



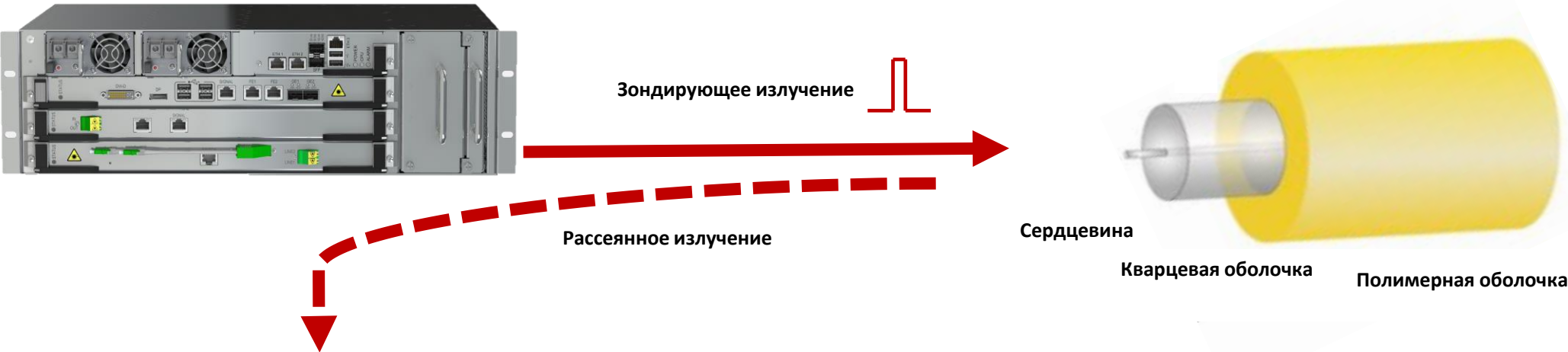
Влияние геометрии кабеля на сигнал DAS в сейсморазведке

Выполнил:
Инженер 3 категории
Пономарёв И. С.

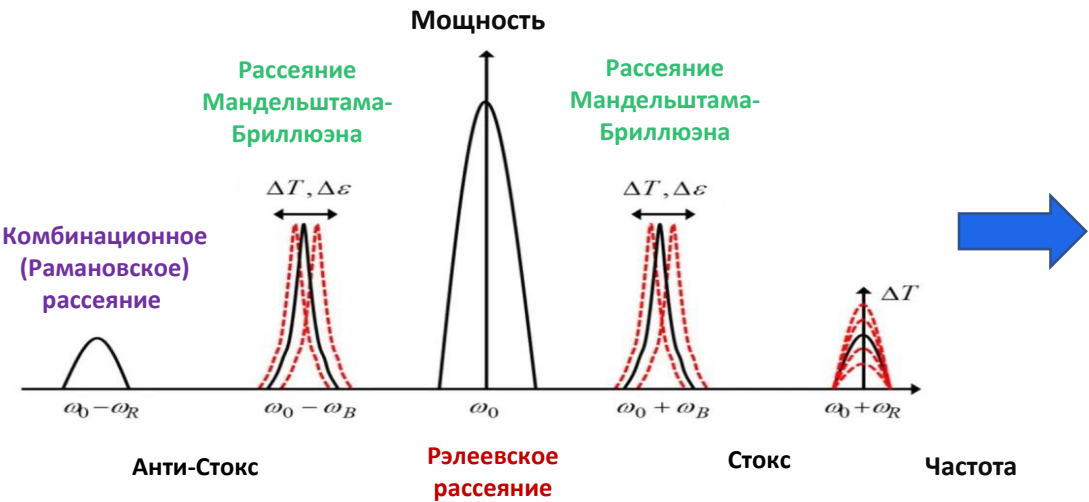
ПРИНЦИП РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ДАТЧИКОВ



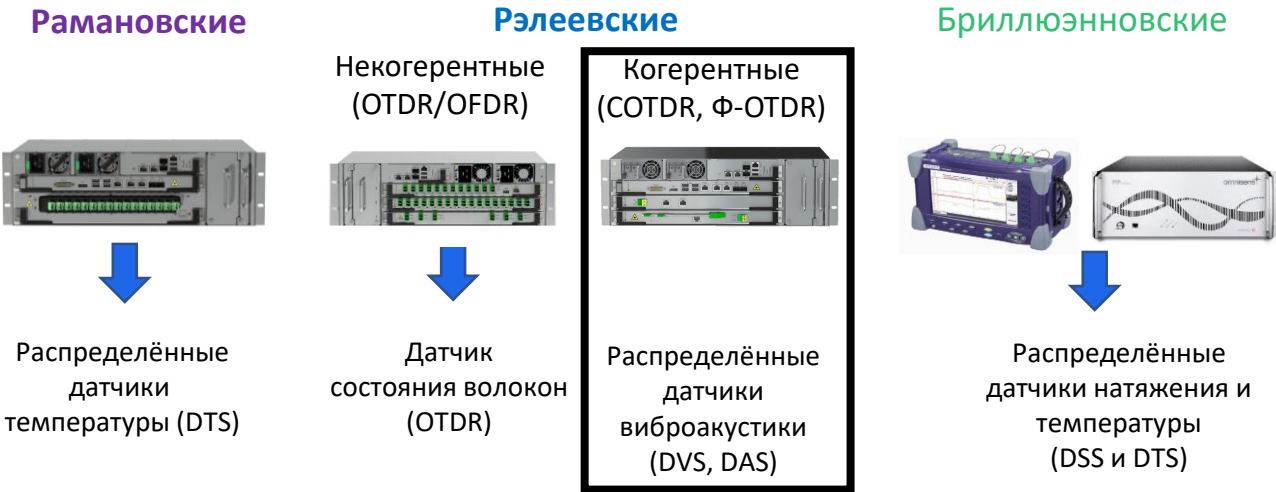
Принцип работы



Спектр рассеянного света



Рефлектометры – регистраторы рассеяния



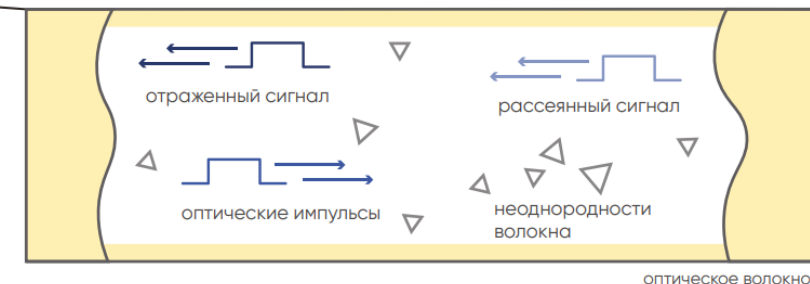
РАСПРЕДЕЛЁННЫЙ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК (DAS)



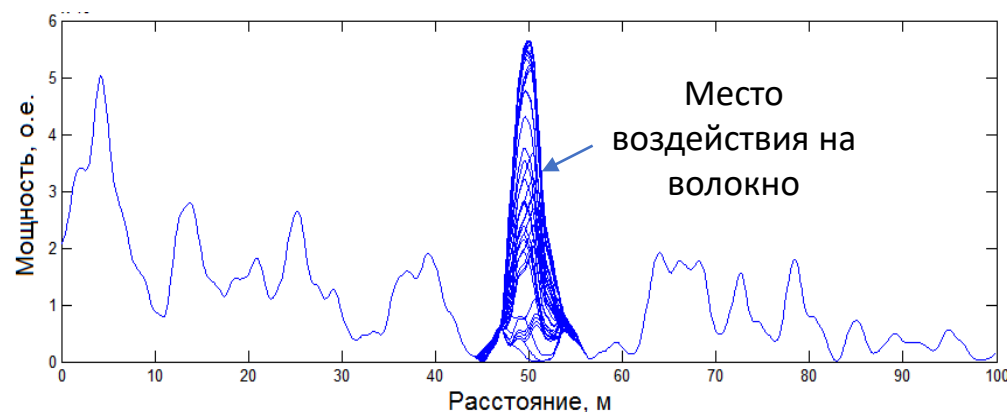
Регистратор DAS - когерентные рефлектометры «Дунай» и «Агидель»



Принцип работы



Когерентная рефлектограмма



Случайная интерференция рассеянного излучения

Преимущества технологии:

- Высокая чувствительность к виброакустике, растяжению, изменениям температуры

Недостатки:

- Невозможно отличить растяжение волокна от нагрева
- Необходимо бороться с зонами «замирания»

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi c\tau_d}{\lambda} \beta\Delta T + \frac{2\pi c\tau_d}{\lambda} \xi\Delta\varepsilon + 2\pi c\tau_d \Delta\nu$$

Hartog A. H. An introduction to distributed optical fibre sensors. – CRC press, 2017.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ



СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА



Периметры
(Контроль активности)



Автодороги



ЖД и метро



Трубопроводы

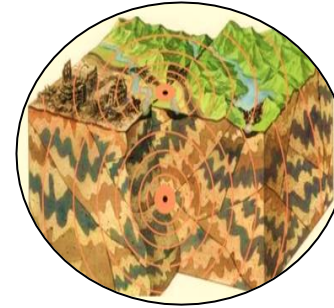


Колодцы и т.п.

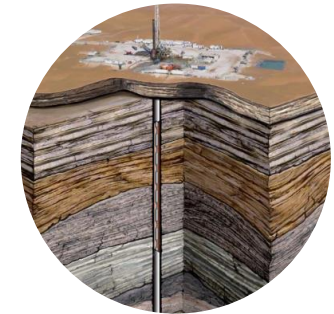


Линии электропередач

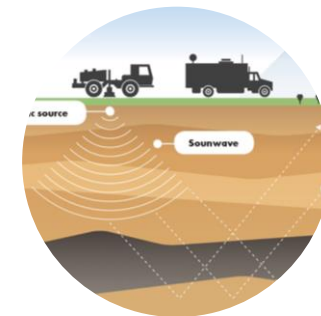
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ



Мониторинг
землетрясения



Скважинная сейсмика



Наземная сейсмика

DAS С ПРЯМЫМ ВОЛОКНОМ В ГЕОФИЗИКЕ

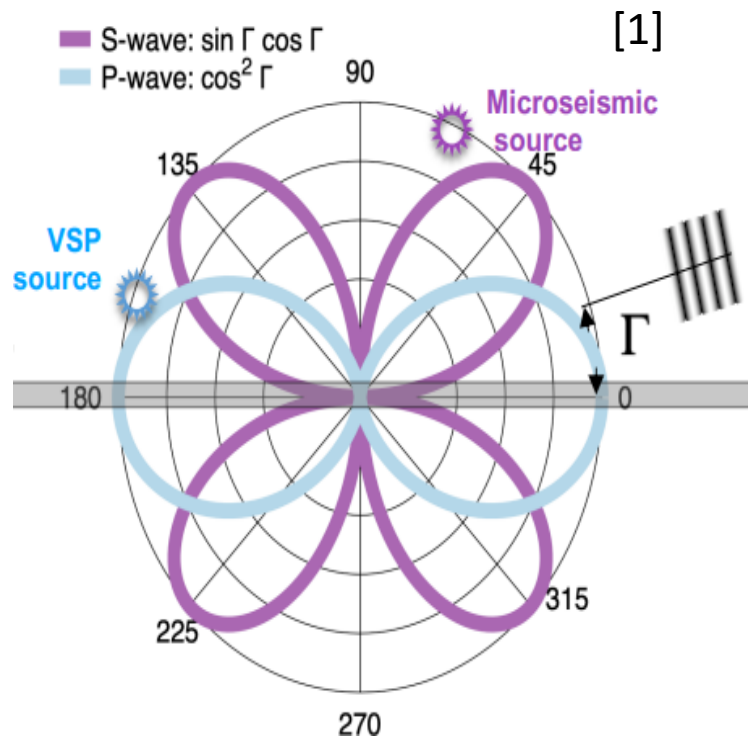
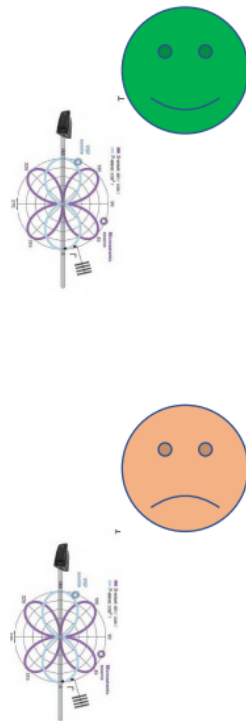
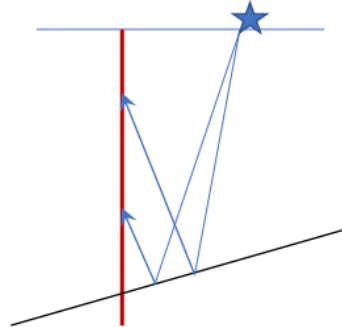


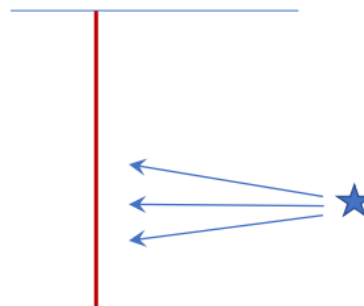
Диаграмма направленности кабеля с прямым волокном



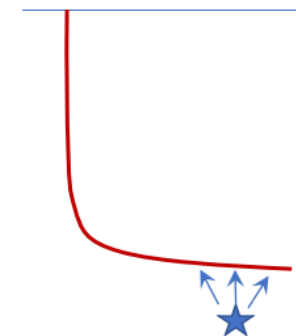
Вертикальное
скважинное
профилирование



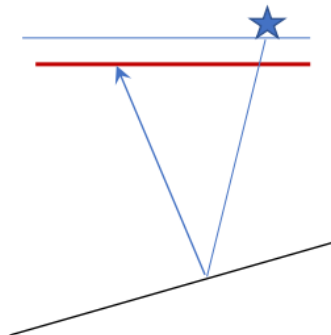
Межскважинное
профилирование



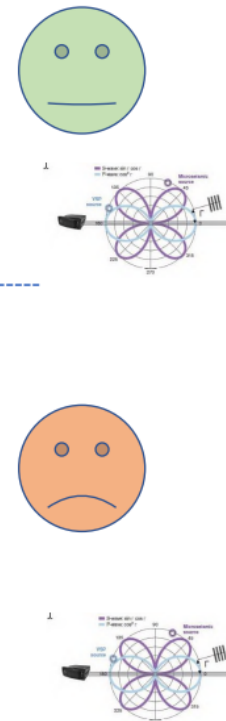
Вертикальное
скважинное
профилирование
(горизонтальная
скважина)



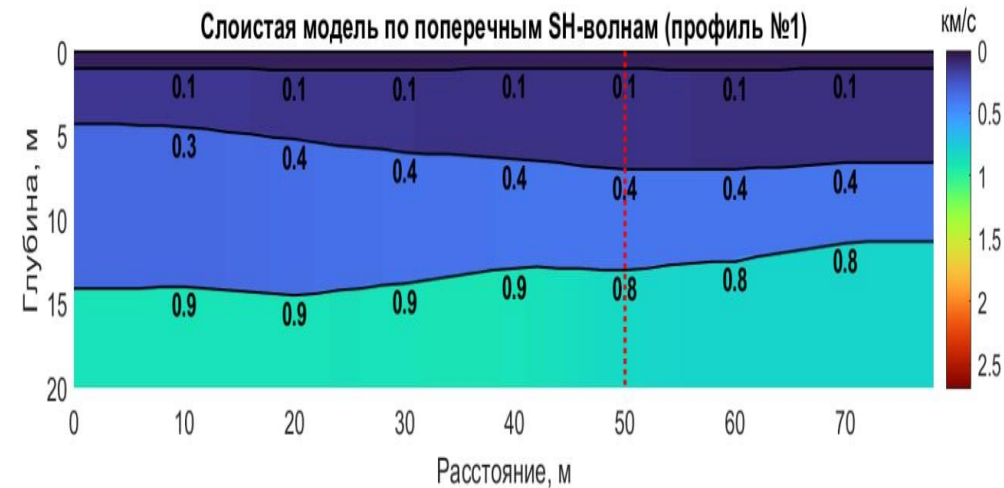
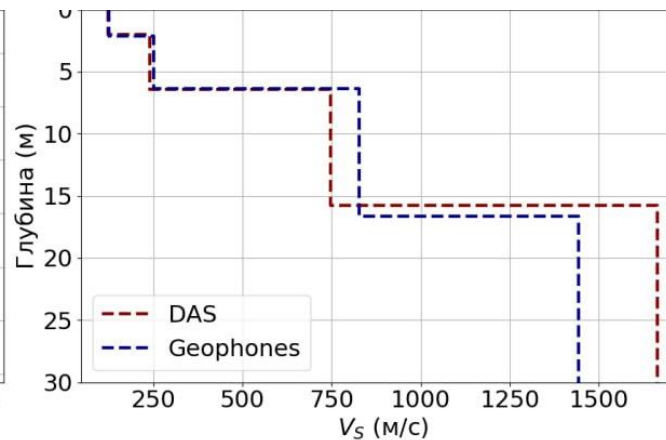
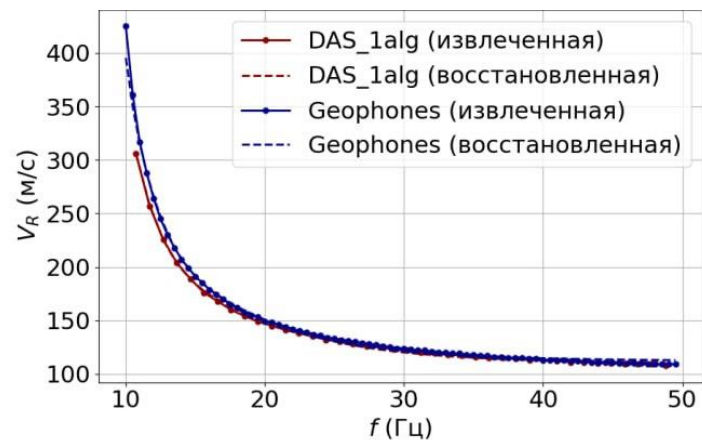
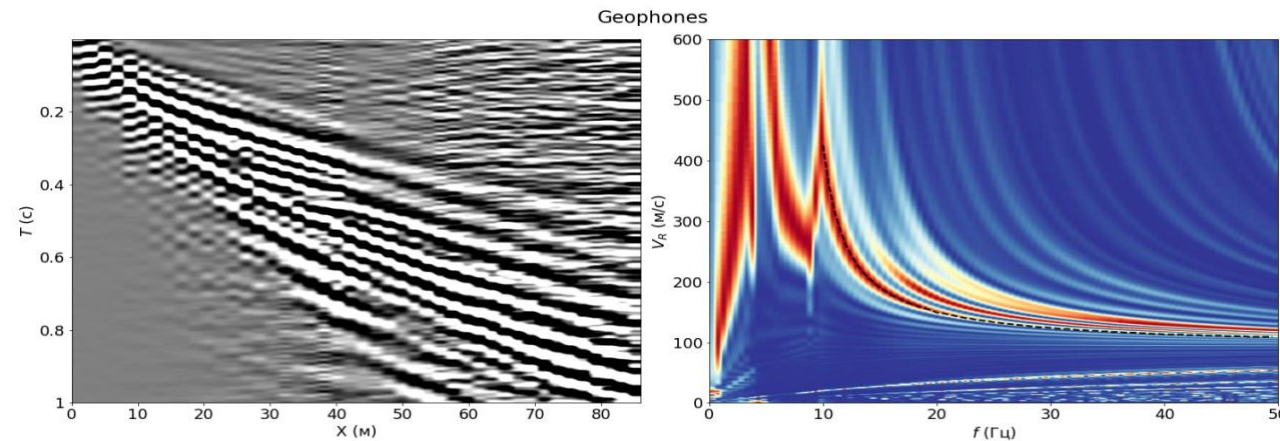
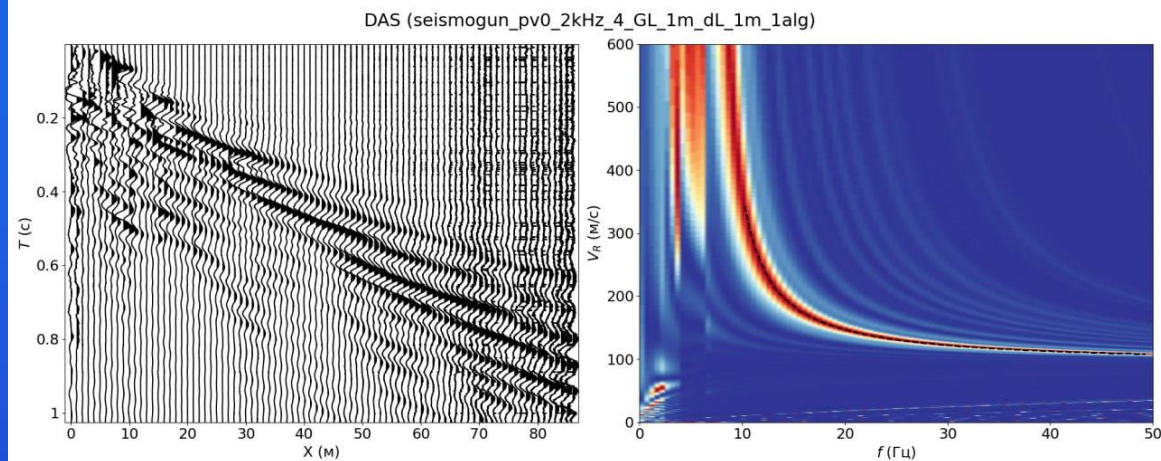
Инженерная
сейсморазведка МОВ



[2]



MASW НА ПРЯМОМ КАБЕЛЕ



Разрез МПВ на SH волнах

Исследования проводились совместно с ИНГГ СО РАН

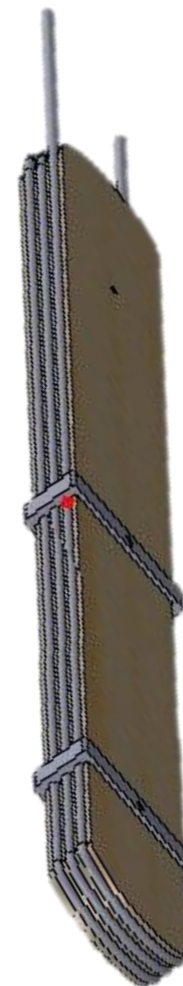
ВОЗМОЖНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ



Спиральный кабель



Волоконно-оптический
геофон



«Якорь»



Кольцо

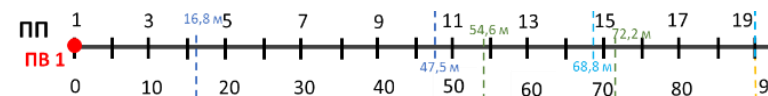
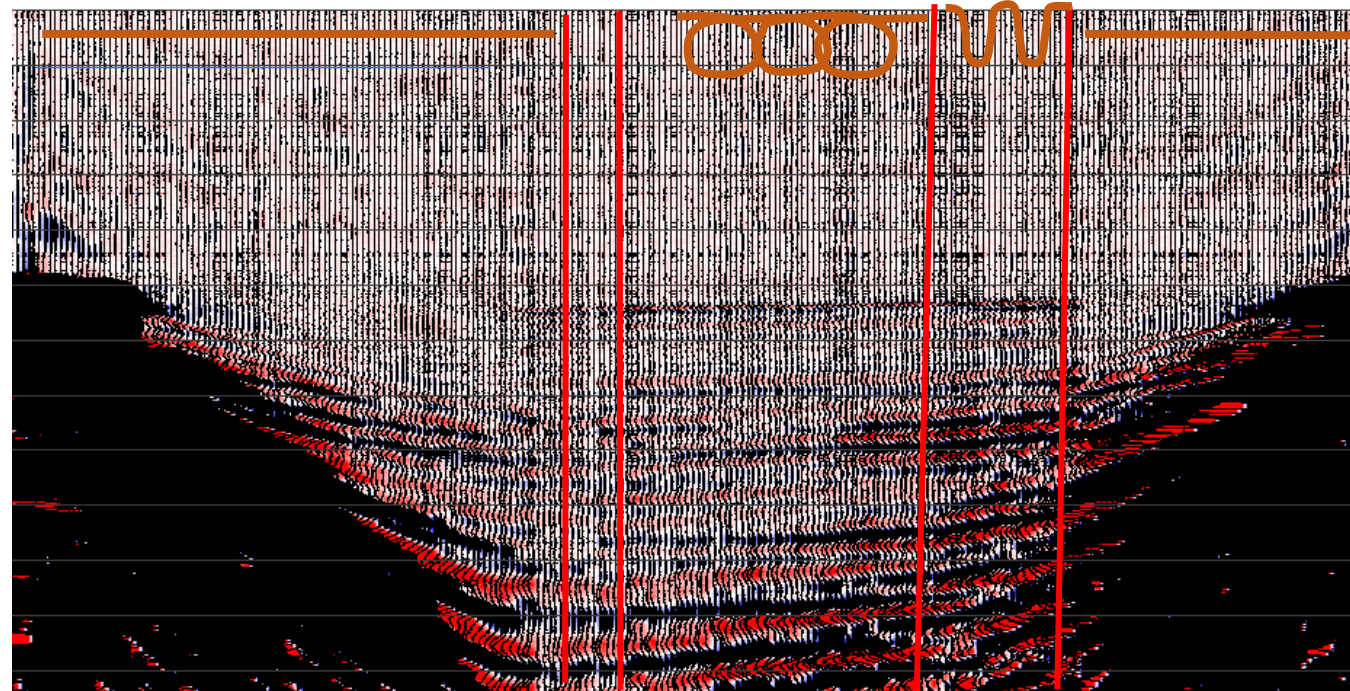
ВОЛОКОННЫЕ КОЛЬЦА



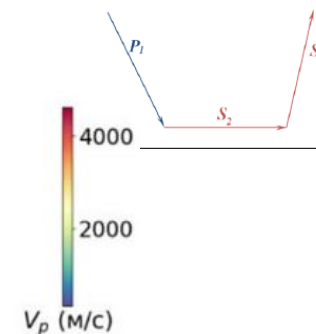
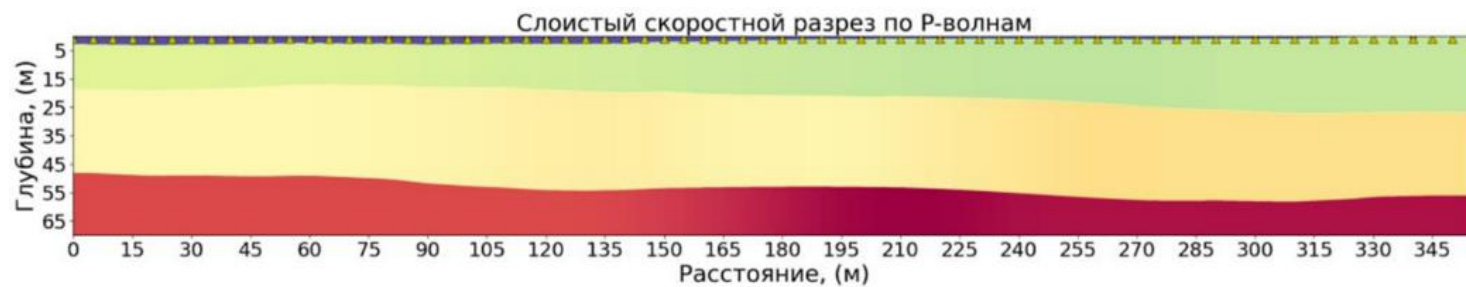
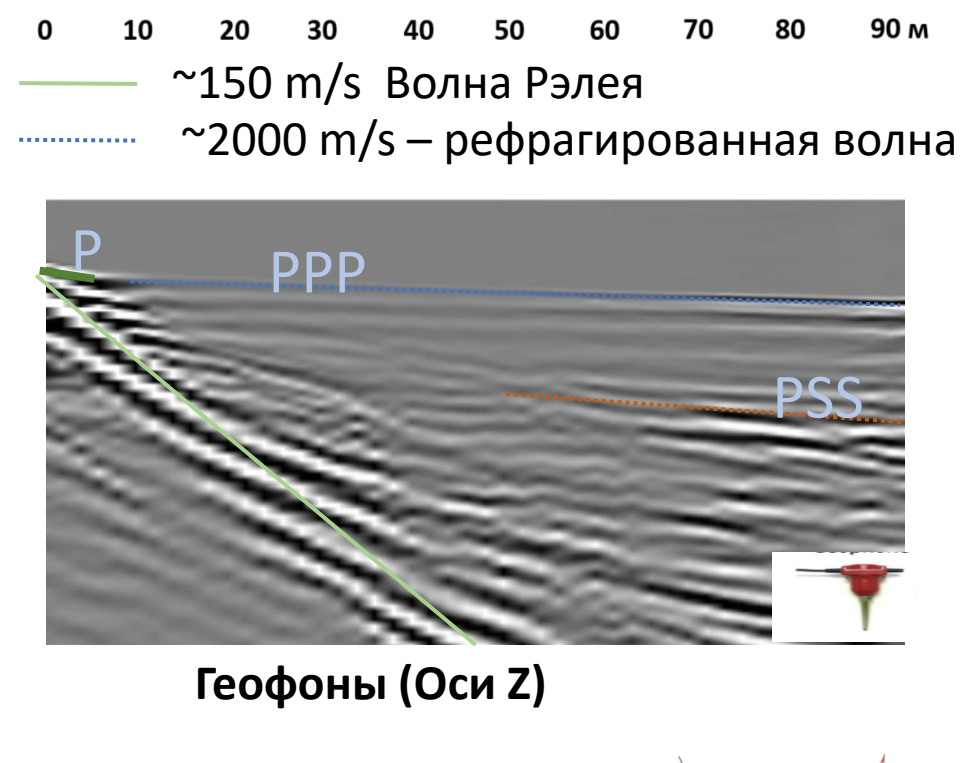
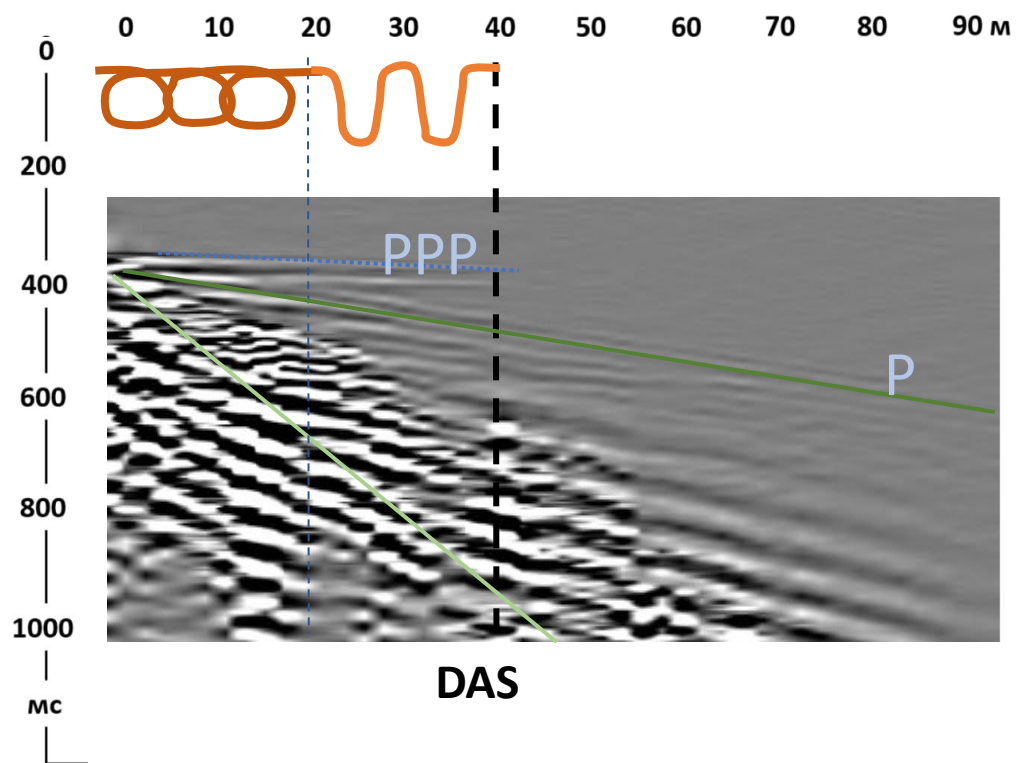
Варианты укладки кабеля в
траншее ~1.2 м

Прямой

Кольца



ВОЛОКОННЫЕ КОЛЬЦА

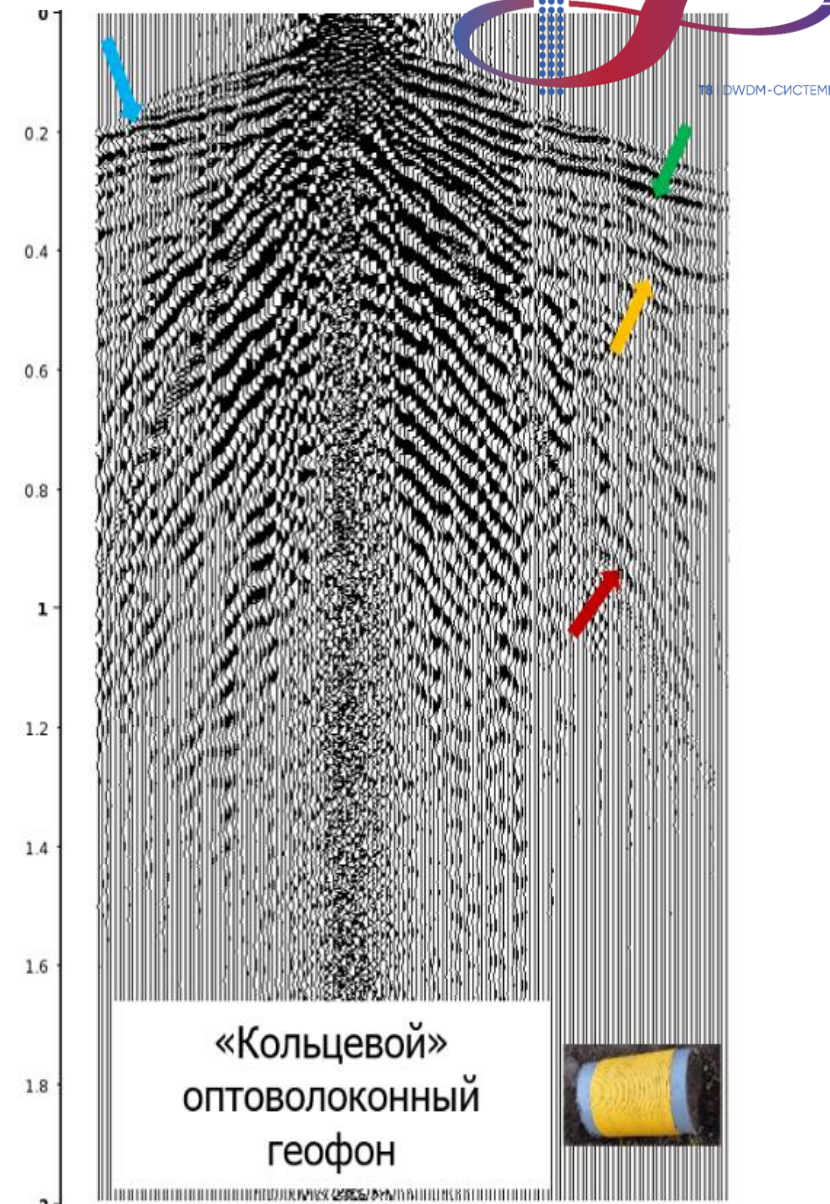
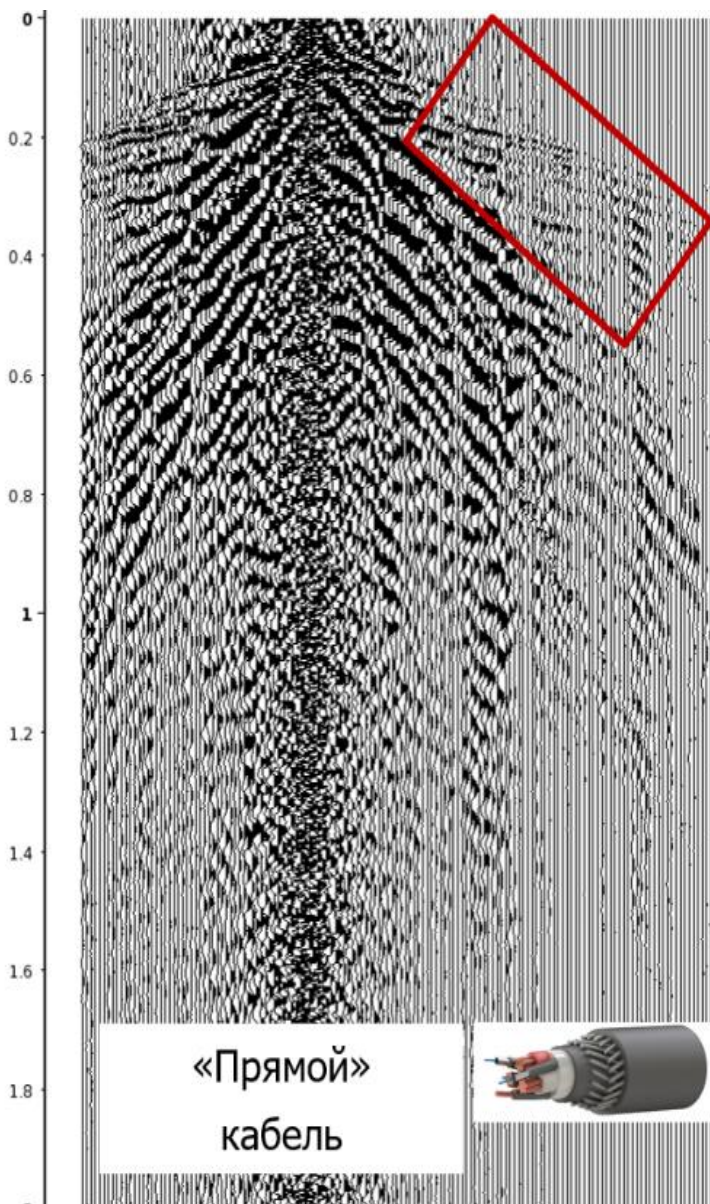
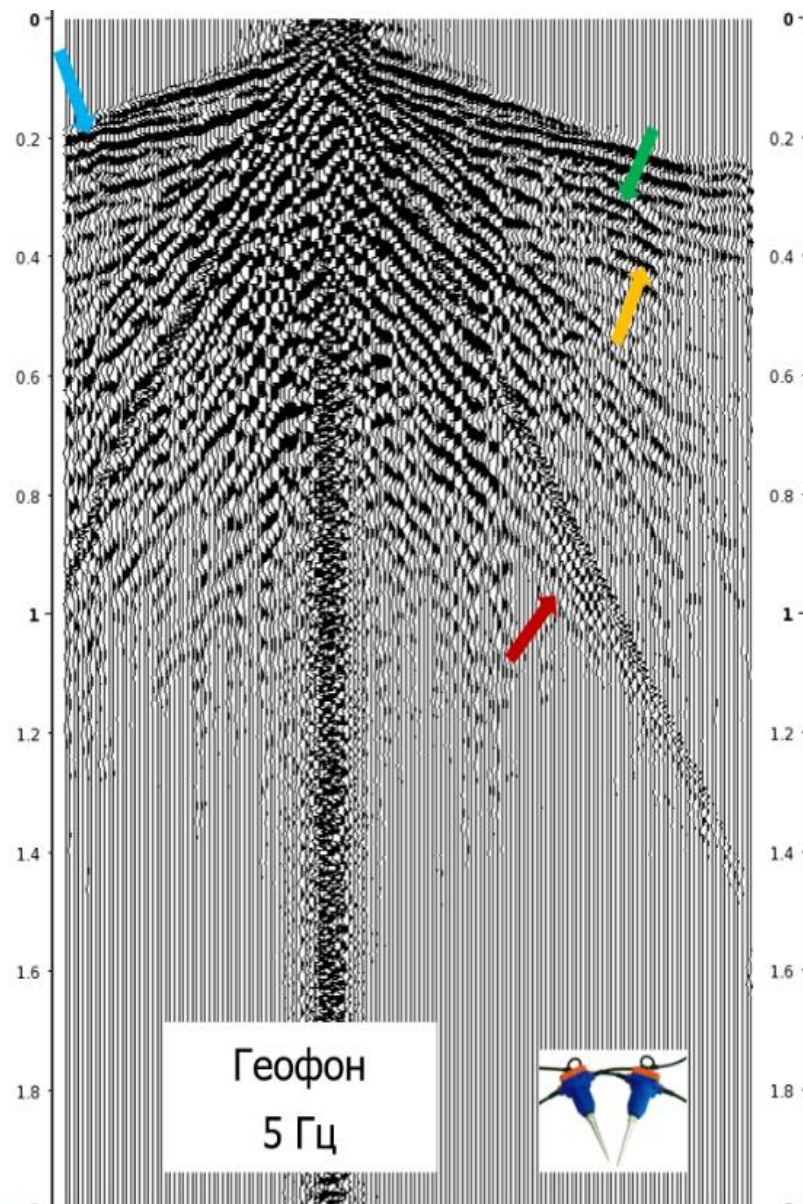


ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПО ГЕОФИЗИКЕ



«Кольцевой»
геофон в
свободной
намотке

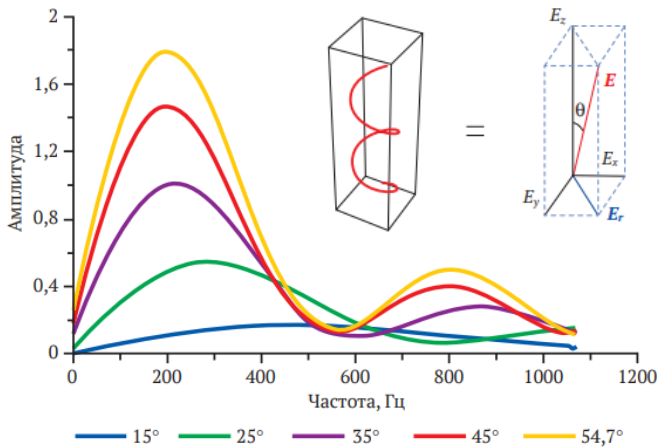
СРАВНЕНИЕ DAS И КЛАССИЧЕСКИХ ГЕОФОНОВ



СПИРАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ



Диаграмма направленности кабеля в зависимости от намотки волокна и чувствительность в поперечном направлении



Конструкция

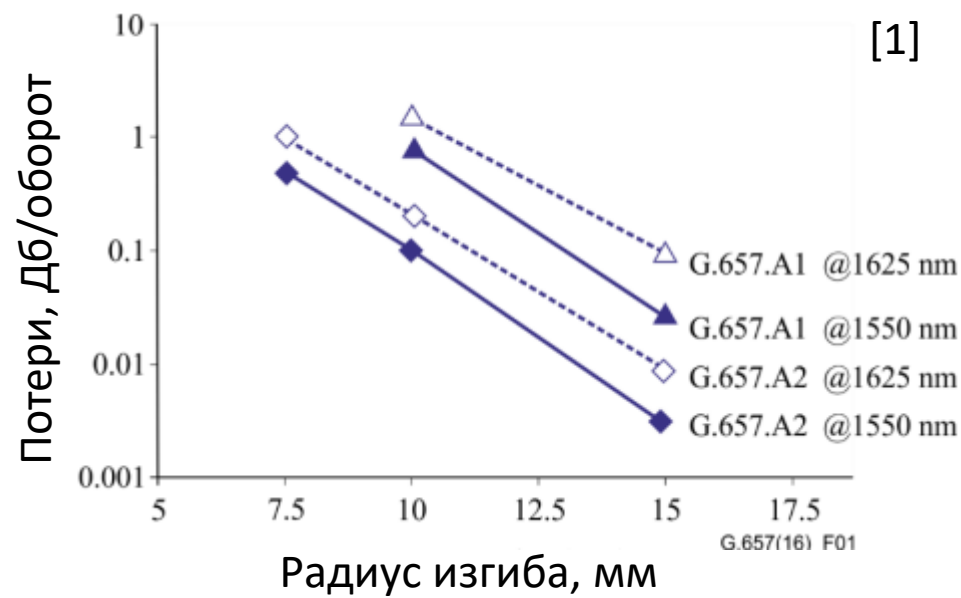


Характеристики кабеля

Диаметр кабеля	30,0 мм
Вес кабеля	604 кг/км
Рабочая температура	-40°C...+70°C
Максимально допустимая растягивающая нагрузка	7 кН
Количество оптических волокон в центральном модуле	До 4
Количество оптических волокон в скрученных модулях	24 (6x4)

Чугаев А. В., Тарантин М. В. Амплитудно-частотный отклик распределенного акустического сенсора DAS со спиральной намоткой волокна. – 2023. [1]
Мониторинг состояния породного массива распределенными акустическими датчиками на аварийном участке калийного месторождения – Чугаев А.В. [2]
Спецификация на кабель-датчик скважинный WellSense марки WellSense-30.0mm-PE-02 SM/02 SM-70 [3]

ИЗГИБНЫЕ ПОТЕРИ



Потери на изгиб наиболее изгибоустойчивого доступного волокна G657A.

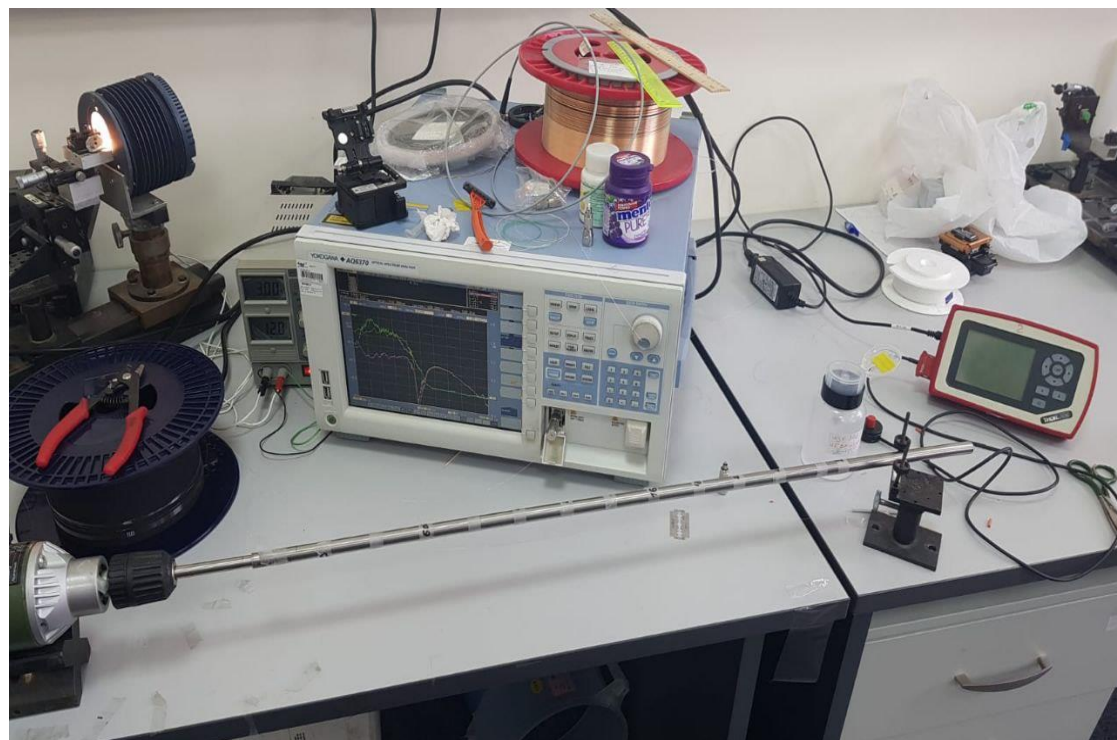
Тип волокна	Фактические потери (дБ/км)	Потери после изгиба (дБ) — 5 мм, 1 виток	Потери после изгиба (дБ) — 15 мм, 50 витков	Потери после изгиба (дБ) — 15 мм, 1 виток
G657.B3 (Corning) экспериментальное	0.210	0.130	1.421	0.028
G657.A2 (Китай)	0.186	Обрыв	10.795	0.216

Наши измерения.

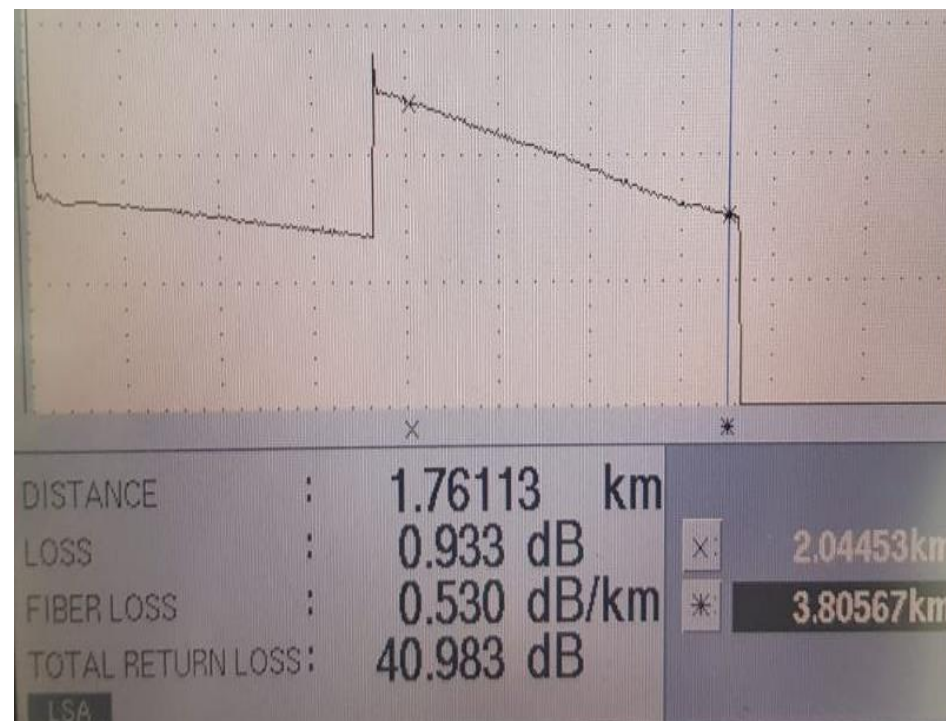
СПЕЦИАЛЬНОЕ ИЗГИБОУСТОЙЧИВОЕ ВОЛОКНО



$$M \sim r^2$$



Установка для проверки изгибоустойчивости



При бюджете потерь линии 6 дБ, диаметре кабеля 15 мм при намотке под углом 55° возможная длина линии с изготовленным ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН волокном будет 6 км, тогда как при использовании G657 – порядка сантиметров.

КАБЕЛЬ-ДАТЧИК СО СПИРАЛЬНОЙ НАМОТКОЙ

Длина: 120 метров
Угол намотки: 55-60°
Масса: ~250 кг/км
Толщина: диаметр 15 мм
Оптические потери: <0,5
дБ/км (G-652 - 0,2 дБ/км)



ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА №1 И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ



$$A = \sqrt{\sum_{k=1}^N a_k^2}$$

Полярный график

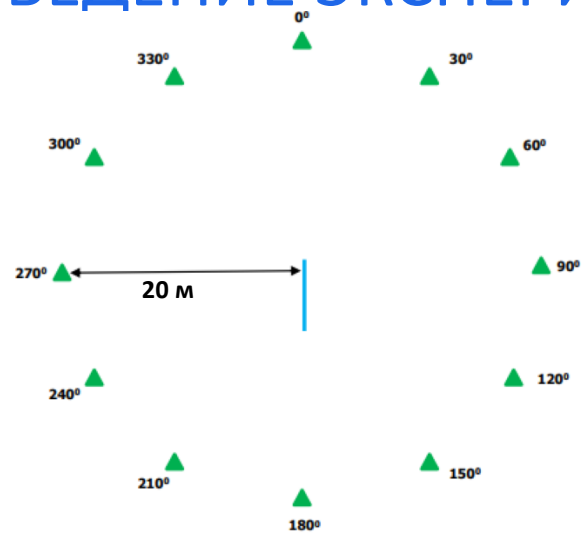
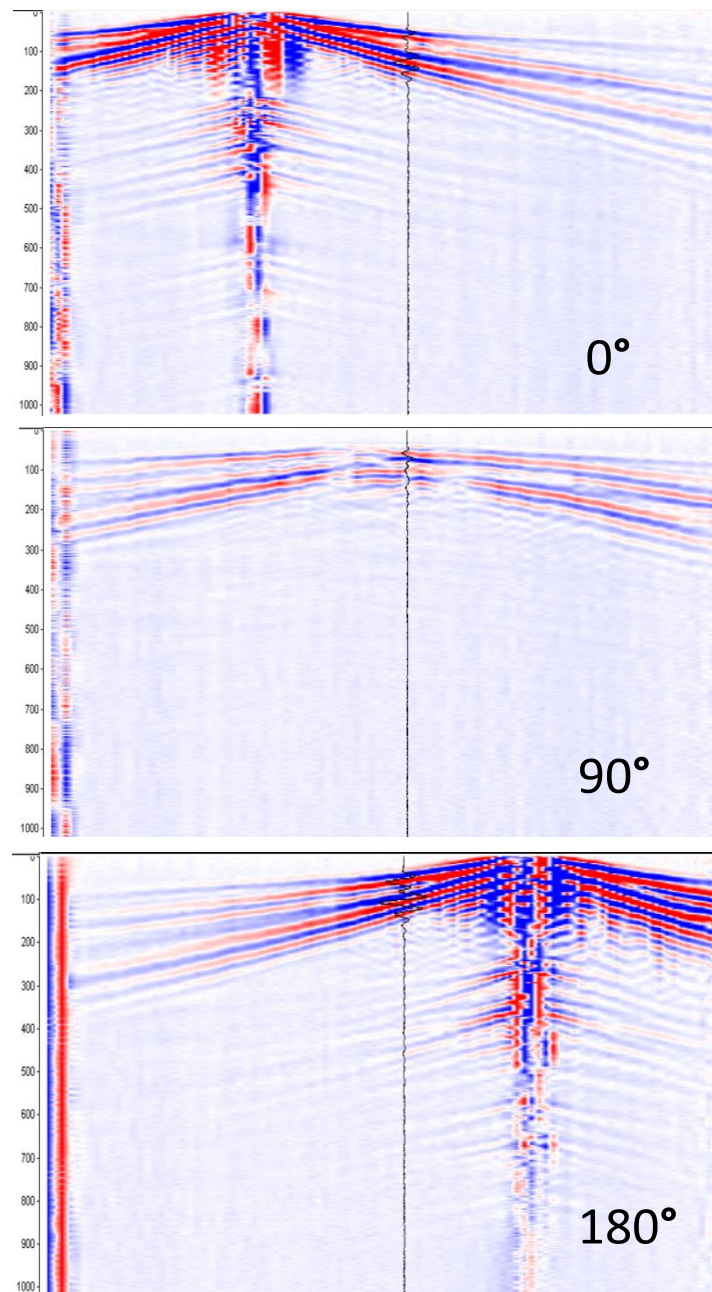
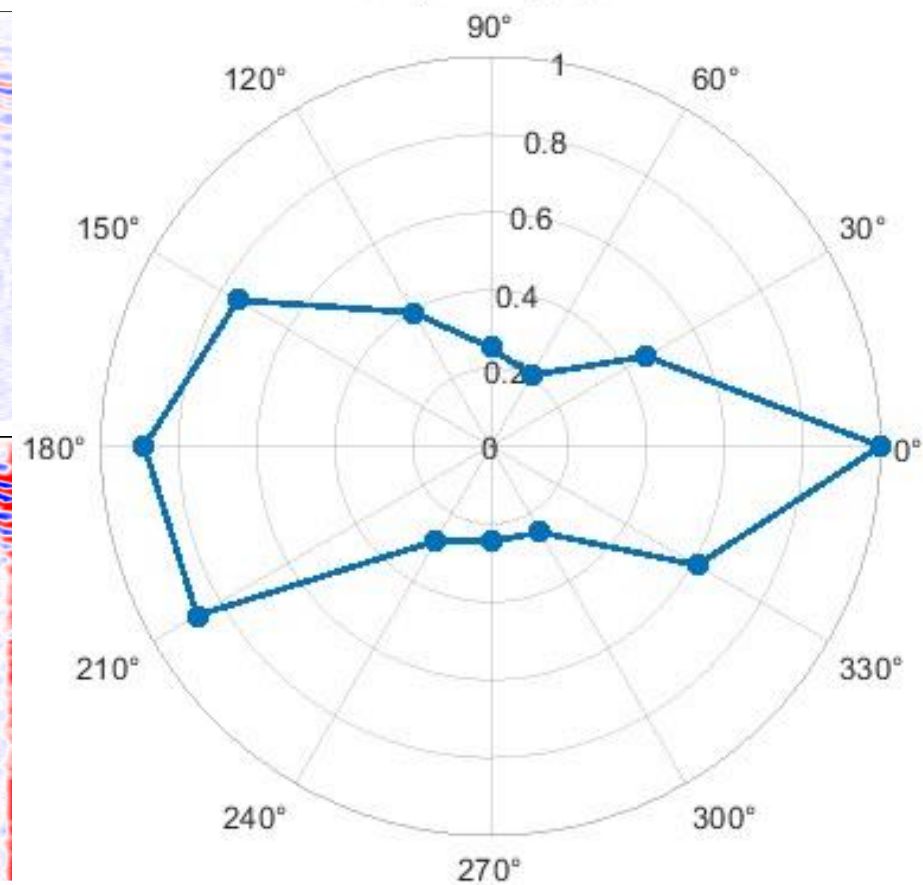
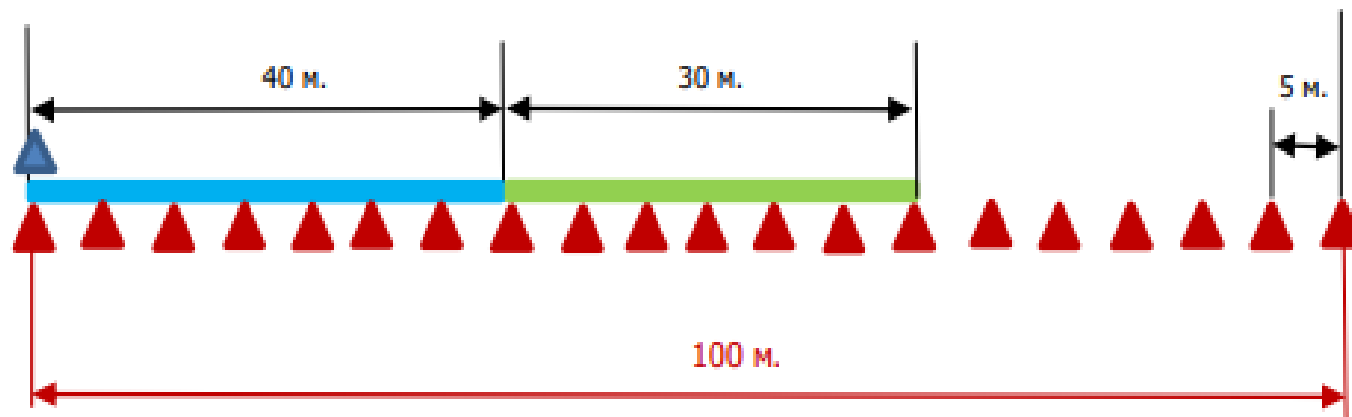


СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА №2 и №3



-  - ОВК в траншее(40 м.):
Прямой кабель;
Кабель со спиральной намоткой.
-  - ОВК на поверхности(30 м.):
Прямой кабель;
Кабель со спиральной намоткой.
-  - ПВ вдоль профиля геофонов с шагом 5 м. (21 шт., включая выносные).
Количество ПВ зависит от оставшегося на полевые работы времени и количества накоплений, но не должно быть меньше 21 шт.



ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА №2 И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

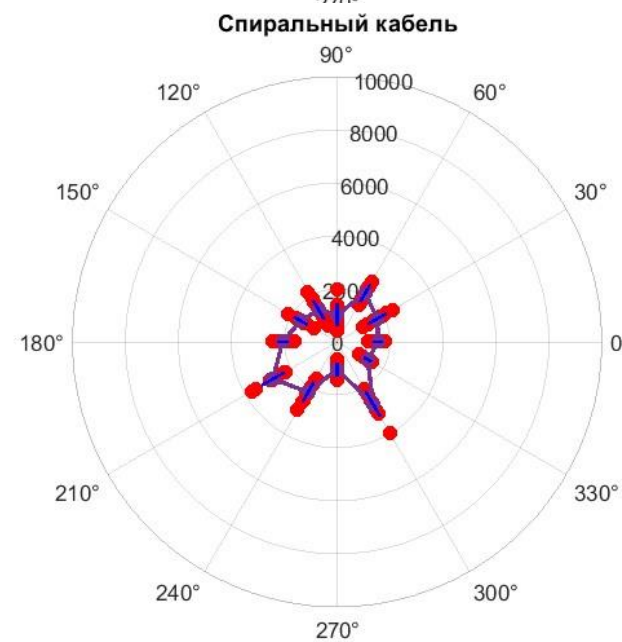
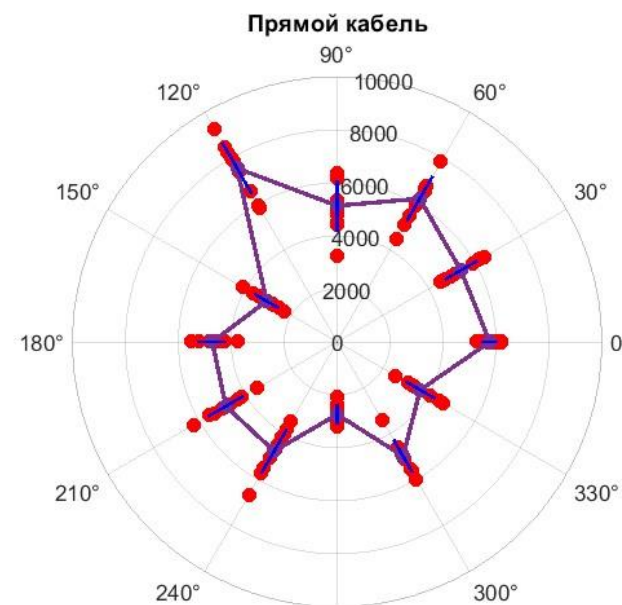
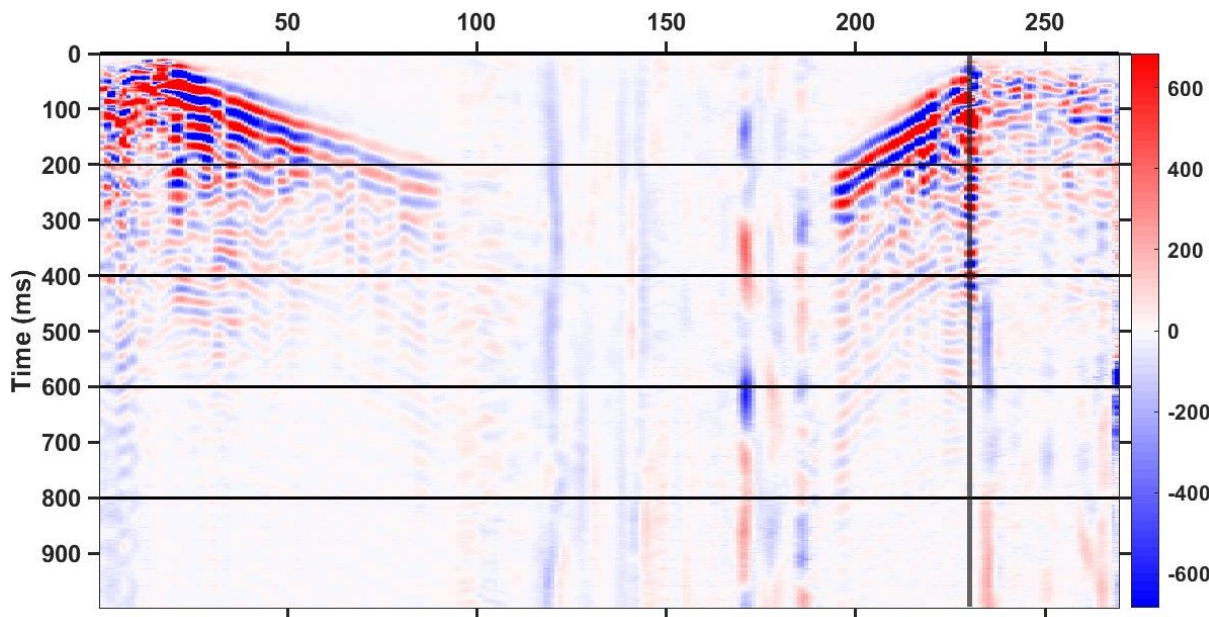
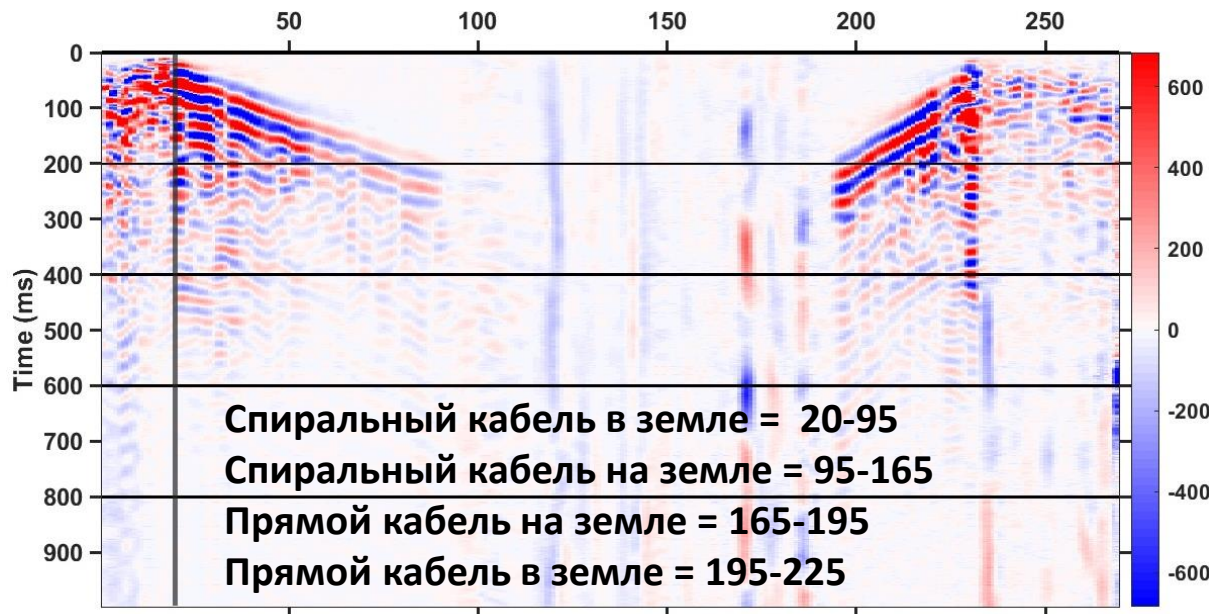
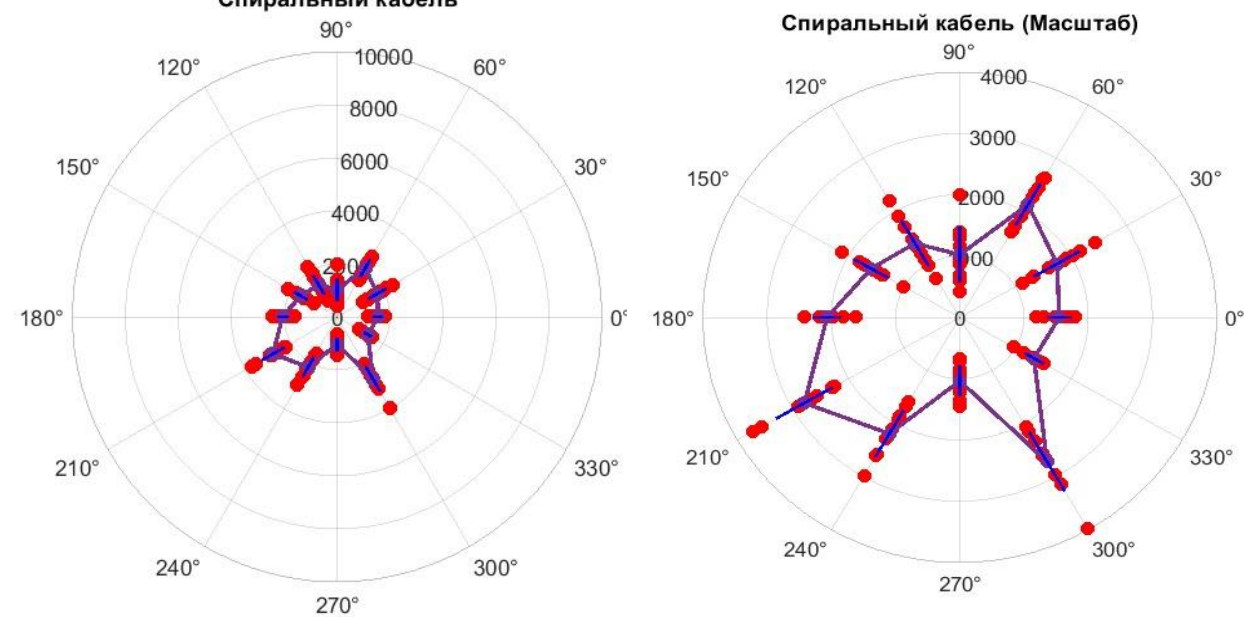
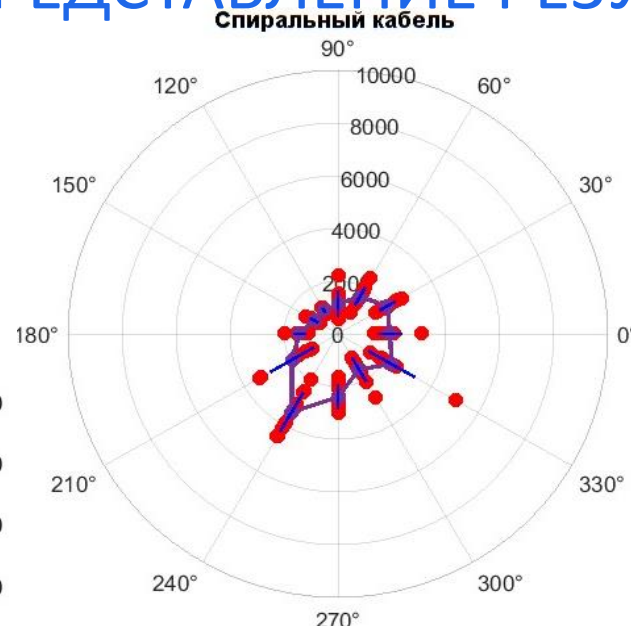
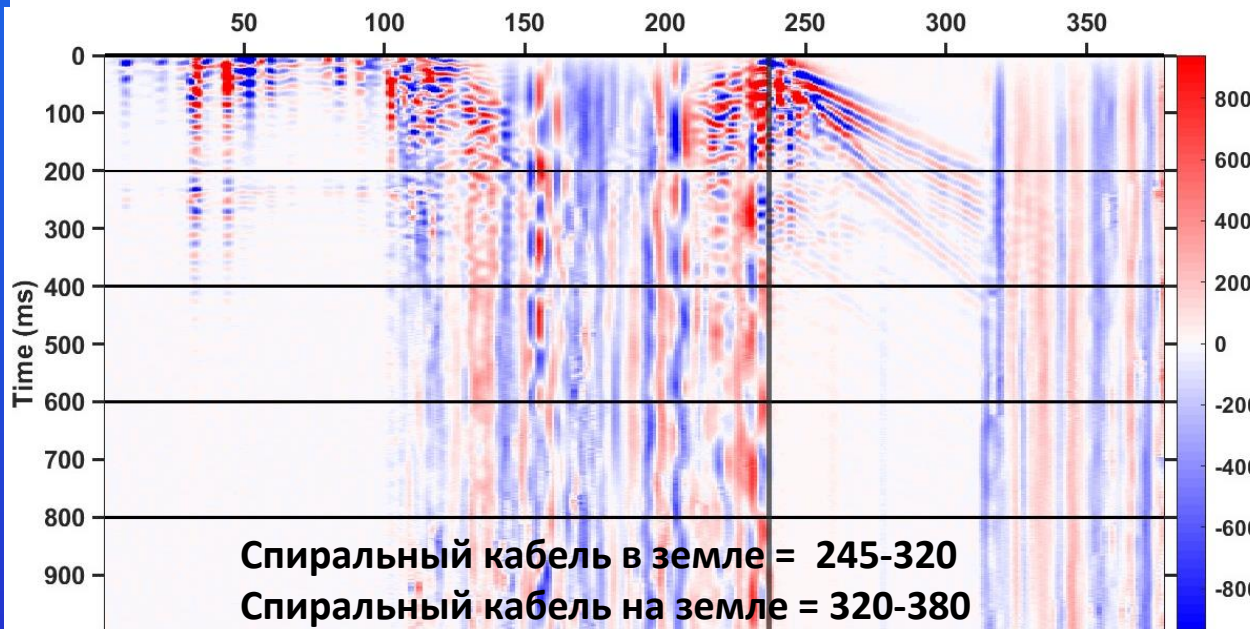


Диаграмма направленности
прямого кабеля не
соответствует
теоретической.

Разброс по амплитудам
сигнала в точках по
направлениям для всех
кабелей.



ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА №3 И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

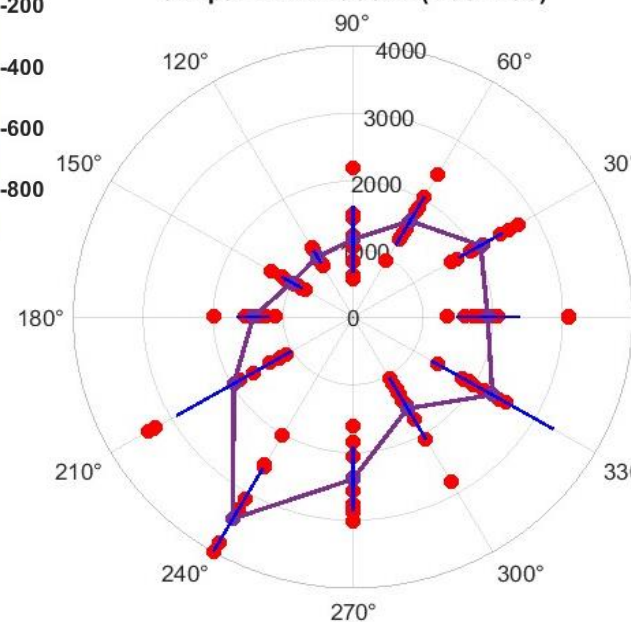


Разброс по амплитудам сигнала в точек для всех кабелей.

Отличие амплитуд в одних и тех же точках по направлениям для спирального кабеля в экспериментах №2 и №3.

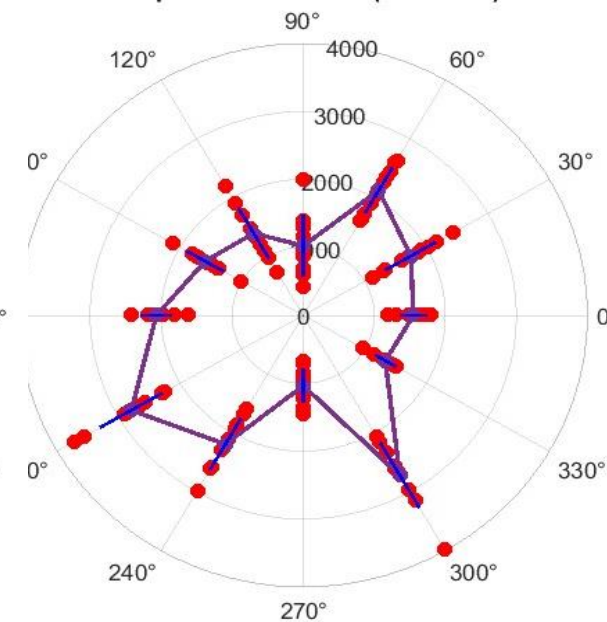
Эксперимент №3

Спиральный кабель (Масштаб)



Эксперимент №2

Спиральный кабель (Масштаб)



ВЫВОДЫ

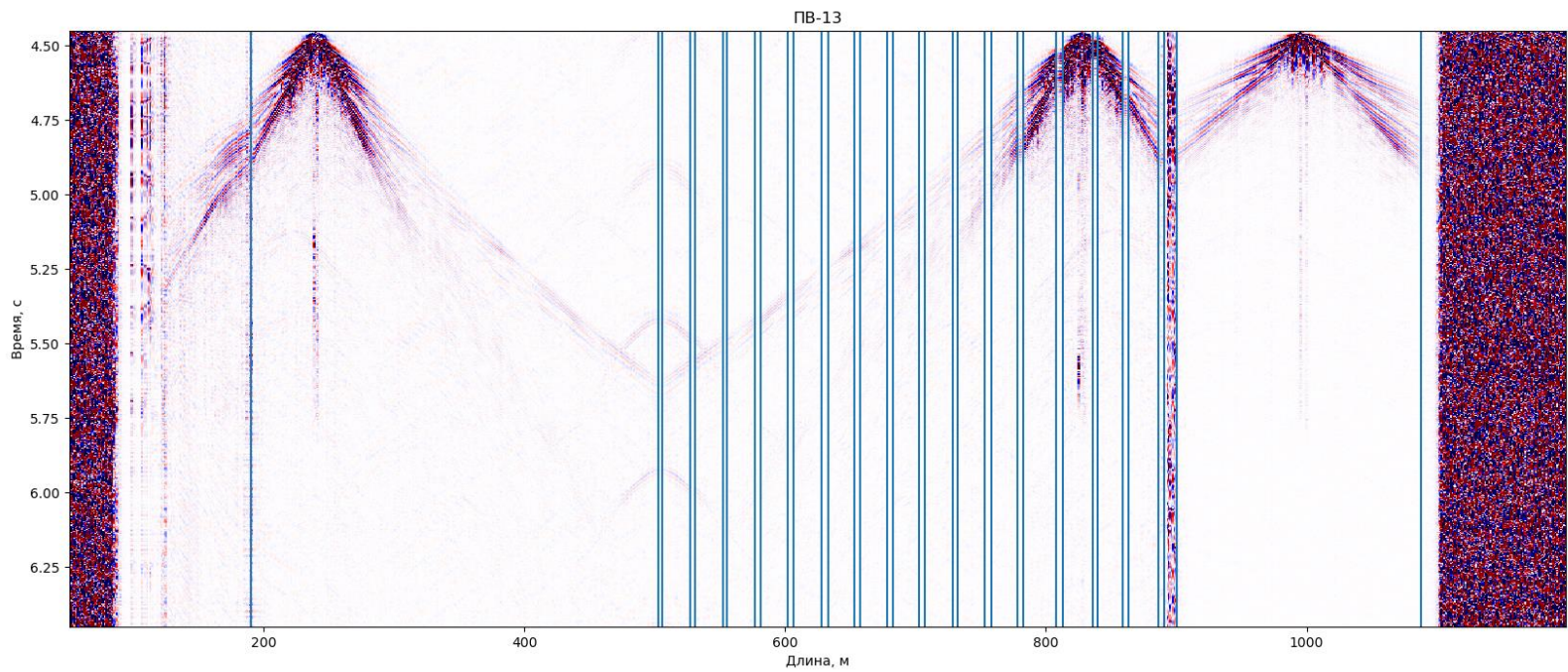
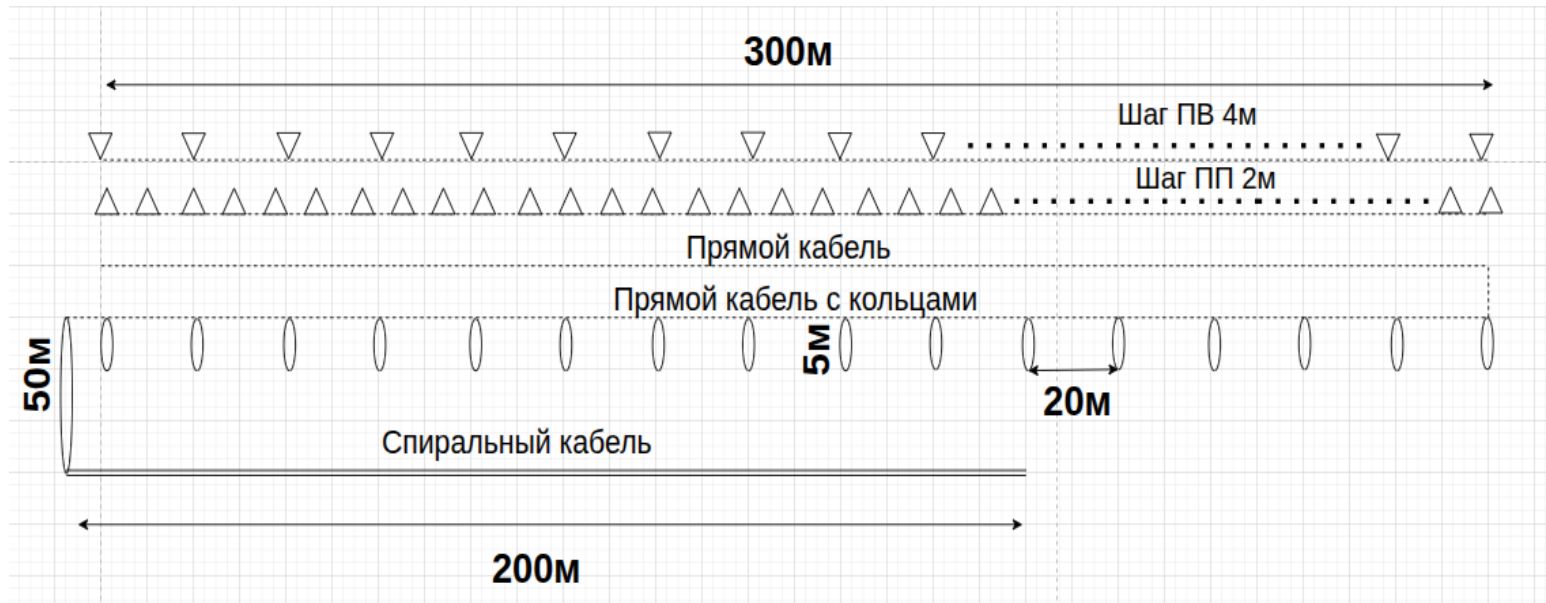
1. Проведён анализ литературы, разных волокон для кабеля со спиральной намоткой
2. Проведена работа по определению оптимальных параметров для создания спирального кабеля (чувствительный материал, тип волокна, угол намотки).
3. Впервые создан в России опытный образец спирального кабеля с углом намотки в $\sim 55^\circ$.
4. Проведена серия экспериментов для верификации характеристик спирального кабеля; сделан вывод о некорректности постановки эксперимента.



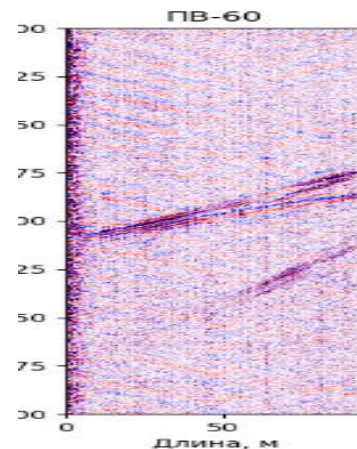
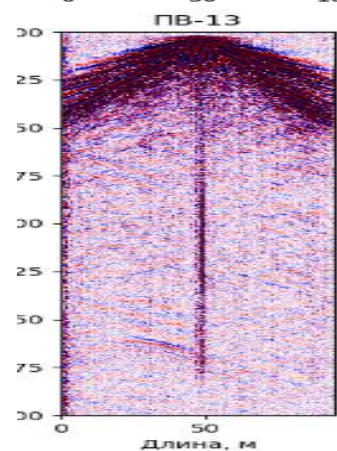
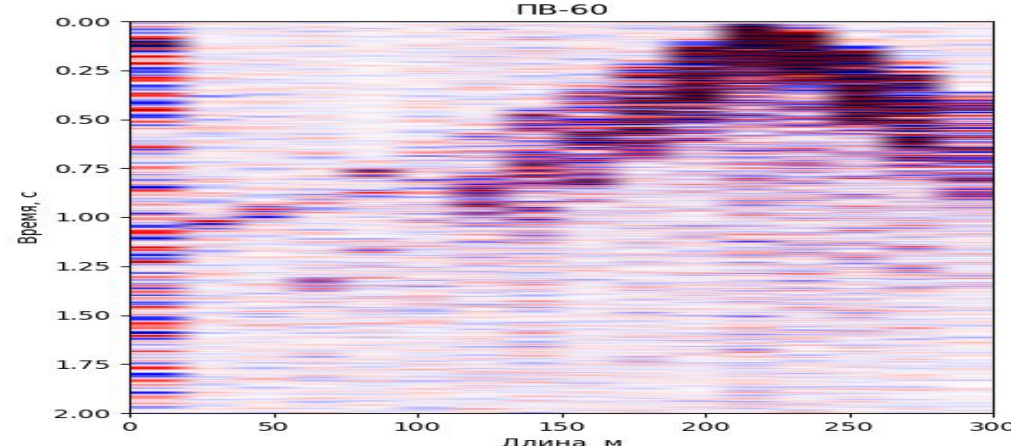
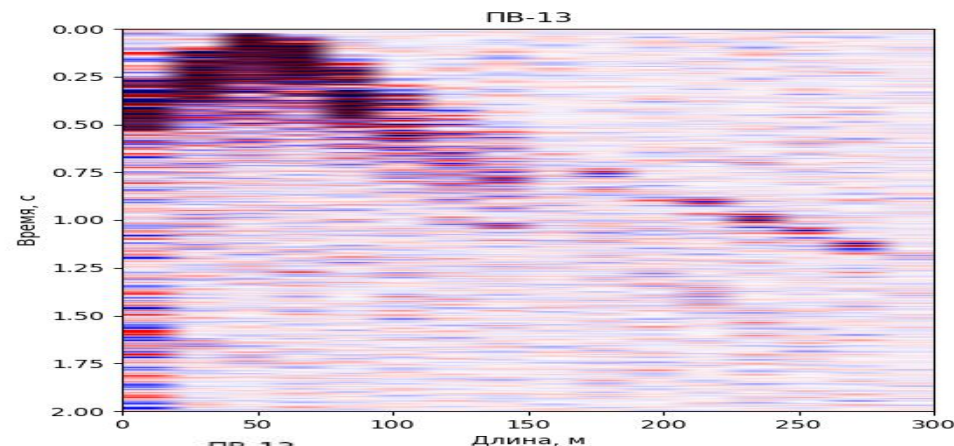
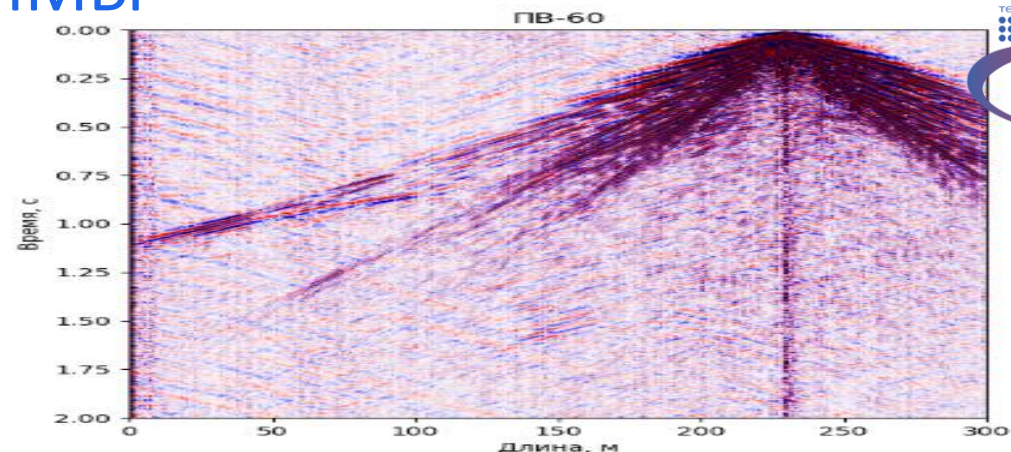
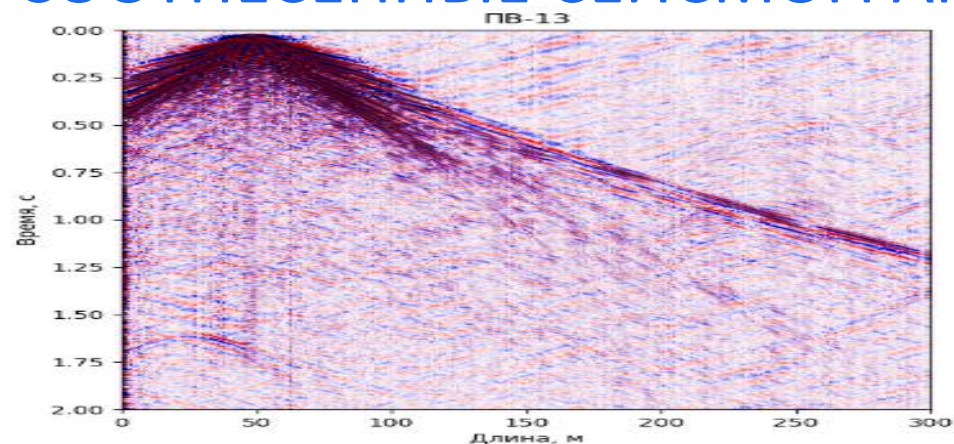
ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ



СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

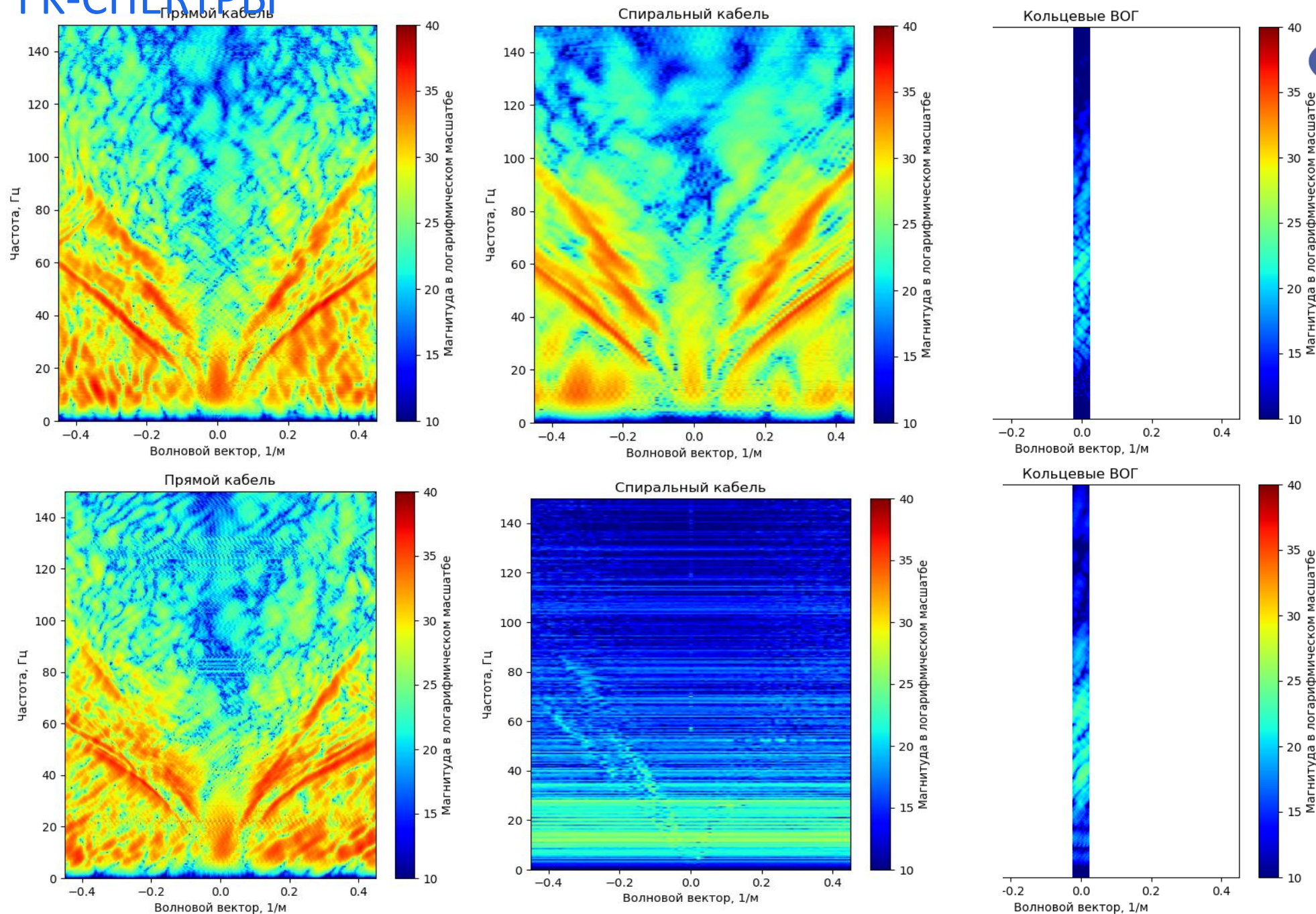


СООТНЕСЁННЫЕ СЕЙСМОГРАММЫ



Оптическая длина может не совпадать с физической, т.е. необходима предварительная работа по выравниванию профилей воздействий.

FK-СПЕКТРЫ



$$\mathcal{S} = \frac{\Delta F}{\Delta K}$$

Скорость волн на FK-спектре составляет 191 м/с и 117 м/с – мы наблюдаем поверхностные волны Рэлея.

ВЫВОДЫ

1. Проведён эксперимент с различными конструкциями волоконно-оптических кабелей.
2. Выполнена предварительная обработка данных, определены скорости распространяющихся волн.
3. Выявлена особенность обработки данных DAS для задач геофизики: несовпадение оптической длины и физической длины профилей.



ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ

1. Усреднение по ПВ
2. Выбор алгоритма обработки для подавления шумов

ВЫВОДЫ



«...дальнейшее развитие технологий DAS позволит кардинально повысить эффективность, безопасность и точность геофизических исследований, создавая условия для новых приложений и расширяя возможности современной геофизики.»

Слонов Д.Н., главный редактор журнала «Приборы и Системы Разведочной Геофизики»
журнал «Приборы и Системы Разведочной Геофизики», выпуск 2/2025

«Распределенный акустический датчик - это новый универсальный инструмент для геофизических применений. Система позволяет регистрировать сейсмические сигналы по десяткам километров оптического волокна в широком диапазоне частот.»

Сергей Шаталин, создатель Silixa и лауреат Королевской премии
мой перевод из статьи «High definition seismic and microseismic data acquisition using distributed and engineered fiber optic acoustic sensor»

КОМПАНИЯ Т8

+7 499 271 61 61
info@t8.ru

ООО «Т8»
107076, Москва, Краснобогатырская улица, 44/1

t8.ru

Москва |

Санкт-Петербург |

Нижний Новгород |

Новосибирск |

Информация в данном документе предоставлена для общего ознакомления с компанией Т8, производимым оборудованием и новыми разработками. Предоставленная информация в результате действия различных факторов может нести прогностический характер и отличаться от реальных результатов. Опубликованная информация не является публичной офертой, а также предложением в какой-либо иной форме на заключение сделок. Т8 оставляет за собой право изменять указанную информацию в любое время без предварительного уведомления. Логотип является зарегистрированным товарным знаком ООО «Т8». Все права защищены.