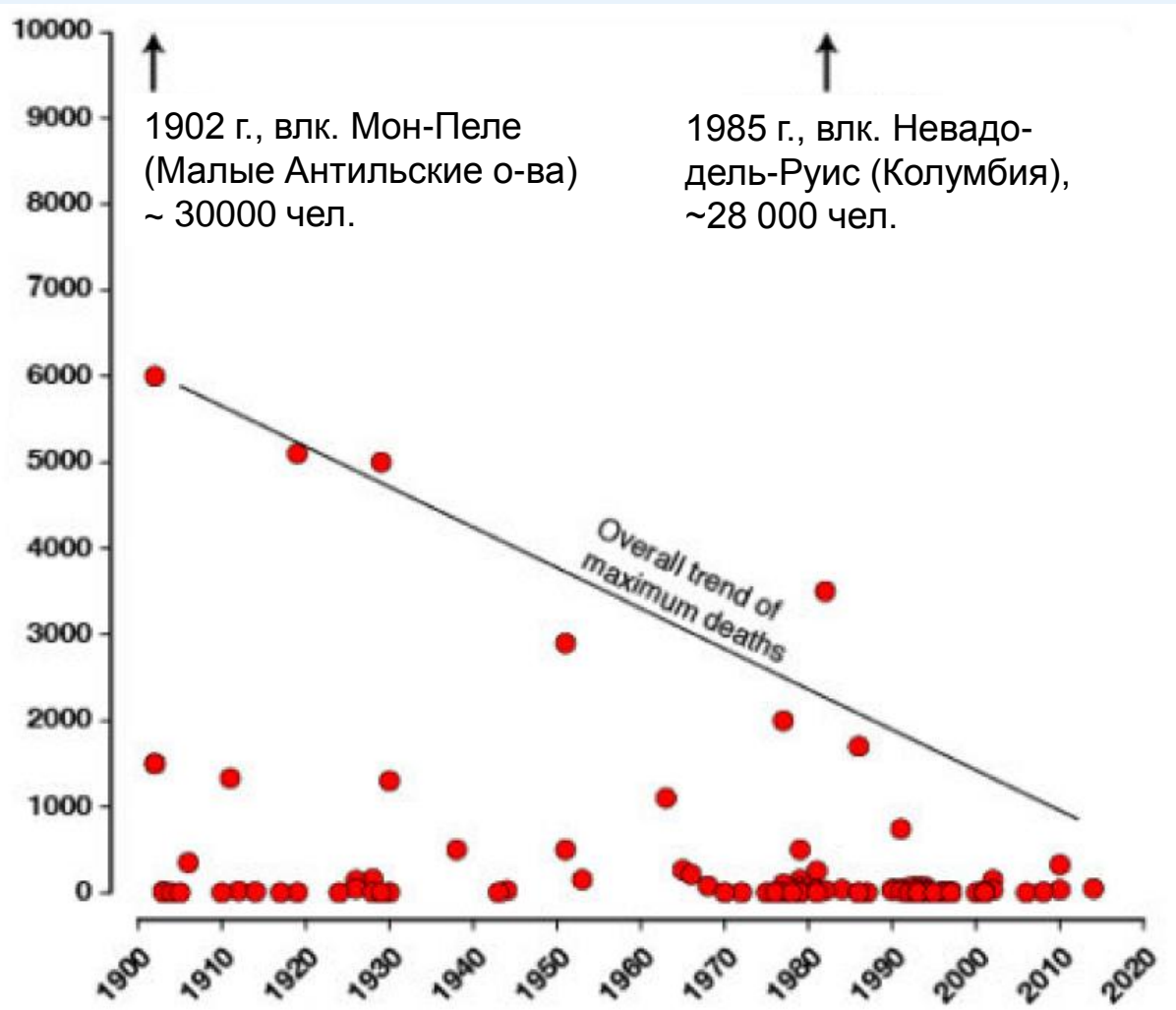
Пятидесятисекундная запись деформаций грунта вдоль оптоволоконного кабеля: местное землетрясение и гармонические колебания на поверхности подледникового озера.

Вулкан Гримсвётн (Исландия):
расположение оптоволоконного кабеля
в ходе эксперимента весной 2021 г.

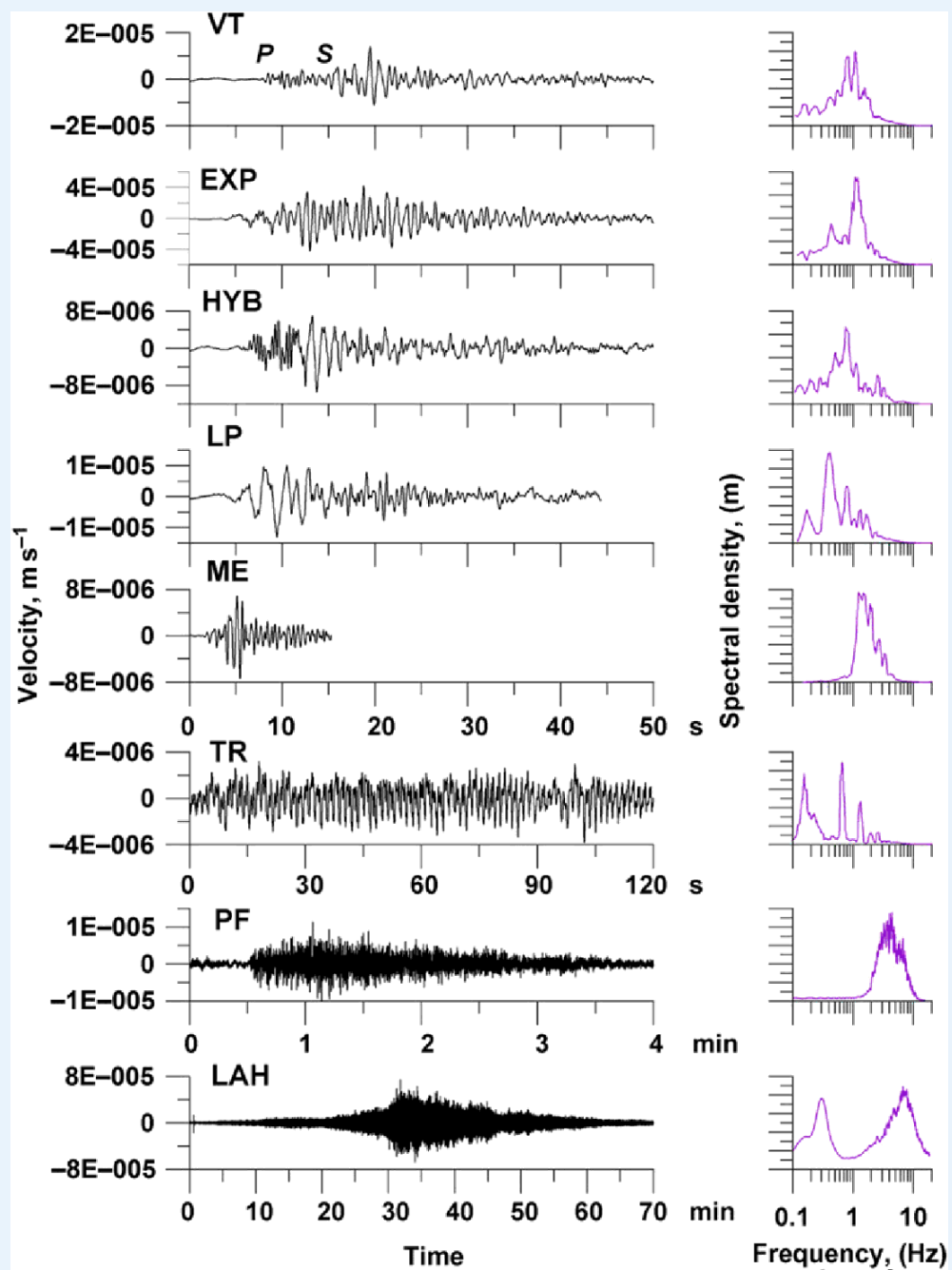
Klaasen, S., S. Thrastarson, A. Fichtner, Y. Çubuk-Sabuncu, and K. Jónsdóttir (2022), Sensing Iceland's most active volcano with a "buried hair," *Eos*, 103, <https://doi.org/10.1029/2022EO220007>. Published on 4 January 2022.

Наиболее опасные вулканы

1. История извержений.
2. Плотность населения в зоне поражения.
3. Система геофизических инструментальных наблюдений.
4. Готовность по линии подразделений ГО и ЧС.



Klemetti E. All the ways to know if that volcano might kill you (2017), <https://www.wired.com/2017/04/ways-know-volcano-might-kill/>



вулcano-
тектонические
землетрясения,

взрывы в кратере,

события, связанные
с выбросами газа,

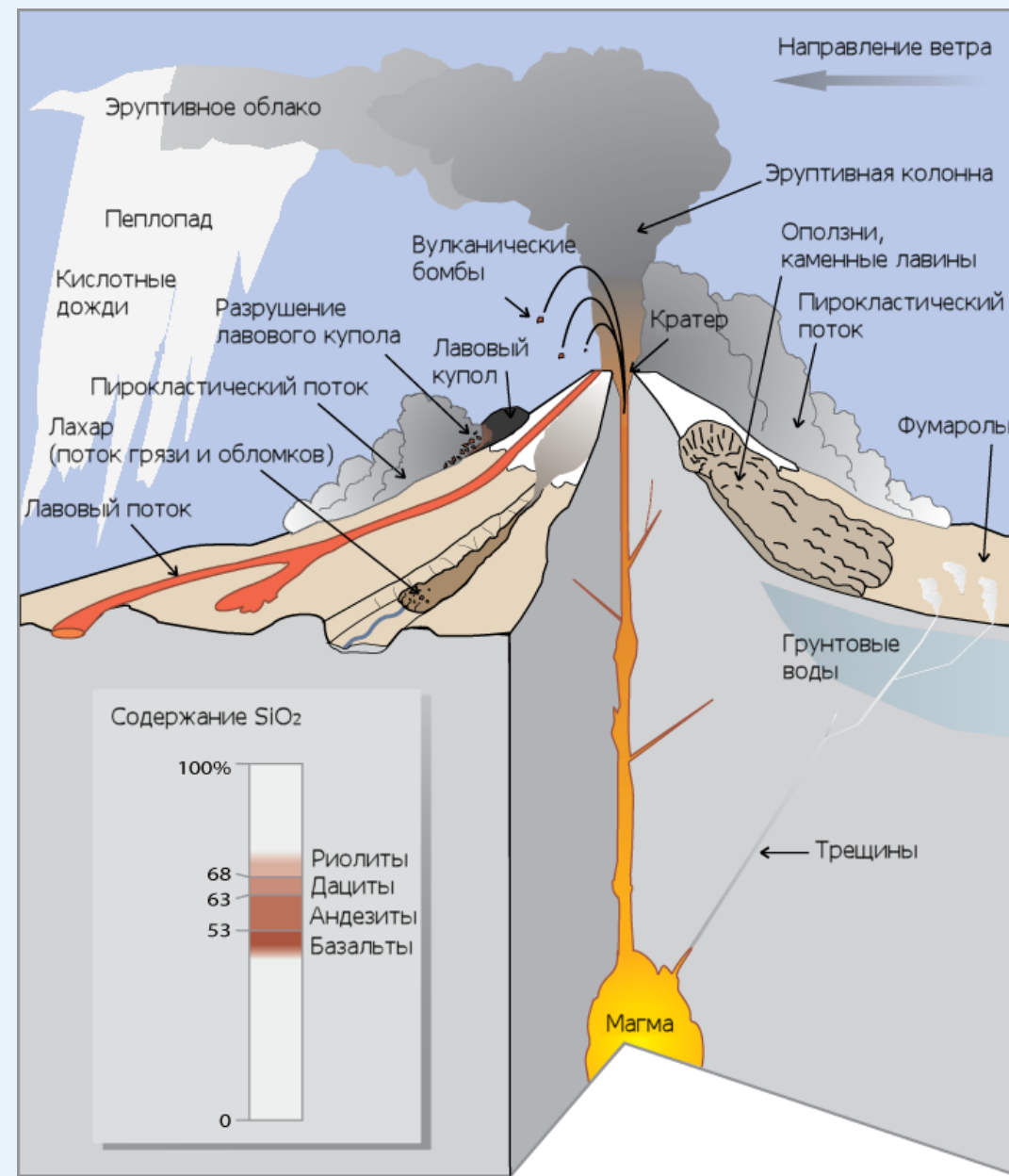
длиннопериодные
землетрясения,

экструзии,

вулканические
дрожания,

движение
пирокластических
потоков,

движение
лахаров по склонам



Сейсмические сигналы, зарегистрированные на вулкане Колима [Zobin, 2011].

Неожиданное извержение вулкана Мерапи 3 декабря 2023 г.

Вулкан Мерапи оборудован лучшей системой инструментального мониторинга в Индонезии, основанной в 1920 г. (сейсмологический мониторинг – с 1924 года).

Центр исследований и разработок технологий предотвращения геологических катастроф (BRPTKG) имеет мандат на смягчение последствий вулканической опасности и обеспечения раннего предупреждения для спасения жителей, подвергающихся риску извержений.

Центр управляет сетью сейсмологических, деформационных и температурных наблюдений, системами видеорегистрации и контроля газовых эманаций в попытках улучшить методы интерпретации данных эксперимента и способы предоставления информации раннего предупреждения.

Завершён переход в обработке данных к онлайн-технологиям в реальном времени.

Несмотря на это, выявление и прогнозирование изменений в режиме извержений, особенно с нечёткими индикаторами (фреатические взрывы), остаются сложной задачей.

Volcano	Country	Unexpected Eruption	VEI
Galeras	Colombia	1993	VEI 2
Ontake	Japan	2014	VEI 3
Marapi	Indonesia	2023	VEI 2



Budi-Santoso A. Beauducel F. et al. The Merapi Volcano Monitoring System / Merapi Volcano, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15040-1_13

https://www.researchgate.net/publication/367972638_The_Merapi_Volcano_Monitoring_System

<https://www.ipgp.fr/~beaudu/vsi/monitor.html>,

<https://www.youtube.com/@GeologyHub>

VEI = 2
Marapi (Dec 3rd, 2023)

1 million m³ - <0.01 km³

А.В. Разин, А.Л. Собисевич

ГЕОАКУСТИКА СЛОИСТЫХ СРЕД

Москва
2012

Ю.В. Петухов, А.В. Разин,
А.Л. Собисевич, В.И. Куликов

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ И АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В СЛОИСТЫХ СРЕДАХ

Москва
2012

Благодарю за внимание

Теоретически и экспериментально исследованы условия формирования структуры геоакустических полей в покрытом льдом море.

На основе математического моделирования решения обратной задачи оценки параметров ледового покрова по данным о дисперсии изгибно-гравитационной волны разработан алгоритм оценки упругих характеристик льда в пассивном режиме.

Разработана концепция нового класса сейсмоакустических вмораживаемых информационно-измерительных модулей в том числе с использованием молекулярно-электронных преобразователей, проработаны инженерные решения и созданы научные основы технологий мониторинга заглубленных неоднородностей на арктическом шельфе.

Объединение научно-исследовательского и военного потенциала представляется ключевым преимуществом, позволяющим эффективно развивать методы и средства мониторинга в АЗРФ.

