

Беспроводная регистрирующая система STRYDE – будущее наземной сейсморазведки

- Твердохлебов Д.Н., Гуренцов Н.Е., ООО «РН-Эксплорейшн»
- Аблязина Д.И., Давыдова Е.А., ПАО «НК «Роснефть»
- Колескин Д.С., ПАО «Самаранефтегеофизика»
- M. Popham, C. Einchcomb, A. Ourabah (STRYDE)

Статья посвящена обзору беспроводной регистрирующей системы STRYDE для проведения полевых сейсморазведочных работ. В статье рассматриваются основные технические характеристики беспроводных единичных датчиков, особенности планирования и проведения полевых сейсморазведочных работ с их использованием, а также история развития датчиков STRYDE Node и перспективы их использования на территории РФ.

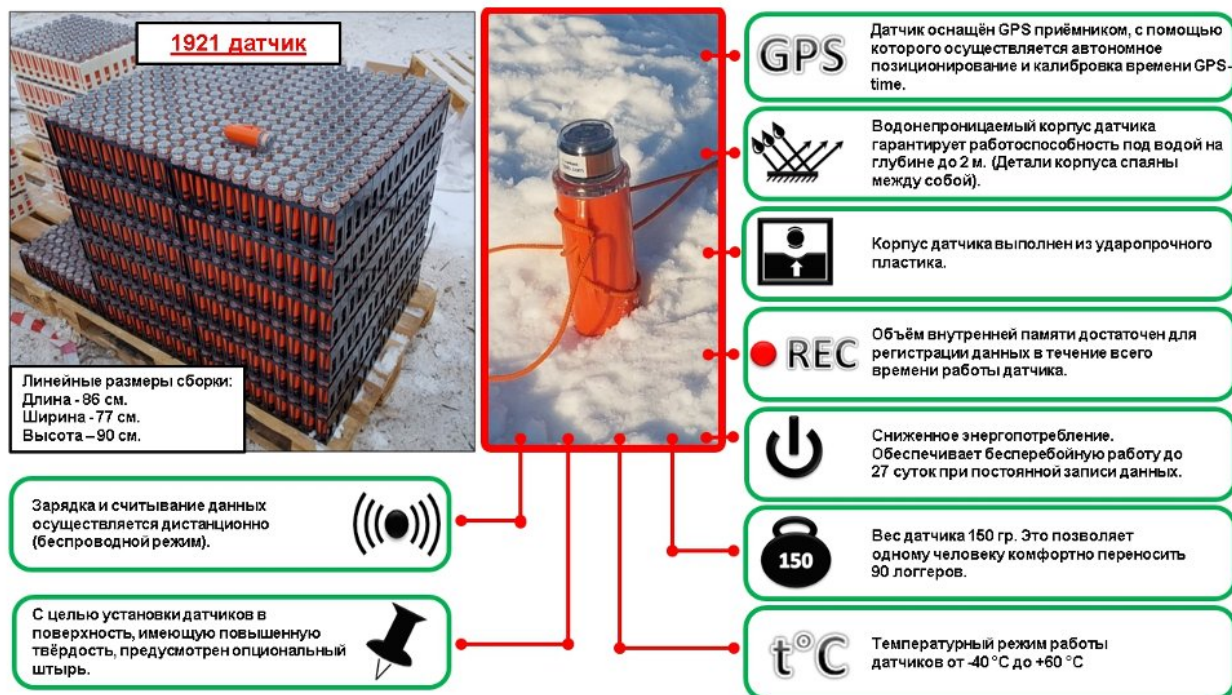
Введение

В настоящее время для эффективного проведения геологоразведочных работ (ГРП) требуется выполнение масштабных и качественных сейсморазведочных работ 3D (CPR 3D). Растущие потребности отрасли требуют получения высококачественных сейсмических материалов, особенно для задач сейсмической интерпретации (для выделения малоамплитудных и литологических ловушек, прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), выполнения инверсионных преобразований, AVO-анализа и т.д.). Поскольку резерв повышения качества сейсмических данных при использовании стандартных полевых методик CPR 3D ограничен, возникает необходимость применения новых технологий получения данных.

Увеличение плотности системы полевых наблюдений – одно из основных направлений повышения качества сейсмических материалов. На текущий момент выполнение наземных высокоплотных CPR 3D с использованием стандартного регистрирующего оборудования имеет ряд существенных ограничений: большой объем и вес кабельного регистрирующего оборудования, высокая стоимость полевых работ и технологическая сложность их выполнения,

необходимость значительного объема рубки просек, низкая производительность и сезонность проведения работ, сложность последующей обработки большого массива данных. Ограничения стандартных систем наблюдения можно нивелировать за счет применения современных технологий бескабельной регистрации, однако, доступное на рынке оборудование характеризуется высокой стоимостью и технологическими сложностями в эксплуатации. Переход от текущих кабельных систем к бескабельным станет возможным прежде всего за счет разработки и внедрения легкой, мобильной и сравнительно недорогой регистрирующей бескабельной системы.

В период с 2016 по 2019 год ПАО «НК «Роснефть» совместно с ВР и Schlumberger разработала полностью автономное беспроводное регистрирующее оборудование (ранее известное как «Nimble Node», «Cheetah» или «Гепард»), которое представляет собой единичный пьезоэлектрический акселерометр [3,5,6,7]. С 2019 года промышленная версия регистрирующего оборудования стала называться «STRYDE», в настоящее время продолжается разработка технологии и коммерциализация системы. На Рис. 1. приведены основные особенности и преимущества инновационных



▲ Рис. 1. Особенности и преимущества инновационных беспроводных датчиков STRYDE Node.

беспроводных датчиков STRYDE Node. На данный момент оборудование производится в промышленном масштабе, и успешно выполнены опытно-производственные работы на территории Норвегии, Арабских Эмиратов и Западной Сибири [12,13].

Испытания датчиков и опытно-производственные работы

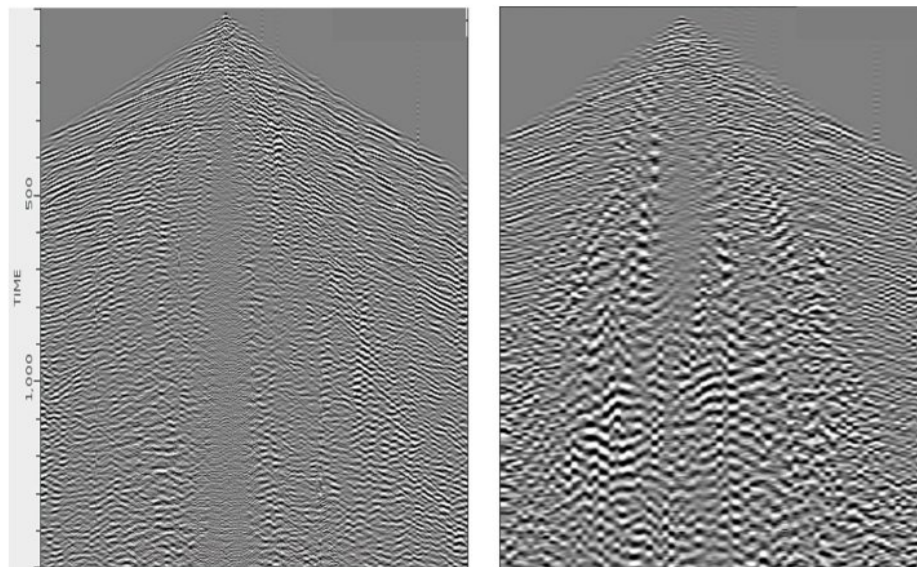
На первом этапе было выполнено лабораторное тестирование беспроводных датчиков для оценки функциональности и корректности их работы при низких отрицательных температурах, продолжительности работы батареи при различных температурах, производственных показателей по зарядке датчиков и считыванию данных за 24 часа, работы программного обеспечения для выгрузки и подготовки зарегистрированного материала и др.

На втором этапе был проведен ряд полевых испытаний в различных регионах для решения технических и техноло-

гических задач. Первые полноценные полевые испытания были выполнены в марте 2017 года в Норвегии с использованием 100 датчиков Nimble Node. Проведено исследование различных способов раскладки оборудования (было протестировано более 25 способов, в том числе, без штыря, со штырем, глубоко в снегу, на снегу, неглубоко в снегу, с помощью специального шеста для установки, пешком, на снегоходе и др.). Результаты тестирования подтвердили функциональность датчиков при отрицательных температурах и стабильную регистрацию сигнала, независимо от способа раскладки. Результаты тестирования также позволили сделать вывод, что даже при значительном (около 1-2 м) снежном покрове беспроводные датчики имеют стабильные амплитудно-частотные характеристики при регистрации данных и позволяют провести их уверенное позиционирование на местности.

В октябре 2017 года были проведены опытные работы в Абу-Даби с использо-

► Рис. 2. Сравнение сейсмограмм после применения FK-фильтра с применением единичных датчиков Nimble Node (слева) и стандартной кабельной системы с 12 геофонами в группе (справа)

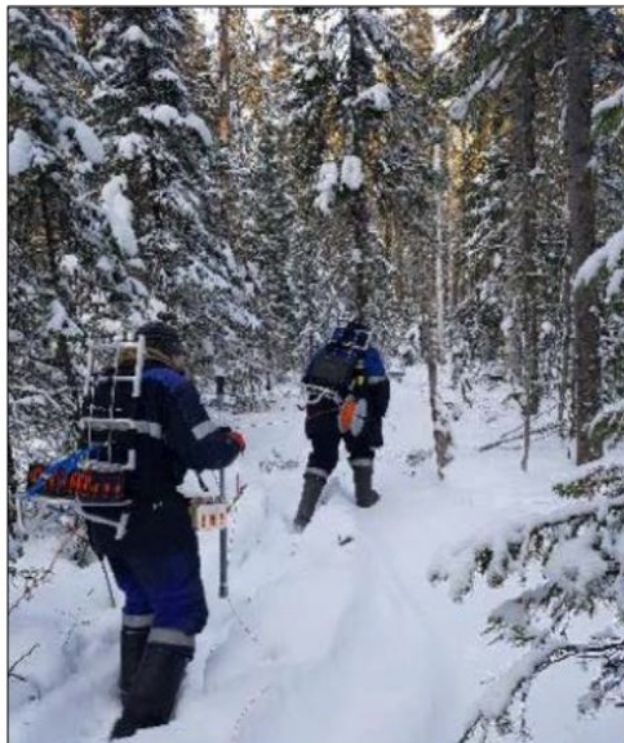


ванием 1000 датчиков Nimble Node. Основной задачей тестирования было сравнение сейсмического изображения, полученного с применением беспроводной системы Nimble и с помощью других кабельных систем регистрации – единичного проводного датчика, группы из 12-ти проводных геофонов и группы из 6-ти проводных геофонов (Рис. 2). Дополнительно были изучены скорости раскладки, сбора и выгрузки данных, зарядки датчиков в условиях пустыни. Усредненные показатели раскладки регистрирующего оборудования составили 38 секунд при шаге пунктов приема 12,5 м.

В 2018 году была выполнена первая полномасштабная 3D съемка с использованием 8800 датчиков Nimble Node в Западной Сибири. Основные задачи тестирования заключались в сравнении сейсмического изображения, полученного при регистрации беспроводной системой, с изображением, зарегистрированным с помощью стандартной кабельной системы, а также определении путей улучшения оборудования за счёт его эксплуатации в реальных условиях производственной съёмки. Работы проводились в сейсмогеологических условиях Западной Сибири при отрица-

тельных температурах и густой залесенности местности. При обработке площади использовались как классические кабельные системы регистрации стандартной плотности, так и высокоплотная съемка с единичными беспроводными датчиками Nimble Node при десятикратном сгущении пунктов приема (ПП). При этом беспроводные датчики размещались с шагом по ПП=5 м на тех же приемных линиях, что и группы из 12-ти геофонов с шагом ПП=50 м. Использование двух типов регистрирующего оборудования позволило оценить эффект от выполнения высокоплотных работ на этапе сбора, обработки и интерпретации сейсмических данных.

В ходе полевых работ было уточнено, что при использовании датчиков Nimble Node, можно значительно сократить усилия по подготовке приёмных линий как за счёт характеристик самой системы, так и за счёт оптимизации технологического процесса. В частности, работа с беспроводными датчиками позволила уменьшить количество персонала в бригаде с 4-х до 2-х человек, а также наладить установку/сбор датчиков в один проход и в одном направлении без постоянного присутствия технологичес-



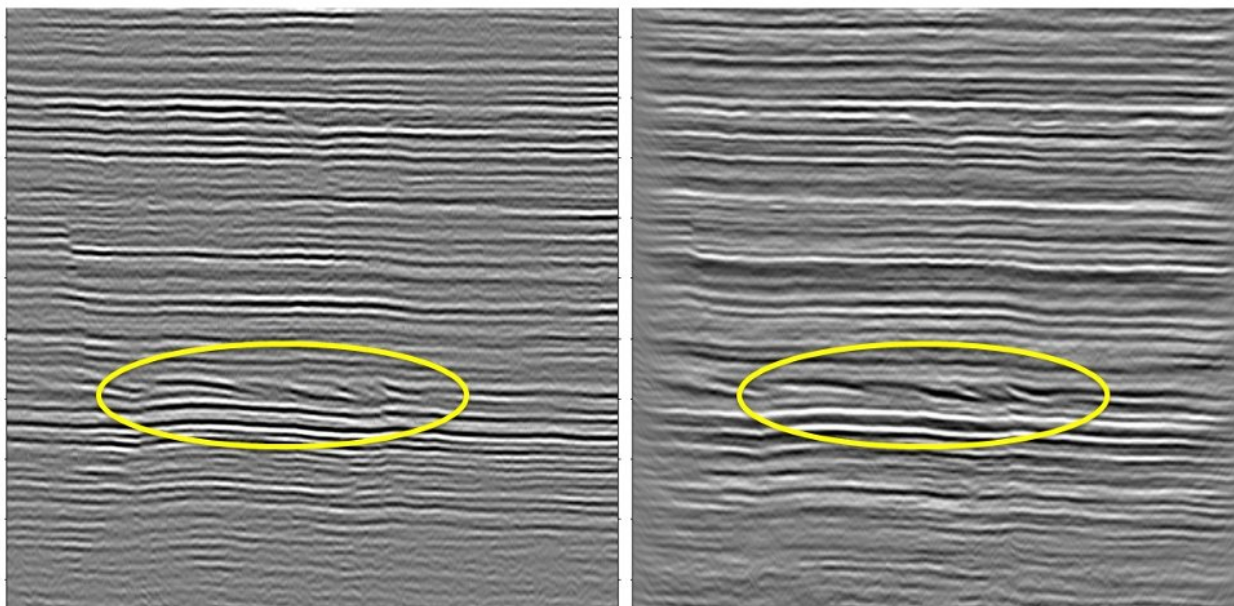
▲ Рис. 3. Выполнение опытно-производственных работ в Западной Сибири с использованием беспроводных единичных датчиков Nimble Node.

кого транспорта в непосредственной близости от бригады. Одна бригада способна одновременно переносить до 90 датчиков в специализированном рюкзаке, сконструированном таким образом, чтобы распределить нагрузку и обеспечить максимально комфортные условия работы (Рис. 3). Среднее время на установку одного датчика составляло 24 секунды при расстоянии 5 м между проектными позициями. Ещё одним безусловным плюсом новой нодальной системы является то, что она не требует последующей наладки сейсмических профилей, что, безусловно, влияет на время начала возбуждения и регистрации данных. В текущей конфигурации система позволяла подготовить к повторной установке приемники в количестве 1300 в течение 6 часов.

Система рассчитана на работу с сотнями тысяч регистрирующих каналов, что с учетом их характеристик позволяет выполнять высокоплотные CPP 3D с

высокой эффективностью. Практика показывает, что увеличение плотности данных позволяет существенно увеличить качество результирующей информации как за счет большего количества информации, вносящего вклад в окончательный результат, так и за счет увеличения эффективности работы алгоритмов обработки данных.

Совместная обработка результатов опытно-производственных работ выполнялась специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» с участием специалистов ВР. Данные, полученные с применением классической кабельной системы наблюдения и единичных датчиков, обрабатывались параллельно с применением единого графа. В ходе обработки тестировались алгоритмы расчета и коррекции статических поправок, сигнальной обработки данных. Использование высокоплотных данных существенно повышает эффективность работы процедур расчета и коррекции статических



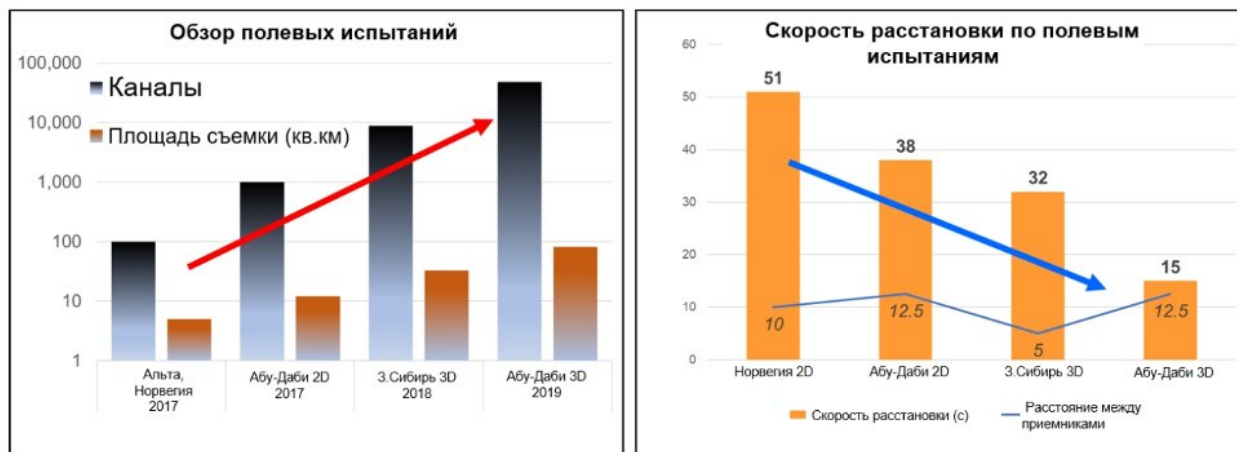
▲ Рис. 4. Архивный сейсмический разрез со стандартным оборудованием после PSTM, размер бина – 25х25 м (слева) и разрез полевой обработки с оборудованием Nimble Node после PSDM, размер бина – 6,25х6,25 м (справа).

поправок за счет большей статистики. Аналогичный эффект наблюдается и при сигнальной обработке. Высокоплотные данные имеют более высокую пространственную дискретизацию, на сейсмограммах практически отсутствует эффект аляйсинга, что ведет к более корректной и эффективной работе процедур шумоподавления. Анализ результатов обработки показывает существенное повышение детальности сейсмических данных, расширение динамического диапазона, повышение соотношения сигнал/помеха по площади с применением единичных датчиков как в верхней части разреза (ВЧР), так и в целевом интервале [13].

В марте-апреле 2019 года были выполнены полномасштабные опытные работы 3D в Абу-Даби с использованием 50855 датчиков Nimble Node. Основными задачами работ являлись тестирование системы считывания и зарядки беспроводных датчиков при высокой загрузке (около 10000 датчиков в день) и определение возможности улучшения сейсми-

ческого изображения сложных стратиграфических построек (клиноформ) за счет повышения плотности сейсмических наблюдений. Усредненные показатели раскладки регистрирующего оборудования составили 15 секунд на один датчик при шаге пунктов приема 12,5 м. При проведении полевых испытаний было установлено более 500 000 датчиков за 53 дня, и были получены сейсмические данные с плотностью 184 млн. сейсмотрасс/км² на площади 81 км² (Рис. 4) [11].

Проведенные лабораторные тесты и опытно-производственные работы способствовали существенной модернизации датчиков от первого прототипа до финального коммерческого продукта за короткий период времени (около 3-х лет). Все полевые испытания были проведены в сложных условиях (150 000 человеко-часов) без происшествий в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды. Система регистрации данных совершенствовалась в ходе каждого полевого испытания, в результате чего удалось добиться



▲ Рис. 5. Результаты полевых испытаний датчиков STRYDE Node.

времени раскладки 15 секунд на опытных работах в Абу-Даби в 2019 году (Рис. 5) [10]. В результате многочисленных тестов система беспроводной регистрации Nimble Node показала свою готовность к промышленной эксплуатации. Компания «STRYDE» в настоящее время коммерциализирует систему, которая доступна для аренды или покупки и уже использовалась в нескольких коммерческих проектах по всему миру с момента выхода на рынок в 3 квартале 2019 года.

Предпосылки для успешного использования беспроводных датчиков STRYDE Node на территории РФ

В современной геофизической практике специалисты-геологоразведчики повсеместно сталкиваются с необходимостью анализа и компенсации искажающего влияния аномалиеобразующих объектов различной природы как в верхней части разреза (ВЧР), так и в целевых интервалах для повышения качества сейсмического изображения. Например, такими объектами являются многолетнемерзлые породы (ММП) и зоны растепления в Западной Сибири, интрузивные и эффузивные тела в Восточной Сибири, а также эвапориты в интервале разреза в Поволжье. При этом известные геофизические подходы и технологии в области восстановления

изображения строения ВЧР не всегда позволяют прогнозировать характеристики и геометрию аномалиеобразующих объектов и имеют многочисленные ограничения и допущения. В то же время, недоучет подобных аномалий приводит к ошибкам в обработке и интерпретации данных и к снижению успешности бурения поисково-разведочных скважин. Поэтому учет и компенсация подобных аномалий на различных этапах геологоразведки становятся приоритетной задачей в регионах со сложными приповерхностными сейсмогеологическими условиями.

Для компенсации подобных аномалий требуется кропотливая работа с ВЧР, в частности построение детальной скоростной модели посредством рефракторной статистики, томографии или FWI [2]. В свою очередь, для корректного статического решения необходима достаточно высокая кратность и плотность данных на уровне верхних опорных горизонтов. Использование беспроводных единичных датчиков на этапе полевой регистрации дает возможность перейти к высокоплотным полевым системам наблюдения, которые позволят получать качественное сейсмическое изображение, в том числе в ВЧР, и компенсировать влияние скоростных аномалий на целе-

вые горизонты на этапе обработки данных.

Большие сложности вызывает получение качественного сейсмического материала в регионах с резкими перепадами рельефа (например, горные надвиго-складчатые зоны Кавказа или участки в районе речных систем в Восточной Сибири), где зачастую не удается расположить пункты приема или возбуждения, что в дальнейшем приводит к отсутствию части сейсмической информации, и в регионах со сложным тектоническим строением (о. Сахалин, п-ов Таймыр и др.).

Применение беспроводных единичных датчиков в районах со сложным тектоническим строением позволит лучше сфокусировать отражения, повысив детальность изображения в разломных зонах, и точнее выделить разрывные нарушения на суммарных данных на этапе интерпретации за счет высокой плотности трасс и пространственной дискретизации сейсмических данных. В районах с резкими перепадами рельефа применение беспроводных единичных датчиков позволит частично минимизировать пропуски в полевой системе наблюдения за счет технологических особенностей раскладки и установки беспроводного регистрирующего оборудования.

Особенности планирования и проектирования полевых сейсморазведочных работ с беспроводными датчиками

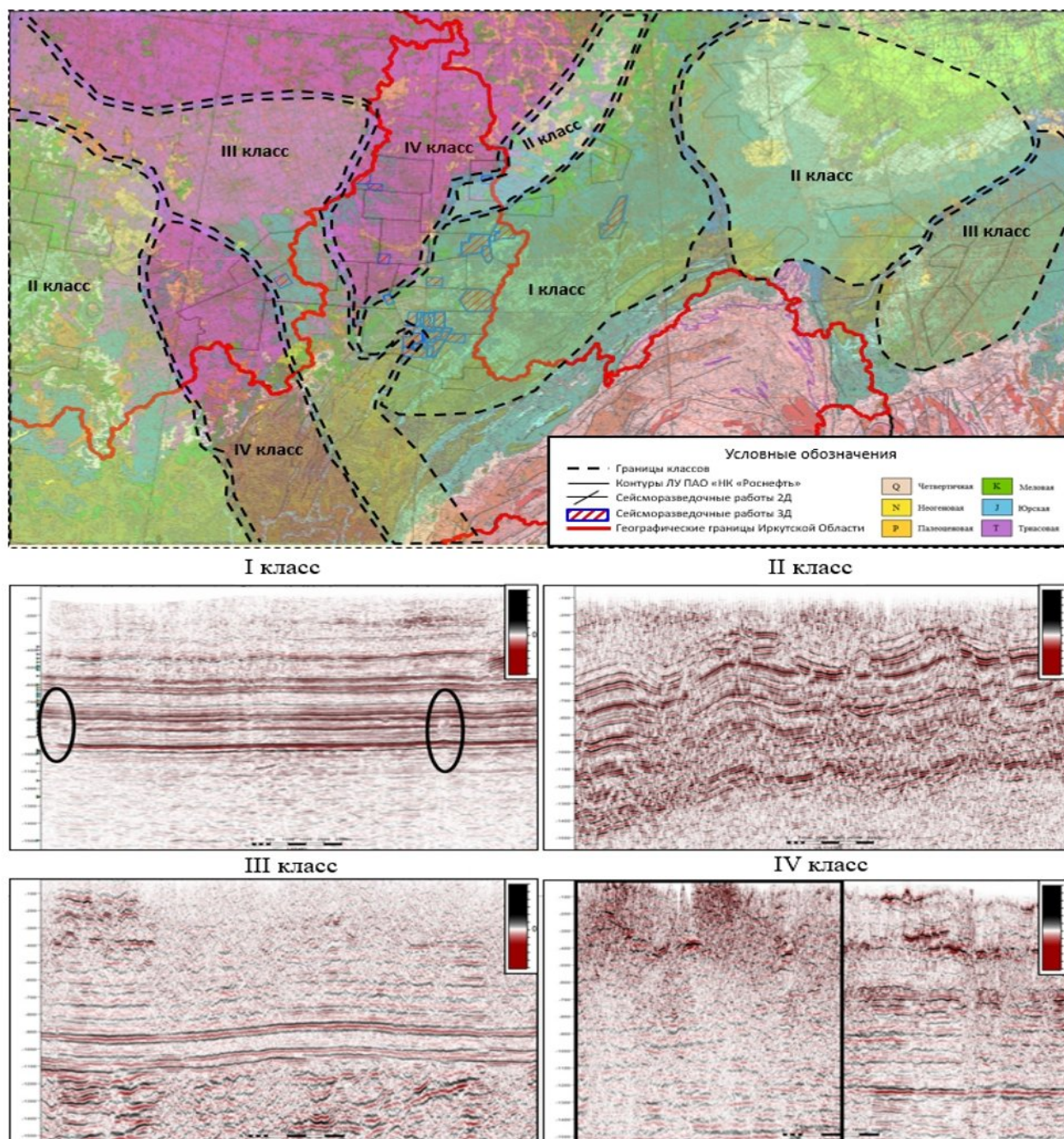
Для учета различий в приповерхностных сейсмогеологических условиях при планировании сейсморазведочных работ рекомендуется выполнять районирование территории (разделение на несколько принципиальных классов) в зависимости от возможности регистрации качественных сейсмических данных

в пределах каждого класса. Деление на классы для региона Восточной Сибири выполнено специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» на основе априорной поверхностной геологической информации, накопленных знаний о породах, слагающих верхнюю часть разреза, а также на основе имеющихся архивных данных 2D и 3D сейсморазведки (Рис. 6., сверху).

В нижней части Рис.6. представлены сейсмические разрезы 2D, полученные в пределах каждого из этих классов. Можно отметить, что сейсмические данные, полученные со стандартной системой наблюдения в пределах класса 1, пригодны для выполнения кинематической и динамической интерпретации, и по ним возможно уверенное выделение поисковых геологических объектов. В пределах 4 класса, на отдельных частях разреза, наблюдается отсутствие сейсмических отражений, поэтому по таким данным даже задача прослеживания основных отражающих горизонтов (ОГ) является нетривиальной.

Подобное деление территорий на классы позволяет понять принципиальное геологическое строение ВЧР и оценить потенциальные ограничения и сложности, с которыми мы можем столкнуться при проведении полевых сейсморазведочных работ в пределах того или иного класса. В свою очередь, понимание сейсмогеологических и поверхностных особенностей района приводит к необходимости их учета при проектировании и планировании полевых систем наблюдения, наряду с информацией о глубинах залегания целевых ОГ и о типе и размерах поисковых геологических объектов.

Для учета поверхностных ограничений, значительных перепадов рельефа и эксклюзивных зон в пределах площади



▲ Рис. 6. Пример районирования территории Восточной Сибири в зависимости от качества регистрируемых сейсмических данных (сверху) и примеры сейсмических разрезов для каждого из выделяемых классов (снизу).

работ рекомендуется выполнять комплекс рекогносцировочных работ на этапе проектирования полевой методики. При этом само проектирование оптимальной системы наблюдения рекомендуется выполнять на основе комплексного многоуровневого подхода, разработанного специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» с применением

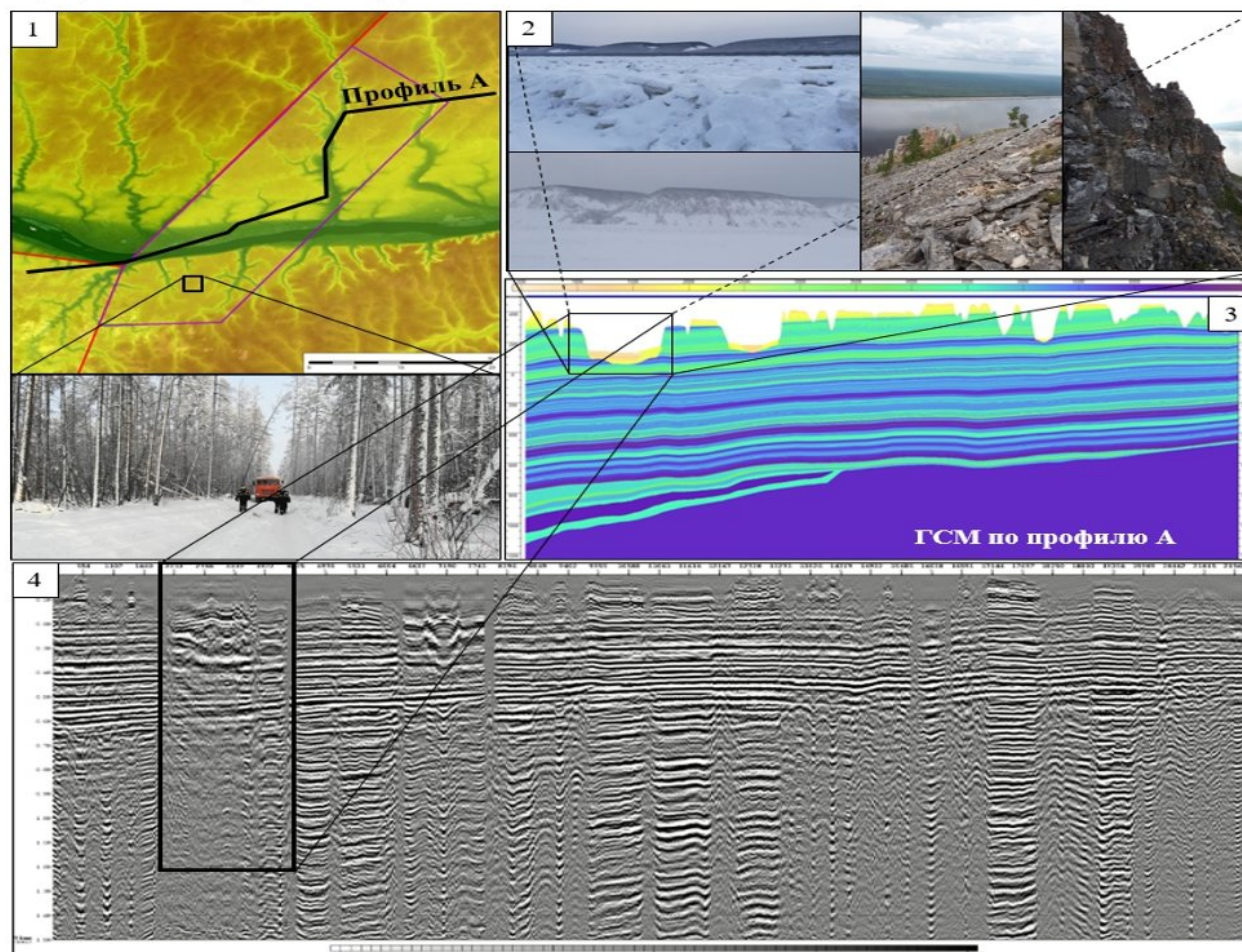
методов 2D и 3D конечно-разностного моделирования [1,9]. Данный подход позволяет учитывать информацию о геологическом строении района, скоростных характеристиках разреза, глубинах залегания целевых горизонтов и строении поисковых объектов и ловушек углеводородов, а также анализировать, насколько существенным будет влияние

имеющихся эксклюзивных зон и ограничений на возможность получения качественных сейсмических данных.

При использовании различных методов моделирования выполняется построение детальной сейсмогеологической модели с учетом аномалиеобразующих объектов в различных интервалах разреза и особенностей рельефа на местности. Для детального построения модели ВЧР должны привлекаться все доступные геолого-геофизические данные, в том числе МСК, ВСП, скважинные данные и априорная геологическая и справочная информация. Подобная детальность модели необходима для максимального приближения синтетических данных к реальным.

На Рис. 7. представлен пример детальной сейсмогеологической модели продольных скоростей (3) и фотографии поверхностных условий (1,2), полученные в результате рекогносцировочных работ на одном из участков в Восточной Сибири. Данные снимки позволяют получить информацию о перепадах рельефа (от 100 до 400 м) и плотности лесного покрова в пределах площади работ, а также о горных породах, слагающих верхнюю часть разреза, и поверхностных условиях в районе реки. На Рис. 7. (4) представлен итоговый синтетический разрез после обработки, на котором отчетливо видно изменение характера и частотного состава отражений в районе реки. По данной модели была выполне-

▼ Рис. 7. Рельеф и поверхностные условия в пределах района работ (1,2), исходная глубинно-скоростная модель с детализацией вблизи реки (3), синтетический разрез после обработки (4).



на оценка необходимой плотности сейсмических данных, а также были протестированы параметры регуляризации при различной плотности систем наблюдения.

Конечно-разностное 2D/3D моделирование с использованием детальной сейсмогеологической модели позволяет подобрать оптимальную полевую методику с точки зрения необходимой плотности регистрируемых данных и возможности выделения целевых поисковых объектов в волновом поле, учитывая при этом все особенности геологического и приповерхностного строения разреза, глубины залегания целевых объектов и горизонтов и скоростные характеристики среды.

Особенности проведения полевых работ с беспроводными датчиками STRYDE Node

Нодальное регистрирующее оборудование STRYDE поставляется в трех различных модификациях: Nimble™, Compact™ и Pro™.

Система STRYDE Nimble представляет собой комплекс беспроводного регистрирующего и периферийного оборудования для выполнения полевых сейсморазведочных работ с общим количеством датчиков на проекте не более 50 000 (Рис. 8), который состоит из следующих основных элементов:

- катушка с веревкой длиной 600 м (А) облегчает поиск датчиков и их последующее извлечение, к примеру, из-под снежного покрова или из твердого/мерзлого грунта;
- рюкзак с каркасом для периферийного оборудования (В). Поставляется в 3-х различных модификациях для целей переноски датчиков и навигационного оборудования, а также упрощения процесса подмотки технологической верёвки;

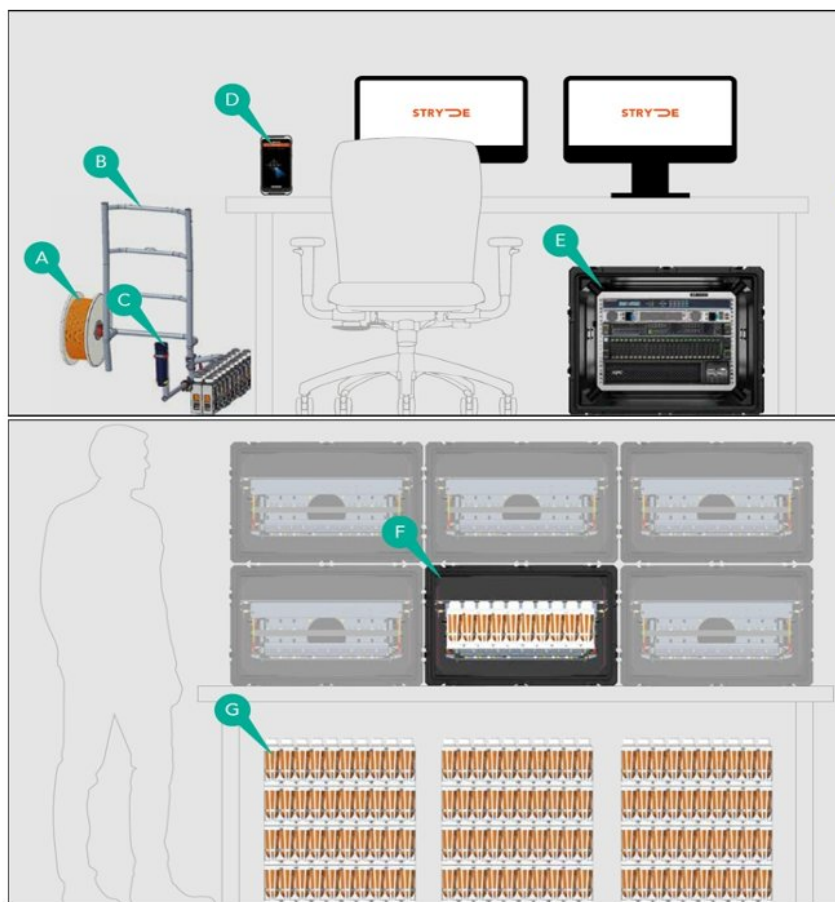
- устройство инициализации беспроводных датчиков «Initialization Device™» (С). Используется совместно с мобильным устройством Navigator Tablet™ для получения полной информации о данных с датчиков (координаты, номера линий и пикетов, статусы работ и др.). Устройство инициализации также позволяет регулировать режим работы датчиков непосредственно в полевых условиях (включение, спящий режим, отключение) без необходимости их доставки на базу сейсморазведки. Вес устройства 200 г;

- мобильное устройство «Navigator Tablet» (D) используется для позиционирования датчиков на местности с точностью до 5 м и их инициализации при установке. Для позиционирования устройство может использовать внутреннюю систему GPS, либо внешние системы в режиме RTK (рекомендуется производителем) для более точного определения пространственного положения. Устройство также позволяет контролировать процесс установки датчиков, статус каждого датчика, формировать ежедневные отчеты по установке или сбору и отслеживать ежедневную производительность и статистику;

- системная стойка «The System Case™» (E) автоматизирует зарядку и сбор данных с датчиков и позволяет хранить, считывать и просматривать данные с датчиков для контроля качества и визуализации полевого материала. Система имеет предустановленное программное обеспечение для полноценной работы с датчиками STRYDE Node™;

- устройство для выгрузки данных и зарядки датчиков «The Nest Case™» (F) позволяет одновременно заряжать до 90 датчиков в одной стойке (или 70 датчиков и 4 устройства инициализации) менее чем за 4 часа или до 540 датчиков в день и параллельно выполнять считыва-

► Рис. 8. Оборудование и устройство системы STRYDE Nimble.



ние зарегистрированных данных с датчиков. После размещения датчиков внутри устройства считывание и зарядка происходят автоматически через активацию серверной стойки. Система позволяет подключить до 6-ти устройств считывания и зарядки «The Nest Case» к одной системной стойке «The System Case», таким образом, возможно считывать и заряжать одновременно до 540 датчиков (6 стоек по 90 датчиков) и до 3000 датчиков в день.

- блочная система кейсов для хранения и транспортировки датчиков (G) позволяет соединять кейсы друг с другом (до 9 штук) для последующего крепления к рюкзакам и периферийному оборудованию для транспортировки большого количества датчиков и считывания/зарядки датчиков.

Система STRYDE Nimble рассчитана на работу с 50 000 датчиков, полностью портативна и представляет собой автоматизированное рабочее место с двумя

мониторами, периферийным оборудованием и несколькими дополнительными стойками для зарядки, считывания данных и контроля качества полевого материала. Система легко транспортируется и может перемещаться даже на легковом автомобиле или вертолете, и идеально подходит для выполнения работ в удаленных районах при отсутствии развитой инфраструктуры, для выполнения сейсморазведочных работ 2D или разреженных полевых методик 3D.

Помимо системы STRYDE Nimble, предлагаются к использованию системы STRYDE Compact (при работе до 150 000 датчиков) и STRYDE Pro (при работе до 500 000 датчиков).

Система STRYDE Compact представляет собой полноразмерный контейнер, внутри которого размещается рабочее место оператора с предустановленной системой и программным обеспечением, 4 полноценные стойки для считыва-

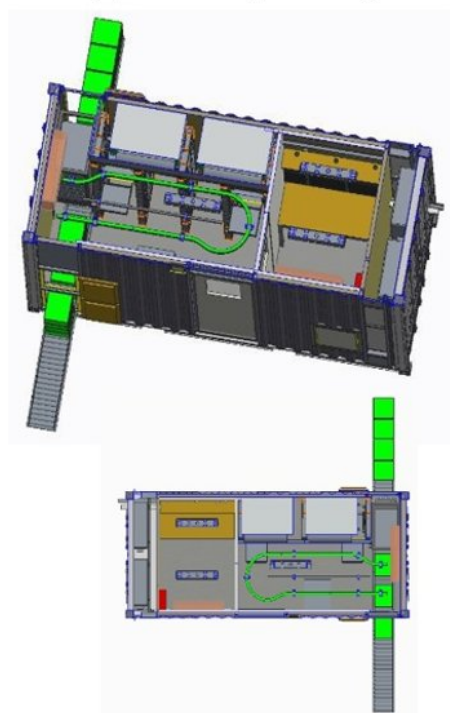
ния данных и зарядки датчиков (каждая стойка может одновременно обслуживать до 540 датчиков), а также автоматизированный конвейер для перемещения датчиков, люк и лента для перемещения датчиков в дополнительный контейнер очистки (Рис. 9). Система STRYDE Compact может обслуживать в день до 13 000 датчиков при работе 24 часа в сутки (с 2-мя операторами в смене) и идеально подходит для выполнения высокоплотных сейсморазведочных работ 3D с большим количеством активных каналов.

Система STRYDE Pro представляет собой 3 отдельных стандартных 20-ти футовых контейнера, каждый из которых может обслуживаться одним оператором: первый контейнер для выгрузки данных и зарядки датчиков (включая автоматизированное устройство для поднятия и перемещения кейсов с датчи-

ками), второй контейнер для очистки датчиков от грязи и третий контейнер для управления процессами и визуализации сейсмического материала (Рис. 9). Система STRYDE Pro может одновременно заряжать и считывать данные с 3240 датчиков с одним оператором в смене. Контейнер очистки датчиков может с помощью одного оператора очистить до 40 000 датчиков и по автоматическому конвейеру переместить их в контейнер для считывания и зарядки. Контейнер для считывания данных дополнительно комплектуется специальным оборудованием для тестирования датчиков («Shaker table»), с помощью которого можно проверить работоспособность и соответствие допускам до 90 датчиков за 2 минуты путем комбинации моночастотного свип-сигнала 31.25 Гц и серии широкополосных импульсов. Система Pro может обслуживать в день более 20 000

▼ Рис. 9. Оборудование и устройство систем STRYDE Compact и Pro.

Система STRYDE Compact (до 150 000 датчиков)



**Зарядка и считывание данных с
2160 датчиков одновременно**

Система STRYDE Pro (до 500 000 датчиков)



**Зарядка и считывание данных с
3240 датчиков одновременно**

датчиков при работе 24 часа в сутки и идеально подходит для выполнения высокоплотных сейсморазведочных работ 3D с большим количеством активных каналов, в том числе, по ковровой полевой методике, и для выполнения больших по объему площадей, где требуется большая ротация единичных датчиков.

Заключение

Разработка и внедрение в промышленную эксплуатацию датчиков Nimble Node компанией «STRYDE» позволяет по-новому взглянуть не только на возможность получения качественных сейсмических данных, но и на выполнение полевых работ в целом. Работа с большим количеством активных каналов и большими массивами регистрируемых сейсмических данных требует существенной модернизации и пересмотра подходов к позиционированию датчиков, контролю качества полевого материала [4] и обработке сейсмических данных. Кроме того, планирование высокоплотных работ требует тщательной и своевременной проработки технических, технологических и экономических аспектов выполнения полевых CPP 3D.

Благодаря преимуществам системы STRYDE (значительно меньший вес оборудования, меньшие затраты на логистику и объемы хранения, легкость и быстрота установки, сбора, ротации, зарядки датчиков и др.) появляются неограниченные технологические возможности по увеличению плотности регистрируемых сейсмических данных. Применение высокотехнологичной системы STRYDE открывает путь к широкой модернизации полевых систем наблюдения, в том числе, возможный переход к ковровым методикам [8,14], и решению ранее невозможных геологических задач в регионах РФ со сложным геологическим строением.

Литература

1. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С. Комплексный подход к проектированию оптимальных систем наблюдения CPP-2D/3D на основе сейсмогеологического моделирования. Москва. Геофизика. 3. 2020. 31-37 с.
2. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г. Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных. Москва. Геофизика. 6. 2017. 10–18 с.
3. C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, T. Manning, J. Naranjo, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and V. Husom, 2018, 3D field trial using a new nimble node – West Siberia, Russia. 88th annual SEG meeting, Expanded Abstracts, ACQ1.1.
4. A. Crosby, T. Manning, A. Ourabah, C. Brooks, D. Dieulangard, J. Quigley, C. Vasile, D. Ablyazina, 2020, In-field quality control of very high channel count autonomous nodal systems, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020.
5. T. Manning, D. Ablyazina, J. Quigley, 2019, The nimble node — Million-channel land recording systems have arrived, The Leading Edge, Volume 38, Issue 9, September 2019, p. 706-714.
6. T. Manning, C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, M. Popham, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and N. Goujon, 2018, The case for a nimble node, towards a new land seismic receiver system with unlimited channels, 88th annual SEG meeting, Expanded Abstracts.
7. T. Manning, J. Stone, A. Ourabah, D. Ablyazina and J. Quigley, 2019, Could You Use One Million Nimble Node Channels?, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.
8. J. Naranjo, D. Dieulangard and M. Pfister, 2019, Using Carpet Geometries in Simultaneous Source Acquisition, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Jun 2019, Volume 2019, p.1–5.
9. J. Naranjo, N. Gurentsov, D. Tverdokhlebov, O. Adamovich and R. Melnikov

Designing High Density Land Acquisition Surveys in Complex Environments; A Case Study from East Siberia, Russia. EAGE 2020 Annual Conference & Exhibition Online, Dec 2020, Volume 2020, 1–5 p.

10. A. Ourabah, 2020, From nimble node to STRYDE - a brief history of a disruptive nodal technology, Conference Proceedings, Second HGS and EAGE Conference on Latin America, Dec 2020, Volume 2020, p.1–5.

11. A. Ourabah, A. Crosby, 2020, A 184 million traces per km2 seismic survey with nodes – acquisition and processing, SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2020.

12. A. Ourabah, A. Crosby, C. Brooks, E. Manning, K. Lythgoe, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and T. Knutsen, 2019, A Comparative Field Trial of a New Nimble Node and Cabled Systems in a Desert Environment, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.

13. D. Tverdokhlebov, I. Arutyuniants, E. Danko, A. Gayduk, D. Ablyazina, R. Melnikov, O. Adamovich, J. Naranjo and A. Ourabah, 2019, Processing and Analysis Results of the First 3D Nimble Node Survey; West Siberia, Russia, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.

14. Gijs J.O. Vermeer, 2020, Are carpet geometries the way to go? First Break, Volume 38, Issue 5, May 2020, p. 33–41.



Давыдова
Елена Александровна,
д.т.н., Начальник
управления оперативного
сопровождения
сейсморазведочных
работ ПАО «НК«Роснефть»



Гуренцов
Никита Евгеньевич,

Ведущий специалист
группы геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Колескин
Дмитрий Сергеевич,

Главный геофизик
ПАО «Самаранефте-
геофизика»



Майк Попхем,

Главный исполнительный
директор «STRYDE Ltd»

Подробнее об авторах



Твердохлебов
Данила Николаевич,

к.т.н., Руководитель
группы геофизических
работ ООО
«РН-Эксплорейшн»



Крис Инчкомб,

Консультант
«STRYDE Ltd»



Аблязина
Динара Ибрагимовна,

Главный специалист
управления оперативного
сопровождения ПАО
«НК«Роснефть»



Амин Оураба,

Начальник отдела
обработки
«STRYDE Ltd»