

Изучение верхней части разреза с использованием технологий многоволновой сейсморазведки в применении к зонам развития вечной мерзлоты

■ Кузнецов В.М., Жуков А.П., ООО «Геофизические Системы Данных», г.Москва
Никонов Е.О., Буров Д.И., Гафаров Т. Н., Кусевич А.В., ООО «Газпром Георесурс»

При освоении месторождений нефти и газа в районах Крайнего Севера всегда остро стояла задача снижения рисков возникновения технологических разрушений при строительстве разного рода инженерных объектов, включая скважины, инженерные сооружения, трубопроводы и другие объекты инфраструктуры месторождений, в условиях образования зон растепления в верхней части разреза многолетнемерзлых пород (ММП). Особенно актуальной эта проблема становится в настоящее время в связи с увеличением объемов и темпов работ в северных регионах страны.

Известно, что технологические разрушения в областях развития ММП чаще всего возникают в зонах резкого изменения физических свойств грунтов вследствие температурных изменений сезонного и техногенного характера. Талики, жильные льды, линзы льда, криопэги и прочие неоднородности в толще ММП представляют серьезную опасность для инженерных сооружений ввиду изменения физических свойств под воздействием техногенных факторов (температура, нагрузка и т.п.).

Геокриологическими исследованиями [1-5] установлен достаточно резкий (скачкообразный) переход мерзлых пород в талые на границе талик — мерзлота. Следует отметить, что граница раздела между мерзлыми и талыми породами, отличаясь известной плавностью, может иметь самые различные углы наклона вплоть до вертикальных по отношению к земной поверхности и часто претерпевает разрывы сплошности. Эти особенности необходимо учиты-

вать при выполнении сейсмических исследований для решения тех или иных задач, особенно геокриологических.

Поведение грунтов при изменении внешних (сезонных, технологических) факторов воздействия невозможно прогнозировать без оценки петрофизических параметров — скоростей продольных и поперечных волн

Многочисленными исследованиями [2,4,5] установлено, что в крупнозернистых породах (песок, песчаник) скорость продольных сейсмических волн при переходе через 00 (от положительной температуры к отрицательной) увеличивается скачком в 2 и более раза, а при наличии тонкодисперсных частиц (глина, глина с песком) увеличение скорости составляет только 20-30 %. Таким образом, при замерзании различных горных пород увеличение скорости распространения волн и изменение скоростной дифференциации зависит от литологического и гранулометрического состава. Для мерзлых пород характерна аномально высокая скорость и аномально высокая внутримерзлотная дифференциация по акустической жесткости.

Если обобщить данные по петрофизической модели криолитозоны, то обобщенные требования к методике для ее изучения можно сформулировать следующим образом:

- возможность локализации объектов малоамплитудных и малоразмерных объектов (20-50 метров) по площади и глубине верхней части разреза (0-50 метров), выделяющихся по своим упругим свойствам;
- возможность прослеживать верхнюю

и нижнюю границу криолитзоны (0-400 метров) и межзонные границы в ней на разных типах волн;

- разделять объекты с различным литологическим составом и консолидацией породного материала.

Кроме инженерно-геофизических задач, малоглубинная МВС может внести достаточно весомый вклад в оценку статических поправок для нефтегазовой поисково-разведочной геофизики. Ведь, фактически, временные разрезы для ВЧР по волнам разных типов напрямую дают соответствующие статические поправки для локальных неоднородностей в зонах развития ВМП. Особенно это становится актуальным в свете тенденции сгущения ПВ/ПП в современных технологиях сейсморазведки. В будущем можно прогнозировать совмещение в пространстве ПП получения информации по ВЧР и глубинным частям разреза (разделены будут только источники).

Выбор методики.

В задачу геофизики входит прогноз и локализация по площади зон, в которых потенциально возможно изменение упругих свойств по сравнению с вмещающими отложениями. Подобного рода информацию при масштабных (по площади) и натурных (естественных, а не лабораторных) наблюдениях можно получить только на основе использования технологий многоволновой сейсморазведки, позволяющих проводить оценку не только структурного плана, но и скоростей продольных и поперечных волн и коэффициента Пуассона.

Ранее при инженерных исследованиях в районах развития ММП в основном использовались преломленные волны с применением схем нагоняющих годографов [1-2]. Преломленные волны позволяют получить более точную (по сравнению

с отраженными) оценку скорости продольных волн в мерзлом слое. Вместе с тем, волны этого класса не всегда хорошо прослеживаются в условиях инверсионной приповерхностной зоны, имеют значительные ограничения при структурных построениях. Следует отметить значительные сложности с прослеживанием преломленных волн для сдвиговых компонент волнового поля.

В настоящее время все большее число сейсмических исследований ММП проводятся на отраженных волнах [4,5]. Для включения в обработку и интерпретацию отраженных волн требуется использовать системы многократных перекрытий и, соответственно, увеличивать канальность регистрирующей аппаратуры. Отраженные волны являются более эффективными для структурных построений в связи с тем, что на границах талых и мерзлых пород модуль коэффициентов отражения продольных волн может варьировать от 0,14 до 0,33, а для поперечных волн еще выше. Опыт инженерных работ на отраженных волнах разного типа имеется для различных сейсмогеологических условий. Многими авторами [3,7] отмечается, что максимум информации получается, как правило, по поперечным волнам, в силу их большего разрешения для верхней части разреза. Следует отметить, что использование S-волн для изучения верхней и нижней границ мерзлоты может существенно дополнить информацию по продольным волнам в силу относительно меньшей длины волн этого типа для верхних частей разреза (большая разрешенность по вертикали). Другими словами, мерзлая толща более контрастно дифференцирована в поле поперечных волн.

На наш взгляд, для удовлетворения требований изучения объектов в пределах толщи ММП следует ориентировать-

ся на следующую методику сбора сейсмической информации:

- сбор данных по системе МОГТ с максимальным выносом ПВ-ПП 150-300 метров;
- регистрация данных на три компоненты (X,Y,Z) с шагом ПП 1-5 метров;
- возбуждение упругих колебаний при вертикальном воздействии (Z) на грунт и направленном горизонтальном ортогонально профилю (Y) воздействию при интервале между пунктами возбуждения 1-5 метров.

Такая методика позволяет регистрировать шесть компонент волнового поля (т.е. использовать отраженные волны PP, SH, обменные PSV). Кроме того, по возможности, можно использовать преломленные волны PPP и волны Рэлея. Регистрация волн разных типов и классов позволяет:

- проводить структурные построения по тем типам волн, которые наиболее хорошо коррелируются и динамически выражены для данного типа разреза;
- прогнозировать изменение упругих свойств грунтов и их литологического состава при условии качественного отождествления волн разных типов одним и тем же отражениям;
- снизить риск отсутствия информации по целевой зоне на одном из типов волн из-за сейсмогеологических условий на основе получения этой информации по другим типам волн.

При этом малый шаг (максимум 5 м) обеспечивает достаточную детальность для обнаружения локальных аномальных по своим акустическим свойствам объектов.

Полевые наблюдения и анализ зарегистрированных волновых полей

Реализовать совокупность обозначенных выше требований возможно при

использовании центральной электроники с минимальным количеством каналов (порядка 200), трехкомпонентных сейсмоприемников и источника упругих колебаний, позволяющего производить направленное воздействие на грунт с возможно более высокочастотным спектром излучаемого сигнала.

Опытное опробование методики изучения ММП на основе комплексирования волн разных типов и классов было осуществлено нами на одном из газовых месторождений, принадлежащих ОАО Газпром. Работы проводились по следующей методике:

- возбуждение упругих колебаний ударным способом (кувалда) при вертикальном воздействии (Z) на грунт и направленном (с помощью боронь-подставки) горизонтальном ортогонально профилю (Y) воздействию. Интервал между пунктами возбуждения составлял 5 метров. Количество накоплений для каждого вида воздействий - 4;
- приём упругих колебаний осуществлялся трёхкомпонентными датчиками в едином корпусе GS-3C. Интервал между точками приема 5 метров. Минимальное удаление ПВ-ПП – 0 метров, максимальное удаление в начале и конце профилей – 350 м, на основной части профилей – 175 м (рис. 1). Количество активных каналов - 213 (71 трёхкомпонентная установка);

В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась телеметрическая станция «Прогресс-Т2». Длина записи 1 сек., шаг дискретизации 1 мс.



▲ Рис. 1. Схема обработки профилей МВС-ВЧР.

Объем работ составил два профиля длиной по 2500 метров с пересечением в центре. Пикетаж через 5 метров (рис. 2). Количество ф.н. – 2000 ф.н. (на каждом профиле по 1000 ф.н., из них Z возбуждение 500 ф.н. и Y возбуждение 500 ф.н.). Работы были выполнены за 12 дней.

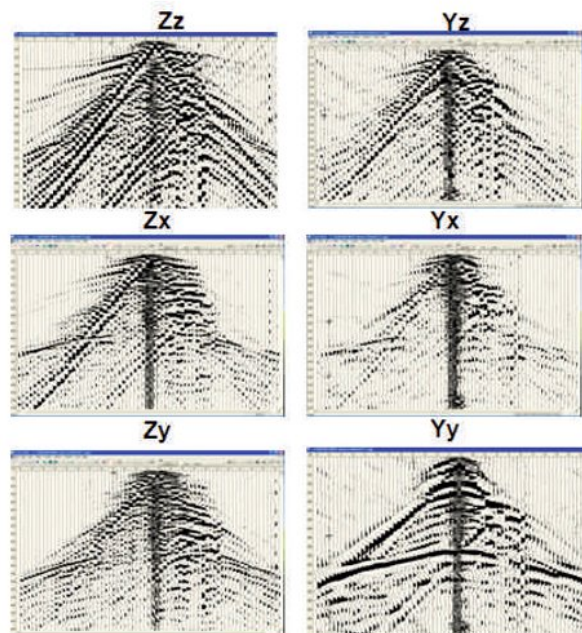


▲ Рис. 2. Взаимное расположение профилей МВС-ВЧР.

Ориентация компонент записи в компоненты волнового поля осуществлялась по заданным координатам для точек возбуждения и регистрации. При двух направлениях возбуждения (Z и Y) и трех компонентах регистрации (x, y, z) было получено шесть компонент волнового поля (Zx, Zy, Zz, Yx, Yy и Yz). с учетом отрицательных выносов для смены знака отраженных обменных волн.

Для корректной оценки состава волнового поля и локальных неоднородностей, построения графа дальнейшей обработки потребовался детальный анализ волнового поля на всех его компонентах. Пример первичных сейсмограмм ОТВ приведен на рис. 3.

Сразу следует отметить энергетически выраженные, хорошо коррелируемые отражения волн SH (компонента Yy). Аналоги этих отражений на PP волнах (компонента Zz) имеют гораздо меньшую выразительность и в основной своей части интерферируют с короткопериодными модами волны Рэлея. Интересно,



▲ Рис. 2. Первичная запись шестикомпонентного волнового поля. Прописными символами обозначен тип возбуждения, строчными – компонента приема.

что частотный состав PP волн незначительно отличается от SH волн. Это и объясняет гораздо большую разрешенность по вертикали для волн SH, поскольку при значительно меньших скоростях длина волны для них заметно меньше. На компонентах Zz и Yy выделяются также дифрагирующие объекты одноименной геологической природы.

На компонентах Zx и Zy можно отметить высокочастотный аналог отражения SH, который скорее всего связан с волной PSS (обменная в промежуточном верхнем инверсионном по скорости слое) и основную часть пути проходит как моно-типная сдвиговая волна. К сожалению, в дальнейшем по волнам этого типа не удалось получить внятные разрезы. Это связано, по-видимому, с латеральной неоднородностью слоя сезонного промерзания, характеризующегося повышенной скоростью.

Компонента записи Zz в условиях спокойного залегания пород позволяет

увидеть волновую картину, симметричную относительно пункта возбуждения (ПВ). На малых временах регистрации в первых вступлениях прослеживается волна с кажущейся скоростью ($V_{\text{каж}}$), равной 1400-1600 м/с, за которой на больших временах следует волна с $V_{\text{каж}}$, равной 950-1150 м/с. Эти волны могут быть отражениями от первых резких границ, расположенных под дневной поверхностью. На больших временах устойчиво прослеживаются низкоскоростные волны кажущиеся скорости которых расположены в диапазоне 200-355 м/с. Среди этих волн преобладающими по интенсивности являются: прямая волна, поверхностная волна и звуковая волна. На сейсмограммах Zz также часто отмечается скачкообразное уменьшение интенсивности волн PP по латерали. Резкое изменение интенсивности записей в пределах одной и той же расстановки сопровождается иногда изменением частотного состава записей, что может быть связано с низкочастотными резонансными колебаниями.

Компонента записи (Z_x), полученная при вертикальном (Z) воздействии и приеме радиальной (x) компонентой, характеризуется присутствием объемных (продольных и обменных) и поверхностных рэлеевских волн. При этом существенной особенностью данной компоненты является противоположная полярность волн по разные стороны от ПВ. На аномальных объектах, в качестве которых могут выступать контакты различающихся по физическим свойствам пород, а также короткие контрастные интервалы профиля, ведущие себя как волноводы, возникают дифрагированные волны, так же уверенно наблюдаемые на записях данной компоненты.

Компонента записи Z_y , полученная при вертикальном (Z) воздействии и

регистрации трансверсальной (y) компонентой, отличается большей простотой по сравнению с описанными выше. В условиях горизонтально-слоистых анизотропно изотропных сред на этой компоненте вообще не должно быть регулярных волн. Однако в описываемых результатах это оказалось не так. Одна из причин – это негоризонтальность границ, о которой свидетельствует асимметрия годографов отраженных волн. Поэтому на данной компоненте, нередко называемой «побочной компонентой», можно отчетливо проследить регулярные волны различного типа (главным образом, обменные), а также дифрагированные волны, сформированные на вертикальных контактах пород с различными свойствами.

Компонента записи (Y_y) при горизонтальном воздействии в направлении, ортогональном направлению профиля, и регистрации трансверсальной (y) компонентой, в условиях горизонтально-слоистой среды позволяет регистрировать SH-волны, обладающие рядом известных преимуществ по сравнению с объемными волнами другого типа. Анализ этой компоненты показал, что волны на ней достаточно хорошо разрешены. Можно видеть, что поперечная отраженная волна уверенно прослеживается вдоль всей расстановки, даже в пределах блоков шириной порядка 20-30 м, являющихся аномальными объектами. На ряде сейсмограмм можно выделить поперечную отраженную волну от вертикальных контактов на границах аномальных блоков с окружающими породами (пример на рис. 4). На обведенном эллипсом участке также видно, как импульс отраженной волны расщепляется на два импульса после выхода из зоны интерференции, образованной отражениями от кровли и подошвы слоя, мощность

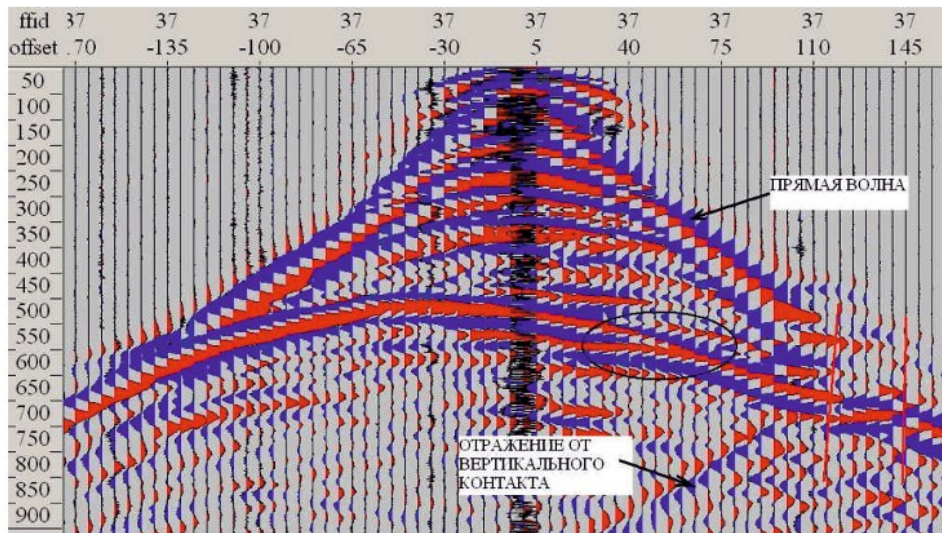


Рис. 4. Сейсмограмма Yy . Эллипсом показан участок поперечной отраженной волны с расщеплением импульса, вызванным увеличением мощности слоя. Справа показан вертикальный слой и отражение от одной из его границ.

которого возрастает справа налево. Обращает на себя внимание сдвиг минимума годографа отраженной волны влево, свидетельствующий о воздымании отражающей границы в этом направлении.

Высокая разрешенность и устойчивая корреляция волн SH , вкпе с отсутствием волн $Лява$, позволяет уверенно выделять практически все контакты, разделяющие между собой участки однородности в пределах расстановки сейсмоприемников. На границах однородных участков, имеющих характер субвертикальных контактов, распространяющихся вглубь среды, формируются поперечные дифрагированные волны, отчетливо наблюдаемые на сейсмограммах на протяжении всего профиля. Иногда участки неоднородности имеют прихотливую форму, причем перекрыты они могут быть неглубоко залегающей устойчивой границей, под которой наблюдается резкое нарушение прослеживаемости волн. Волноводы, о которых речь шла выше, на поперечных волнах также выделяются аномальным поведением волнового поля: возрастанием его интенсивности и резонансным характером плохо разрешенных низкочастотных колебаний.

Компонента записи Yz при горизонтальном воздействии в направлении Y характеризуется довольно низким уровнем регулярных волн. Появляются эти волны, которых в горизонтально-слоистой среде не должно быть, из-за неидеальной направленности источника, негоризонтального залегания сейсмических границ и анизотропии среды в окрестности источника.

Компонента записи Yx при горизонтальном воздействии в направлении Y отличается гораздо большей информативностью, чем описанные выше записи z -компоненты при воздействии Y (Yz), где достаточно высок фон волн Рэлея.

Анализ представленных данных показывает, что для мерзлых и талых водонасыщенных пород имеется широкая область перекрытия значения скорости для продольных волн. К поперечным волнам это относится в меньшей степени. Это накладывает определенные ограничения на использование значения скорости продольных волн для идентификации в разрезе геокриологических границ. Особенно затруднительным становится использование скорости продольных волн в случае присутствия в разрезе песчано-глинистых водонасыщенных толщ.

Результат обработки и интерпретации во временной и глубинной областях

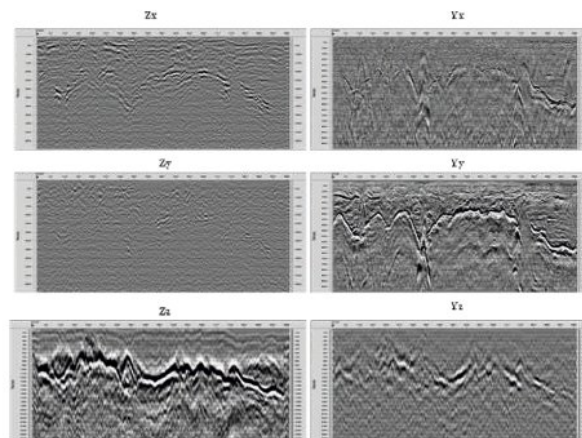
При обработке полученных данных уровень приведения выбирался, с одной стороны, достаточно высоким для корректного изображения неглубоких приповерхностных геологических объектов, с другой стороны, его значение ограничивалось для избежания больших величин временных сдвигов, негативно влияющих на определение скоростей суммирования. Скорость замещения выбиралась для оптимального учета влияния рельефа на геометрию структур. Уровень приведения и скорости замещения выбирались после тестирования. Единый уровень приведения для волн всех типов - 40 м. Скорости замещения для продольных волн - 1700 м/с., для поперечных волн - 600 м/с.

Скоростная модель уточнялась по горизонтальным спектрам скоростей. Дополнительно скорости продольных волн оценивались по преломленным волнам (по поперечным волнам это сделать трудно в силу размытости первых вступлений волн SH).

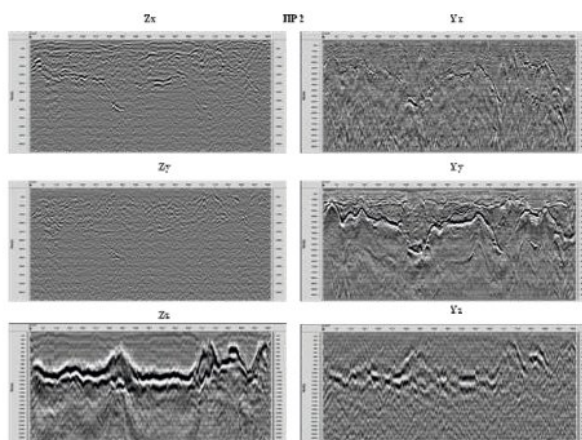
Подбор для асимптотического бинирования при анализе скоростей обменных волн в значительной мере отличается от стандартного подхода. Обычно при асимптотическом бинировании для работ МВС используется отношение $V_p/V_s=2$, в случае малоуглубинной МВС это отношение для верхней части разреза может варьировать от 3 до 8.

На рис. 5-6 приведены временные разрезы шести компонент волнового поля. Разрезы Zz и Yz получены со скоростями PP волн, разрезы Yy , Yx – со скоростями SS волн, разрезы Zx и Zy – по методике обработки PS волн.

Сопоставление данных, полученных



▲ Рис. 5. Временные разрезы PP, PS и SS волн по профилю 1



▲ Рис. 6. Временные разрезы PP, PS и SS волн по профилю 2.

во временной области для отраженных продольных PP (компонента Zz) и поперечных SH (компонента Yy) -волн, показывает, что в данных конкретных условиях (наличие высокоскоростного мало-мощного слоя сезонного промерзания) использование SH-волн является предпочтительным. На данных SH волн отмечается более четкая прослеживаемость границ, выделяется большее количество границ и т.д. Наименее выразительная картина получена для обменных волн PS (компоненты Zx и Zy), что объясняется худшей динамикой, разрешением и коррелируемостью продольных волн, которые служат источником обмена для PS волн. Наличие слабых, спорадически

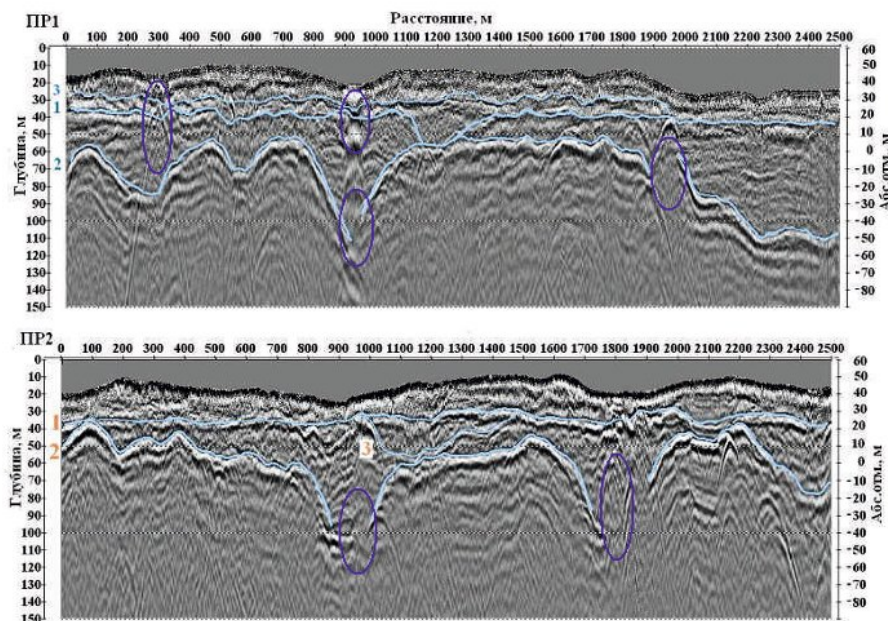


Рис. 7. Глубинные разрезы по профилям 1 и 2 (поперечные SH-волны). С выделение основных сейсмических границ. 1 – литологическая граница, 2 – кровля ММП, 3 – подошва погребенной долины.

прослеживаемых отражений на побочных горизонтальных компонентах соответствующего типа (Y_x и Z_y) можно было бы расценивать, как присутствие азимутальной анизотропии. Но синфазность соответствующих отражений с отражениями на основных компонентах (Z_x и Y_y) говорит скорее о наклоне отражающих границ и несовпадении азимута профиля с азимутом наклона.

Отсутствие скважинной привязки волновых полей вызвало необходимость отождествления и интерпретации выделенных интервалов временных разрезов по полученным скоростным характеристикам (скорости преломленных волн и скорости суммирования) и скважинным данным по литологии разреза по геокриологическому стационару ВСЕГИНГЕО, расположенному в 15-20 км от места работ.

Была принята следующая модель разреза. Верхняя его часть, средняя мощность которой составляет 8 метров, сложена неводонасыщенными песчано-глинистыми породами. Второй слой сложен талыми влажными породами,

которые, однако, не находятся в состоянии полного водонасыщения. Нижней границей талых пород является кровля многолетнемерзлых пород.

Глубинные разрезы по волнам SH с учетом рельефа местности и с выделением отражающих границ приведены на рис. 7. Они имеют достаточно сложную структуру. Граница 1 в целом имеет горизонтальное залегание. Нередко ее выделение затруднено присутствием на глубинном разрезе других границ (выклинивания, врезы и т.п.). Кровля ММП (граница 2) прослеживается на глубинных разрезах наиболее четко. Глубина ее изменяется от 20 до 100 м. Опускание кровли мерзлоты отмечается на участках с пониженными формами рельефа дневной поверхности.

Структура глубинного разреза осложнена присутствием большого количества дифрагирующих объектов, расположенных как вблизи дневной поверхности, так и на глубине. Имеется ряд контрастных дифракционных объектов, связанных с кровлей ММП. Они, как правило, наблюдаются на участках, где кровля ММП

понижена. Их хорошо видно, например, на профиле 1 вблизи пикетов 920, 1900, а на профиле 2 в районе пикетов 1000 и 1800. Характерно то, что именно в этих точках граница 2 перестает прослеживаться. Это дает основание сделать достаточно обоснованное предположение о наличии в исследуемом геокриологическом разрезе сквозных таликов. На профиле 1 они могут располагаться в интервалах ПК900-ПК1000 и ПК1880-ПК1980, а на профиле 2 в интервалах ПК900-ПК1000 и ПК1760-ПК1900. Обоснованность этого предположения подтверждается и данными работы [2]. В ней приводится информация о наличии большого количества глубоких и сквозных таликов на территории Пур-Надымского междуречья. Кроме того, подошва мерзлых пород, установленная по данным бурения вблизи района работ, располагается на глубине 120м, что сопоставимо с глубиной расположения дифракционных объектов на глубинных разрезах. В этом случае дифракционным объектом может являться вертикальный

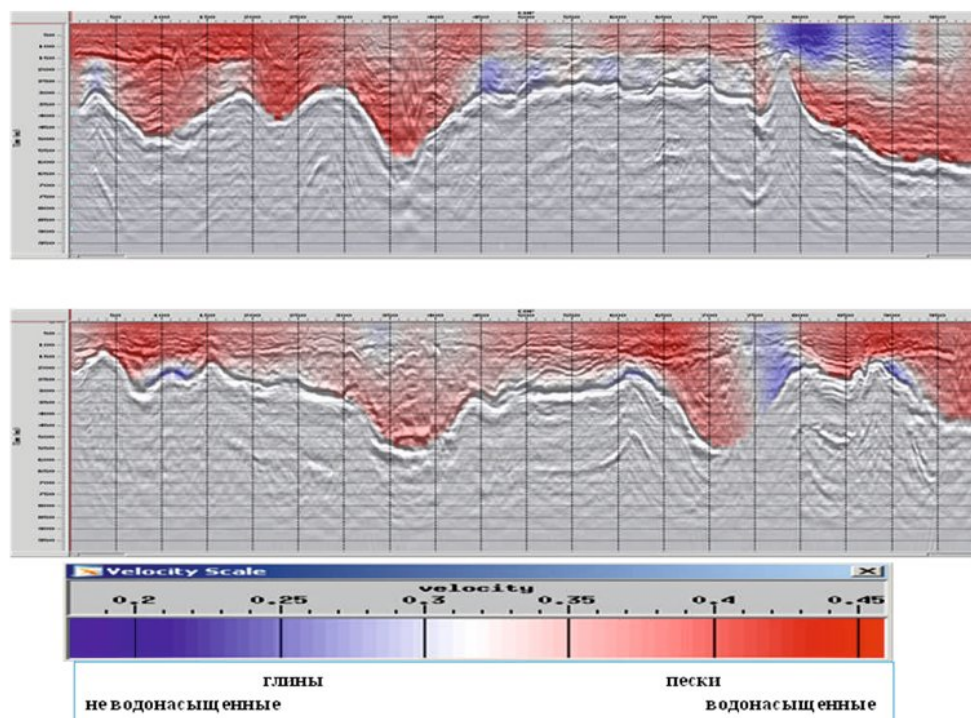
контакт в месте прерывания мерзлых пород.

Дифракционные объекты присутствуют и в пределах талой толщи пород. Так на профиле 1 вблизи ПК1160 и ПК1220 дифракционными объектами являются места выклинивания на кровле ММП промежуточной литологической границы, являющейся подошвой погребенной долины. На этом же профиле в районе ПК 1950 наблюдается интенсивная дифракционная волна, приуроченная к месту резкого изменения глубины границы 1.

Кроме основных границ 1 и 2 на глубинных разрезах выделена еще одна литологическая граница 3 (на ПР 1 в интервале ПК1100 - ПК1400), которая достаточно хорошо прослеживается. Возможно, что она является подошвой погребенной долины. Границы 2 и 3 вблизи ПК1950 выделены с учетом их положения в разрезе и наличия здесь интенсивной дифракционной волны.

Поскольку для продольных и поперечных волн была идентифицирована кровля ВМП, появляется возможность

► Рис. 8. Оценка коэффициента Пуассона для ВЧР по ПР1 и 2.



оценки коэффициента Пуассона для интервала талика (рис. 8). Давать достоверную интерпретацию литологического состава и флюидонасыщения без соответствующих скважинных и петрофизических исследований в данном районе не совсем корректно. Поэтому можно предположить, что пониженные коэффициенты Пуассона приурочены к менее водонасыщенным и более уплотненным грунтам (глины).

Выводы и перспективы развития.

1. Наиболее надежные результаты получены для отраженных SH-волн. Близость частотного состава SH-волн к частотному составу PP-волн при существенно более низких значениях скоростей (в 4-5 раз) объясняет реально наблюдаемую высокую разрешенность волновых полей на поперечных монотипных волнах при изучении ВЧР. Район работ не является в этом смысле исключением. Аналогичные результаты в условиях инверсного скоростного разреза, который формируется в зимний период за счет присутствия слоя сезонного промерзания, неоднократно получались в других районах РФ и за рубежом в различных сейсмогеологических условиях. Тем не менее, в других приповерхностных сейсмогеологических условиях более информативными могут оказаться другие компоненты волнового поля. Это является основанием для утверждения, что при проведении такого рода работ необходимо использовать комплексирование волн разных типов и классов. В частности, в данных работах, не смотря на то, что возможности отраженных продольных волн для изучения строения разреза в этих условиях оказались существенно ограниченными, использование

преломленных продольных волн дало возможность детально изучить строение и состояние пород в водонасыщенной и мерзлой частях разреза.

2. Использование стандартного сейсмического оборудования (за исключением источника упругих колебаний), применяемого при полномасштабных разведочных съемках, вполне оправдало себя. Более того, тенденция увеличения плотности наблюдений (уже известны примеры съемок с шагом ПП и ПВ 5-10 м) позволяет в будущем надеяться на получение комплексных данных по детальному изучению ВЧР и глубинной сейсморазведке. В этом случае, помимо инженерных задач, данные по малоглубинной сейсмике позволят прецизионно решать проблемы статических поправок по волнам разных типов.

3. Важным является также попытка использования стандартных пакетов обработки и интерпретации сейсмических данных для малоглубинной сейсмике. Мощный арсенал программных средств, разработанных для поисков и разведки энергетических ресурсов, поможет в значительной степени расширить круг задач, решаемых малоглубинной сейсмикой (включая обратные динамические задачи).

Технологию изучения криолитозон с использованием МВС для целей снижения геологических рисков, связанных с разрушением объектов от воздействия геокриологических условий при выборе площадок строительства различных объектов, обеспечивающих разведку, добычу и транспортировку углеводородного сырья, планируется развивать и совершенствовать в следующих направлениях:

- повышение пространственного

охвата систем сбора данных (опробование элементов 3D, сгущение сетки профилей и т.п.);

- повышение производительности и детальности работ (увеличение количества линий приема и канальности приемной расстановки, опробование других технологических решений для реализации двухкомпонентного возбуждения упругих колебаний с расширением частотного состава излучаемых колебаний в сторону высоких частот);

- комплексирование сейсмических работ с бурением и микро - ВСП в мелких скважинах в точках критических изменений сейсмических разрезов.

Несомненно, использование сухопутных кос - стримеров с трехкомпонентными приемниками [7] в значительной степени повышает производительность инженерных работ. Но, с другой стороны, в этом случае теряется хороший контакт сеймоприемник-почва, что в особенности важно для сдвиговых колебаний. Особенно это касается условий работ с устойчивым снежным покровом. Во всяком случае, этот вопрос представляет исследовательский интерес.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность руководству ООО «Газпром Георесурс» за возможность публикации данных, полученных по заказу компании. Особую благодарность авторы выражают Скворцову А.Г. (Институт криосферы Земли СО РАН) за помощь и консультации при обработке и интерпретации полученных данных.

Литература

1. Методические рекомендации по применению сейсмоакустических методов при изучении инженерно-геологических условий на БАМе. Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт Транспортного Строительства, МОСКВА 1977
2. М.Б. Седов, Сейсмические исследования в районах многолетней мерзлоты. Наука 1988, 184 с.
3. Скворцов А.Г, Высокоразрезающая сейсморазведка на поперечных волнах при изучении верхней части геологической среды // Инженерная геофизика Сб материалов междунар конф М Изд-во Моск ун-та, 2005, с 16-18
4. Мельников В.П., Скворцов А.Г., Малкова Г.В. и др. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью геофизических методов // Геология и геофизика, 2010, т 51, №1 с 169-177
5. А.Г. Скворцов, А.М. Царев, М.Р. Садуртдинов, Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза., Криосфера Земли, 2011, т. XV, J* 4, с. 110-113
6. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Под ред. Н.Н. Горяинова. М.: Недра, 1992. 264с.
7. Andre J, M. Pugin, Kevin Brewer, Timothy Cartwright, Susan E. Pullan, Perret Didier, Heather Crow, and James A. Hunter1, Near surface S-wave seismic reflection profiling - new approaches and insights. first break volume 31, February 2013