

Экологосберегающая («зелёная») сейсморазведка на суше и в переходных зонах

- Череповский А.В., АО «Росгеология», г. Москва
- Лаптев А.П., Пятунина Е.В., Мамедов О.Г., ПАО «Пермнефтегеофизика», АО «Росгеология», г. Пермь

В нашем веке вопросам защиты окружающей среды и рационального использования природных ресурсов придаётся всё большее значение. Степень воздействия на природу – это один из факторов, который необходимо принимать во внимание при проектировании и выполнении геологоразведочных работ (ГРП), и сейсморазведочных работ (СРР) в частности. Хорошо известно, что СРР связаны с применением большого количества громоздких транспортных средств, таких как бульдозеры, крупнотоннажные грузовики, буровые установки и вибрационные источники, которые наносят значительный ущерб природе, поскольку требуют прокладки просек в лесных массивах. Что касается Крайнего Севера, то многолетнемёрзлые породы могут подвергнуться долговременной эрозии. Такие повреждения как термокарст (который возникает там, где тает вечная мерзлота) и провалы в грунте очень медленно восстанавливаются и могут сохраняться в Арктике до 70 лет [15]. Поэтому экологосберегающие технологии СРР становятся всё более востребованными.

Канада – хоть похожа на Россию...

Сейсмические исследования с целью изучения строения земных толщ и поиска различных полезных ископаемых выполняются во всем мире уже около ста лет. Например, в Канаде, наиболее близкой к Российской Федерации по природным условиям, сейсморазведка на нефть и газ выполняется с 1929 года. В лесных массивах для выполнения сейсмических исследований там прокладывались широкие прямолинейные просеки для линий возбуждения и приёма, шириной от 6 до 10 м, чтобы обеспечить проезд тяжёлых транспортных средств. Подготовка просек зачастую включала бульдозерную валку или спиливание деревьев и корчевку пней, если это было необходимо. Соответственно, некоторый вред неизбежно наносился почвенному слою и вегетативному надпочвенному слою. В настоящее время при «обычной» сейсмике просеки имеют ширину 4,0–5,5 м, и они по-прежнему прямолинейные, что требует рубки леса.

С начала 1990-х годов в Альберте и других канадских провинциях стали внедряться экологосберегающие технологии, и ширина просек, иногда немного

криволинейных, постепенно сократилась до 1,5–5,0 м, в зависимости от типа источников колебаний и регистрирующего оборудования. Негативное воздействие на грунт и травянистый покров резко уменьшилось благодаря экологосберегающим технологиям. Несмотря на это, даже через несколько десятилетий многие сейсмические профили остаются заметными (рис. 1), особенно на торфяниках, занимающих 90% территории болот в провинции Альберта, где выполняются основные объёмы СРР [14].

В Канаде торфяник определяется как экосистема болотного типа с толщиной

▼ Рис. 1. Повреждение грунта после проезда тяжёлой техники на севере Канады.



органического почвенного слоя не менее 40 см. Торфяники – это важный источник атмосферного метана (CH_4), являющегося одним из основных парниковых газов. ГРП на территориях, где развиты торфяники, приводят к уплотнению почвы и увеличению её влажности, что вызывает повышенное выделение метана в атмосферу. Согласно исследователям из университетов Ватерлоо и Калгари [16], в провинции Альберта по крайней мере 2000 кв.км торфяников подверглись воздействию транспорта, используемого при ГРП, что увеличивает выделение метана на 4,5–5,0 килотонн в год или повышает общее выделение парниковых газов от землепользования и лесохозяйственных предприятий в этой провинции на 7–8%.

Конечно, наилучшая практика – проводить ГРП на торфяниках только в зимнее время, когда грунт промерзнет на достаточную глубину. Однако, расчистка растительности на сейсмических профилях и движение тяжёлого транспорта по торфяникам всё равно часто приводят к нарушению почвенного слоя и травянистого покрова. В результате меняется характер растительности и повышается уровень грунтовых вод. Температура почвы на сейсмических профилях повышается, во-первых, благодаря увеличению солнечного света, которому не препятствуют кроны деревьев, и во-вторых, что более важно, благодаря увеличению теплопроводности более водонасыщенного грунта. Через три-четыре года после прокладки просек может ощущаться влияние на видовое разнообразие травянистых растений до 15 м вглубь леса от края просек [16]. Рекомендуется регулярно обследовать просеки и принимать решения об исправительной рекультивации, чтобы придать процессу восстановления леса правильный характер.

Воздействие ГРП на окружающую среду в Канаде изучается всё пристальнее как федеральными, так и местными властями уже более 20 лет [9]. В провинции Альберта разработаны положения о защите окружающей среды, которые включают следующие требования:

- согласование допустимой ширины подъездных путей и просек для линий возбуждения и приёма в лесных массивах. Сейсморазведочные партии должны получать разрешения на рубку деревьев и стремиться к минимально необходимой расчистке просек;

- получение разрешений на кратковременное или долговременное использование водных ресурсов в местах размещения лагерей полевых партий. Запрещается сбрасывание вредных веществ в водоёмы с рыбой и нанесение ущерба обитателям водоёмов. Высокая концентрация вредных веществ может вызвать гибель рыбы;

- предотвращение загрязнения водных объектов. Соблюдение мер предосторожности при пересечении персоналом сейсмопартий ручьев и рек во избежание воздействия на их фауну;

- при выполнении взрывной сейсморазведки, жидкости и материалы, используемые для бурения взрывных скважин, не должны содержать вредных соединений. После завершения буровзрывных работ необходимо обеспечить закупорку взрывных скважин безвредными материалами, а также сбор мусора;

- если ГРП затрагивают традиционные территории коренных малочисленных народов Севера, то со стороны исполнителей ГРП может понадобиться представитель для обсуждения степени воздействия на окружающую среду и мест обитания диких животных от различных видов деятельности полевых партий, включая полёты вертолётот.

Канадская ассоциация нефтедобывающих компаний (CAPP) и Канадская ассоциация геофизических подрядчиков (CAGC) работают над тем, чтобы при СРР применялись «лучшие практики», то есть экологосберегающие технологии с минимальным воздействием на природу или даже его отсутствием [13]. Такие технологии называли «Low impact seismic» – это использование малогабаритной техники и прокладка криволинейных линий возбуждения в обход крупных деревьев во избежание их рубки. Кроме того, криволинейные просеки также полезны для того, чтобы хищники не получали прямой видимости на большие расстояния, то есть не получали преимуществ при охоте на стада оленей и других диких животных [14].

Изменения в практике выполнения СРР и других геофизических работ в Канаде диктуются также следующими соображениями [13]:

- сократить сеть «искусственных коридоров» в лесных массивах и увеличить скорость восстановления естественной растительности;
- снизить влияние на почву, степень её эрозии и, следовательно, необходимость засеивать определённые участки земли после выполнения ГРР;
- обеспечить сейсморазведчикам доступ на территории с повышенной экологической чувствительностью, где «обычные» технологии неприемлемы.

Стандарты экологосберегающей сейсмики варьируют в широких пределах в зависимости от орографических условий. В провинции Альберта в 2002 году было принято, что допустимо рубить просеки шириной 1,75–2,0 м для линий приёма и 2,5–5,5 м для линий возбуждения, причем с использованием транспортных средств с низким удельным давлением на грунт или вручную. Отмечается,

что стоимость подготовки просек вручную на 30-50% выше, чем традиционными способами, в зависимости от ширины просек и густоты леса.

Механизированная подготовка просек с использованием мульчеров имеет несколько важных преимуществ перед бульдозерной валкой [7]: благодаря обходу больших деревьев (диаметр ствола более 25 см) и измельчению древесины и кустов, вся ширина просеки может использоваться для проезда техники (рис.2). Измельченная древесина равномерно распределяется на поверхности земли, создавая безопасное покрытие для транспортных средств и пешего персонала.

Рубка меньшего количества деревьев означает, что снижается отрицательное воздействие на природу, и просеки быстрее зарастают, поскольку почвенный слой не нарушается, и в нём сохраняются корневые системы деревьев. Не нужно сжигать поваленный лес, поэтому снижается пожароопасность и отсутствует загрязнение воздуха. Механизированная подготовка просек выполняется в 2–3 раза быстрее, чем при работах вручную. Кроме того, отсутствие бензопил повышает безопасность работ и снижает травматизм.

▼ Рис. 2. Мульчер для расчистки криволинейных просек в обход крупных деревьев.



В Канаде подготовка просек вручную (шириной 1,5–1,75 м) обычно выполняется только для линий приёма, и она может быть необходима в прибрежных и береговых зонах рек и озёр и на путях миграции диких животных. Пересечения рек и ручьев должны быть сделаны так, чтобы не разрушать их берега и исключить гибель рыбы. При подготовке таких «экологических» просек используются бригады из 4 человек с цепными пилами и другими ручными инструментами. Даже при прокладке криволинейных просек, как правило, требуется рубка кустарника и обвязка деревьев. Наклонённые и старые деревья могут быть спилены в целях безопасности, или просеку приходится искривлять в обход таких деревьев с безопасной стороны. Подготовка узких просек оставляет минимальные прогалины в кронах деревьев. Воздействие на природу считается «нулевым», если просеки не видны с воздуха через 1 год.

Применение вертолётов при СРР может обеспечить снижение негативного воздействия на природу, в первую очередь благодаря уменьшению количества тяжёлых наземных транспортных средств в сеймопартиях. В Канаде вертолёты широко используются для доставки персонала, а в некоторых случаях на них перевозят лёгкие бурстанки для бурения взрывных скважин. В то же время, для безопасной высадки и посадки персонала в лесных массивах необходимы вертолётные площадки диаметром 30–35 м. Такие площадки делают приблизительно через 1 км по линиям возбуждения. Там, где есть возможность, используются естественные прогалины (лужайки) или ранее расчищенные площадки.

Как известно, основной объём СРР во всем мире выполняется с использовани-

ем тяжёлых виброисточников, имеющих большие габариты и вес порядка 30–38 тонн. Для групп виброисточников на прямолинейных профилях 2Д могут потребоваться просеки шириной до 6,0–6,5 м. На проектах 3Д, где допустимы криволинейные линии возбуждения, требуются просеки шириной не более 4,5 м. Для лёгких и маневренных мини-вибраторов, весом от 12 до 17 тонн, просеки можно сузить до 3 м, но мини-вибраторы обычно не годятся при глубинах исследования больше, чем 2000 – 3000 м [10]. Лёгкие виброисточники (рис.3) могут использоваться бок о бок с тяжёлыми вибраторами на тех участках, где тяжёлые вибраторы не пройдут из-за поверхностных условий.

При проектировании новых сейсморазведочных исследований целесообразно предусмотреть использование старых просек, если они не слишком заросли. Иногда старые просеки даже сложнее использовать, чем окружающий лес, из-за густого кустарника. Кроме того, сеть имеющихся просек может не соответствовать новому проекту с более плотной геометрией наблюдений.

Важно то, что разработка новых аппаратурно-методических решений позволила геофизикам работать в экологичес-

▼ Рис. 3. Легкий виброисточник для передвижения по узким криволинейным профилям.



ки чувствительных регионах и на площадях с очень сложными поверхностными условиями. Современное сейсморазведочное оборудование стало намного легче и компактнее, что позволяет снизить воздействие на окружающую среду. В настоящее время в Северной Америке бескабельные регистрирующие системы полностью вытеснили кабельные системы [11]. Это произошло по двум причинам:

1) недорогие бескабельные системы позволяют снизить стоимость сейсмических проектов;

2) современные бескабельные системы состоят из узлов, которые являются индивидуальными сеймостанциями, которые можно устанавливать с любым шагом наблюдений во всех доступных местах на площади работ.

Именно гибкость бескабельного оборудования сделала его столь популярным во многих регионах мира. Сочетание бескабельного регистрирующего оборудования и компактных вибрационных источников позволяет упростить получение разрешений на СРР в заповедниках и населённых пунктах.

Естественно, что землевладельцы следят за воздействием СРР на грунт и растительность. Бескабельные регистрирующие системы были восприняты землевладельцами очень хорошо, потому что для доставки и установки узлов используются легкие транспортные средства, а после установки регистрирующее оборудование практически невидимо для местного населения и диких животных. Полевые работы выполняются без длительного вмешательства в сельскохозяйственную деятельность и жизнь местных жителей. Автономное бескабельное оборудование доказало свою надёжность, и в большинстве случаев удаётся получить

свыше 99% всех ожидаемых трасс. Вопросы своевременной зарядки аккумуляторов и воровства оборудования теперь рассматриваются как решаемые или даже второстепенные.

Опыт экологосберегающей сейсморазведки в России

Некоторые отечественные сейсморазведочные компании, такие как «Ханты-мансийскгеофизика», «Пермнефтегеофизика», а за ними «Удмуртнефтегеофизика» и «Башнефтегеофизика», начали переход на экологосберегающие технологии по требованию своих Заказчиков около 20 лет назад и в последние годы на отдельных проектах полностью исключили рубку леса. Пермский край и Свердловская область по орографическим, геологическим и ландшафтным особенностям представляют собой уникальные регионы, где постановка СРР на нефть и газ связана со значительными трудностями. К ним относятся: резкопересечённый предгорный рельеф, залесённость (от 60 до 100 %), наличие многочисленных ручьёв и рек, отсутствие достаточного количества дорог, пригодных для проезда техники. Все эти факторы приводят к тому, что обширные территории этих и других областей РФ доступны для сейсморазведки только зимой. На болотистых участках, вследствие их плохого промерзания, особенно на открытых болотах (соляной карст), тяжёлая техника не в состоянии передвигаться по местности даже после месячной укатки снежного покрова и морозной зимы.

Для освоения подобных территорий специалистами ОАО «Пермнефтегеофизика» был предложен способ проведения сейсморазведки, основанный на использовании малогабаритного бурового оборудования с оригинальными



▲ Рис. 4. Варианты исполнения облегченной буровой установки УБШМ-1-13.

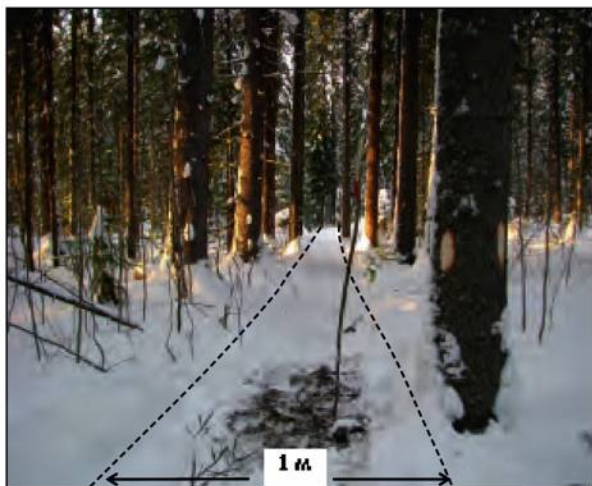
конструкторскими, техническими и методическими решениями. В 2007 году был получен патент Федерального Института Промышленной Собственности на полезную модель №61894 [4]. Работы проводятся по визирам, шириной до 1 м, с использованием малогабаритных буровых установок УБШМ-1-13 и возбуждением упругих колебаний зарядами ВВ в скважинах глубиной 3–10 м. Для зимних работ буровые установки смонтированы на санях и буксируются снегоходами «Буран» (рис. 4а). Для летних геофизических работ заводом «Курганавторемонт» в содружестве со специалистами ОАО «Пермнефтегеофизика» для буровой установки было сконструировано самоходное шасси ШС-3 (рис. 4б).

Всё наземное сейсмическое оборудование переносится и раскладывается либо вручную, либо с использованием малогабаритных самоходных шасси, а в зимних условиях – на снегоходах «Буран», способных транспортировать прицепы массой до 500 кг. Зарядка скважин малыми зарядами (от 0,3 до 0,9 кг) и взрывание производится в пешем варианте с применением переносных блоков управления. Скважины укупориваются шламом от бурения во избежание выбросов газов на дневную поверхность. Вся энергия взрывов идет на образова-

ние упругих сейсмических волн. Нарушения почвенного слоя и загрязнение грунтовых вод не происходит.

Если на труднодоступных участках СРР выбор источника возбуждения без сомнения происходит в пользу взрывов в скважинах, пробуренных с помощью компактных бурстанков, то на площадях с различными ландшафтными условиями экономичнее применять комбинированные источники, что позволит существенно повысить производительность работ: взрывные источники – на труднодоступных и залесённых участках, а вибрационные или импульсные – на остальной части площади работ. Такой комбинированный подход к возбуждению сейсмических сигналов позволяет высвободить людские ресурсы и средства, и, кроме того, позволяет отрабатывать те территории (населённые пункты, промышленные зоны, трубопроводы и т.п.), где проведение буровзрывных работ заведомо невозможно.

В последнем зимнем полевом сезоне 2021-22 гг. компания «Пермнефтегеофизика» по заказу ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» отстреляла в Пермском крае две площади 3D по технологии экологосберегающей сейсморазведки – это Западно-Осинский лицензионный участок и Западно-Вишерская площадь. Несмотря на очень сложные поверхностные усло-



▲ Рис. 5. Фрагмент отработанного профиля возбуждения шириной 1 м.

вия, данные объекты были отработаны без пропусков, включая заболоченные территории, благодаря применению малогабаритных буровых станков УБШМ-1-13, транспортируемых с помощью снегоходов «Буран» по просекам шириной всего 1 м (рис.5). Глубина одиночных скважин была равна 8 м, но в некоторых случаях использовались группы из 3 скважин глубиной по 3 м. Поскольку корневая система хвойных деревьев обычно не проникает глубже 2,5 м, указанная глубина бурения исключала негативное воздействие на лесную экосистему.

В пределах реки Кама и мелких водоёмов бурение взрывных скважин осуществлялось со льда. Глубина бурения взрывных скважин, с использованием полых шнеков диаметром до 60 мм, была не менее 4 м под грунт, независимо от толщины водного слоя. Заряд погружался на забой через полые шнеки. Данный вид исследований позволяет стыковать речные и сухопутные профили и отрабатывать участки, покрытые «мелкой водой» (глубины от 0 до 5 м). Такой подход, получивший название «донная сейсморазведка», был официально зарегистрирован более 10 лет назад и получил статус изобретения [3].

Зимой 2021-22 гг. на Западно-Вишерской площади работы выполнялись сразу двумя сейсморазведочными партиями компании «Пермнефтегеофизика» для того, чтобы отстрелять площадь 465 кв.км за один зимний сезон. Средняя производительность превысила 300 ф.н./сутки, а пиковая производительность достигла 511 ф.н./сутки.

Всего по состоянию на 01.01.2022 компанией «Пермнефтегеофизика» с использованием экологосберегающих технологий по методике МОГТ 2D отработано 28 площадей (в сумме 7128,0 км профилей), а по технологии 3D отработано 112 площадей объёмом 14033,8 кв. км. Экологосберегающие технологии СРР позволили сохранить 3807,7 га земель лесного фонда. Во всех без исключения случаях были получены высокие геологические результаты, позволившие подготовить под глубокое бурение 72 структуры с извлекаемыми ресурсами категории D0 нефти 49,6 млн.т и газа 2050,0 млн. м3.

«Зелёная сейсморазведка» компании «Газпром нефть»

Среди крупных Заказчиков сейсморазведочных работ в России наиболее масштабную программу перехода на экологосберегающие технологии осуществляет компания ПАО «Газпром нефть». В.В.Яковлев, ранее возглавлявший Блок разведки и добычи, а ныне заместитель Генерального директора по разведке и добыче ПАО «Газпром нефть», в пресс-релизе от 29 мая 2014 г. заявил [1]: «Применение нового метода позволит решить несколько очень важных для нас задач. Во-первых, повысится уровень промышленной безопасности благодаря снижению рисков травматизма, связанных с рубкой леса. Во-вторых, снизится антропогенное воздействие на окружающую среду. В-третьих, сократятся сроки полевых работ».

Впервые технология «Зеленая сейсмика» была опробована компанией «Газпром нефть» в 2014 г. в гористой местности в Иракском Курдистане, где применялась радиотелеметрическая регистрирующая система RT2. В том же году были проведены опытно-производственные работы в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) в условиях очень низких температур. Сравнение с сейсмическими данными, полученными традиционным способом на том же участке, подтвердило хорошее качество геофизической информации. Описываемая инновационная технология была успешно распространена на другие российские проекты, где была поставлена задача сузить просеки для линий приёма до 1 м. Отказ от применения флота тяжёлой техники на линиях приёма уменьшил нагрузку на почву, значительно сократил потребление горюче-смазочных материалов и снизил травматизм.

Прошлой зимой в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) началось внедрение нового поколения технологии – «Зелёная сейсмика 2.0», предусматривающая применение малогабаритного бурового оборудования, компактных средств механизации, отказ от пикетажа и прокладку узких и криволинейных линий возбуждения, что позволяет дополнительно минимизировать воздействие на экосистему исследуемых территорий. На заводе «Курганавторемонт» разрабатываются компактные бурстанки, способные при глубине скважин 18 м бурить за смену 20–22 скважины.

Кроме того, были успешно протестированы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для считывания сейсмических данных из автономных бескабельных модулей и передача данных по спутниковому каналу [1, 2]. Использование ИК-

камеры на БПЛА для контроля работ и выявления рисков HSE подтвердило высокий потенциал. Заявлено, что компания «Газпром нефть» стремится достичь максимальный синергетический эффект: эффекты от двух и более технологических проектов обладают аддитивным свойством ($1 + 1 \geq 2$).

В полевом сезоне 2020–2021 гг. с помощью «Зеленой сейсмики» было изучено уже свыше 1200 кв.км перспективных на нефть и газ территорий. Газета «Комсомольская правда» от 29 января 2021 г. сообщила, что «Зелёная сейсмика» компании «Газпром нефть» признана одним из лучших экологических проектов в России в 2020 году. Технологии «Зелёная сейсмика» и «Зелёная сейсмика 2.0» одержали победу в номинации «Наука для экологии» национальной экологической премии В.И.Вернадского. Всего с момента запуска «Зелёная сейсмика» позволила сохранить более 4,5 млн. деревьев.

Миниатюризация сейсмических источников и регистрирующего оборудования

Есть явное противоречие между желанием уменьшить ширину просек или вообще исключить рубку леса и возможностью возбуждать широкополосный сигнал, начиная с самых низких частот. Многие заказчики ставят задачу возбуждения и регистрации сейсмических сигналов, которые содержат 5 или даже 6 октав. Известно, что от относительно неглубоких границ раздела можно получать частоты до 150 Гц. Таким образом, 5–6 октав в сейсмическом сигнале можно достичь тогда, когда начальная частота не превышает 5 Гц. Современные тяжёлые виброисточники способны работать даже с 2 или 3 Гц, хотя и не на полную мощность. Но компак-

тные и, соответственно, лёгкие виброисточники обычно плохо работают в низкочастотном диапазоне. Кроме того, они не всегда обеспечивают достаточную энергию. С одной стороны, это можно преодолеть путём сокращения интервала между ПВ и интервала между линиями возбуждения, то есть путём повышения плотности наблюдений. Но с другой стороны, в лесных регионах это сложно реализовать, поскольку нужно готовить больше просек для линий возбуждения, хотя и меньшей ширины.

Узкие просеки могут также вызывать вопросы с точки зрения техники безопасности. Естественно, проезд транспорта по узким и криволинейным просекам ограничен, что может обусловить большее время ожидания медицинской помощи и сложности с эвакуацией рабочих, если она понадобится.

Перед конструкторами сейсмического оборудования стоит задача создания широкополосных мощных источников, пригодных для узких просек или даже не требующих расчистки профилей. Определенные перспективы есть у буксируемых или самоходных электромагнитных импульсных источников (ЭМИИ), таких как onSEIS за рубежом, и отечественных «Енисей» (СЭМ-100) или «Геотон» (рис.6).

Для повышения глубинности исследований импульсные источники можно группировать и синхронизировать. Важно, что такие источники могут возбуждать сигнал с периодичностью 5 или 6 с, и применение нескольких одиночных источников или их групп по 2, 4 или 8 штук в одной сейсмопартии позволяет достичь очень высокую производительность при работах 3D.

Зимой 2020 года в канадских лесах были выполнены ОМР 2D с целью проверки возможностей самоходных портативных импульсных источников, таких



▲ Рис. 6. Сцепка буксируемых электромагнитных импульсных источников «Енисей СЭМ-100».

как onSEIS (рис.7), по картированию неглубоко и глубоко залегающих целевых объектов с достаточной разрешённостью [17]. Было показано, что для уверенного картирования неглубоко залегающих коллекторов и расчета их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) нужна плотная сеть линий приёма и возбуждения, с интервалами 25 x 25 м. Для глубоко залегающих объектов сеть линий приёма и возбуждения можно заглубить до интервалов 150 x 150 м.

Что касается регистрирующих систем, то появившиеся на рынке многочисленные нодальные автономные регистрирующие системы (рис.8) идеально подходят для целей уменьшения ширины расчищаемых линий приёма до 1,50 м. Ноды могут доставляться на профили с помощью вертолётов и дронов, а устанавливаться в пешем порядке или с

▼ Рис. 7. Портативный импульсный источник onSEIS на гусеничном шасси.





▲ Рис. 8. Контейнер со стеллажами для узлов бескабельной регистрирующей системы. Обычно считывание сейсмических данных и зарядка встроенных аккумуляторов происходит одновременно.

использованием малогабаритных грузовиков. Считывание сейсмической информации периодически выполняется либо непосредственно на линиях приёма, с помощью планшетных компьютеров и беспроводной связи, либо на стеллажах в специально оборудованных контейнерах на базе партии.

Заключение

Экологосберегающие полевые технологии СРР будут развиваться и совершенствоваться благодаря миниатюризации источников и приёмников сейсмических колебаний, их доставки с помощью вертолётов и контролю с помощью беспилотных летательных аппаратов (дронов) и появлению новых аппаратно-методических решений, позволяющих снизить негативное воздействие на природу [12]. Можно ожидать, что с каждым годом масштаб применения экологосберегающих технологий в ГРП будет только расти, поскольку требования к сохранению природы и среды обитания диких животных ужесточаются.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за важные дополнения и уточнения, внесённые следующими специалистами:

Воцалевский В.З., Руководитель Центра разведочной геофизики ООО «Газпромнефть ГЕО»,

Назыров Д.Д., Руководитель по разработке продуктов центра регионального и сейсмического моделирования ООО «Газпромнефть НТЦ».

Литература на русском языке:

1. «Газпром нефть» завершила сезон полевых геофизических исследований 2020-2021 гг. – ИА “Neftegaz.RU”, 29 июня 2021 г.

2. Карпов И.А., Трансформация процессов геологоразведочных работ на базе цифровых и технологических решений. – Презентация ПАО «Газпром нефть» на ТНФ 23.09.2020.

3. Лаптев А.П. и др., Патент на изобретение №2369882 «Способ сейсмической разведки», 2009 г.

4. «Пермнефтегеофизика» осваивает труднодоступные районы Западного Урала. – журнал Oil&Gas Eurasia, №12/1 2007-2008 гг.

5. Рошмаков Ю.В., Столбова Т.А., Лаптев А.П. и др. (ОАО «Пермнефтегеофизика»), Технологии сейсморазведки при подготовке объектов в транзитных зонах (60-летию «Пермнефтегеофизики» посвящается). – «Технологии сейсморазведки», №2, 2010.

6. Столбова Т.А., Ланцев В.Ф., Рошмаков Ю.В. (ОАО «Пермнефтегеофизика»), Экологосберегающая технология сейсморазведки в труднодоступных районах. – «Технологии сейсморазведки», №4, 2009.

Литература на английском языке:

7. A new solution for low-impact seismic line clearing. – The Australian pipeliner, 4 August 2013.

8. Aouad A., Taylor R., Millar N. & Dorling D. (2015) Valuable lessons from acquiring

3D Seismic for Coal Seam Gas, ASEG Extended Abstracts, 2015:1, 1-4, DOI: 10.1071/ASEG2015ab073

9. Conducting Seismic Exploration: Environmental Challenges and Government Requirements, by the Energy Group. – Lawson Lundell LLP, March 23, 2002.

10. Criss J., Small footprint key element in frontier exploration. – E&P Magazine, June 2016.

11. Criss J., Technology Collaboration is the Key Element in Frontier Seismic Exploration. – Inova Geophysical, Vol.41, No.07, Sep 2016.

12. Crook A., Bossaer S., Boutin M. et al., Case study: The use of miniaturized seismic sources for reduced environmental impact. – EAGE annual 82th conference & exhibition, Amsterdam, 2021.

13. GEOPHYSICAL EXPLORATION PRACTICES (by CAPP and CAGC), 2010

14. Hammond James, Pinzon Jaime, Pinno Brad et al., Edge Influence of Low-impact Seismic Lines for Oil Exploration on Upland Forest Vegetation in Northern Alberta (Canada). – Natural Resources Canada, 2017.

15. Onshore seismic surveys in Greenland. - Technical Report from Danish Centre for Environment and Energy. Aarhus University and Greenland Institute of Natural Resources, No.161, 2020.

16. Strack M., Hayne Sh., Lovitt J. et al., Petroleum exploration increases methane emissions from northern peatlands. – Nature communications (Canada), 2019, 10:2804.

17. Watt H.J., Archer J., Rodriguez L., A new approach to broadband low impact seismic data acquisition in the Boreal forest. – Geoconvention 2021 (virtual event), Sept.13-15.

Подробнее об авторах



Череповский
Анатолий Викторович

Советник Первого
заместителя
Ген. директора
АО «Росгеология»,
Кандидат тех. наук



Лаптев
Александр Павлович

Управляющий директор
ПАО «Пермнефтегеофизика»,
АО «Росгеология».
Кандидат геол.-мин. наук,
доцент кафедры
геофизики ПГНИУ.
Почетный нефтяник.



Пятунина
Екатерина Владимировна

Главный геолог
ПАО «Пермнефтегеофизика»,
АО «Росгеология».
Кандидат геол.-мин. наук.



Мамедов
Октай Гюлагаевич

Главный геофизик по
разведочной геофизике
ПАО «Пермнефтегеофизика»,
АО «Росгеология».