

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТАЙМЫРСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Левицкий Александр Андреевич, ведущий геофизик, АО «Южморгеология», 353461, Российская Федерация, г. Геленджик, ул. Крымская, 20, e-mail: levitskiy@ymg.ru

Качкин Андрей Александрович, и.о. заместителя генерального директора по геологоразведке, ООО «Лукойл-Западная Сибирь», 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Республики, 41

До недавнего времени территория Таймырского полуострова была белым пятном на картах геолого-геофизической изученности России. Одной из причин этого вероятно стал неправильно реализованный порядок работ, при котором в 1980–1990-е гг. были проведены значительные объемы сейсморазведки МОГТ 3D без предварительного выполненного регионального этапа исследований. Положение начало меняться в 2005 г., когда ГНЦ ФГУП «Южморгеология» (сейчас АО «Южморгеология») приступила к выполнению региональных комплексных геофизических изысканий на территории Таймырского полуострова. За период 2005–2014 гг. был выявлен ряд перспективных объектов под лицензирование, что привело к резкому повышению интереса со стороны недропользователей. За это время ГНЦ ФГУП «Южморгеология» было отработано более 3000 пог. км работ МОГТ 2D в сложных сейсмогеологических условиях полуострова. Работа посвящена изучению влиянию сейсмогеологических, климатических и литологических условий района работ, влияющих на качество получаемых данных, а также обосновывается необходимость разработки критериев анализа качества сейсмического материала (в связи с их отсутствием), и изменения подхода к некоторым технологическим аспектам разведки.

Ключевые слова: сейсморазведочные работы 2D, полуостров Таймыр, анализ качества сейсмического материала, компенсация ПВ, обход эксклюзивных зон, модули шумоподавления, вибрационная сейсморазведка, сухопутная сейсморазведка, климатические условия, Крайний Север

OPTIMIZATION SEISMIC RESEARCHES QUALITY ON THE TERRITORY OF TAIMYR PENINSULA

Levitskiy Alexander A., Leading geophysicist, JSC "Yuzhmorgeologiya", 20 Krymskaya st., Gelendzhik, 353461, Russian Federation, e-mail: levitskiy@ymg.ru

Kuchkin Andrey A., Acting Deputy General Director for Geological Exploration, LLC "LUKOIL-Western Siberia", 41 Respublika st., Tyumen, 625000, Russian Federation

Until recently territory of the Taimyr peninsula was actually a "white spot" on the maps geological and geophysical studies of Russia. Reason is improperly implemented procedure, which in 1980–1990 conducted a significant volume of seismic CDP-3D, no pre-made regional stage research. The situation is change in 2005, when JSC "Yuzhmorgeologiya" are started to carry out regional complex geophysical surveys on the Taimyr Peninsula. From 2005 to 2014 a number of promising objects for licensing were identified, which led to a sharp increase in interest from subsoil users. During this time JSC "Yuzhmorgeologiya" was worked out more than 3000 lin. km of 2D CMP survey in hard zones of Taimyr peninsula. The work is devoted to researches of influence seismogeological, climatic and lithological conditions area of work quality of the data regional and local materials, and the criteria for the analysis of quality seismic material

(due to their absence), and changes in the approach to some technological aspects of exploration.

Keywords: 2D seismic work, Taimyr peninsula, quality control, compensation SP, exclusive areas, noise suppression, vibro seismic, land seismic, climatic conditions, Far North of Russia

В связи с началом регионального этапа ГРП необходимо разработать подход к анализу качества сейсмического материала, принимая во внимание особенности сейсмогеологические условия в районе работ. Актуальность данной проблемы вызвана тем, что затраты на проведение полевых изысканий составляют около 80 % от полного цикла сейсморазведочных работ, включающих также обработку и интерпретацию. Потеря или снижение качества полевых данных неизбежно ведёт к большим экономическим потерям, неоправданно увеличивает сроки изучения лицензионных площадей, ограничивает использование технологий динамической интерпретации данных сейсморазведки, таких как сейсмическая инверсия, прогнозирование фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, AVO-анализ, атрибутивный и сейсмofациальный анализ, без которых сегодня невозможны построение достоверной модели геологического региона [6].

Влияние региональной гидрологической обстановки на качество получаемого материала обусловлено тем, что Таймырский полуостров располагается в арктической и субарктической зонах, что определяет крайнюю суровость климата, так средние температуры в зимние месяцы составляют в среднем $-25...-35$ °C). Во время регистрации данных при температуре воздуха ниже $-30...-35$ °C наблюдался эффект разрыва консолидированного ледового покрова (далее «растрескивание») рек и озер, который проявлялся на сейсмических данных в виде годографов гиперболической формы с кажущейся скоростью порядка 1300–1500 м/с. При этом амплитуды волн помех от растрескивания зачастую в несколько раз превышали уровень отраженных волн при сходном частотном диапазоне (рис. 1)

При появлении данной помехи на сейсмограмме производилась переотработка пикета. В случае, когда помеха присутствовала на двух сейсмограммах, в обработку поступала лучшая из них, при этом помеха не должна была распространяться более чем на 25 % каналов.

Аналогичное влияние оказывало строение приповерхностного слоя. В рассматриваемом районе рыхлые отложения, слагающие верхнюю часть разреза, представлены галечниками, песками, супесями, суглинками, глинами и торфяниками, находящимися в мерзлотном состоянии. Льдистость многолетнемерзлых пород колебалась от 5 до 10 % в глинах и торфяниках до 100 % – в грубозернистых породах, поэтому при возбуждении упругих колебаний в условиях повышенной льдистости периодически происходил разрыв их сплошности, также фиксируемый на сейсмограммах как волны растрескивания [7].

Необходимость переотработки пикетов с наличием эффекта растрескивания негативным образом сказывалась на производительности сейсмической партии. Отработка пикета при длине свип сигнала 18 с и длине записи 12 с в среднем занимала от 3–5 мин. При этом количество перестрелов на каждые 1000 ф.н. порой достигало 300–400 (каждый третий ПВ), что приводило к потере производительности партии порядка 22–24 ч.

Следует отметить, что переотработка пикетов при регистрации колебаний на открытом канале не является самым оптимальным методом борьбы

с помехой данного типа. Опыт работ в регионе показывает, что оптимальным решением является использование модулей шумоподавления, интегрированных в сейсмостанцию (ARAM ARIES II, Sercel и т.д.).

Модуль Diversity Stack (весовое суммирование) традиционно используется для подавления волн помех от растрескивания ледового покрова рек и озер (рис. 1). Работа модуля производится следующим образом: все трассы разбиваются на небольшие по времени участки и данные со всех накоплений, принадлежащие к одному и тому же участку, помещаются в отдельные буферные зоны. После получения последнего накопления система внутри каждого созданного буфера, определяет накопление с наименьшим количеством шумов и рассчитывает коэффициент ослабления, который применяет ко всем накоплениям, принадлежащим к тому же буферу, иными словами производится ослабление участков с шумом перед суммированием. После суммирования система рассчитывает осредненный коэффициент усиления и применяет его к уже суммированному участку трассы, таким образом нормализуя его (восстанавливая амплитуду сигнала). Сравнение отредактированных (Diversity Stack) и неотредактированных данных, полученных при проведении сейсморазведочных работ, приведено в материалах исследования [3].

Модуль Noise Burst Edit применяется для удаления и редакции высокоамплитудных помех (“burst” или “spike”), возникающих при воздействии поземки и растрескивании льда на реках и озерах на сейсмический канал. Для нахождения “bursts” используется плавающее окно, в котором определяется среднеквадратичное значение амплитуды. Также пользователем определяется во сколько раз “burst” должен превышать среднее значения в плавающем окне. Когда система находит “burst” она удаляет эту выборку перед суммированием, а также количество выборок (определяется пользователем) с каждой стороны от этого применяет 32-битный ослабляющий “taper” с обеих сторон во избежание искажения сигнала.

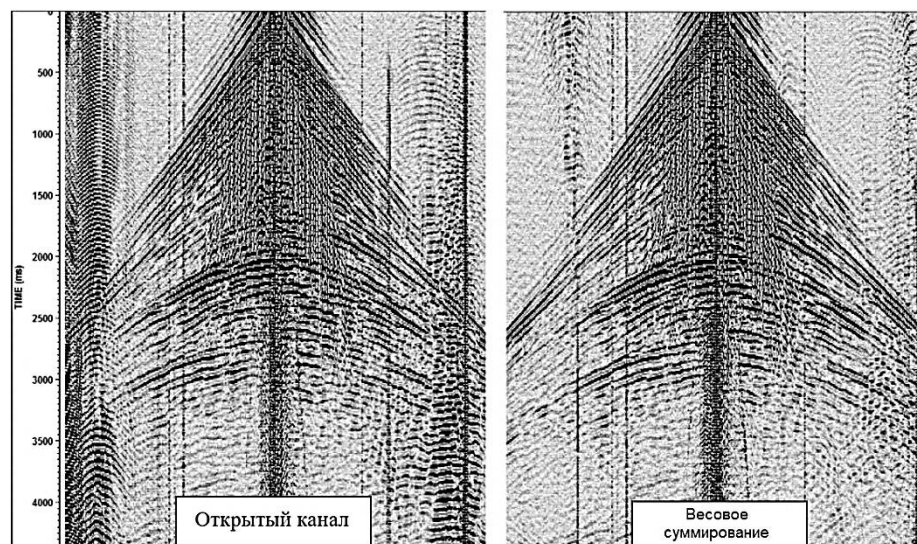


Рис. 1. Сейсмограммы ОПВ с эффектом «растрескивания» озер (слева) и результат переработки с использованием модулей Diversity Stack и Noise Burst Edit (справа)

Предварительная обработка получаемого сейсмического материала позволила успешно решить задачу подавления волн растрескивания на сейсмических данных с использованием модуля THOR (пакет Schlumberger VISTA), который позволил обеспечить их эффективное подавление с сохранением амплитуд и фазовых характеристик сигнала (рис. 2). Метод основан на медианной фильтрации сейсмических данных в f-x области на окнах, перекрывающихся во временной и пространственной области. Процедура выполняется в итерационном режиме на основе выборок ОГТ.

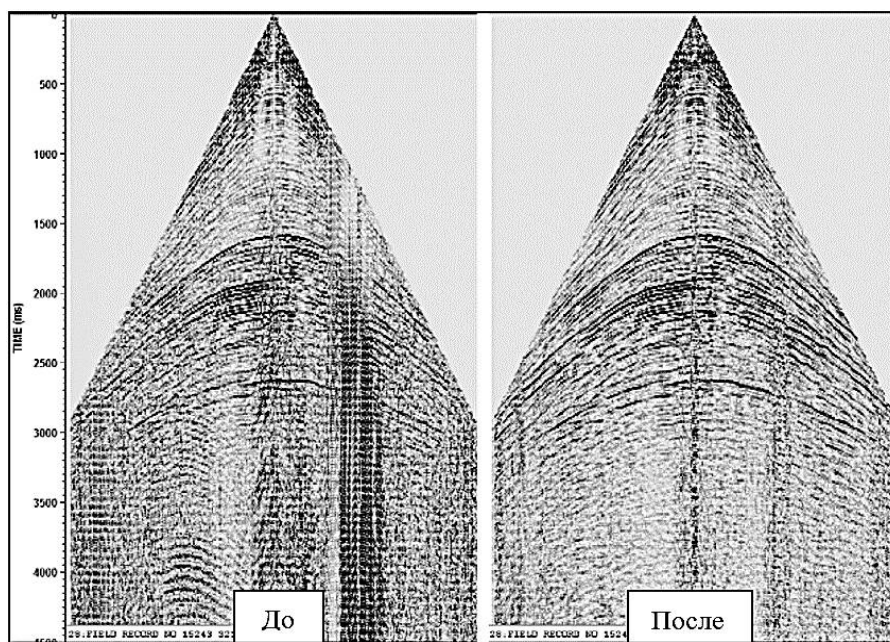


Рис. 2. Сейсмограммы ОПВ до первичного шумоподавления THOR (слева), после (в центре) и их разница (справа)

Метод повышения отношения «сигнал / помеха» позволяет при работе в условиях сложной гидрологической обстановки достичь увеличения отношения «сигнал / помеха» за счет использования данных с помехами растрескивания, которые изначально браковались (при работе на открытом канале). Это приведет к увеличению кратности съемки и, соответственно, отношения амплитуды сигнала к среднеквадратической помехе в $\sqrt{N}$ раз. В нашем случае увеличение кратности в 1,5 раза (от 160 до 240) не позволило добиться значительного улучшения корреляции горизонтов на записи (при увеличении S/N в 1,2 раза) [5].

Однако при проведении сейсморазведочных работ 3D в аналогичных условиях при меньшей кратности и большем воздействии на расстановку точечного озера (при работах 3D) использование в обработке изначально забракованных данных (с эффектом растрескивания) позволит значительно повысить отношение сигнал/помеха и улучшить корреляцию горизонтов.

В практике сейсморазведочных работ существует целый ряд методов обхода эксклюзивных зон, которые подробно описаны в статье. При работах на территории Таймырского п-ва к эксклюзивным зонам относились площади рек, озер (при мощности ледового покрова менее 2 м), овраги и крутые

склоны линейной протяженностью более 100 м. От выбора стратегии отработки эксклюзивных зон напрямую зависит качество получаемых сейсмических данных и, соответственно суммарных разрезов.

Данные, регистрируемые группами геофонов на ледовом покрове рек и озер, характеризовались крайне низким отношением «сигнал / помеха», что, возможно, связано с эффектом микрорастрескивания льда. Это является отличительной особенностью региона и поэтому для увеличения отношения «сигнал / помеха» производилось смещение проектного профиля относительно его первоначального положения по результатам предварительной рекогносцировки местности. Обход естественных препятствий позволил:

- 1) значительно уменьшить количество пропущенных ПВ (рис. 3Б);
- 2) обеспечить равномерное распределение удалений в бинах (уменьшить количество бинов без минимальных удалений и, соответственно, «пустые» участки на суммарном разрезе; рис. 4);
- 3) свести к минимуму количество некондиционных трасс на сейсмических данных (рис. 5);
- 4) снизить производственные риски при работах на участках со сложным рельефом;
- 5) уменьшить время климатического простоя за счет уменьшения количества приемников на крутых оврагах и склонах.

При проведении смещения проектного профиля главным нормирующим фактором является сохранение равномерности распределения точек ОГТ в бине. Для этого необходимо соблюдать следующие условия:

1. Излом профиля не должен превышать 10° .
2. Длина плеча расстановки (расстояние между точками 1–2 и 2–3 на рис. 3А) должна быть не менее половины расстановки.

Однако в некоторых случаях возникают спорные ситуации, одна из них приведена на рисунке 5. Здесь вариант 1 имеет угол излома более 10° , обходит озеро, вариант 2 имеет угол излома менее 10° , проходит через озеро.

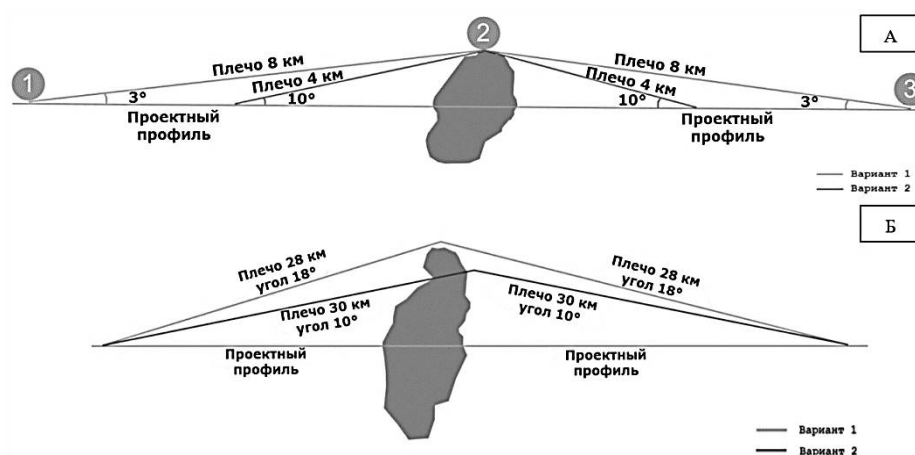


Рис. 3. Излом проектного профиля для обхода эксклюзивных зон (А) при обходе эксклюзивных зон большой линейной протяженности (Б)

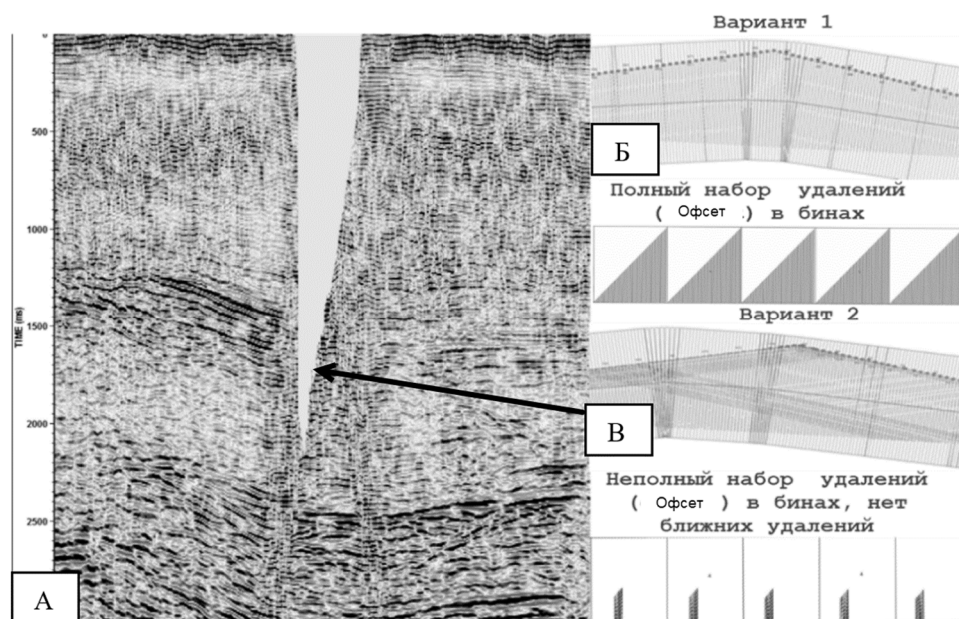


Рис. 4. Суммарный разрез, полученный по результатам обработки профиля, при котором группы геофонов расположены на площади озера (А), распределение точек ОГТ и удалений в бинах для варианта 2 (Б), для варианта 1 (В)

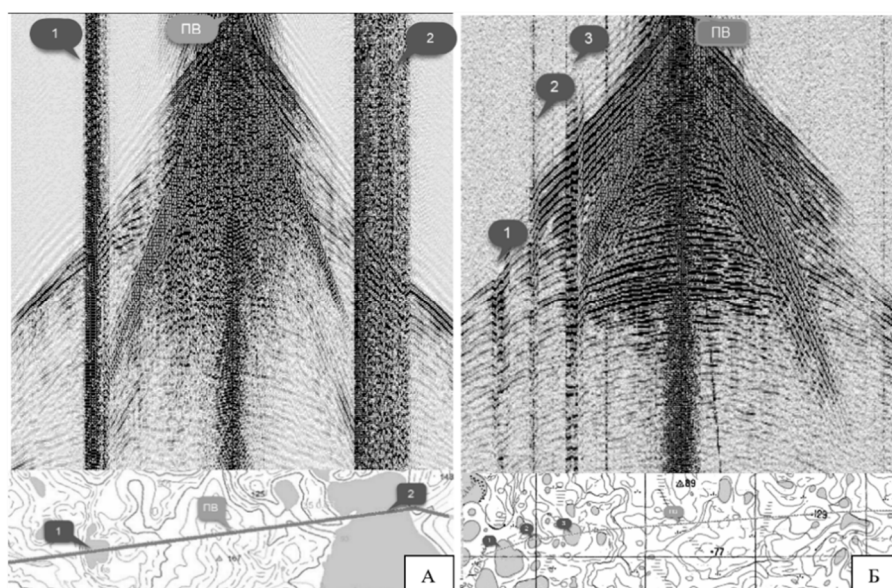


Рис. 5. Профиль, проходящий по площади двух не промёрзших до дна озёр (слева), и сейсмограмма с участком, находящимся на промёрзшем озере (справа)

Какой вариант предпочтительней выбрать и почему? Для получения качественного сейсмического материала целесообразен выбор варианта 1, использование которого позволит получить полный диапазон удалений в бинах (не будут пропущены ПВ на не промёрзшем озере) и высокое отношение «сигнал / помеха» на каналах, расположенных на ледовом покрове. Примеры сейсмических данных, регистрируемых при установке групп геофонов на ледовом покрове озёр, приведены на рисунке 5А (озера, не промёрзшие до дна)

и рисунке 5Б (озера, промерзшие до дна) соответственно. Трассы, имеющие низкое отношение «сигнал / помеха» (рис. 5А), на этапе обработки удаляются из сейсмических данных, что приводит к понижению кратности съемки.

Методы компенсации пропущенных ПВ применяются для сохранения равномерного распределения основных атрибутов сейсмической съемки 2D (кратность исследования, распределение удалений в бинах) в случае невозможности обхода естественного препятствия. Ниже приводится сравнение двух используемых методов.

Добавление компенсационных ПВ (далее подстрел ПВ). Суть метода заключается в размещении пропущенных ПВ с обеих сторон от эксклюзивной зоны (половина с одной стороны препятствия, половина – с другой). Компенсационные ПВ располагались вдоль линии профиля между основными ПВ (с шагом ПВ 25 м). Активной расстановкой дополнительного ПВ являлась расстановка предшествующего ему проектного ПВ.

Помимо сохранения проектной кратности съемки применение данного метода позволило не потерять кратности и удалений для неглубоких горизонтов съемки. К недостаткам метода следует отнести невозможность картирования верхней части разреза в связи с отсутствием малых удалений в бинах, расположенных в эксклюзивных зонах (рис. 6).

Увеличение активной приемной расстановки. Данный метод позволяет сохранить проектную кратность наблюдений, но при этом создаются удаления (свыше 8000 м), превышающие необходимые значения для проведения уверенной корреляции целевых горизонтов (в нашем случае – до 4500 м), также ухудшается равномерность распределения удалений в бинах в связи с уменьшением кратности на целевых горизонтах. На это обстоятельство указывают и ведущие специалисты области. Так, в монографии [2] «Не рекомендуется использовать удаления, превышающие те, которые эффективны для получения отражений от целевых горизонтов». При обработке полученного сейсмического материала эти удаления не используются, поэтому компенсация кратности увеличением расстановки является неэффективной.

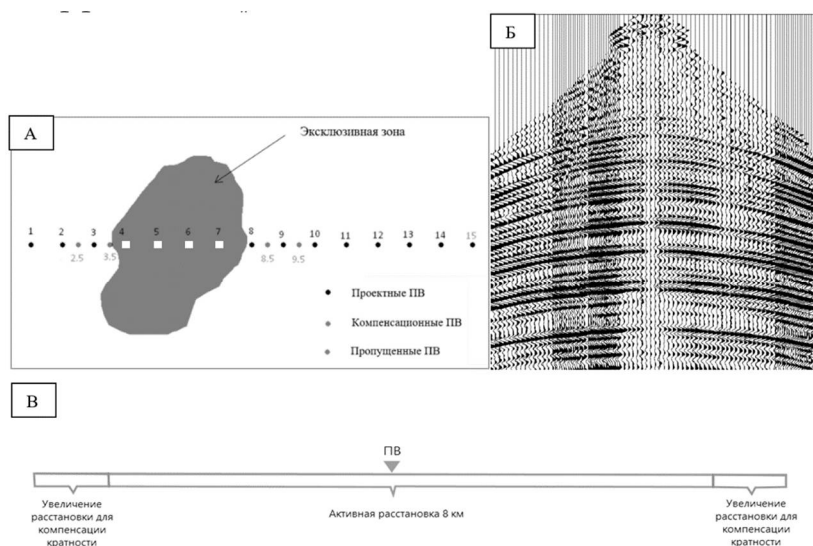


Рис. 6. Добавление компенсационных ПВ (А), супербин состоящий из семи ОГТ в зоне подстрела ПВ (Б), компенсация ПВ методом увеличения расстановки (В)

Анализ качества сейсморазведочных данных выполнялся в программном комплексе SeisWin QC (ООО «ГСД»). Ежедневный контроль регистрируемого материала позволил обеспечить оперативный контроль качества и анализ изменения атрибутов (в случае необходимости) сейсмических данных, что в результате стало залогом получения высококачественных сейсмических данных. Для анализа пространственного распределения атрибутов, на площади исследования были построены сводные карты, которые позволили выявить ряд закономерностей, рассмотренных ниже.

Для минимизации влияния сторонних факторов на результаты QC-анализа производилась их предварительная подготовка в системе GEDCO VISTA 12.0, которая включала в себя: удаление трасс с аппаратным шумом (“spike”, “burst”) с волнами растрескивания (от рек и озер) и трасс, находящихся на территории рек и озер, не промерзших до дна. Затем данным присваивалась геометрия [4].

Выбор пространственно-временных окон для проведения QC-анализа осуществлялся следующим образом:

1. Окна для расчета атрибутов сигнальной части записи (S) включали в себя участки, содержащие целевые горизонты, определенные геолого-техническим заданием. При этом в окна расчета не должны попадать волны помехи, такие как прямая, звуковая, релеевская / псевдорелеевская волны;

2. Окна для расчета атрибут микросейсм (N) включали в себя участки, расположенные до времен первых вступлений. При этом использовались удаления, отличные от сигнальной части, для исключения из расчета корреляционной волны от виброисточника. При этом данное обстоятельство никак не влияло на результаты QC-анализа.

В ходе проведения работ наблюдалась сильная изменчивость строения ВЧР и, соответственно, различная пространственная распространенность цуга прямых волн, что приводило к необходимости корректировки окон анализа в процессе работ. Основными критериями для оценки качества сейсмической записи являлись:

- динамическая выразительность (диапазон) записи, которая характеризовалась присутствием в спектре низких частот (от 10–20 Гц); анализ происходил посредством расчета среднеквадратичных амплитуд записи;

- вертикальная разрешенность волнового поля, которая зависела от значений ширины спектра, долей высоких частот в записи, и значений доминантных частот; анализ проводился посредством расчета ширины спектра и доминантной частоты записи, увеличение значений которых приводило к повышению вертикальной разрешенности;

- соотношение «сигнал / помеха» характеризовалось оценкой относительной энергии отраженных волн к общей энергии поля в окне. Анализ производился посредством расчета отношения среднеквадратичных амплитуд окон S и N соответственно.

Особенности АЧ состава получаемых сейсмических данных (при использовании линейного свип-сигнала) в районе работ характеризовались преобладанием низкочастотных компонент цуга прямой волны на удалениях до 3000 м и временах до 2000–2500 мс с кажущимися скоростями 1200–1500 м/с и доминантными частотами 9–11 Гц. Находясь в целевых интервалах, они оказывали негативное влияние на частотный состав записи (значительно снижая уровень доминантных частот) [1].

Возбуждение колебаний производилось тремя сейсмическими вибраторами INOVA AHV IV. Для уменьшения негативного влияния низкочастотного цуга прямой волны рекомендуется использовать нижнюю частоту (НЧ) линейного свип сигнала – 10 Гц (рис. 7). При смещении НЧ до уровня 10 Гц наблюдается более устойчивая работа виброустановок в области низких частот, уменьшаются нелинейные искажения. Попытка расширить частотный диапазон в область низких частот требует детального изучения работы виброустановок INOVA AHV IV на низких частотах.

Также, с увеличением НЧ свип сигнала, наблюдается некоторое уменьшение уровня амплитуд записи, которое происходит за счёт уменьшения паразитных механических колебаний виброустановок (т.к. резонансная частота механической системы вибратора находится в области частот 5–8 Гц).

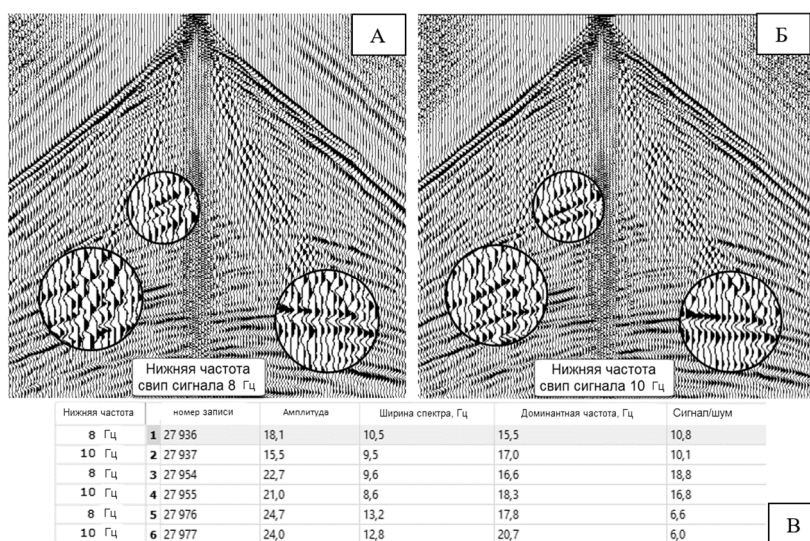


Рис. 7. Результат опытных работ по выбору нижней частоты свип сигнала: НЧ 8 Гц (А), НЧ 10 Гц (Б) и результаты в числовой форме (В)

Регистрируемая сейсмическая запись имела крайне низкочастотный состав (на уровне 9–11 Гц) при прохождении сложнопостроенных геологических структур (валы, поднятия, впадины). При этом не наблюдалось визуального прослеживания синфазности отраженных волн, из-за наличия множества дизъюнктивных нарушений и, соответственно, ярко выраженной дифракции (рис. 8).

Район работ характеризовался также наличием протяженных участков с большим количеством кочек (результат вспучивания тундры), которые приводили к усилению нелинейных искажений от источников, где из-за плохого контакта плиты возникали тангенциальные движения, ухудшающие рабочие характеристики источника. Высокий фон помех возникал также на относительно ровных участках. Возможно, причиной этого была высокая подвижность части снежного покрова, из-за чего на поверхности контакта возникал интенсивный фон поверхностных волн.

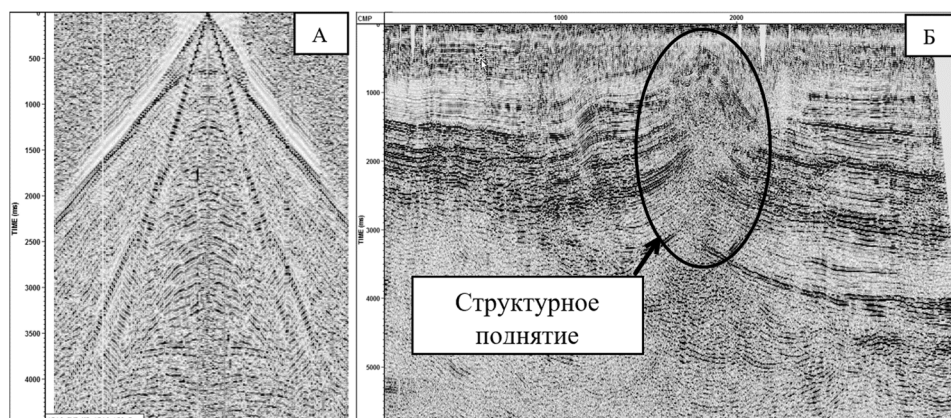


Рис. 8. Типичная сейсмограмма ОГТ зоны, выделенной на временном разрезе (А), временной разрез, проходящий через зону поднятий (Б)

Действие ветра. Район работ характеризовался большим перепадом высот. В пределах одного профиля он порой достигал 160–170 м и приводил к невозможности качественной постановки датчиков в связи с практически полным выдувом снежного покрова с возвышенностей и склонов. Данные, получаемые с этих участков, отличались повышенным уровнем микросейсм, вызванным действием поземки на чувствительный элемент геофона (рис. 9А).

Степень воздействия ветровых явлений на расстановку помимо прочего зависела от направления порывов ветра, изменение направления которого приводило к усилению / ослаблению уровня микросейсм на каналах, находящихся на косогорах и склонах. На рисунке 9Б приведены две сейсмограммы ОПВ, полученные с одного пикета в 04:00 (направление ветра ВСВ 254°, рис. 9А) и 10:00 (направление ветра ССВ 194°, рис. 9Б) соответственно.

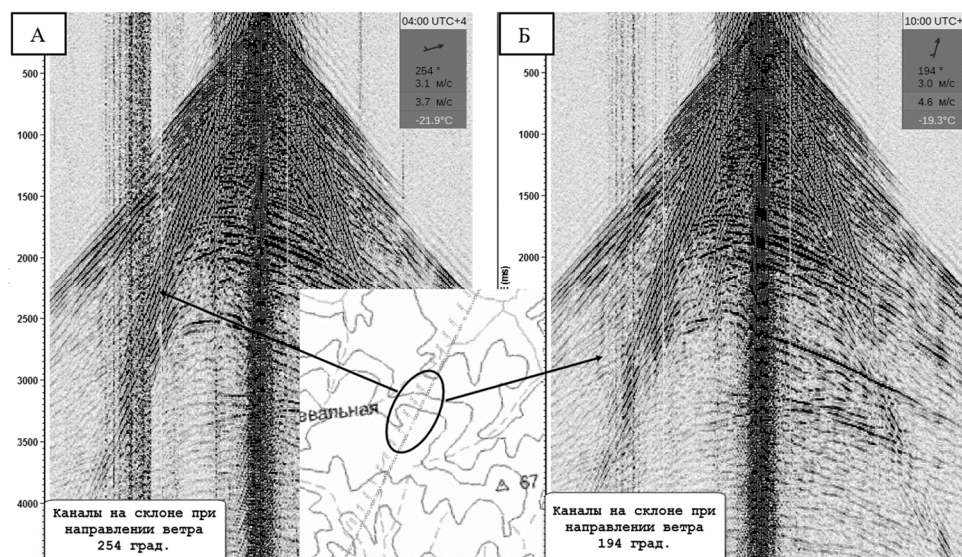


Рис. 9. Пример воздействия на сейсмические данные ветра при разном его направлении

Выводы и рекомендации:

1. Для уменьшения влияния волн «растрескивания» на сейсмическую запись рекомендуется использовать модули шумоподавления Diversity Stack и Noise Burst Edit, интегрированные в сейсмическую станцию.
2. Для повышения отношения «сигнал / помеха» при проведении 3D-работ (или 2D с кратностью менее 100) рекомендуется использовать сейсмограммы с наличием помех «растрескивания», которые изначально были забракованы (при работе на открытом канале).
3. Необходимо минимизировать количество групп геофонов, установленных на озерах, реках и оврагах путем смещения проектного профиля.
4. При невозможности смещения профиля проводить компенсацию ПВ, используя метод «подстрела».
5. Для уменьшения негативного влияния цуга прямой волны рекомендуется использовать нижнюю частоту свип сигнала не менее 10 Гц.
6. При прохождении сложнопостроенных геологических структур на сейсмической записи не наблюдалось визуальное прослеживание синфазности отраженных волн из-за наличия множества дизъюнктивных нарушений и, соответственно, ярко выраженной дифракции.
7. Группы геофонов, расположенные на возвышенностях и склонах, характеризовались повышенным уровнем микросейсм в связи с выдувом снежного покрова.

Список литературы

1. Кириллов С. А. Роль геофизических исследований в нефтегазовом сервисе при разведке и сопровождении разработки месторождений углеводородов / С. А. Кириллов, В. И. Горбунов // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2008. – № 2. – С. 5–8.
2. Логовской В. И. Контроль и эффективность сейсморазведки / В. И. Логовской // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – № 1. – С. 44.
3. Тищенко А. И. Критерии и алгоритмы оценки качества полевых сейсмозаписей / А. И. Тищенко, А. А. Жуков, И. В. Тищенко // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – № 1. – С. 49.
4. Херолд Д. Л. Полевая обработка в реальном времени и оперативный атрибутивный количественный анализ качества сейсмических данных / Д. Л. Херолд, Н. И. Демидов // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2007. – № 3. – С. 56.
5. Череповский А. В. Полевой контроль качества на новом технологическом уровне наземной сейсморазведки / А. В. Череповский // Геофизика. – 2014. – № 2. – С. 44.
6. Huantong L. Land Seismic in difficult terrain and complex geology: a case study from the Jungar Basin, northwest China / L. Huantong, J. Zaichao, Zh. Long // First Break. – 2015. – № 33. – P. 30–32.
7. Bagaini C. Land seismic techniques for high-quality data / C. Bagaini, T. Bunting, Adel El-Eman, A. Laake // Oilfield review. – 2010. – P. 28–39.

References

1. Kirillov S. A., Gorbunov V. I. Rol' geofizicheskikh issledovaniy v neftega-zovom servise pri razvedke i soprovozhdenii razrabotki mestorozhdeniy ug-levodorodov [The role of geophysical research in the oil and gas service in the exploration and support of the development of hydrocarbon deposits]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki* [Instruments and Systems of Exploration Geophysics], 2008, no. 2, pp. 5–8.
2. Logovskiy V. I. Kontrol i effektivnost seysmorazvedki [Control and efficiency of seismic exploration]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki* [The Devices and Systems of Exploration Geophysics], 2011, no. 1, p. 44.

3. Tischenko A. I., Zhukov A. A., Tishchenko, I. V. Kriterii i algoritmy otsenki kachestva polevykh seysmozapisey [Criteria and algorithms for assessing the quality of field seismographical]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki* [Devices and Systems of Exploration Geophysics], 2011, no. 1, p. 49.

4. Herold D. L., Demidov N. I. Polevaya obrabotka v realnom vremeni i opera-tivnyy atributnyy kolichestvennyy analiz kachestva seysmicheskikh dannykh [Field Processing in Real Time and Operational Attribute Quantitative Analysis of Seismic Data Quality]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki* [Instruments and Systems of Exploration Geophysics], 2007, no. 3, p. 56.

5. Cherepovsky A. V. Polevoy kontrol kachestva na novom tekhnologicheskom urovne nazemnoy seysmorazvedki [Field quality control at a new technological level of ground seismic exploration]. *Geofizika* [Geophysics], 2014, no. 2, p. 44.

6. Huantong L., Zaichao J., Long Zh. Land Seismic in difficult terrain and complex geology: a case study from the Jungar Basin, northwest China. *First Brea*, 2015, no. 33, pp. 30–32.

7. Bagaini C., Bunting T., Adel El-Eman, Laake A. Land seismic techniques for high-quality data. *Oilfield review*, 2010, pp. 28–39.