

Высокопроизводительные сейсморазведочные работы МОГТ 3D с комбинированным регистрирующим оборудованием

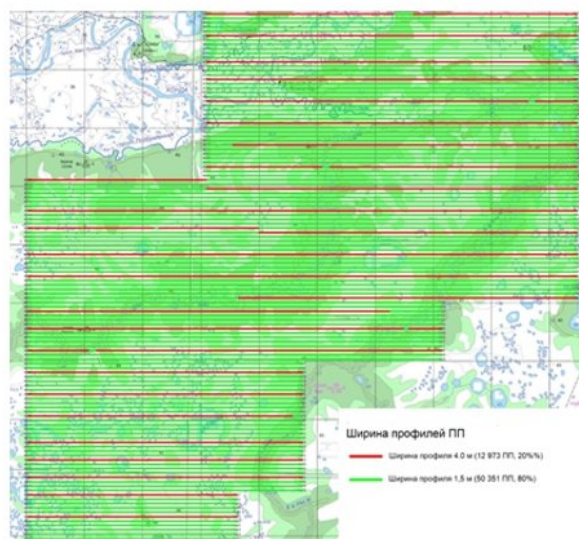
■ Романов А.И., Хухарев А.О., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»

В статье описаны результаты высокопроизводительных работ МОГТ 3D по экологосберегающей технологии «Зеленая сейсмика ©», разработанной ПАО «Газпром нефть». Применялось комбинированное регистрирующее оборудование, основную долю которого составляла бескабельная система WTU-508. В сложных поверхностных условиях Тюменской области за один зимний полевой сезон 2020-21 гг. были успешно выполнены работы на площади 472 кв.км. Использование бескабельного оборудования позволило повысить производительность сейсмоотряда на 25%, а качество данных, полученных с применением бескабельной телеметрии, оказалось выше, чем с кабельным оборудованием, ввиду значительно меньшего количества нерабочих каналов. Опробовано скачивание сейсмических данных и передача «статусов» (параметров функционирования) бескабельных модулей с помощью мультикоптеров.

Неуклонно растет интерес мировой сейсморазведки к бескабельным системам регистрации данных. Передовиком этого направления в России можно считать ПАО «Газпром нефть», уже перешедшее от стадии опытно-методических работ (ОМР) к производственным съемкам. Причем, с учетом специфики районов проведения работ, применение бескабельных систем на лицензионных участках компании творчески сочетается с еще одним новаторским направлением развития современной полевой сейсморазведки - технологией «Зеленая сейсмика ©».

В течение зимнего полевого сезона 2020-2021 гг. сейсморазведочной партией №2 филиала ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»-«Тюменнефтегеофизика» были выполнены работы МОГТ 3D в объеме 472 км² / 32274 ПВ. Площадь работ располагалась в Кондинском районе ХМАО Тюменской области и имела сложные поверхностные условия с преобладанием болот, озер и заболоченных участков, а также залесенностью в пойменной зоне.

ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» на протяжении трех лет выполняет проекты по экологосберегающей технологии с использованием как проводного, так и



▲ Рис. 1. Ширина просек на площади работ. бескабельного сейсморегирующего оборудования.

Технология «Зеленая сейсмика ©» минимизирует воздействие на природу, в частности – сокращает объемы рубки леса за счет уменьшения ширины просек. Так, на проекте просеки шириной 4 м рубились для линий возбуждения и только для каждой пятой линии приема, а остальные линии приема были шириной 1,5 м (Рис.1).

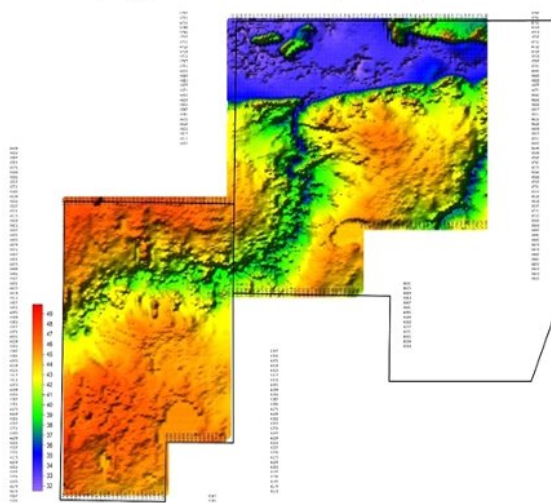
На указанной площади применялись беспилотные летательные аппараты (БПЛА), для рекогносцировки и скачивания данных с бескабельного оборудования.

На стадии проектирования было выполнено воздушное лазерное сканирование (ВЛС) и цифровая аэрофотосъемка (ЦАФС) площади будущих работ.

ЦАФС выполнялась с определением элементов внешнего ориентирования с разрешением цифрового фотоизображения местности и перекрытиями маршрутов, достаточными для уточнения опасных и непроходимых для техники участков, зон техногена и корректировки проектной схемы ПГН с получением всех видов разрешений до начала производственных работ.

Полученная плотность точек лазерных отражений ВЛС участка работ уверенно обеспечила создание цифрового ортофотоплана (ЦОФП) масштаба 1:5000. По материалам ВЛС была подготовлена цифровая модель рельефа, сформированная по характерным точкам лазерных отражений, разделенных на классы «земная поверхность» и «выше земной поверхности» (Рис. 2). Точность определения альтитуд точек класса «земная поверхность» была достаточной для создания регулярной модели рельефа (GRID), позволившей сократить время измерений при последующих наземных геодезических работах, повысив их производительность.

▼ Рис. 2. Цифровая модель рельефа.



На проекте преимущественно использовалось бескабельное оборудование WTU-508 и проводное оборудование 428XL производства компании SERCEL (Рис.3). Для регистрации сейсмических данных использовались двухприборные группы геофонов с собственной частотой 5 Гц и суммарной чувствительностью 160 В/(м/с).

Количество используемого на проекте оборудования составляло: проводное - 1935 каналов, бескабельное – 8752 каналов.



▲ Рис. 3. Проводное оборудование Sercel 428 и бескабельные модули WTU-508.

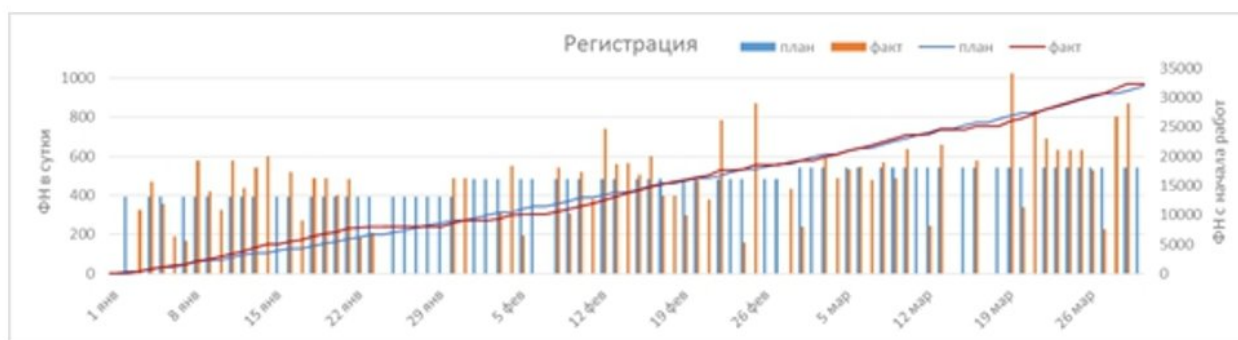
Методика характеризовалась следующими основными параметрами:

- центрально-симметричная система наблюдения,
- количество приемных линий – 24;
- количество каналов в линии – 144;
- расстояние между ПП – 50 м, ЛПП – 300 м, ПВ – 50 м, ЛПВ – 300 м;
- максимальное удаление ПВ-ПП - 5056 м;
- номинальная кратность наблюдений – 144;
- возбуждение упругих колебаний - наиболее эффективным по опыту работ в этом районе способом – взрывами в одиночных скважинах.

Полевые работы начались в декабре 2020 г., а непосредственно регистрация началась 3 января 2021 г. Для завершения работ до весенней оттепели расчет-



▲ Рис. 4. Погодные условия в течение регистрации.



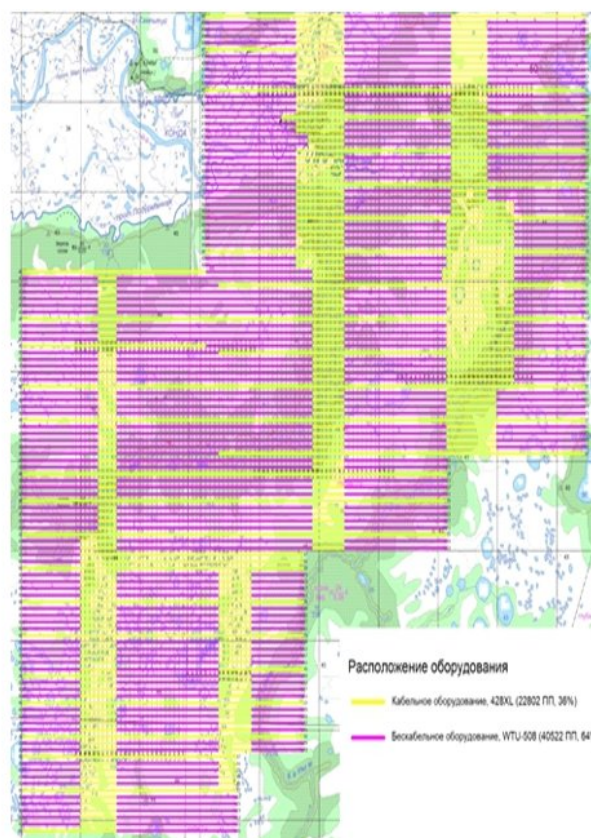
▲ Рис. 5. Производительность регистрации.

среднесуточная производительность составляла 475 ФН/день при 68 днях регистрации. Фактически в зависимости от погодных условий (рис.4) производительность по регистрации варьировалась от 160 до 1025 ФН/день (рис.5) и в среднем составила 489 ФН/день при 66 днях регистрации.

Схема расстановки оборудования представлена на рисунке 6. Количество установленного бескабельного оборудования составило 64% от всего количества ПП.

Проводное оборудование было минимизировано, исходя из идеологии использования, помимо рабочей регистрации данных, для мониторинга уровня шумов и помех в реальном времени, а также для экспресс-оценки качества сейсмоданных. Модули WTU передавали статусы работоспособности на сейсмостанцию в реальном времени с задержкой

▼ Рис. 6. Схема распределения регистрирующего оборудования..



15-40 минут для самых дальних каналов. В статусах содержалась информация о рабочих параметрах сейсмоприемников (угол наклона, сопротивление, утечка, шум) и о заряде аккумулятора модуля WTU. Перед регистрацией и в процессе отстрела геофизик-оператор постоянно осуществлял мониторинг проводного и бескабельного оборудования.

Производительность сейсмоотряда

Установка напольного оборудования осуществилась как с использованием техники (по просекам линий приема шириной 4м), так и без нее (на просеках линий приема шириной 1.5 м - «ручная» размотка). «Ручная» размотка предполагала доставку оборудования на технике до пересечения с «узкой» приемной линией, а далее в - пешем порядке по просекам шириной 1,5м, где не всегда можно проехать даже на снегоходе. С целью оптимизации кабельное оборудование раскладывали, в основном, по 4-х метровым просекам, а бескабельное - по просекам шириной 1,5м и в трудно доступных местах.

В результате достигалась высокая валовая суточная производительность сейсмоотряда в целом, и следует отметить, что установка бескабельного оборудования шла на 25% быстрее, чем кабельного.

Таким образом удалось оптимально сбалансировать следующие показатели:

- качество сейсмических данных;
- затраты времени на установку сейсмоприемников;
- количество задействованного персонала в смене.

Наладка сейсмооборудования на профилях заключалась, в основном, в замене аккумуляторов и устранении обрывов проводного оборудования. Бескабельные модули за весь период



▲ Рис. 7. Размотка кабельного оборудования.

работ практически не потребовали полевой наладки после установки и надежно функционировали весь период (10-20 дней) нахождения в рабочей расстановке.

При этом следует отметить, что при температуре ниже -42°C в течении длительного времени (более двух суток) происходил ускоренный разряд внутренних батарей WTU-508. Однако наладка успевала произвести замену в дневное время.

Таким образом, компактность бескабельного оборудования WTU-508 однозначно способствовала значительному сокращению трудозатрат при смотке-размотке и наладке рабочей расстановки по сравнению с кабельной системой.

Недостатком данного типа оборудования с точки зрения формального выполнения современных нормативных требований является отсутствие возможности оперативной визуализации результатов регистрации сейсмических данных, т.к. получить полную картину сейсмической записи возможно только после скачивания информации с блока WTU-508.



▲ Рис. 8. БПЛА с планшетом для скачивания данных.

Скачивание сейсмических данных с нодальных систем с применением БПЛА.

На протяжении предыдущих трех полевых сезонов проблема визуальной оценки первичного материала решалась использованием комбинированной расстановки WTU-508 и 428XL. В сезоне 2020-2021 гг. с целью оперативного получения первичных данных с WTU-508 в полном объеме впервые были использованы БПЛА.

На БПЛА был установлен специальный планшет «Data Harvester» для скачивания данных (рис.8), которое происходило на высотах 50-70 метров над приемными линиями. По возвращении на базу планшет передавался для последующего скачивания с него данных в систему обработки и хранения (сервер Sercel 508).

Работа БПЛА была возможна при следующих условиях:

- Температура воздуха - не ниже -25°C ;
- Скорость ветра в эшелоне работ - не более 12 м/с;
- Скорость полета над линией наблюдения для участков с открытой и болотистой местностью - 5 м/с (18 км/ч) без зависаний;
- Скорость полета над линией наблю-

дения для участков с занесённой местностью - 3 м/с (10 км/ч) без зависаний.

Летная погода наблюдалась в течение 35 дней из 70. Всего было выполнено 82 полета, в ходе которых считаны данные с 8722 модулей WTU. Попутно была подтверждена возможность использования БПЛА для проверки работоспособности модулей на случай отсутствия связи.

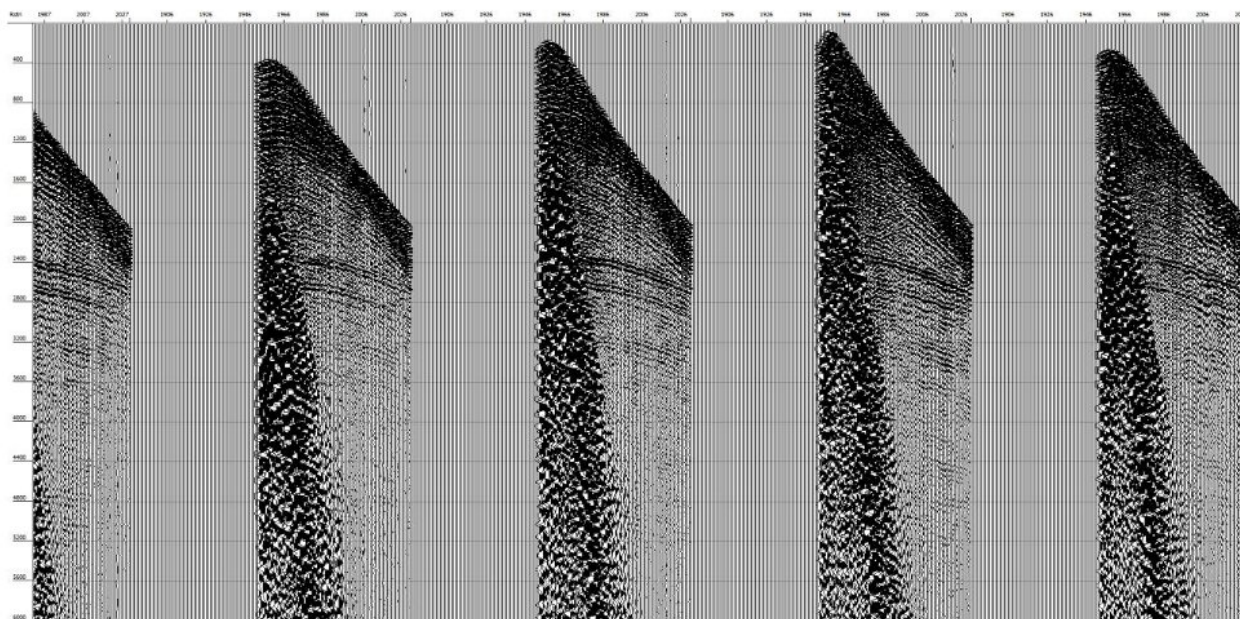
Качество данных

Оценка качества сейсмоданных осуществлялось в два этапа:

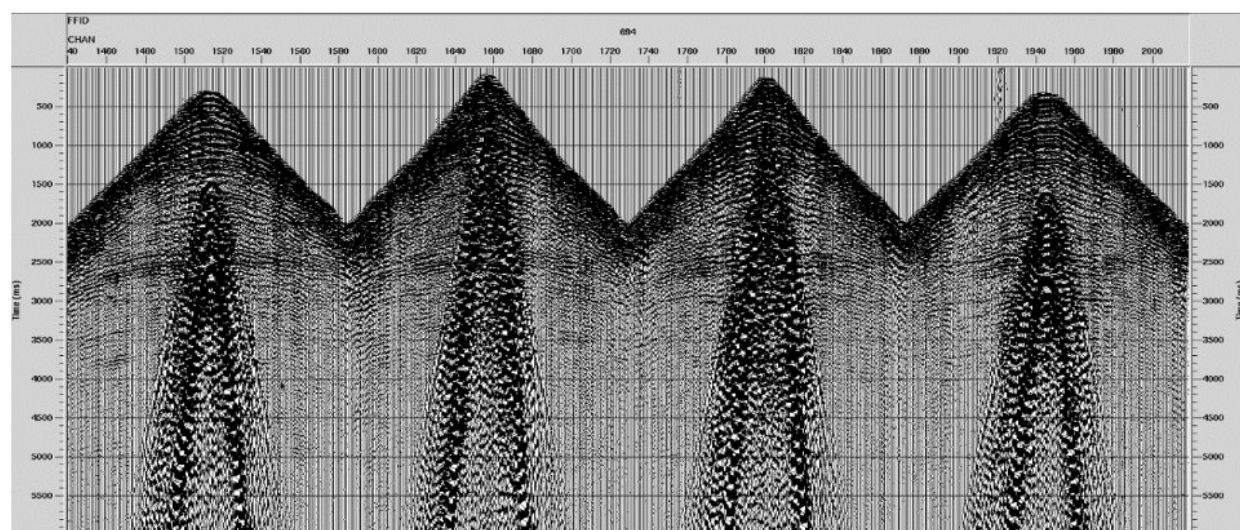
1. Экспресс анализ неполных сейсмограмм (рис.9) в течение трех часов после завершения смены регистрации с расчётом атрибутов по данным с кабельного оборудования и проверка статусов бескабельного оборудования;
2. Анализ полных сейсмограмм после компиляции данных (рис.10).

Первый этап являлся основным для принятия решения о приемке или забраковке физического наблюдения. После компиляции брак возможен из-за нерабочих трасс.

Особое внимание уделялось проверке работоспособности бескабельных модулей по статусам. Скачивание данных с модулей WTU-508 производилось на базе партии геофизиком службы контроля качества с проверкой полноты и корректности. Ежедневно данные скачивались с 700-1200 WTU (рис.11). При наличии ранее полученных данных с помощью БПЛА время скачивания на базе партии сокращалось. Количество нерабочих трасс WTU составило 0,1% от их общего количества 71,32 млн. Количество нерабочих трасс проводного оборудования составило 0,17% от их общего количества 40,12 млн. Максимальное количество нерабочих трасс для одной сейсмограммы было 42, 1.2% от активной расстановки при допустимых

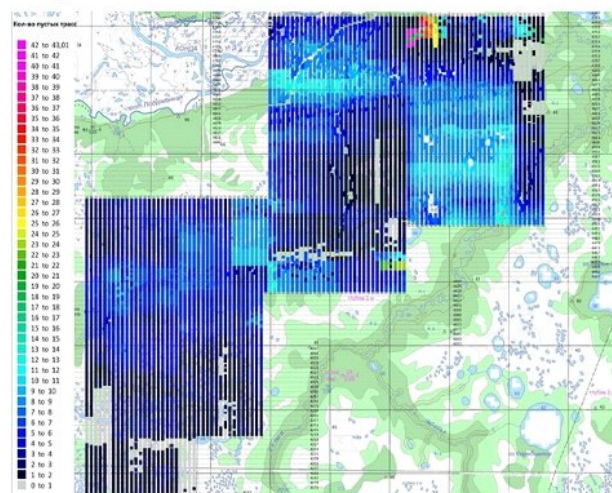


▲ Рис. 9. Сейсмограмма до компиляции, пустые трассы – бескабельное оборудование.



▲ Рис. 10. Скомпилированная сейсмограмма.

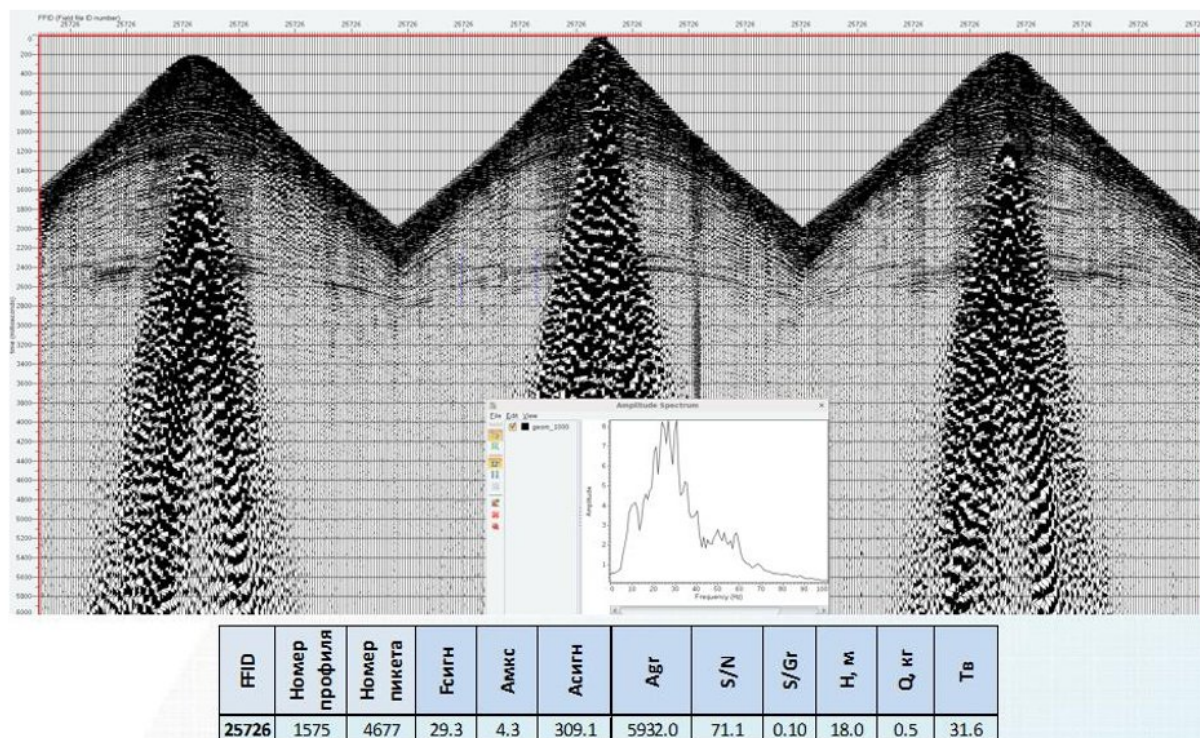
▼ Рис. 11. Распределение нерабочих трасс по ПВ.



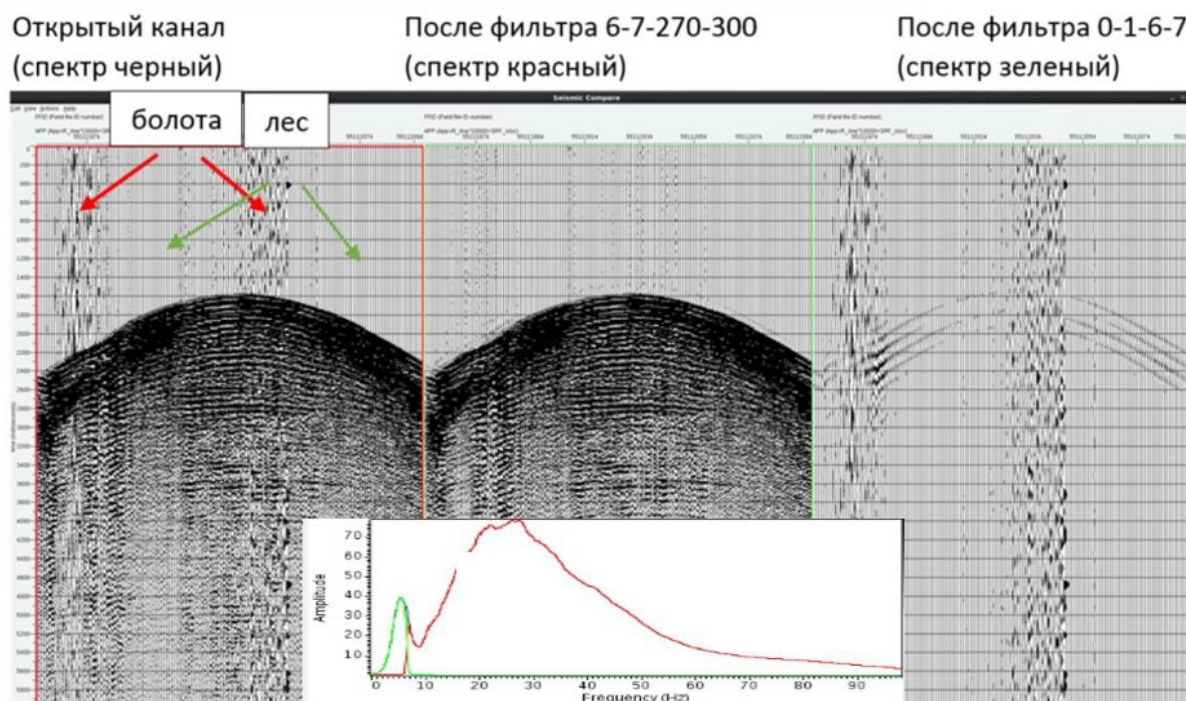
2%. Нерабочие трассы, в основном, связаны с повреждениями оборудования транспортом.

Применение точечной установки низкочастотных геофонов с высокой чувствительностью позволило зарегистрировать сигнал в более широком частотном диапазоне (рис.12), чем при использовании стандартных 12-приборных групп геофонов с собственной частотой 10 Гц и суммарной чувствительностью 120 В/(м/с).

Но, помимо расширения спектра сигнала, также наблюдалось и расширение



▲ Рис. 12. Пример типичной сейсмограммы и спектр в окне сигнала вне конуса поверхностных помех.

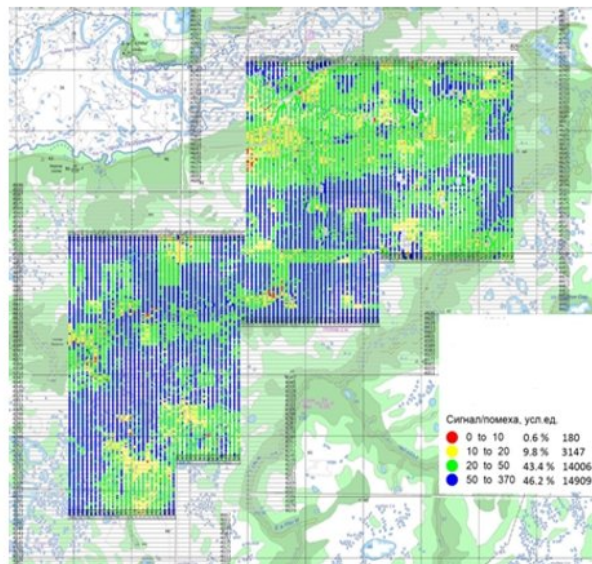


▲ Рис. 13. Анализ шумов на болотах.

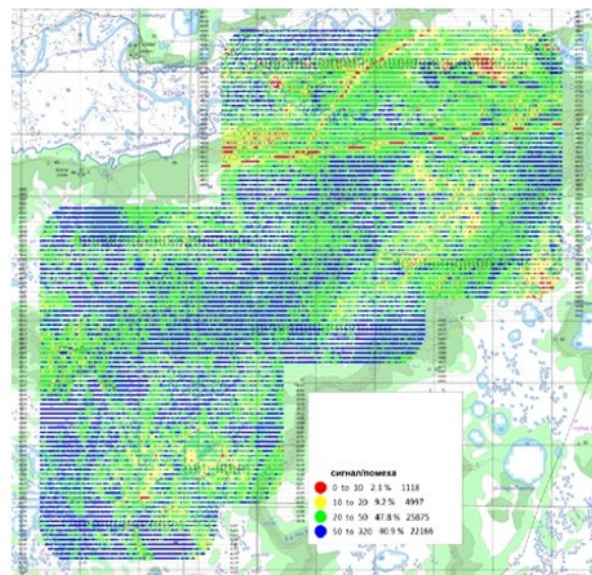
ние спектра регистрируемых помех, как поверхностных волн, так и микросейсм. На производительность в значительной мере влияли ветровые помехи, уровень которых не должен был превышать 15-25мкВ (в зависимости от амплитуды

сигнала). Даже при скорости ветра ~3-4 м/с, практически не ощущаемого в лесной зоне, на болотах регистрировались низкочастотные помехи (рис. 13).

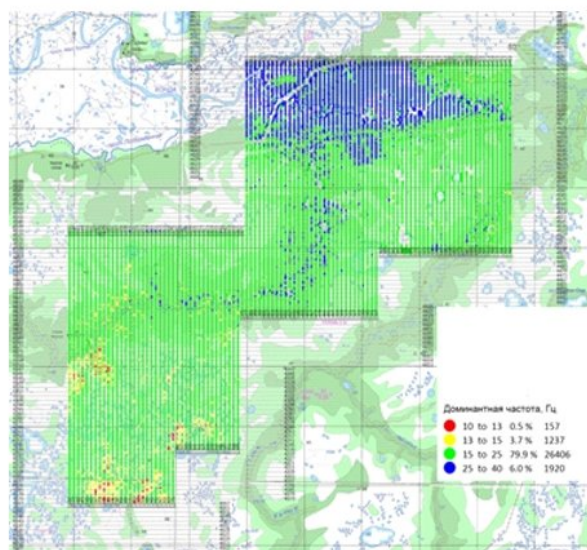
Площадное распределение традиционных параметров оценки полевого



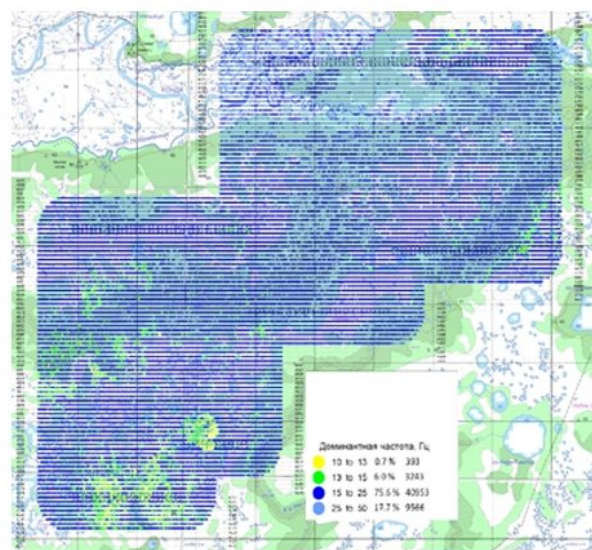
▲ Рис. 14. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПВ.



▲ Рис. 15. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПП.



▲ Рис. 14. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПВ.

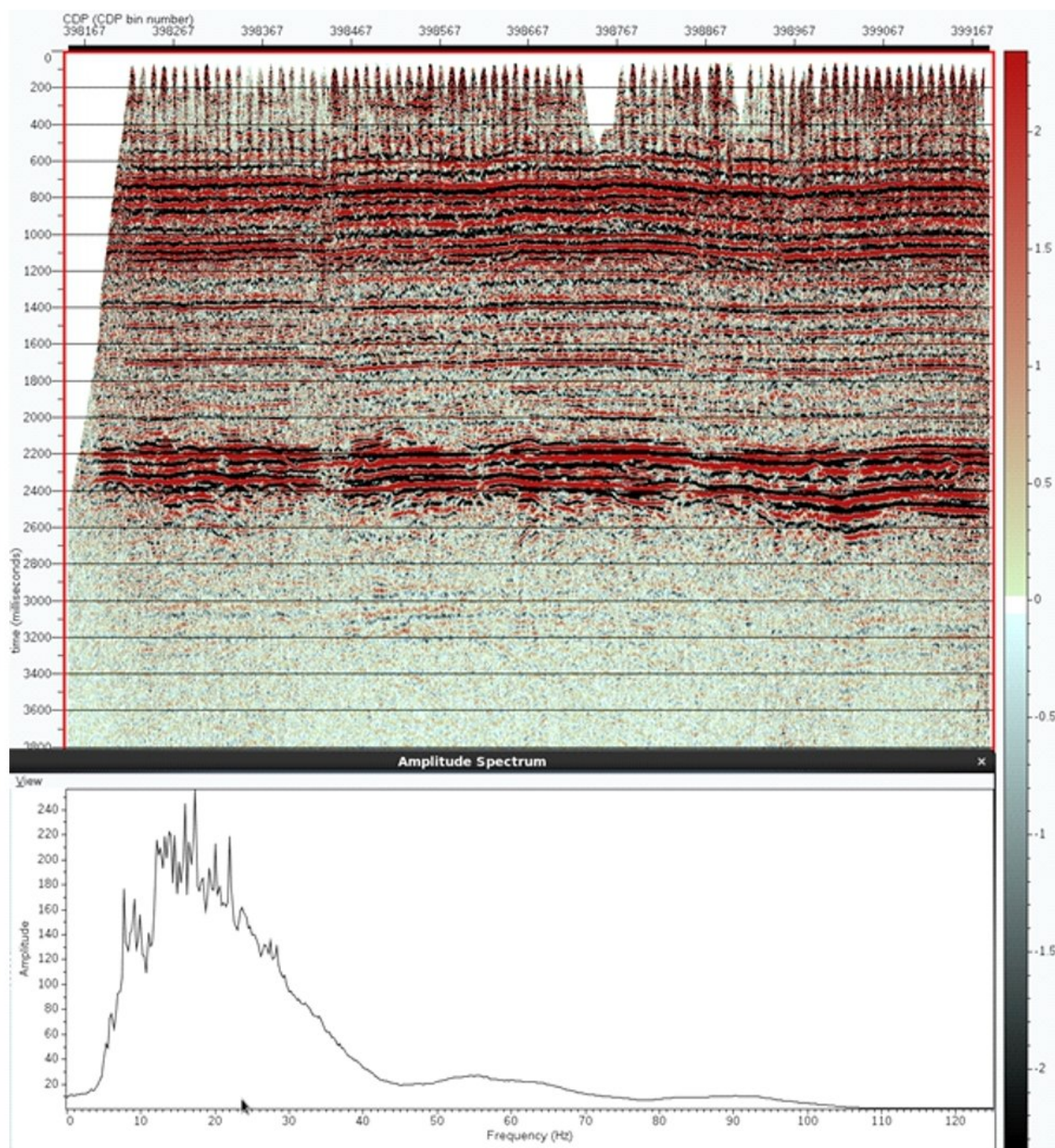


▲ Рис. 17. Доминантная частота по ОПП.

материала: отношение сигнал/уровень микросейсм (рис.14, 15) и доминантная частота (рис.16,17) коррелируется с указанными геоморфологическими и орогидрографическими особенностями площади работ.

На Рис. 18 представлен типичный предварительный временной разрез, полученный в ходе экспресс-обработки непосредственно в партии по следующему графу: подавление поверхностных

волн, поправка за сферическое расхождение, деконволюция, введение априорных статических и кинематических поправок, суммирование по ОГТ. Уверенно прослеживаются все целевые горизонты, характерной особенностью амплитудно-частотного спектра является наличие низкочастотной области со значительными амплитудными показателями.



▲ Рис. 18. Предварительный временной разрез по ОГТ и его амплитудно-частотный спектр.

Заключение

Использование бескабельного оборудования WTU-508 Sercel позволило повысить производительность сейсмоотряда на 25%, что способствовало ритмичному выполнению довольно большой производственной программы в крайне сжатые сроки сезона, характерные для района работ.

Качество данных, полученных с применением бескабельной телеметрии, оказалось выше, чем с проводной, ввиду значительно меньшего количества нерабочих каналов. Особо следует отметить, что критерии оценки качества полностью соответствовали традиционно применяемым для кабельного оборудования с перманентной визуализацией

результатов в режиме реального времени.

Конструкция применявшихся БПЛА требует серьезной доработки для обеспечения традиционной оперативной оценки качества. Что, очевидно, столь же серьезно скажется на их стоимости.

Авторы считают целесообразным рассмотреть вопрос подавления низкочастотных «болотных» помех на этапе камеральной обработки, что позволит увеличить производительность полевых работ за счет расширения «погодных окон» по ветровой помехе.

Также авторы считают, что выполнение съемок с указанными выше параметрами систем наблюдений в условиях действующих нормативных документов по оценке качества получаемого полевого материала не в полной мере раскрывает возможности «слепых» и «полуслепых» нодальных систем и ориентировано на неоправданное использование на каждом проекте, как минимум, 35% оборудования, обеспечивающего получение полного набора данных регистрации в режиме реального времени.

В целом же описанные выше работы можно считать очередным успешным опытом ПАО «Газпром нефть» и ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» производственного использования бескабельных систем при выполнении масштабных 3D съемок мирового уровня.

Авторы признательны ПАО «Газпром нефть» за предоставленную возможность опубликования данной статьи.

Литература

1. Горобцов Т.С., Харченко В.С., Харченко К.С. «Сейсморазведочные работы МОГТ 3D», отчет по полевым работам, Тюмень 2021.
2. Никитин А.С. «О результатах оказания услуг по скачиванию сейсмических

данных с нодальных систем с применением беспилотного воздушного судна», отчет по полевым работам, Санкт-Петербург, 2021.

Подробнее об авторах



Романов
Александр Иванович

Руководитель по направлению ХМАО, дирекция главного геофизика ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка». Окончил Новосибирский государственный университет в 2003 году.



Хухарев
Анатолий Олегович

Проектный менеджер филиала ПАО "ГЕОТЕК Сейсморазведка" - "Тюмень-нефтегеофизика". Окончил Тюменский государственный нефтегазовый университет в 2013 г. по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».