

Техника и технология многоуровневых сейсмических исследований на севере Западной Сибири

Бевзенко Ю.П., ОАО НПФ "Сейсмические технологии", г. Тюмень
Долгих Ю.Н., ЗАО "Герус", г. Тюмень

В условиях жесткой конкуренции на нефтяном рынке наиболее актуальной является проблема снижения себестоимости добываемого продукта. На себестоимость, в частности, существенное влияние оказывает точность и достоверность геологических моделей углеводородных резервуаров, построенных на основе геофизических данных.

На поисковом этапе все дорогостоящее поисковое бурение проектируется, в основном, по данным сейсморазведки, с привлечением дополнительной информации других геофизических методов. Как известно, не снижается значимость сейсморазведки и в процессе разведки и разработки месторождений.

Многолетний опыт нефтяников показывает, что объемы неэффективного бурения резко возрастают там, где низка точность сейсмических данных и у некоторых геологов-нефтяников сложилось мнение о том, что сейсморазведка не может решать задачу поиска и построения моделей слабоаномальных малоразмерных объектов. Заметим, что уже сейчас подавляющее число выявляемых нефтеперспективных объектов имеет площадь менее 10 км² и амплитуду по вертикали менее 15 м.

Гистограммы распределения перспективных на нефть и газ объектов на рис.1 позволяют выявить тенденцию в изменении площадей и амплитуд объектов нефтегазоперспективных работ.

Согласно данным Н.Я. Кунина (1981 г.) [1], подавляющее большинство, а именно 114 или 55 % из всех выявленных до 1976 г. в Среднеобской области нефтегазоперспективных объектов, имели площадь более 20 км² и все 133 выявленных объекта имели амплитуду более 25 м. По данным более поздних исследований [2] из 219 объектов, выявленных сейсморазведкой в ряде регионов Западной Сибири, 158, или 72,1%, имели площадь менее 10 км² и 131, или 59,8%, имели амплитуду менее 15 м.

Территория ЯНАО является самой сложной в Тюменской области в плане получения, обработки и интерпретации сейсмических данных, что обусловлено широким развитием криогенеза, способствующего резкой дифференциации по скоростям распространения сейсми-

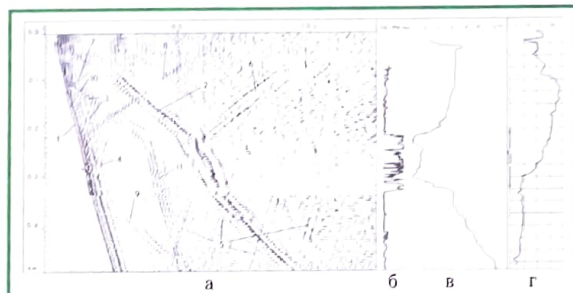


Рис. 2 Сейсмическое волновое поле (а), зарегистрированное в специальной скважине 1с на Суторминском месторождении; кавернограмма (б), термограмма (в) и кривая натурального логарифма энергии падающих волн (г) в той же скважине: 1,2 - первичные падающие волны; 3,4,5,6 - отраженные монотипные волны; 7,8 - обменные отраженные P-S- волны; 9,10 - обменные падающие волны; 11 - двукратно отраженная продольная волна

ческих волн в талых и мерзлых породах, составляющих верхнюю часть геологического разреза.

Рис.2 характеризует влияние мерзлой толщи на прохождение волн. На вертикальном профиле (в скважине) наблюдается резкое увеличение скорости в мерзлом слое, положение которого фиксируется термограммой. На сейсмограмме ВСП видно существенное увеличение фона помех в интервале выше мерзлого слоя.

Опыт показывает, что распространение и строение мерзлых толщ нужно знать на всех этапах освоения северных регионов:

- на этапе сейсмической разведки аномалии мерзлых толщ сильно искажают волновое поле, способствуют образованию большого количества волн-помех и ложных структурных объектов;
- на этапе поисково-разведочного бурения строение мерзлых толщ необходимо учитывать при проектировании площадок под основания буровых, конструкций верхних частей стволов скважин, поисков источников воды для обеспечения бурения;
- на этапе разработки месторождения строение мерзлых толщ необходимо учитывать при проектировании хранилищ, заводов по обработке продукта, коммуникаций, социально-бытовых объектов.

Таким образом, в связи с промышленным освоением территорий потребность в знании строения криогенных толщ является всеобъемлющей. Вместе с тем, сейсморазведка является геофизическим методом, которым непременно исследуется перспективная для освоения территория, поэтому целесообразно создавать и воплощать такие проекты сейсморазведочных работ, которые позволяют получать достаточный объем информации и о строении мерзлых толщ.

Такой подход приведет к снижению себестоимости добычи нефти, конденсата и газа, как за счет ускорения освоения месторождений, так и за счет снижения объемов изыскательских работ.

Подавляющее большинство проектов производственных сейсморазведочных работ, выполняемых на территории ЯНАО, не содержит технологических приемов получения в поле

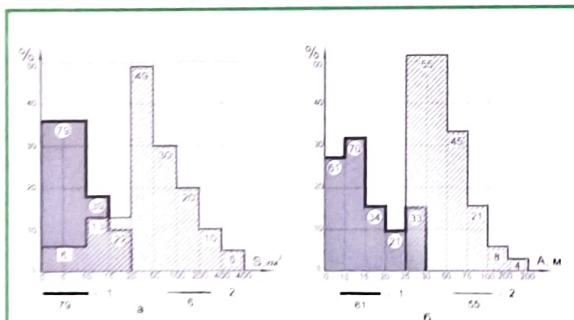
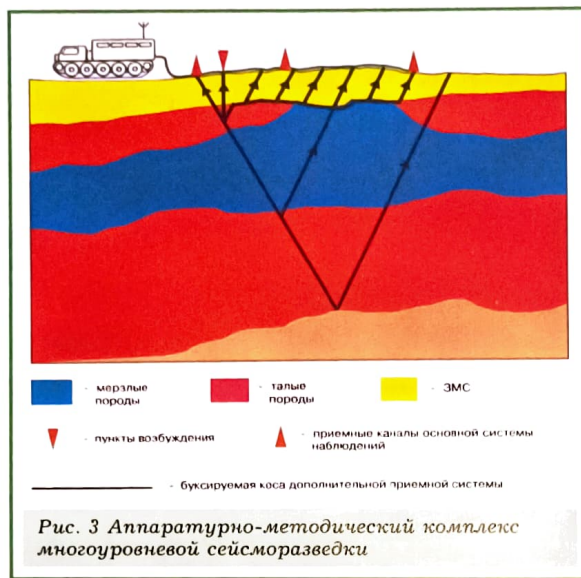


Рис. 1 Статистическое распределение в процентах и в количестве нефтегазоперспективных антиклинальных объектов по площади (а) и по амплитуде (б), выявленных сейсморазведкой в период с 1986 по 1990 годы (1) и до 1976 года (2)



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



корректной первичной информации, проливающей свет на строение верхней части разреза.

Проектные параметры систем наблюдений таковы, что строение зоны малых скоростей и мерзлой толщи не может быть корректно исследовано и учтено при построении моделей поисковых объектов. Такое положение имеет место при двумерных наблюдениях и сохраняется при выполнении трехмерной сейсморазведки, когда значительное увеличение плотности точек в плане сопровождается ухудшением условий для изучения верхней части разреза, следовательно, снижением вертикальной точности и разрешающей способности сейсмического метода.

По результатам последующего бурения исследованных сейсморазведкой площадей, среднеквадратическая погрешность структурных карт находится в пределах от ± 15 до ± 25 метров, что не дает оснований для оптимизма при проектировании разведочных скважин на мало-

амплитудные объекты.

На основании теории сейсморазведки следует признать, что большинство применяемых в настоящее время проектов сейсморазведочных работ, в силу недостаточного объема первичной информации о зоне малых скоростей и о мерзлых толщах, не позволяют существенно повысить точность, разрешающую способность метода и обеспечить комплексное изучение глубинных и приповерхностных объектов. Нужно также признать, что информационная база, создаваемая в процессе выполнения подобных "ущербных" проектов, не отвечает требованиям предстоящих периодов освоения территории, вследствие чего в процессе освоения увеличиваются затраты, формирующие себестоимость продуктов добычи.

Увеличение затрат обусловлено:

- необходимостью выполнения дополнительных геофизических работ;
- большим количеством неудачных скважин;
- снижением эффективности извлечения продукта за счет дополнительного обводнения;
- увеличением срока вывода объектов на оптимальные режимы добычи.

В силу высочайшей сложности физико-математической теории сейсмических волновых полей, производственные проекты работ используют лишь незначительную часть возможностей, обеспеченных теорией. Отчасти это происходит по причине общепризнанной среди геологов-нефтяников второстепенности сейсморазведки относительно бурения. Результатом является снижение инвестиций в развитие сейсмики и, как следствие, выполнение производственных работ по весьма упрощенным схемам, дающим низкую точность и низкую разрешающую способность конечных результатов сейсморазведки.

Мы пытаемся осуществить коренное улучшение геологических результатов сейсморазведки в северных районах на основе технологии многоуровневых сейсмических исследований [3-8].

Суть новой технологии состоит в том, что

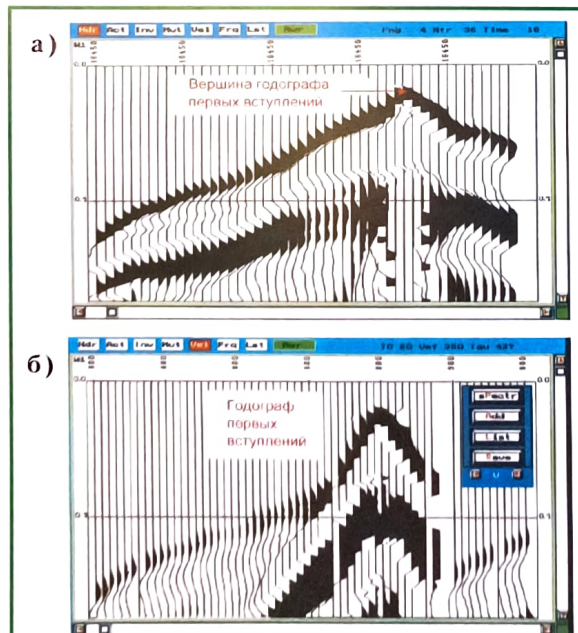


Рис. 4 а) Определение по сейсмограмме буксируемой сейсмической кассы вертикального времени и номера канала, напротив которого располагался ПВ
б) Определение скорости взрыв-поверхность по годографу первых вступлений

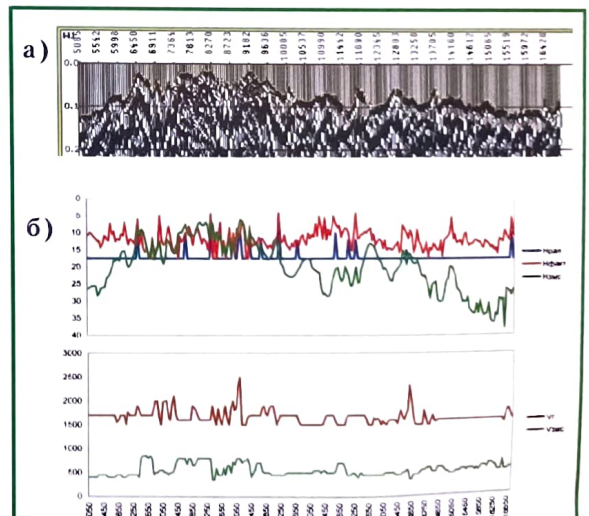


Рис. 5 а) Временной разрез головной (прямой) волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС
б) Контроль условий возбуждения по данным многоуровневой сейсморазведки
 Нрав - глубина погружения заряда по рапорту.
 Нфакт - фактическая глубина погружения заряда.
 Намс - глубина залегания подошвы ЗМС.
 V_г - скорость головной (прямой) волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС.
 V_{амс} - скорость в ЗМС



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

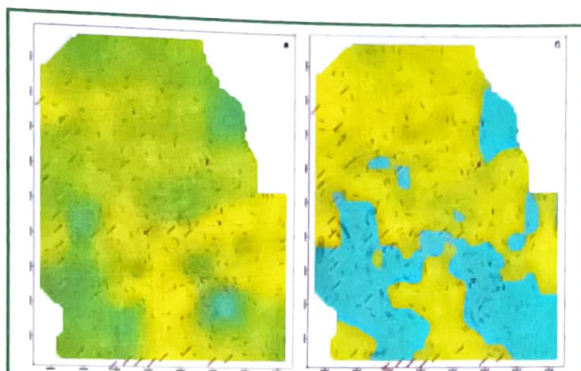


Рис. 6 а) Карта скоростей в ЗМС (р-н Старый Уренгой - Красноселькуп).
Нанесены: сетка профилей (красным), скважины (фиолетовым), линии равных значений скоростей - м/с.
б) Карта скоростей в породах, подстилающих ЗМС (р-н Старый Уренгой - Красноселькуп).
Нанесены: сетка профилей (красным), скважины (фиолетовым), линии равных значений скоростей - м/с.
Голубым цветом выделены зоны выгода приповерхностной мерзлоты на подошву ЗМС

На рис.6а показана карта скоростей в ЗМС, на рис.6б - карта скоростей в породах, подстилающих ЗМС (зоны развития приповерхностной мерзлоты выделены голубым светом).

На рис.7а показана карта поправок за ЗМС, а на рис.7б - карта параметра, классифицирующего площадь на участки с оптимальными (взрыв ниже подошвы ЗМС, синяя заливка) и неоптимальными (взрыв в пределах ЗМС, желтая заливка) условиями возбуждения.

4. Построение модели среды, формирующей волны-спутники с малыми временами задержки, и на этой основе корректировка формы сейсмического сигнала по материалам МОВ-ОГТ [8-10].

На рис. 8 в сравнении приведены:

- модель условий возбуждения по одному из профилей Ныдинской площади, включающая вертикальное время, время пробега в ЗМС, скорость в ЗМС и подстилающих породах;

- временной разрез до учета волн-спутников;

- временной разрез после учета волн-спутников.

Видно, что в результате учета волн-спутников повысилась преобладающая частота и общее отношение сигнал/помеха, увеличилась динамическая выразительность, стабилизировалась форма записи отраженных волн.

5. Построение с привлечением данных МОВ-ОГТ глубинно-скоростной модели ВЧР до первого опорного горизонта, включающей ЗМС, слой поверхностной и (или) реликтовой мерзлоты.

Модель ВЧР, включающая ЗМС и слой приповерхностной мерзлоты, по одному из профилей, приведена на рис.9а. По тому же профилю, на рис.9б показан временной разрез до учета ВЧР, на рис.9в - после учета ВЧР по приведенной модели.

Антиклинальному перегибу соответствует зона минимальных значений мощности мерзлоты,

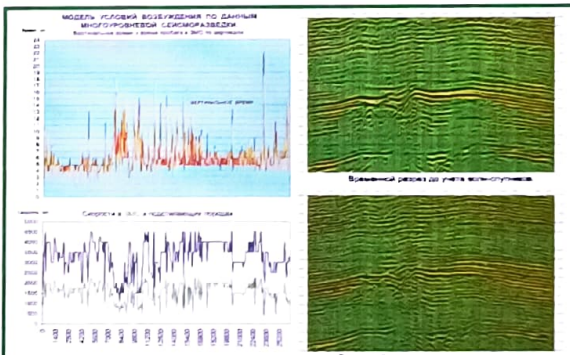


Рис. 8 Учет волн-спутников с малыми временами задержки по данным многоуровневой сейсморазведки

прием сейсмических волн, возбуждаемых источником, осуществляется несколькими приемными системами, оптимально настроенными на различные геологические глубинные этажи исследуемой среды (рис. 3).

Попутно получаемая по технологии многоуровневой сейсморазведки дополнительная информация обеспечивает комплексное решение ряда важных задач, что практически недоступно для традиционных технологий МОВ-ОГТ.

Решаемые задачи:

1. Метрологический контроль условий возбуждения, обеспечивающий определение точного значения тв, эффективной скорости взрыв-поверхности и возможность последующего расчета фактической глубины погружения заряда (рис.4а, б).

2. Построение точной модели ЗМС с привлечением данных метрологического контроля (рис.5а, б), расчет поправок за ЗМС, построение карт соответствующих параметров.

3. Выделение зон развития приповерхностной мерзлоты и классификация площади работ на участки с оптимальными (взрыв ниже подошвы ЗМС) и неоптимальными (взрыв в пределах ЗМС) условиями возбуждения.

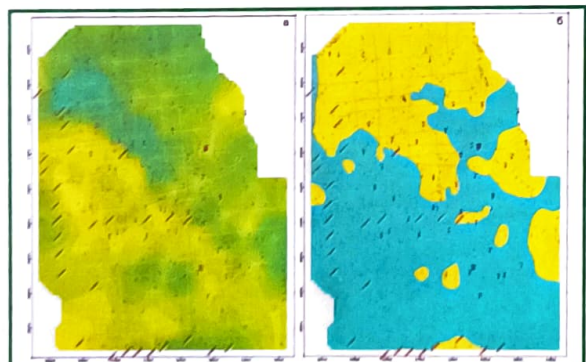


Рис. 7 а) Карта поправок за ЗМС (р-н Старый Уренгой - Красноселькуп).
Нанесены: сетка профилей (красным), скважины (фиолетовым), линии равных значений поправок - мс.
б) Результат вычисления толщин ЗМС из глубины погружения заряда (р-н Старый Уренгой - Красноселькуп).
Нанесены: сетка профилей (красным), скважины (фиолетовым), линии равных значений параметра - м.
Голубым цветом выделены зоны оптимальных условий возбуждения (взрыв ниже подошвы ЗМС), желтым - неоптимальных (взрыв в пределах ЗМС)

что может быть связано с фокусировкой теплового потока над положительными структурными элементами.

После учета ВЧР произошло разделение структурного фактора и фактора ВЧР, исчезли аномалии тв, обусловленные неоднородностями ВЧР.

В принципе, построенная по технологии многоуровневой сейсморазведки модель ВЧР может быть использована для обработки данных МОВ-ОГТ в любой известной обрабатывающей системе (ИНТЕРСЕЙС, VELINK, ПРОСПЕКТ, ГЕОВЕКТОР, ПРОМАКС), т.к. качественная априорная информация о ЗМС и мерзлоте всегда способствует повышению точности и достоверности результатов.

В любом случае, использование данных многоуровневой сейсморазведки приводит к



ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

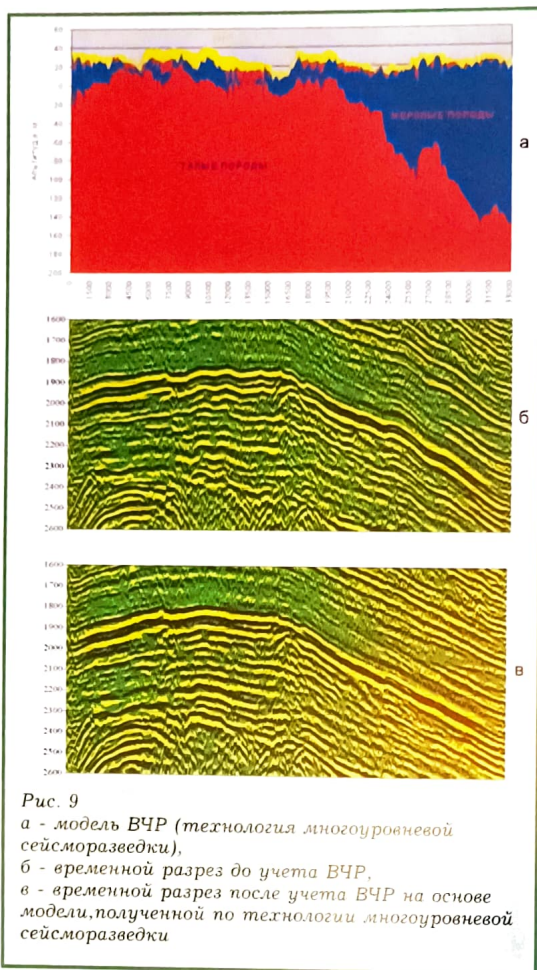


Рис. 9
а - модель ВЧР (технология многоуровневой сейсморазведки),
б - временной разрез до учета ВЧР,
в - временной разрез после учета ВЧР на основе модели, полученной по технологии многоуровневой сейсморазведки

существенному (с $\pm 15 - \pm 25$ м до $\pm 7 - \pm 10$ м) уменьшению среднеквадратических невязок структурных карт. Об этом свидетельствуют результаты систематического сопоставления карт, построенных по технологии многоуровневой сейсморазведки с картами, построенными упрощенным способом (рис.10а, б).

Технология многоуровневой сейсморазведки реализуется путем включения в процесс полевых работ дополнительной аппаратуры.

Комплекс дополнительной аппаратуры для высокоточной сейсморазведки включает станцию взрывного пункта [11], снабженную 48-60 канальной сеймостанцией, установленной на вездеходном транспортном средстве и буксируемую сейсмическую косу, перевозимую от точки к точке волоком тем же транспортным средством.

В процессе полевых работ транспортное средство, нагруженное упомянутым оборудованием, движется на отстреле профилей. На каждом пункте возбуждения коса устанавливается в определенном положении относительно пункта взрыва, и осуществляется прием сейсмического сигнала. Вся эта работа проводится параллельно с работой приемной системы, настроенной на исследование глубинных объектов, при этом сеймостанция дополнительной системы работает в ждущем режиме. Такая технология получения информации не приводит к снижению производительности сейсморазведки.

Технология трехуровневой сейсморазведки впервые была включена в проект сейсморазведочных работ на Северо-Часельской площади в 1997 году.

Некоторые результаты работ на Северо-

Часельской площади приведены в [2, 12]

Фактическая глубина взрыва по результатам контроля в среднем составляет порядка 10 метров, что на 4 метра меньше, чем глубина погружения заряда по рапорту оператора и на 6 метров меньше, чем заложено в проекте. Разность между фактическими значениями глубины по рапортам достигает 10 м, что, по-видимому, обусловлено отсутствием в партии средств погружения заряда в плавун.

Толщина ЗМС изменяется в пределах 5 - 22 метров, скорость в ЗМС 400 - 900 м/с.

Порядка 60% взрывов произведено в пределах ЗМС, т.е. в неоптимальных условиях. Если бы глубина погружения соответствовала проекту, то в пределах ЗМС было бы не более 0,5% взрывов. Верхняя граница приповерхностного слоя мерзлоты залегает на глубине 6-28 метров, абсолютные отметки 0-34 м, толщина изменяется в пределах 80-140 м, скорость волн в слое 2400 м/с. Верхняя граница реликтовой мерзлоты залегает на абсолютных отметках 220 - 300 м, толщина слоя 70 - 140 м, скорость в слое 2300 м/с.

Если задать вопрос, имеет ли ценность, полученная дополнительная информация, ответ будет очевидным - вне всякого сомнения, полученная информация крайне необходима.

Данные о фактической глубине взрыва и глубине подошвы ЗМС в сопоставлении с качеством получаемого материала позволили выявить разницу между проектом и его исполнением и поставить требование о необходимости применения на данном участке средств погружения зарядов в плавун.

Установлено, что отсутствие учета ЗМС из-за больших изменений величин поправок катастрофически увеличивает погрешность сейсморазведки.

По всем профилям устанавливается уровень грунтовых вод, что необходимо для проектирования буровых оснований, и других сооружений.

По изменению скорости головной (прямой) волны, распространяющейся в породах, подстилающих ЗМС, фиксируется подход верхнего слоя мерзлоты к дневной поверхности и подошве ЗМС. Эти данные также могут быть использованы при проектировании конструкций глубоких скважин.

Благодаря применению новой технологии обработки, совокупность всех выше перечисленных данных в сочетании со стандартными

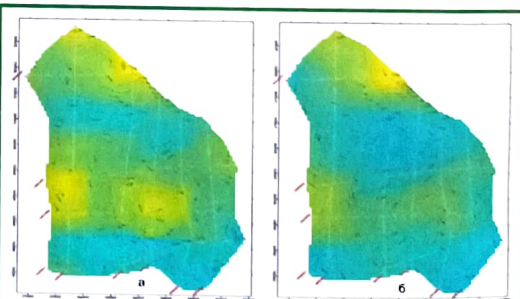


Рис. 10
а - структурная карта по горизонту Г, построенная по стандартной технологии, без учета ВЧР (среднеквадратическая невязка с бурением ± 31 м по данным 23 скважин)
б - структурная карта по горизонту Г, построенная по технологии многоуровневой сейсморазведки (среднеквадратическая невязка с бурением $\pm 7,5$ м по данным 23 скважин)

данными основной системы наблюдений МОВ-ОГТ создает условия для существенного повышения точности определения времен и скоростей до целевых горизонтов. В свою очередь, это обеспечивает повышение точности сейсморазведки и открывает реальную возможность построения надежных геологических моделей при поиске слабоаномальных, малоразмерных и малоамплитудных объектов.

За 8 лет технология многоуровневой сейсморазведки использована на 10 разведочных площадях, характеризующихся весьма сложными поверхностными условиями.

Во всех случаях использование дополнительной информации привело к повышению точности структурных построений, характеризующейся прогнозной величиной среднеквадратического отклонения сейсмических данных от данных бурения в $\pm 6,5$ - 8 м.

На Северо - Часельской площади после выполнения сейсморазведочных работ с прогнозируемым среднеквадратическим отклонением от данных бурения величиной ± 7 м, было пробурено 4 разведочных скважины, подтвердивших заявленную точность съемки (отклонения составили от 3 до 11 м).

Как точность сейсмических данных влияет на формирование себестоимости углеводородного сырья?

От точности сейсморазведки зависит вероятность правильного обнаружения поисковых объектов, причем влияние точности тем больше, чем меньше амплитуды и размеры целевого объекта. Соответственно изменяется и вероятность бурения "удачных скважин". Для целевых объектов с амплитудой более 12 метров снижение погрешности сейсморазведки с ± 12 м до ± 6 м очень мало влияет на вероятность их обнаружения, однако, для объектов амплитудой менее 12 м такое снижение погрешности повышает вероятность правильного обнаружения, в среднем, в 2 раза. Это значит, что на этапе поиска в среднем в два раза сократится количество "неудачных" скважин, соответственно сократятся и сроки опоскования объекта и сроки замораживания капиталовложений.

На этапе разведки также произойдет двукратное сокращение "неудачных" скважин, с соответствующим сокращением сроков и затрат. В период освоения месторождения сокращается количество "неудачных" скважин в окраинных частях структур.

В период эксплуатации точность геометрической формы резервуара влияет на эффективность режимов вытеснения нефти.

Дополнительные затраты, связанные с применением многоуровневой сейсморазведки на один сейсмический отряд (500 лог. км, 48-кратного ОГТ) в ценах настоящего времени - 8 млн. рублей, что составляет не более 5% стоимости одной разведочной скважины и 10% - одной эксплуатационной скважины на территории ЯНАО.

В настоящее время статистически "проваливается" около 50% скважин на поисковых работах и достаточно большое количество при эксплуатационном бурении.

Из этих данных трудно определить экономический эффект от применения многоуровневой сейсморазведки.

Если по результатам работ одной партии в среднем бурят 3 поисковых скважины и 10 эксплуатационных, то, учитывая приведенные выше данные, можно полагать, что "спасение"

хотя бы двух скважин за счет затраченных 8 млн. рублей на многоуровневую сейсморазведку даст экономии 100 млн. рублей при поиске и эксплуатации, не считая прибылей от использования дополнительной информации в других целях.

Выводы:

1. Применяемые технологии выполнения сейсморазведочных работ из-за низкой точности не отвечают требованиям, предъявляемым к информационной базе 21 века.

2. Технология многоуровневой сейсморазведки позволяет значительно увеличить объем получаемой информации и повысить ее точность и достоверность.

3. Относительно небольшое удорожание сейсморазведочных работ при гарантированном повышении точности структурных построений обеспечит 10 - 15 кратную, по сравнению с затратами, экономию средств, обусловленную сокращением неудачных скважин.

Литература

1. Куни Н.Я. Подготовка структур к глубокому бурению для поисков залежей нефти и газа. М.: Недра, 1981.
2. Брехунцов А.М., Бевзенко Ю.П. Об экономике и технологии поисков нефтяных и газовых месторождений в Западной Сибири. Журнал "Геология нефти и газа", № 3, 2000.
3. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н. Пути повышения точности построения геологических моделей залежей в Западной Сибири с использованием сейсморазведки. Геолого-геофизическая научно-практическая конференция ЗапСибОЕАГО, Тюмень, 2000. Тезисы докладов и выступлений.
4. Бевзенко Ю.П., Брехунцов А.М., Долгих Ю.Н. Результаты производственного применения технологии многоуровневой высокоточной сейсморазведки. Геолого-геофизическая научно-практическая конференция ЗапСибОЕАГО, Тюмень, 2000. Тезисы докладов и выступлений.
5. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Зозуля В.А., Шулик С.И. Многоуровневая высокоточная сейсморазведка: решаемые задачи, технология и результаты применения на севере Западной Сибири. Геолого-геофизическая научно-практическая конференция ТюменьОЕАГО, Тюмень, 2001. Тезисы докладов и выступлений.
6. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка перспективное направление повышения качества сейсморазведочных работ для недропользователей. Геолого-геофизическая научно-практическая конференция ТюменьОЕАГО, Тюмень, 2003. Тезисы докладов и выступлений.
7. Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Трандин С.М. Многоуровневая сейсморазведка. Повышение точности сейсморазведочных работ на основе изучения БЧР и учета волн-спутников с малой задержкой. Журнал "Горные ведомости", № 2, 2004.
8. Долгих Ю.Н. Эффективность интерференционной системы МОВ-ОГТ в отношении волн-спутников возбуждаемого сигнала. Журнал "Нефть и газ", № 2, 2001.
9. Долгих Ю.Н. О возможности учета волн-спутников возбуждаемого сигнала в рамках технологии многоуровневой высокоточной сейсморазведки. Геолого-геофизическая научно-практическая конференция ЗапСибОЕАГО, Тюмень, 2001. Тезисы докладов и выступлений.
10. Долгих Ю.Н. Влияние изменений формы сейсмического сигнала на точность сейсмоструктурных построений. Журнал "Нефть и газ", № 2, 2003.
11. Бевзенко Ю.П., Брехунцов А.М., Долгих Ю.Н., Кориков А.П. Станция взрывного пункта. Патент РФ № 2142149 кл. G01V1/104, опубл. 1999 г., бюлл. № 33.
12. Бевзенко Ю.П., Брехунцов А.М., Долгих Ю.Н. Результаты производственного применения технологии многоуровневой высокоточной сейсморазведки. Журнал "Нефть и газ", № 1, 2002.

ИННОВАЦИИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ