Геотом проверили на ЗУБ

- Гордиенко А.В., «Газпромнефть-Гео», г. Тюмень.
- Шевченко И.И., Митрофанов Д.Ю., ООО «ТСГК», г. Тюмень.
- Есипёнок И.Н., Потупчик Е.М., «Славнефть-Мегионнефтегаз», г. Тюмень.

Компания ТСГК провела исследования Западно-Усть-Балыкской площади (ЗУБ) с использованием российской сейсморегистрирующей системы «Геотом».

В феврале-марте 2024 при отработке проекта Западно-Усть-Балыкский (ЗУБ) компания ТСГК использовала в производстве российское бескабельное телеметрическое оборудование. Программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Геотом», пройдя опытно-промышленные испытания в течение 2023 года, он был признан готовым к промышленной эксплуатации и согласован в качестве сейсморегистрирующей аппаратуры на проекте ЗУБ.

В ходе выполнения исследований, новое оборудование показало свою технологичность, соответствие характеристикам, заявляемым производителем, что позволило в условиях короткого зимнего сезона успешно выполнить проектные объемы.

ПАК «Геотом» в ходе работ над проектом был продемонстрирован специалистам ПАО «Роснефть», ПАО «Газпром нефть», ООО «ТННЦ», АО «Новатэк», ПАО «Самаранефтегеофизика», ПАО «Башнефть», которые высоко оценили возможности использования оборудования.

ПАК «Геотом» - технологические характеристики системы

Программно-аппаратный комплекс «Геотом» является бескабельной сейсморегистрирующей системой с удаленным контролем и управлением всей полевой расстановкой (Рис.1.). Предназначен для регистрации сейсмических данных с подключением внешних сейсмоприемников различного типа. Подключение осуществляется через стандартный разъем КСК.

Управление системой «Геотом» осуществляется с рабочего места оператора – компьютера с ПО «Геотом» под управлением ОС Windows или Linux.

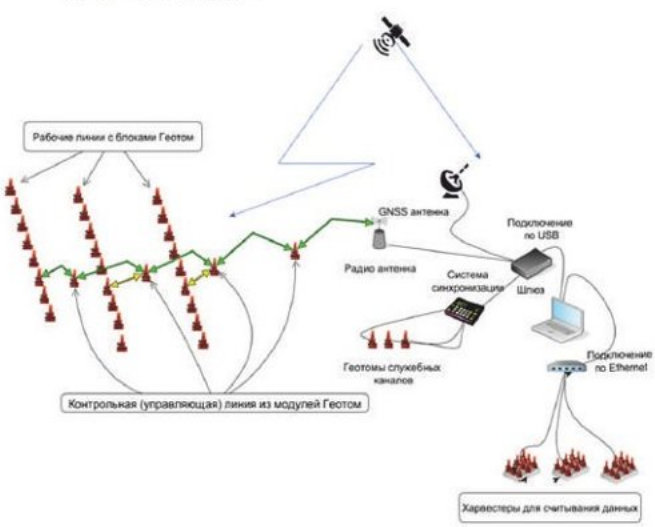
Рабочий диапазон радиочастот системы «Геотом» – 433 МГц (не требует лицензирования). Устойчивая связь между блоками достигается на расстояниях порядка 300–500 м. Система позволяет управлять всей расстановкой дистанционно, включать и выключать регистрацию, контролировать позиционирование каналов и устойчивость радиосигнала, тестировать всю расстановку и выбранные каналы, контролировать уровень заряда батарей и состояние памяти.

Оператор в режиме около реального времени определяет также уровень шумов приемной расстановки, принимая решение о возможности ведения регистрации.

Основные характеристики полевых блоков ПАК «Геотом» представлены в таблице 1.

Последовательность технологических операций с ПАК «Геотом»:

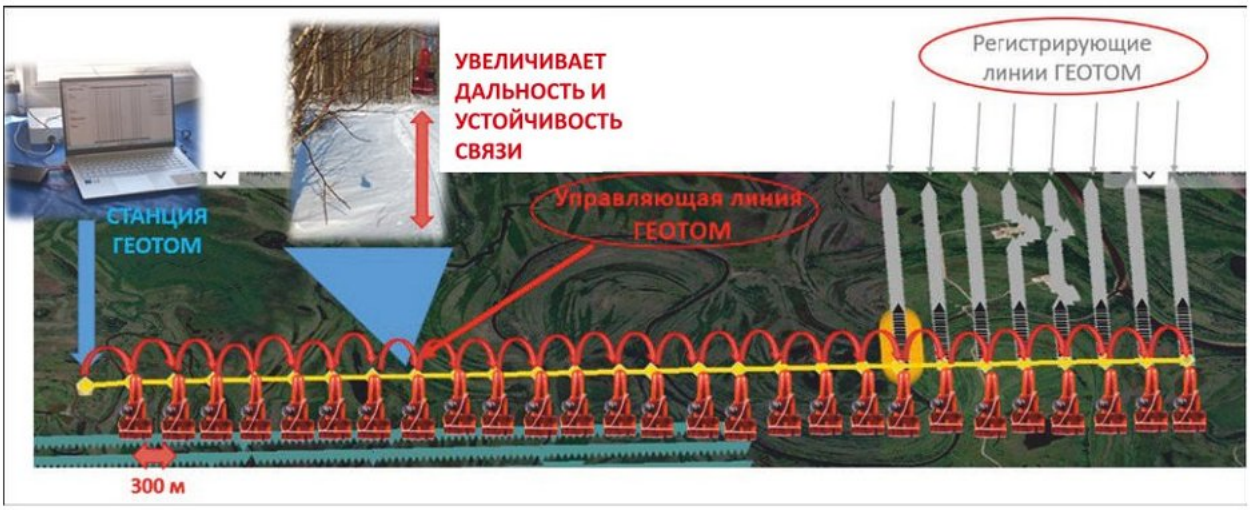
▼ *Рис. 1. Принципиальная схема работы ПАК «Геотом»*



Наименование параметра	Количество, показатель
Размеры, В×Д×Ш	310×135×130 мм
Масса	1.6 кг
Разъем для подключения геофонов	КСК-2М
Разрешение ADC	24 bits
Формат данных	SEGY
Контроль статусов и управление полевыми блоками в около реальном времени	По радиоканалу
Частота радиомодема	433.9+/-0.8 МГц
Объем встроенного накопителя	8 Гб
Коэффициент усиления	0,6,12,24 дб
Мощность в режиме радиопередачи	10 мВт
Мгновенный динамический диапазон	121 дБ
Полный динамический диапазон	144 дБ
Максимальный входной сигнал, В rms	при усилении 0 дб – 2.33 при усилении 6 дб – 1.16 при усилении 12 дб – 0.58 при усилении 18 дб – 0.29 при усилении 24 дб – 0.14
Аппаратный шум (1 мс, 3-200 гц, 24дб) мкв rms	при усилении 0 дб – 1.56 при усилении 6 дб – 0.76 при усилении 12 дб – 0.38 при усилении 18 дб – 0.21 при усилении 24 дб – 0.13
Входное сопротивление	20кОм
Анти-аляйсинговый фильтр	206.5 Hz @ 2 ms (82.6% of Nyquist) Линейно-фазовый или Минимально-фазовый
Питание	Батарейный блок
Время непрерывной работы	До 90 дней при отрицательных температурах
Время в режиме запись/ожидание	Работа до 180 дней в режиме 12 ч. запись/12ч. перерыв
Период квантования	0.25, 0.5, 1, 2, мс
Поддерживаемые навигационные системы	ГЛОНАСС/GPS/GALILEO
Точность временной синхронизации	10 мкс
Точность определения координат (RTK в постпроцессинге)	<0,5 м rms
Периодичность статусной информации	~2 мин
Передача данных по радиоканалу	имеется
Скорость считывания данных в модуле считывания данных с одного порта	8 Мб/с

▲ *Табл. 1.*

- Мобилизация оборудования на площадь работы;
- Проверка и тестирование оборудования, загрузка в блоки информации по полевой системе наблюдения на проекте;
- Развертывание станции ПАК «Геотом» с подключением системы синхронизации и служебных каналов;
- Расстановка и наладка полевой системы наблюдения;
- Производственные сейсморазве-



▲ *Рис.2. Работа управляющей линии ПАК «Геотом».*

дочные работы;

- Оперативный контроль качества получаемого материала;
- Считывание данных, формирование сейсмограмм;
- Приемка и оценка качества получаемых материалов.

После формирования списка рабочих каналов производится тестирование полевого оборудования. Тесты визуализируются на экране оператора и могут быть представлены в виде текстовой таблицы. Сейсмограмма при тесте на идентичность оборудования скачивается по радиоканалу и формируется автоматически.

Управление полевой системой наблюдения ПАК «Геотом» производится через управляющую линию системы. Управляющая линия от станции до приемной расстановки назначается одна, при необходимости, может перенастраиваться на другую последовательность блоков. При наличии рельефных или инфраструктурных помех, затрудняющих проложение управляющей линии по кратчайшему направлению, возможно включение в управляющую линию дополнительных обходных модулей для создания дополнительных точек управляющей линии в обход препятствий. Поднятие блоков над поверхностью земли повышает дальность и устойчивость радиосвязи (Рис.2.).

Важно отметить, что для разных по функционалу задач при формировании полевой расстановки (служебные каналы, блоки управляющей линии, регистрирующие блоки) используются стандартные полевые модули ПАК «Геотом».

Расстановка регистрирующих блоков ПАК «Геотом» и наладка профиля производятся последовательно вдоль приемных линий. После инициализации блока на приемном пикете, блок сбрасывает все предыдущие привязки из памяти и начинает искать ближайшие к своим координатам приемные пикеты из списка SPS, загруженного в память блока при подготовке оборудования. Оператор задает радиус поиска, в пределах которого ищется ПП. После нахождения такого пикета, блок «привязывается» к нему, о чем сообщает оператору изменением цвета на экране станции.

Цветовая индикация модулей в рабочем окне оператора:

Зеленый – соответствует заданным параметрам;

Красный – требует внимания или корректировки.

Оператор ПАК «Геотом» в процессе регистрации имеет возможность:

• Контролировать состояние каждого блока приемной расстановки;

• Контролировать устойчивость радиосигнала;

• Контролировать устойчивость связи со спутниками (необходимо для последующего формирования отметок момента);

• Контролировать состояние памяти каждого блока;

• Контролировать уровень заряда батарей каждого блока;

• Включать и выключать запись;

• Включать и выключать светодиодную сигнализацию всей расстановки и блоков выборочно;

• Задавать допустимый уровень микросейсм и контролировать соотвевтвие уровня микросейсм заданному;

• Управлять источниками возбуждения – ПАК «Геотом» работает со всеми типами источников возбуждения, применяемых в сейсморазведке.

Уровень микросейсм, допустимый для работы, задается оператором сейсмостанции. По запросу визуализируется цветовой индикацией полевых модулей и гистограммой шумов по всей расстановке.

В процессе регистрации оператор для оперативного контроля получаемого сейсмического материала, выборочно может получить трассу с любых блоков полевой системы наблюдения. Время скачивания данных зависит от дальности выбранного блока от управляющей линии и составляет от 1 до 5 минут для стандартных систем наблюдения с удаленностью от станции порядка 10-15 км (Рис.3).

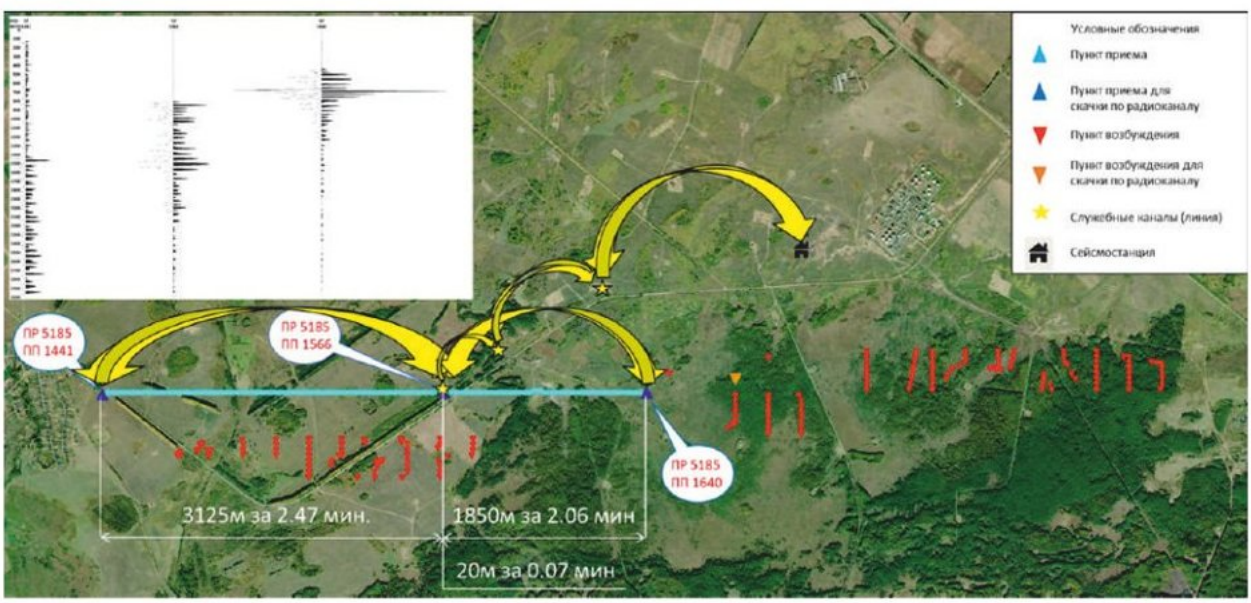
Функционал ПАК «Геотом» дает возможность вести работу, уверенно контролируя все, необходимые для получения качественного материала параметры полевой системы наблюдения.

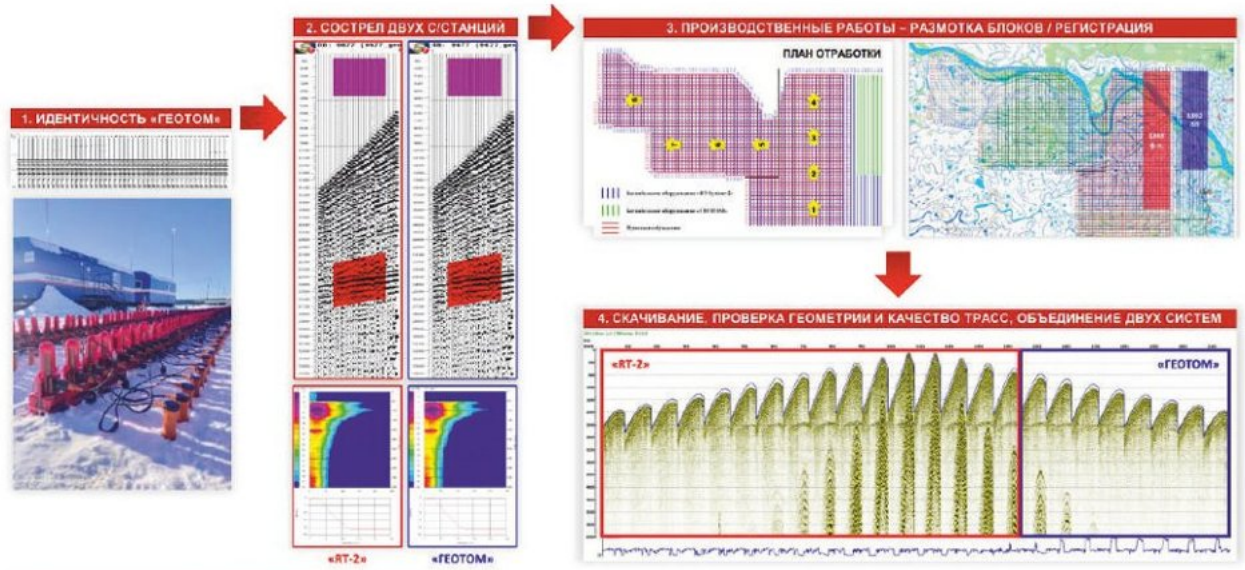
О ходе выполнения полевых наблюдений с использование ПАК «Геотом»

Сейсморазведочные работы на Западно-Усть-Балыкской площади проводятся согласно «Проекту на проведение полевых сейсморазведочных работ МОГТ 3D с применением технологии «Зеленая сейсмика»© с использованием различных экологосберегающих технологий таких, как слалом-профилирование, минимизирующее объем создания просек.

Для выполнения геофизической съемки 3D использовалась беспроводная

▼ *Рис. 3. Скачивание отдельных трасс по радиоканалу.*





▲ *Рис. 4. Основные этапы производства с использованием ПАК «Геотом» на проекте ЗУБ.*

система регистрации «RT System-2» (8500 каналов) в комбинации с ПАК «Геотом» (1392 каналов). Смотка-размотка беспроводного геофизического оборудования производится комбинированным способом с использованием снегоходов «Буран» и пешим ходом. Источник сейсмических колебаний – взрыв заряда ВМ в скважине.

Основные этапы производства с использованием ПАК «Геотом» представлены на рисунке 4.

Оборудование ПАК «Геотом» было доставлено по маршруту Москва – база СП Маршрут мобилизации -3000 км. Срок доставки – 6 суток. Вес груза – 3 000 кг. После приемки оборудования в СПЗ и визуального контроля целостности полевых блоков, 100% было подготовлено для тестирования и записи SPS системы наблюдения (Рис.5.)

На базе полевой партии проведена проверка блоков «ГЕОТОМ» и одиночных сейсмоприемников YF-SOLO-5Hz на



▶ *Рис. 5. Тест на идентичность и подготовка блоков ПАК «Геотом» к расстановке.*

фазовую и амплитудную идентичность в общем количестве 1590 шт. Идентификация каждого блока (формирование списка рабочих каналов ПАК «Геотом») осуществлялось по радиоканалу. После проведения теста, сейсмограммы идентичности были считаны по радиоканалу. Время считывания составило 7 мин. После тестирования в блоки ПАК «Геотом» загружены SPS системы наблюдения.

Блоки ПАК «Геотом» тестировались по следующим параметрам:

- Тест на сопротивление
- Тест на наклон сейсмоприемников
- Тест снятия шумов
- Тест заряда батарей
- Тест радиосвязи со станцией
- Тест соотношения качества связи
- Тест качества спутниковой связи

Для оценки идентичности и сопоставления сейсмических данных двух бескабельных систем RT-System-2 и «ГЕОТОМ», 11 февраля выполнен сострел необходимого для анализа количества каналов, установленных рядом на одном участке профиля.

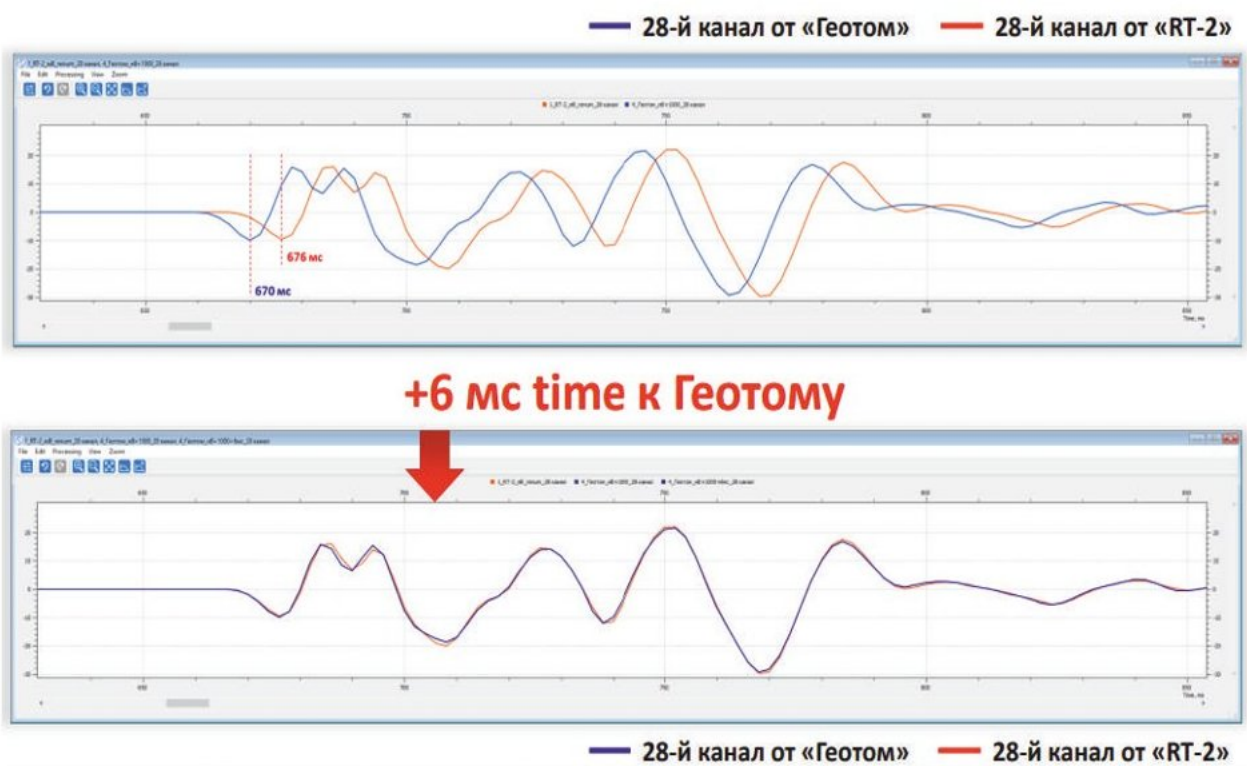
Разматывалось по 30 блоков на каждую систему с сейсмоприёмниками, установленными в непосредственной близости. Полевые регистрирующие блоки двух систем были разнесены на 1,5-2 метра во избежании взаимных наводок (Рис.6.).

На этапе оконного атрибутивного анализа отмечено, что данные, полученные ПАК «Геотом» имеют меньшую «шумность» относительно материала со станции RT-2. Возможно, это связано с большей парусностью блока WRU с антенной системы относительно полевого блока ПАК «Геотом».

По результатам сострела двух станций сделаны следующие выводы:

- Исходные данные «ГЕОТОМ»

▼ *Рис. 6. Сопоставление одиночных трасс вовремя сострела станций RT-2 и ПАК «Геотом».*



имеют постоянную статическую подвижку 6 мс относительно данных «RT-2».

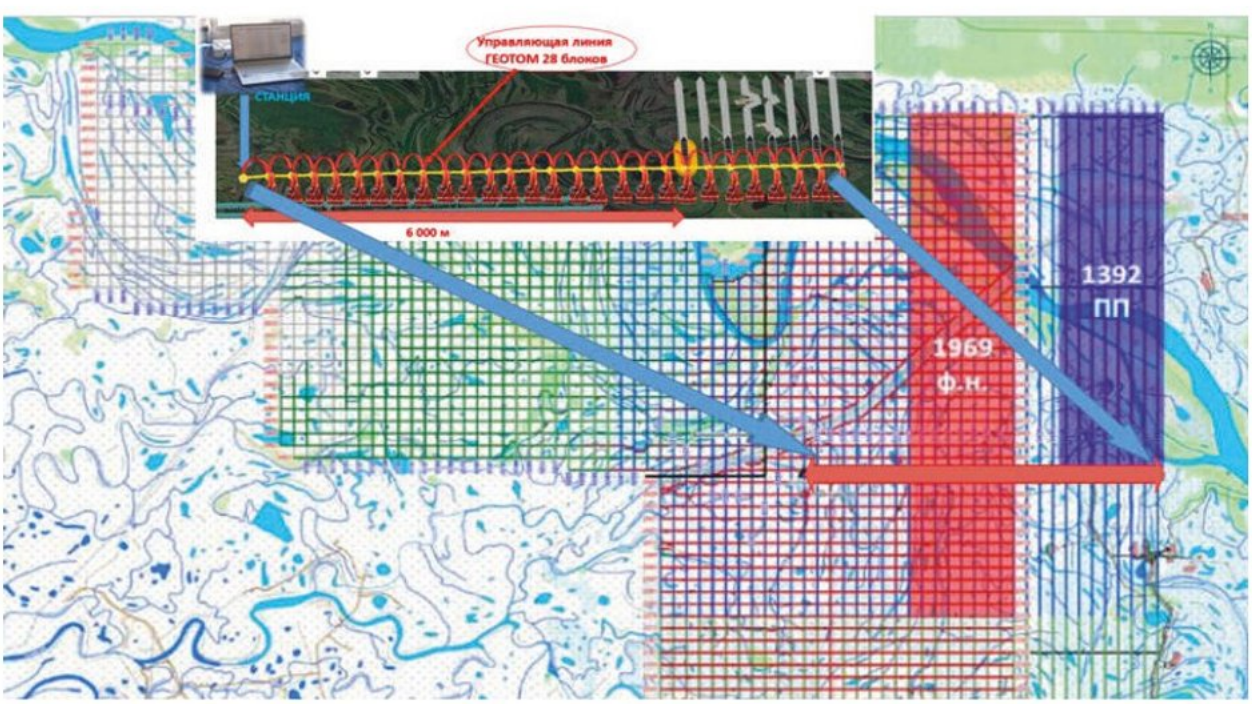
- После компенсации постоянной статической подвижки, амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм и спектры трасс двух систем – идентичны.
- Сейсмические данные с обеих регистрирующих систем записываются в милливольтах.
- Полярность двух систем идентична (согласно стандарту SEG Polarity 1993).
- Формат записи полевых данных – SEG-Y, rev. 2.0.
- Динамический диапазон записи сопоставимый.
- Подтверждена возможность использования для одновременной регистрации на проекте двух сейсморегистрирующих систем.

Основные задачи проекта с использованием ПАК «Геотом» заключалась в выполнении производственного задания в соответствии с требованиями заказчика. Помимо того, проводилась оценка работоспособности российского оборудования для возможности формирования гибридных систем наблюдения с использованием иных сейсморегистрирующих систем, разработка рекомендаций по повышению эффективности выполнения сейсморазведочных работ в результате использования ПАК «ГЕОТОМ» в производстве сейсморазведочных работ.

Участки производства работ для системы «ГЕОТОМ» определены ООО «ТСГК» и согласованы с заказчиком. Конфигурация приёмной расстановки двух бескабельных систем определена исходя из параметров съемки и используемого объема оборудования на проекте. Блоки «ГЕОТОМ» устанавливались на северо-востоке площади работ на 8-и линиях приема по 174 канала на каждой линии. Общий объём использования блоков ПАК «Геотом» для регистрации - 1392 каналов. 31 блок использовался для формирования управляющей линии профиля и на служебных каналах (Рис.7).

Всего зарегистрировано двумя бескабельными системами - 1969 ф.н., принято 1963 ф.н. Не переотработанные браки:

▼ *Рис. 7. Участок проведения работ с ПАК «Геотом».*





▲ *Рис. 8. График размотки ПАК «Геотом».*

«RT-2» – 2 ф.н., «ГЕОТОМ» – 4 ф.н.

Расстановка ПАК «Геотом» велась в период с 15 по 20 февраля (Рис.8) силами одной бригады. Время на расстановку 100 каналов - 60 минут от момента постановки первого канала. За все время регистрации потребовалось следующие действия наладчиков – поправить несколько сейсмоприемников на вертикальность, заменить блок с низким зарядом батареи, поднять несколько блоков на вешки для увеличения устойчивости радиосвязи.

За время работы было зарегистрировано с учетом повторного бурения забракованных точек 1984 ф.н.

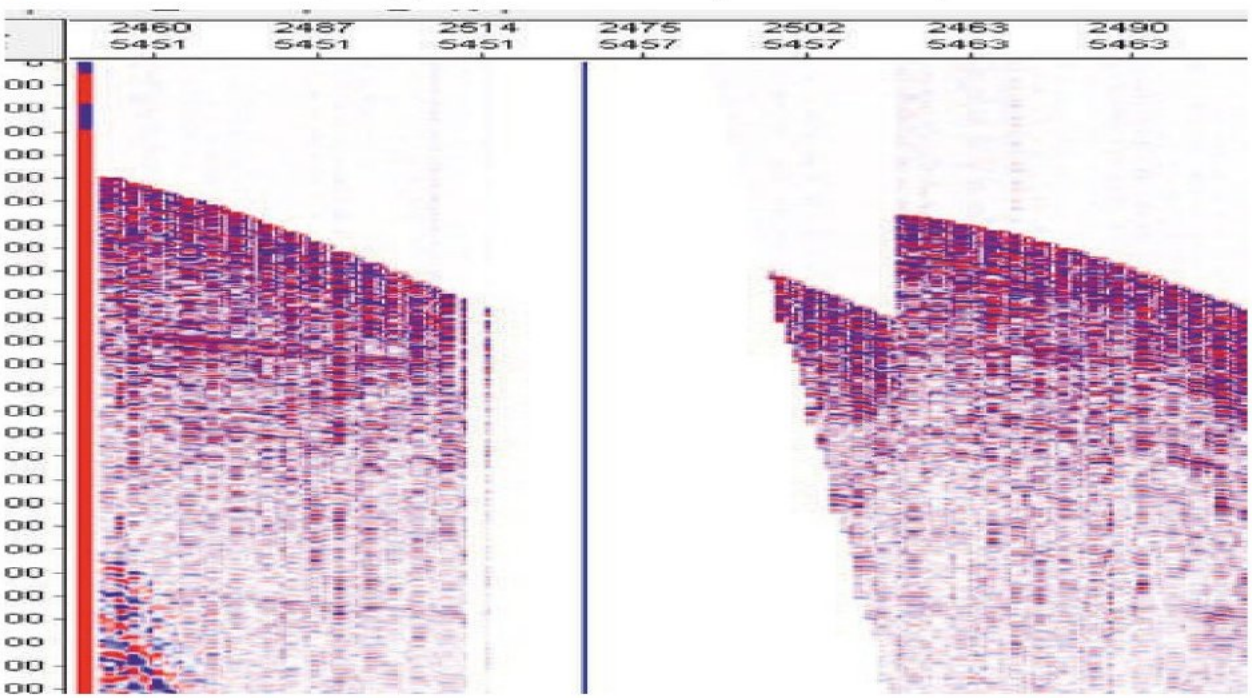
За время работы было получено 4 точки непереотработанного брака регистрации данных ПАК «Геотом». Все браки имеют субъективных характер, поскольку оператор включал опрос поля по наклону и сопростивлению сейсмоприемников не дожидаясь завершения записи данных. Учитывая это, такое тестирования поля отключает запись данных, частично информация был не сохранена (Рис.9).

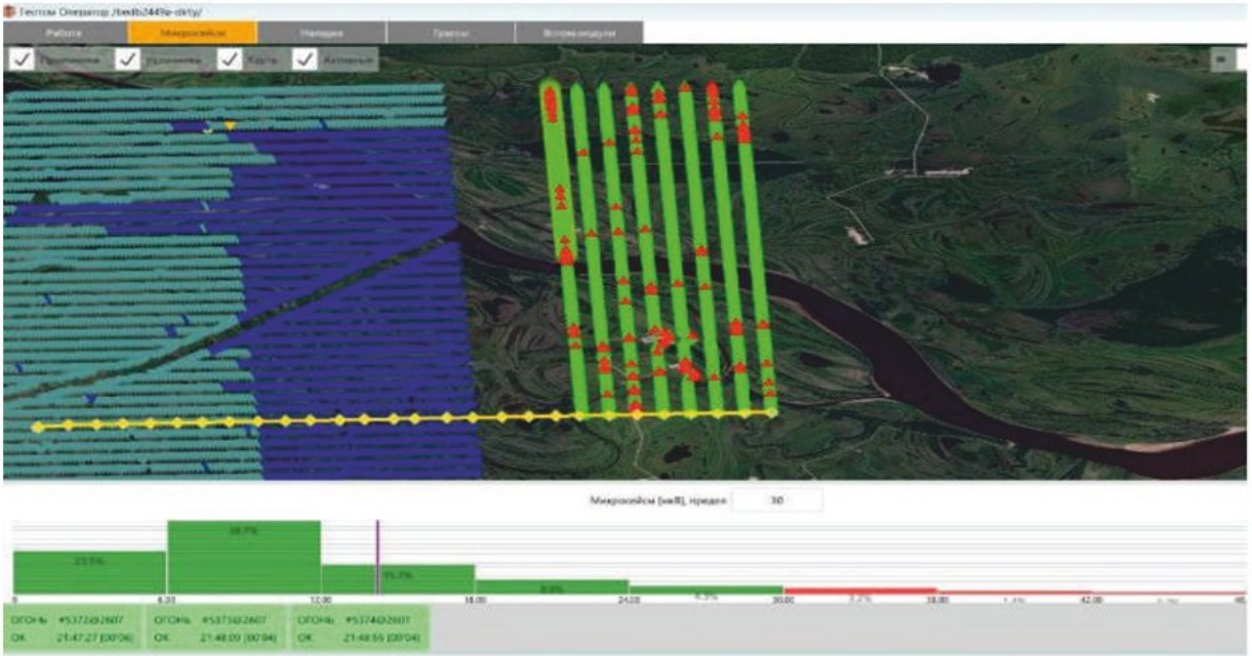
В ходе проекта разработчики внесли изменения ПО, сделав такую ошибку при эксплуатации ПАК «Геотом» невозможной.

Основные технологические моменты производственного процесса:

- Подготовка блоков к расстановке – через загрузку SPS файлов для автоматической привязки блоков.
- Управление процессом наладки оборудования, контроль параметров блоков и подключенных к ним геофонов в режиме реального времени.
- Контроль сопротивления и наклон

▼ *Рис. 9. Частичная потеря информации в момент одновременного тестирования и записи данных.*





▲ *Рис. 10. Контроль шумов приемной расстановки во время работы.*

сейсмоприемников, уровень заряда батарей, объем памяти, позиционирование, прохождение радиосигнала.

• Контроль за уровнем шумов по всей установленной расстановке (Рис.10).

• Запись всех полевых тестов в текстовый файл.

• Включение/выключение регистрации сейсмических данных.

• Инициирует возбуждение источника как ведущая с/станция и как ведомая.

• Запрос по радиоканалу сейсмотрасс для визуализации их в сжатом виде до 4 мс дискрета.

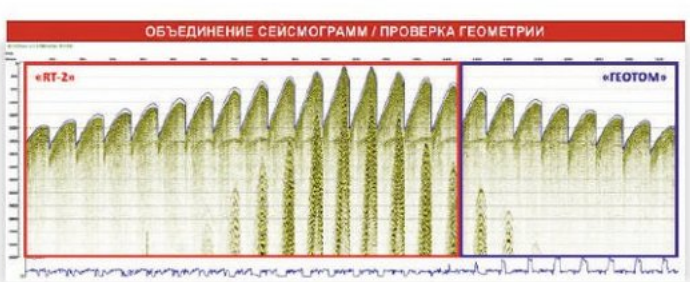
• Считывание данных с блоков и формирование итоговых сейсмограмм ОПВ для 1969 ф.н., потребовалось 7 часов.

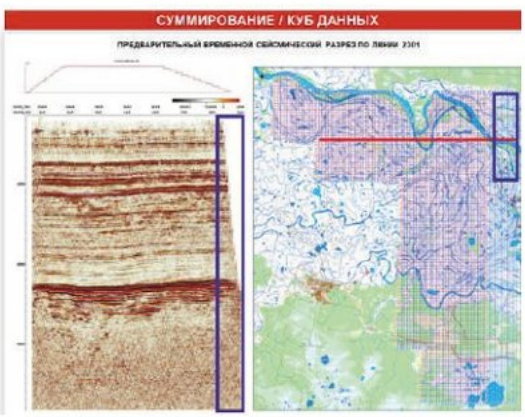
После считывания данных на базе сформирован единый массив сейсмических данных, зарегистрированных двумя станциями, построен предварительный разрез (Рис. 11). По результатам окончательной приемки материалов заказчиком сделан вывод, что проект выполнен на профессиональном уровне, качество материала не имеет замечаний, принято в полном объеме.

Трансформируя технологии сейсморазведки

Работники партии ТСГК оценили

▼ *Рис. 11. Результаты предварительной обработки данных RT-2 + ПАК «Геотом».*





ПРОЦЕСС РАБОТЫ С ГФО «ГЕОТОМ»

- Осуществляется погрузка блоков **«ГЕОТОМ»** и сейсмоприемников в специально оборудованные гусеничные вездеходы КТМ.
- Доставка оборудования до пересечений приемных и взрывных профилей.
- Раскладка блоков и геофонов по саням бригад до 90-100 шт.
- Развозка, установка и наладка ГФО по заданию.
- Регистрация данных.
- Считывание данных по ОПВ после выхода из активной расстановки (каждые 5-7 дней в зависимости от активной).
- Объединение сейсмограмм двух систем.



ПРОЦЕСС РАБОТЫ С ГФО «RT-2»

- Осуществляется погрузка блоков WRU, антенн, ящиков с аккумуляторными батареями **«RT-2»** и сейсмоприемников в специально оборудованные гусеничные вездеходы КТМ.
- Доставка оборудования до пересечений приемных и взрывных профилей.
- При смотки выполняется замена аккумуляторных батарей.
- Раскладка блоков WRU, антенн и геофонов по саням бригад до 60-70 шт. в разобранном виде.
- Развозка, установка и наладка ГФО по заданию.
- Наладка перед регистрацией.
- Регистрация данных.
- Объединение сейсмограмм двух систем.



▲ *Рис. 12. Оценка технологичности работы RT-2 и ПАК «Геотом».*

российскую разработку с точки зрения ее технологичности и удобства в работе. Одна бригада загружает в сани около 100 блоков (максимум – 105 блоков «ГЕОТОМ» с подключенными сейсмоприемниками YF-Solo-5Hz). При перевозке «RT-2» с максимальной загрузкой часто теряются внешние антенны. Действия при работе просты и логичны, не требуют длительного обучения рабочих ГФО. Сопоставление технологичности работы с оборудованием двух систем приведено на рисунке 12.

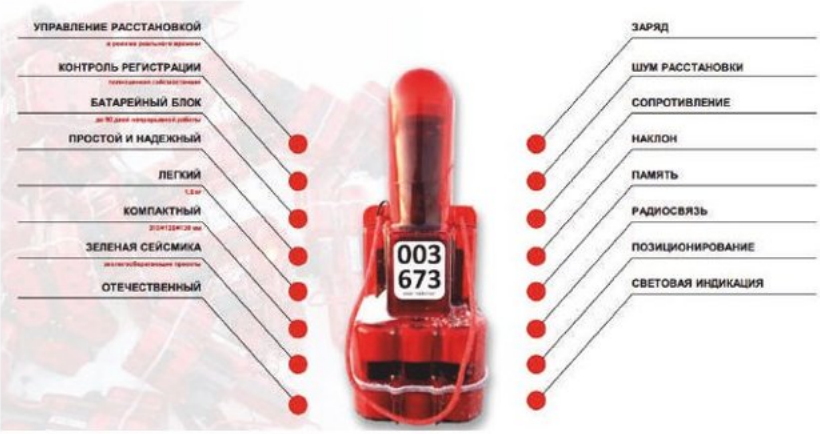
Легкий вес модуля, возможность переноса большого количества модулей в случаях непроходимых для техники территорий. Позволяет оптимизировать состав партии. Приемная линия, установленная с соблюдением технологических требований к вертикальности сейсмоприемника – с использованием погружателя, не требует дополнительной наладки. Блоки «ГЕОТОМ» производят самопозиционирование и после их установки на пикет через 15-20 минут оператор видит их работоспособность, может управлять удаленно.

При высокой влажности и температурных градиентах блоки «ГЕОТОМ» работают стабильно, что нельзя сказать о «RT-2» (наличие внешних антенн и батарей у «RT-2»).

Универсальность блоков «ГЕОТОМ» для всех функций системы: для подключения к сейсмоприёмникам, создания управляющего профиля полевой расстановки и подключения служебных каналов. Использование человеческого ресурса для размотки и наладки линии сокращается кратно.

Несмотря на то, что система «ГЕОТОМ» относится к нодальным системам, она не является «слепой». Оператор видит каждый блок, сопротивление и наклон прибора, уровень заряда батареи, мощность радиосигнала в режиме реального времени. У большинства зарубежных бескабельных нодальных систем отсутствует возможность оператору с/станции контролировать приемную расстановку в реальном времени, а у многих систем и вовсе отсутствует сама сейсмостанция. Оператора сейсмостанции заменяет геофизик-обработчик ПВЦ, который получает материалы с задержкой в несколько дней, а то и несколько недель.

Главное преимущество ПАК «Геотом» перед прочими нодальными системами заключается в том, что оператор контро-



▲ *Рис. 13. Оценка технологических перспектив ПАК «Геотом».*

лирует приемную расстановку с точки зрения шумов, начиная регистрацию только в условиях допустимых ветровых помех.

К блоку «ГЕОТОМ» можно подключить через разъем КСК любой тип сейсмоприемника или групп сейсмоприемника, что дает возможность маневра технологий, а также использования имеющегося сейсморегистрирующего оборудования в компании.

ПАК «Геотом» показала совместимость с другой - RT-2 – сейсмостанцией, что позволяет сделать вывод о совместимости системы и с другими сейсмостанциями, используемыми в разведочной геофизике.

Система «ГЕОТОМ» показала себя стабильной, надежной и перспективной для широкого применения на проектах компании ТСГК на любого заказчика.

Подробнее об авторах



Гордиенко
Артем Викторович
Руководитель направления
Центра разведочной геофизики,
Блок геологии и разработки
«Газпромнефть-Гео»



Шевченко
Илья Игоревич
Первый заместитель
генерального директора
– главный инженер
ООО «ТСГК»



Митрофанов
Денис Юрьевич
Начальник геофизического
отдела ООО «ТСГК»



Есипёнок
Иван Николаевич
Руководитель направления
по формированию
бизнес-кейсов новых
опций развития,
Блок геологии
«Славнефть-Мегионнефтегаз»



Потупчик
Евгений Михайлович
Руководитель Проекта по
поддержке и управлению
бизнес-кейсами,
Блок геологии
«Славнефть-Мегионнефтегаз»