

Применение волоконно-оптических измерительных систем в геологоразведочных работах

Обзор круглого стола, прошедшего на конференции «Геоверазия» 14.05.2025 г.



Слонов Д.Н.

Главный редактор
журнала «Приборы и
Системы Разведочной
Геофизики».

Программа конференции «Геоверазия», прошедшей в мае 2025 года, была насыщена различными событиями, интересными докладами и обсуждениями, которые подтверждают развитие и внедрение новых технологий в отрасли. Одним из ключевых мероприятий стал круглый стол, посвящённый современным разработкам и перспективам применения оптоволоконных технологий, в частности системы Distributed Acoustic Sensing (DAS).

Для участия было подготовлено 15 докладов. Важным аспектом является то, что по сравнению с дискуссией, состоявшейся годом ранее, изменился вектор внимания — от научных изысканий и теоретических подходов к практическому использованию технологий. За последние годы DAS перестала быть только научным экспериментом, а стала перспективной, эффективной технологией, которая всё чаще применяется для решения задач в области геологоразведки и мониторинга инфраструктурных объектов. Использование распределенного оптоволоконного датчика выходит за рамки лабораторных исследований и трансформируется в удобный инструмент для выполнения широкого спектра задач: от мониторинга геологических процессов и сейсморазведки (как в скважинах, так и на поверхности) до контроля состояния различных инженерных объектов.

В связи с этим наш журнал подготовил

краткий обзор прошедшего круглого стола, в котором выделены основные моменты, определяющие дальнейшее развитие этой технологии и возможности её использования для расширения методов геофизических исследований.

Программа круглого стола – доклады и авторы:

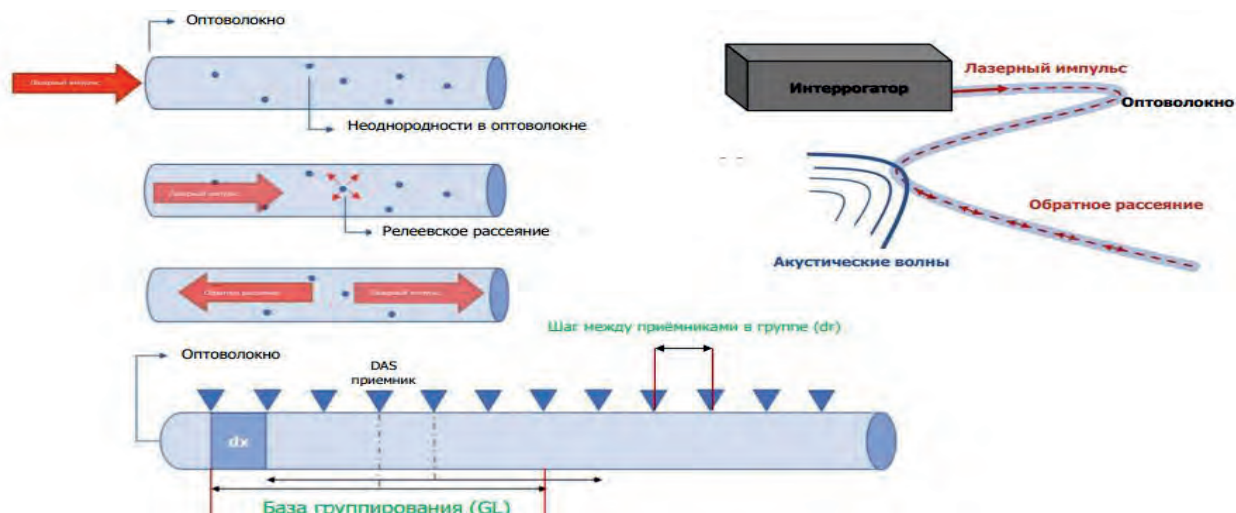
Программа круглого стола включала доклады, освещающие различные аспекты технологии и практического опыта применения Волоконно-Оптических Датчиков (ВОД), многие из которых вызвали горячее обсуждение.

Принцип работы технологии был представлен в целом ряде сообщений. Он основан на использовании оптического волокна в качестве чувствительного элемента (Рис. 1.). В основе метода лежат следующие физические процессы:

- В оптическое волокно через лазерный источник, интеррогатор, подается световой сигнал.
- В оптическое волокно из оптоэлектронного блока DAS, иногда называемого интеррогатором, направляется импульс лазерного излучения.
- При воздействии акустических или вибрационных волн на волокно происходит изменение его физических характеристик, таких как длина или индекс преломления.

Внешние воздействия, такие как акустические и сейсмические волны, приводят к изменению физических характеристик оптического волокна, а именно к изменению оптической длины.

- Указанные воздействия приводят к динамическим изменениям фазы Рэлеевского рассеяния. Регистрация изменений фазы рассеянного света лежит в основе



метода когерентной рефлектометрии и, соответственно, метода DAS.

- Анализируя временную задержку и изменение сигнала, можно определить местоположение и амплитуду акустической или вибрационной активности вдоль всей длины оптического волокна. С учетом изменения сигнала можно определить форму и амплитуду акустической или вибрационной активности вдоль всей длины оптического волокна, а по анализу временной задержки точно определить местоположение сигнала.

- Таким образом, распознаются и анализируются сейсмические или другие акустические события по всему протяжению волокна — от нескольких сотен метров до десятков километров.

Данный метод позволяет получать

распределённые данные о вибрациях по всей длине волокна с высокой точностью и без применения отдельных датчиков в каждой точке.

В ходе доклада «Линейка специализированных распределенных ВОД для геофизических исследований» компания ООО «Петрофайбер» продемонстрировала, что оптимальные параметры и характеристики DAS могут существенно варьироваться в зависимости от типа геологических и геофизических задач (Табл. 1.).

Один и тот же прибор не всегда подходит для проведения работ в различных условиях — будь то поверхностные исследования, ВСП на суше или на шельфе, а также для целей сейсмического мониторинга.

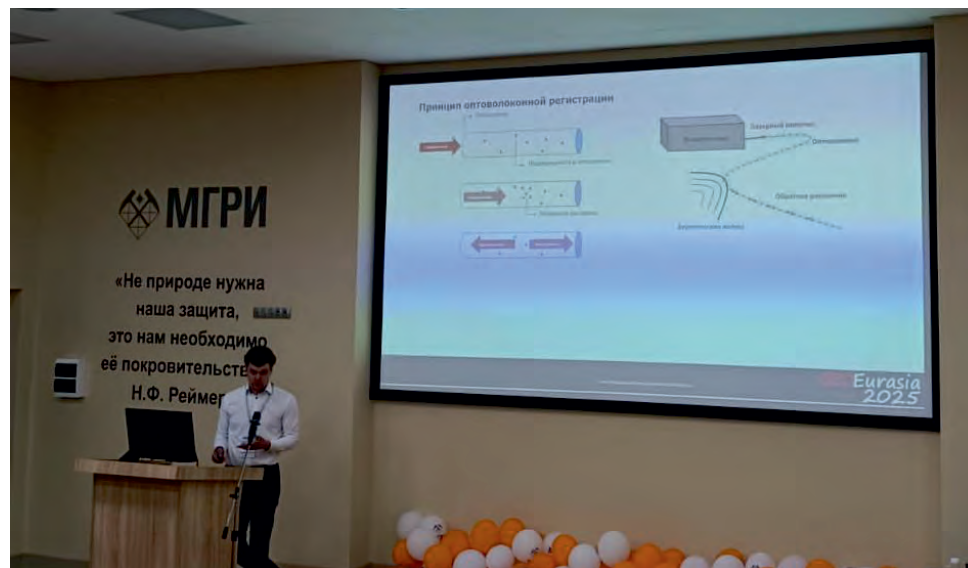


Рис. 1.
Принцип оптоволоконной регистрации.
Доклад Гордич Е.А.
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг».

Параметры	ВСП, инженерная геология	Геологические исследования	Сейсмический мониторинг
База измерения (Gauge length)	1-2 метра	5-15 метров	>25 метров
Интенсивность сейсмических воздействий	Высокая	Средняя/слабая	Слабая
Спектр полезных сигналов	40-1000 Гц	20-100 Гц	0.01-40 Гц
Длина чувствительного элемента	меньше 1-2 км	ок.10 км	более 25 км
Влияние замираний (fading)	замирания допустимы	замирания недопустимы	не важно
Возможность накопления сигнала	присутствует	отсутствует	отсутствует
Требования к стабильности частоты лазерного источника	Мобильные	Умеренные	Критические

▲ Табл. 1. Вариации технологии DAS для различных задач.

Для того, чтобы технология вышла из стадии НИР, стала тиражируема и отчуждаема от авторов необходимы понятные и удобные средства измерения. В нескольких доклада компания Т8 представила свои перспективные разработки и практический опыт работ. Об этом в докладах «Распределенный акустический датчик "Агидель" с регулируемой базой измерения для геофизических задач» и «Применение DAS систем «ДУНАЙ» и «АГИДЕЛЬ» в задачах геофизики».

Отмечены преимущества станции нового поколения DAS «Агидель»:

- Регулируемая база измерения / пространственное разрешение (от 0.2 м);
- Подавленные низкочастотные шумы и зоны «замирания»;
- Работа со стандартными волокнами (в отличие от Silixa Carina System);
- Обладает режимом регистрации от внешней синхронизации (от импульса >1 В);

- Сочетании со спиральным кабелем позволяет регистрацию Р-волн, приходящих под различными углами относительно профиля;

- Наличие режима регистрации по внешней синхронизации позволяет производить многократную запись для последующего усреднения.

Вопросам аппаратуры посвящен также доклад ИРЭ РАН «Сканирующий рефлектометр для измерения деформаций, температуры и вибраций»

Опыт

Число практических примеров применения ВОД растет кратно из года в год. Практически во всех доклада освещался практический аспект применения технологии. Группа авторов ГИ УФО РАН, г. Пермь представила сообщение «Оптоволоконный сейсмоакустический мониторинг на Верхнекамском месторождении

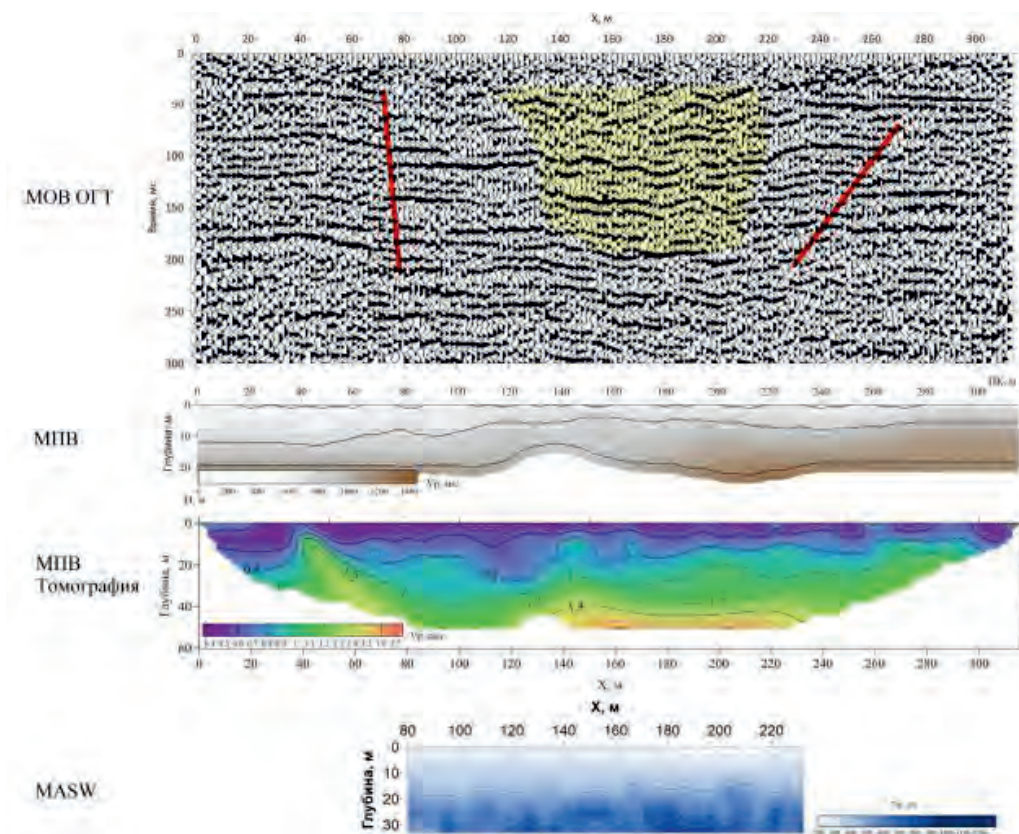


Рис. 2.
Результаты
обработки
данных DAS
в системе
мониторинга
месторождения
калийных солей.
Из доклада
Чугаева А.В.

солей», где технология DAS является частью мониторинга потенциально опасной с точки зрения возникновения провалов зоны месторождения. Результаты наблюдений сопоставимы с данными других методов. Рис. 2.

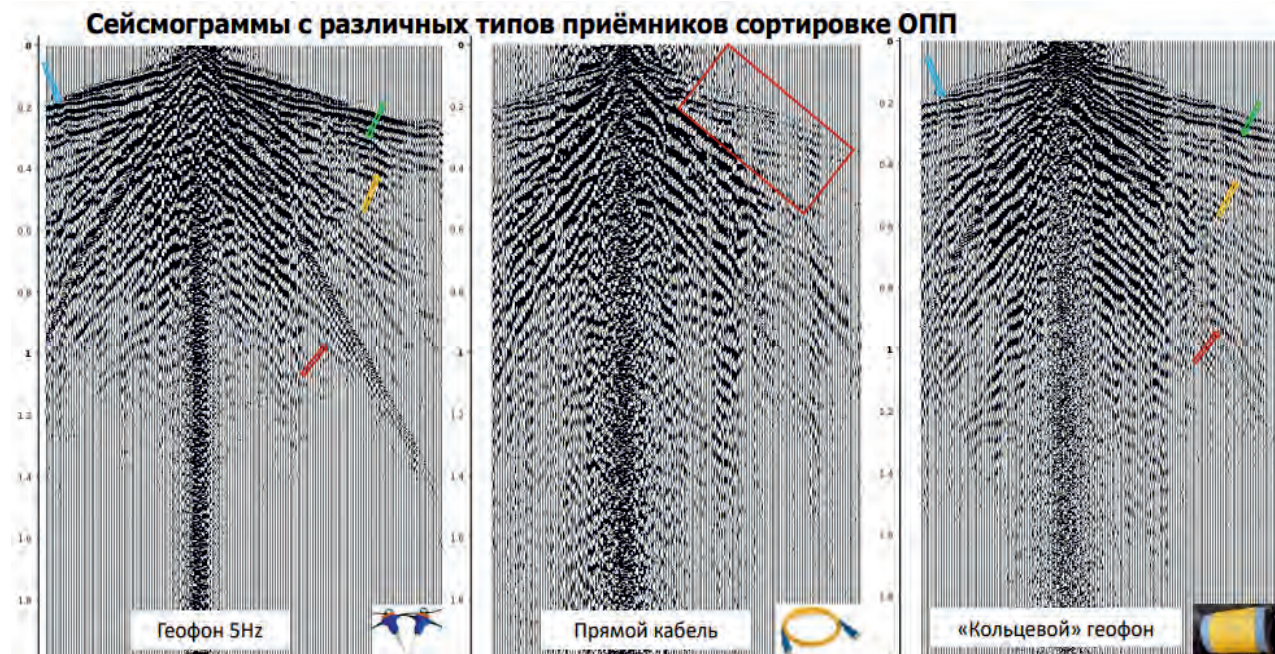
Информация о практических кейсах применения ВОД представлена в докладах «Сейсмические исследования в интересах инженерной геологии в транзитной зоне с использованием DAS», (ООО "Петрофайбер", ПИИ СПбГУ, МГУ имени М.В. Ломоносова) «Опыт обработ-

ки данных DAS с волоконно-оптических измерительных систем в глубоких обсаженных скважинах и перспективы применения» (ООО "ПГС-Геотехнологии", ИНГГ СО РАН, ООО "Т8 Сенсор", ООО "Петрофайбер").

Яркое выступление Гордич Е.А. «Опытные работы по выбору оптимальной конфигурации оптоволоконных регистрирующих систем» было посвящено решению задачи адаптации технологии DAS к задачам «большой сейсморазведки». Автор испытывал различные конфи-



Рис. 3.
Подготовка
кольцевых
геофонов ВОД.
Из доклада
Гордич Е.А.



▲ Рис. 4. Сейсмограммы с различных типов приемников в сортировке ОПП.
Из доклада Гордич Е.А.

гурации оптоволоконных датчиков, пытаюсь максимально приблизить данные, регистрируемые ВОД к информации, получаемой стандартными сейсμοприемниками, используемыми в отрасли.

Несмотря на неоднозначность представленных результатов, очевидно, что потенциал для широкого внедрения ВОД в «большую» сейсмику есть (Рис.4).

Для дальнейшего продвижения технологии необходимо «Развитие опытных полигонов для тестирования DAS технологий в интересах геологоразведочной отрасли» - об этом в докладе Потемка А.К. (МГУ имени М.В. Ломоносова, ООО "ЦАСД МГУ").

Выход технологии, использующей измерительную аппаратуру, из этапа НИОКР, требует решения вопросов стандартизации и метрологии средств измерения. Совместный доклад ИНГГ СО РАН и ООО "Т8" «Полевое и лабораторное тестирование DAS регистраторов» демонстрирует пример подхода к решению этих задач.

Все участники круглого стола в ходе

возникающих обсуждений докладов, признают, что у технологии применения ВОД уже сегодня есть свои уникальные задачи, успешно решаемые, дающие свои отличные результаты. Ряд докладов был посвящен данному вопросу:

- «Опыт регистрации землетрясений DAS с оптическим кабелем» (ИОФ РАН, ИО РАН, ООО "Петрофайбер"),
- «Перспективы применения DAS систем в мониторинге объектов инфраструктуры» (АО "ИнфраСенс"),
- «Интеграция DAS с другими сенсорными сетями для комплексного мониторинга» (ООО "Сенсорные Решения", ПАО "Транснефть");
- «Моделирование и анализ данных DAS для прогноза сейсмических событий» (Физический институт РАН)

Заключение

В заключение обсуждения перспектив развития технологии DAS можно отметить, что применение распределённого акустического структурированного оптоволоконного сенсора открывает широкие возможности для совершен-

нствования и оптимизации геофизических исследований. В частности, ожидается значительное снижение затрат на полевые этапы сейсморазведочных работ при одновременном увеличении плотности измерений, что позволит получать более детальные и точные данные. Использование оптоволоконных кабелей для реализации ВСП и 3D-ВСП способствует сокращению расходов и повышению эффективности выполнения работ.

Кроме того, расширение полосы пропускания сигнала до десятых Гц открывает новые возможности для обнаружения и анализа низкочастотных сейсмических событий. Важным направлением является развитие перманентного мониторинга объектов, таких как

месторождения и подземные газохранилища, что позволит быстро реагировать на изменения и повысить безопасность эксплуатации. Внедрение автоматизации процессов, таких как смотка и размотка оборудования, также снизит риск опасных операций и улучшит условия труда. В целом, дальнейшее развитие технологий DAS позволит кардинально повысить эффективность, безопасность и точность геофизических исследований, создавая условия для новых приложений и расширяя возможности современной геофизики.

Рынок ждет появления новых технологий. И в этих ожиданиях технология использования волоконно-оптических датчиков может стать интересными направлением развития отрасли.

**И разговор об этом наверняка продолжится
и на «Геоевразии – 2026»!**