

Юрубчен, сейсморазведка 3D

Антоненко А.В., ЗАО «Красноярскгеофизика»; Кашицын А.В., Жужель В.С., ОАО «Востсибнефтегаз»; Гурьев С.В., «Тюменнефтегеофизика»; Реззов В. И., ООО «Фирма ГЕОСЕЙС»

Значительный объем новой информации о строении Юрубченского нефтегазового месторождения получен в результате последних исследований района сейсмическими методами разведки. Несмотря на многолетнюю историю его изучения [1,2,3] и привычно пессимистическую оценку качества сейсмических материалов восточной Сибири, работы МОГТ 3D позволили выявить неожиданно тонкие особенности исследуемой среды. По мнению авторов статьи, некоторые элементы использовавшейся методики работ играют в этом ключевое значение.

Сейсмические работы на Юрубченском лицензионном участке проводятся для уточнения геологического строения месторождения в зоне распространения запасов категории C_2 , детального изучения структуры и направления трещин в продуктивной части разреза, прогнозирования положения и коллекторских свойств высокодебитных зон и выработки рекомендаций по постановке эксплуатационно-разведочного бурения.

Методическое сопровождение работ 3D, приемка, обработка и интерпретация полевых материалов выполнялась ЗАО «Красноярскгеофизика» (КГФ) по заказу ОАО «Восточно-Сибирская нефтегазовая компания» (ВСНК). Площадь съемки на данном участке последние несколько лет постоянно увеличивается. Первые полевые работы 3D выполнены в 1996-98 годах Илимпейской ГЭ ОАО «Енисейгеофизика» на площади 180 км². В 2002 году по договору субподряда с ООО «Богучанская ГЭ» (БГЭ) выполнены полевые работы с сезонным заданием

100 км². В 2003 г. ОАО «Тюменнефтегеофизика» (ТНГФ) выиграла конкурс на двухлетнее продолжение работ 3D с годовым заданием 450 км². К настоящему времени общая площадь съемки составляет 1166 км². Географическое положение участка показано на рис. 1.

Сезонное наращивание площади и почти десятилетняя продолжительность работ привели к тому, что методика полевых работ на некоторых смежных участках оказалась разной. Однако существенных краевых эффектов при обработке данных удалось избежать благодаря использованию однотипных источников сейсмических колебаний. ОАО «Енисейгеофизика» и ОАО «Богучанская ГЭ» использовали электромагнитный импульсный источник «Енисей», а ОАО «Тюменнефтегеофизика» - электромагнитный импульсный источник «Геотон». Оба этих источника имеют один и тот же принцип действия, но отличаются конструктивно. Фотографии источников, транспортируемых по профилю тракторами, приведены на рис.1. Система наблюдения волновых полей крестовая. Некоторые параметры ее незначительно менялись с течением времени, но большая часть площади обработана с использованием азимутально равномерной системы, шаблон которой показан на рис. 1. Он состоит из десяти приемных линий, расположенных через 400 метров. Каждая из них имеет по 128 приемных каналов с шагом 50 метров. Линии возбуждения расположены через 400 метров ортогонально приемным. Шаг пикетов возбуждения - 50 метров. При постоянном положении шаблона отрабатываются 48 пикетов возбуждения между первой и седьмой приемными линиями по центру расстановки. После этого первые шесть приемных линий коммутируются на следующую позицию. При размере бина 25х25 метров кратность ОГТ составляет 40 накоплений. Использование описанной системы наблюдения позволяет получить достаточно равномерную систему данных в пределах удалений источник - приемник до 3500 метров. На том же рисунке приведена диаграмма азимутальной направленности системы и гистограмма распределения кратности по удалениям. Регистрация волновых полей осуществлялась сейсмической станцией Sercel 408UL. В расстановке для коммутации использовалось до 2000 каналов. Приемный канал представлял собой группу из 12 сейсмических приемников GS20-DX, соединенных последовательно-параллельно с точечным группированием. То есть, все приборы группы устанавливались на минимальную, компактную площадку в утрамбованный снег на глубину 0,5 метра или в накатанную колею снегохода. Выбор всех описанных выше параметров не случаен. Ниже мы рассмотрим повлиявшие на него особенности строения изучаемой территории.

Верхняя часть геологического разреза (рис. 2) представлена породами кембрия с пластовыми интрузиями долеритов трапповой формации и четвертичными отложениями. На водоразделах сохранились ордовикские отложения. В этой

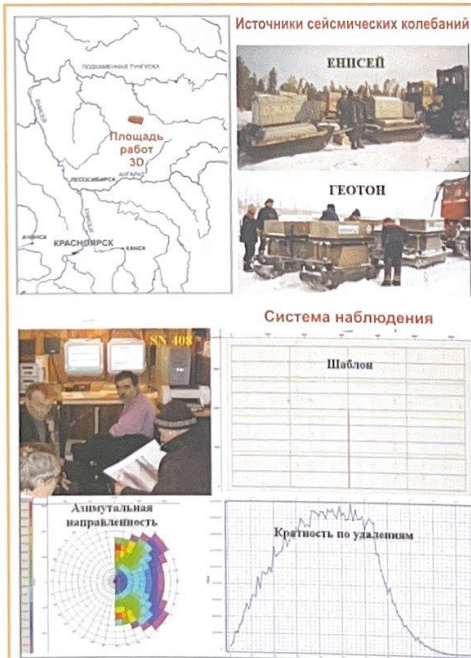


Рис. 1. Методика сейсморазведочных работ 3D на Юрубченской площади.

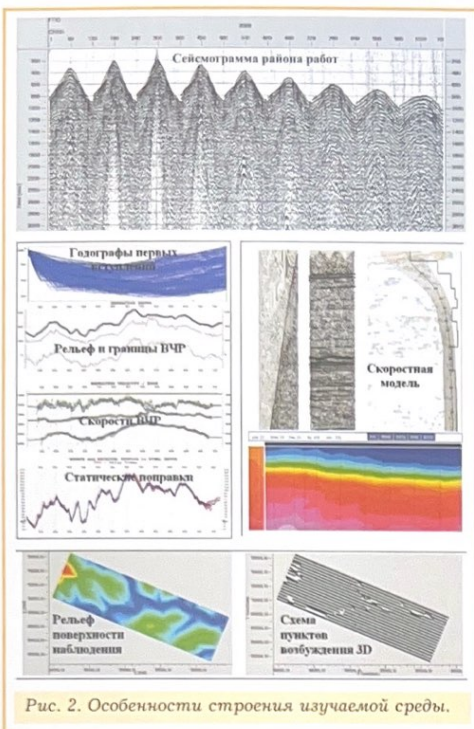


Рис. 2. Особенности строения изучаемой среды.

части акустически выделяются три зоны: зона малых скоростей (900 - 1600 м/с), зона повышенных скоростей (2800 - 3600 м/с) и зона стабилизации скоростей (4500 - 6000 м/с). Контрастные границы этих зон хорошо определяются по голограммам головных волн регистрируемых в первых вступлениях. На рис. 2 представлены результаты обработки первых вступлений. Средняя часть разреза представлена соленосно-карбонатными отложениями нижнего кембрия и терригенно-карбонатными отложениями венда, залегающими на размытой поверхности рифейского, преимущественно карбонатного, комплекса. Весь этот интервал также относится к зоне стабилизации скоростей. Распределение скоростей сейсмических волн с глубиной и зональность сейсмического разреза отчетливо просматривается на вертикальных спектрах скоростей, представленных в правой части рассматриваемого рисунка.

Как видно из графика рельефа поверхности наблюдения, изменение отметок рельефа по площади работ составляет более четырехсот метров. Эти тяжелые поверхностные условия для выполнения полевых работ дополняют наблюдения в левом нижнем углу рисунка видно частое чередование водоразделов и пойм рек. Третья особенность приповерхностной части - наличие траппов. Опыт проведения сейсмических работ в данном районе показал, что вибрационные источники сейсмических колебаний не могут работать на крутых склонах из-за опасности переворота. Также возникают сложности при работах на льду и по крутым берегам рек. В результате, проектная схема пикетов возбуждения серьезно осложняется смещениями в точки дострела. Нижний график среди параметров верхней части разреза - статические поправки, компенсирующие выявленные неоднородности. Изменения поправок по площади работ достигают 200 мс. Нет сомнения, что определить

их по отраженным волнам невозможно. Поэтому прослеживание первых вступлений головных волн в этой ситуации принципиально необходимо. Вибрационные источники не могут формировать крутой фронт вступления волны в первых вступлениях, поэтому использование импульсных источников предпочтительнее.

Проводя сравнение взрывных и невзрывных импульсных источников, следует отметить, что заглубление заряда в скважину полезно для уменьшения разного рода приповерхностных волн. Но крутой рельеф местности, реки и, главное, траппы, выходящие на поверхность приводят к существенному изменению проектной схемы пикетов взрыва и подрыву зарядов практически на поверхности земли. Невзрывные источники "Енисей" и "Геотон" справляются в данных условиях с поставленными задачами существенно лучше, поскольку с приповерхностными волнами можно успешно бороться. По этим же причинам для территории работ характерна большая стабильность формы импульса невзрывных источников. В правом нижнем углу рассматриваемого рисунка показан фрагмент фактического положения пунктов возбуждения, отработанных с источником "Геотон". Изменение проектной схемы в этом случае минимально.

Приемники группируются в точке по двум причинам. Во-первых, крутые углы падения рельефа не изменяют фильтрационные свойства такой группы вдоль приемного профиля. Во-вторых, первые вступления головной волны, распространяющейся со скоростью 3500 м/с, не растягиваются на 11 мс базой группирования

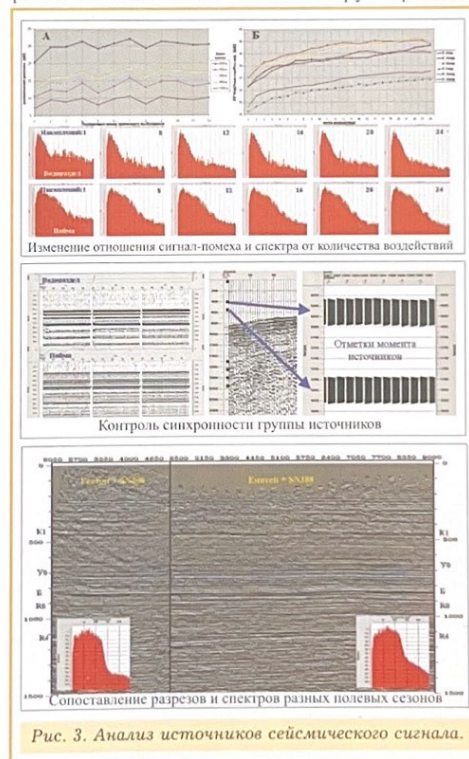


Рис. 3. Анализ источников сейсмического сигнала.

38,5 метров. Автоматическое прослеживание первых вступлений происходит на основе анализа изменения энергии трассы, обусловленное регистрацией волны от источника. Поэтому крутой фронт вступления крайне важен для точного прослеживания первых вступлений волн.



ТЕЛЕМЕТРИЯ СЕГОДНЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

При описании системы наблюдения азимутальная равномерность наблюдений рассматривалась до удалений 3500 метров. Это вызвано тем, что выбранный для обработки данных мьютинг обрезает их на удалениях, превышающих этот порог для времен регистрации целевых отражающих горизонтов. В свою очередь, мьютинг выбирался в автоматическом режиме по растяжке сейсмического импульса. Максимально допустимым значением растяжки импульса выбрано значение 30%. В этом случае не происходит существенного искажения временного разреза низкими частотами и наилучшим образом удалается цуг приповерхностных волн вблизи первых вступлений.

Большое внимание при выполнении полевых работ ОАО «Тюменнефтегеофизика» было уделено проверке идентичности получаемых результатов (источник «Геотон») с данными предыдущих сезонов (источник «Енисей»). Для этого перед началом полевого сезона на площади выполнены опытные работы.

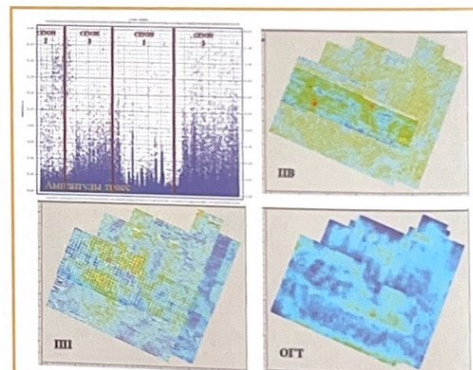
В первую очередь эти работы позволили выбрать количество невзрывных источников в группе и количество воздействий на каждом пикете. Количество источников в группе выбрано так, чтобы на максимальном удалении взрыв-прибор уверенно прослеживались волны, возбуждаемые источником. Оказалось, что на удалениях в пять километров волны регистрируются уверенно при объединении в группу 16 источников «Геотон». Количество воздействий группы было выбрано на основе двух систем графиков, изображенных в верхней части рис. 3. Левый из них иллюстрирует изменение отношения сигнал-помеха при последовательных одиночных ударах на одном пикете. Заметное увеличение отношения сигнал-помеха в начальной части графика (3 удара) обусловлено уплотнением грунта под источником при последовательных воздействиях. Кроме этого, было обнаружено, что при первых ударах с деревьев падают шапки снега, повышая фон помех. В связи с этим было рекомендовано на пикете предварительно выполнять 3 удара без регистрации. На соседнем графике рассматриваемого рисунка изображено увеличение отношения сигнал-помеха при последовательном суммировании накапливаемых воздействий. Как и следовало ожидать, отношение изменяется как корень квадратный из количества накоплений. Ураганные помехи при суммировании становятся в количестве накоплений раз меньше. Необъяснимый перегиб этого графика в области 14 - 16 накоплений позволил объявить оптимальное число накоплений.

После выбора размера группы и количества воздействий была выполнена проверка частотного состава генерируемого импульса. На второй позиции сверху в рассматриваемом рисунке находятся частотные спектры волновых полей при положении источника в двух разных условиях - на водоразделе и в пойме реки. На первый взгляд спектры отличаются очень существенно! Но при дальнейшем анализе ситуации оптимистическая оценка берет верх: даже в худшей ситуации частотный спектр сигнала переваливает отметку 100 Гц и при увеличении накоплений неуклонно движется вверх.

Поскольку в результате работ оказалось, что окончательная сейсмограмма будет состоять из огромного количества одиночных ударов (16 источников $\times$ 16 накоплений = 256), встал вопрос о способности системы управления и синхронизации справиться с этой задачей при высокой заданной точности. Расположенный в центральной части рис. 3 блок из трех картинок показывает два имеющихся способа проверки системы синхронизации источников и воздействий. Слева показаны выборки служебных каналов, на которых записана информация с сейсмических приемников, расположенных рядом с полемом источника. Функция взаимной корреляции этих данных может дать ответы о синхронности воздействий. В существующих сегодня системах управления встроены средства проверки, упрощающие этот процесс. На центральной картинке изображена сейсмограмма и служебный канал с отметками момента для каждого источника. На правой картинке увеличенное изображение двух отметок момента. Имеющиеся флуктуации момента срабатывания источников находятся в пределах 0,3 мс. Контролировать просто и быстро!

Последним этапом опытных работ было профилирование на участке 3D прошлого сезона. Результаты обработки этого материала и временной разрез куба данных по соответствующей линии представлены в нижней части рис. 3. Никаких существенных различий атрибутов сейсмической записи временных разрезов обнаружено не было. Видимый период сигнала на разрезах 70 Гц, а на частотных спектрах рабочая полоса доходит до 120 Гц.

Летит время, и вот уже в обрабатываемом проекте «ProMAX» на восьмипроцессорном сервере SUN Fire 1166 км² модели Юрубенской территории. Обработка выполнялась в два этапа. Первый этап - кинематическая обработка, второй - обработка с сохранением истинных отношений амплитуд. Оценки параметров ВЧР для расчета статических поправок выполнялись по первым вступлению головных волн (рис. 2). Далее



Анализ амплитуд по горизонту R0

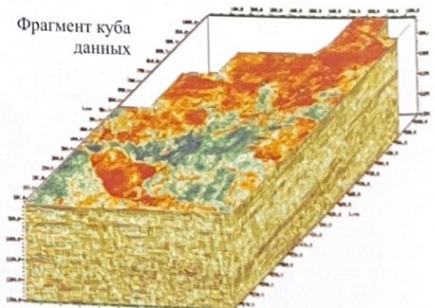


Рис. 4. Результаты поверхностно-согласованного анализа амплитуд и суммирования по ОГТ.

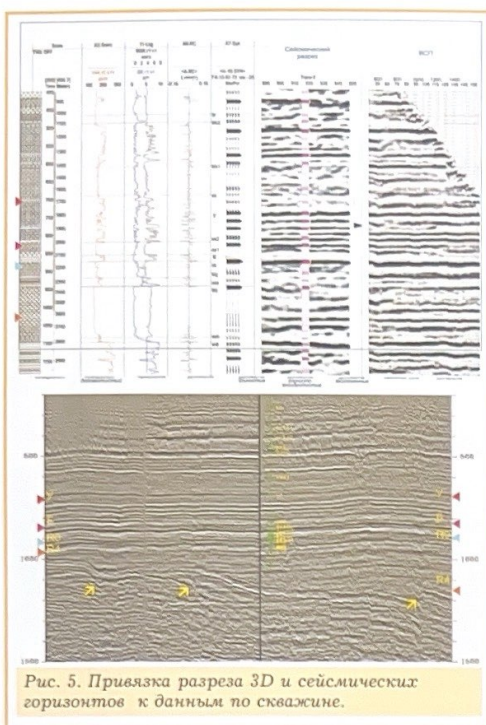


Рис. 5. Привязка разреза 3D и сейсмических горизонтов к данным по скважине.

выполнено подавление приповерхностных волн-помех частотной и веерной фильтрацией. Компенсировано затухание высоких частот процедурой Qcompensation. Выполнена минимальнофазовая деконволюция сжатия импульса. За этими преобразованиями последовали итеративные коррекции остаточных статических и кинематических поправок. Пример вертикального спектра скоростей приведен на рис. 2. Оценка корректирующих статических поправок выполнялась во временном окне 300 мс по опорным отражающим горизонтам кембрия и венда. В результате этой длительной, но не очень интересной процедуры все параметры, необходимые для оптимального суммирования сейсмограмм были получены. Дальнейшее суммирование по ОГТ, обработка данных после суммирования (FXU деконволюция) и миграция подтвердили, что данные обработаны с надлежащим качеством, и этап кинематической обработки данных можно завершать. Динамическая обработка преподнесла несколько сюрпризов. После учета геометрического расхождения и редакции аномально высоких амплитуд, выполнения поверхностно согласованного выравнивания амплитуд за неравнозначные условия возбуждения и приема оказалось, что на составляющих по пунктам возбуждения колебаний в некоторых точках исследуемой площади существуют оценки амплитуд существенно превышающие средние значения по площади (верхняя часть рис. 4). Естественно, эти амплитуды оказались звуком работы бурящихся скважин. Выбор параметров динамической обработки несколько снизил проявления шумов в области ОГТ. И под краевыми эффектами съемок стали проступать собственно глубинные аномалии. Поверхностно согласованная деконволюция выравнивала частотный состав и, в итоге, появился окончательный мигрированный куб данных изображенный в нижней части рис. 4.

Вся дальнейшая работа выполнялась

программным комплексом "SeisWorks". В созданный проект был загружен куб амплитуд и данные геофизических исследований скважин. Выполнено моделирование волнового поля и привязка к данным по скважинам. Полученные результаты представлены на рис. 5. Прослежены основные опорные и целевые сейсмические горизонты. По этим горизонтам выполнена палеорекострукция и построены срезы куба амплитуд.

Анализ среза куба данных по отражающему горизонту У (верхняя часть рис. 6) показал, что проступающие на его поверхности концентрические объекты также хорошо прослеживаются на параллельных ему, но расположенных ниже по разрезу сечениях куба данных. Большинство из них, начинаясь вблизи этого горизонта, прослеживаются вниз по разрезу на значительную глубину. Реконструируя объекты по их сечениям, мы убеждаемся, что в пространстве они имеют вид трубок (нижний фрагмент рис. 6). Учитывая, что в данном районе скважинами вскрыты трапповые поля, можно предположить, что это - подводящие каналы интрузий долеритов или трубки взрыва. Пример моделирования трубки взрыва, приведенный в правой части рисунка хорошо согласуется с наблюдаемыми аномалиями волнового поля. Если опираться на форму объектов и их приуроченность к залежи углеводородов, то можно предположить их связь с теорией геосолитонов Р.М.Бембея [4]. Интересной особенностью пространственного положения трубок является их связь с горизонтом У. Только единичные трубки прослеживаются на меньших временах - приблизительно 300 мс, что соответствует глубинам около 450 метров. Возможно они изменили форму, разбившись на более мелкие объекты, возможно свойства среды

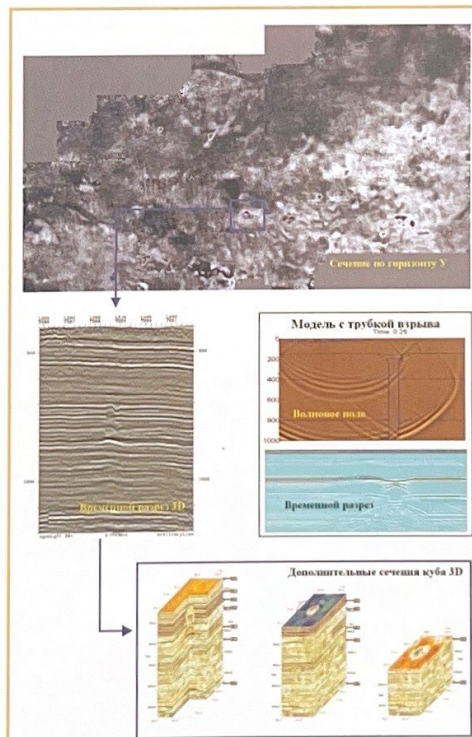


Рис. 6. Проявление штока в волновом поле 3D и моделирования.

ТЕЛЕМЕТРИЯ СЕГОДНЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

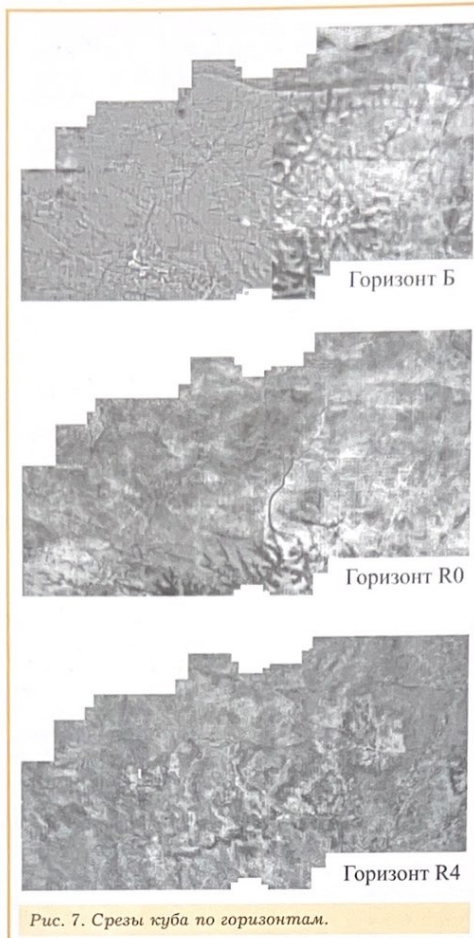


Рис. 7. Срезы куба по горизонтам.

вблизи горизонта У просто прекращают их распространение к свободной поверхности. Еще одна характерная особенность трубок: часть из них расположена хаотично, часть линейно, а часть образует концентрические иерархические структуры.

На рис. 7 представлены сечения куба амплитуд по горизонту Б в кровле венда (верхний рисунок), по эрозионной поверхности рифея (горизонт R0 - средний рисунок) и по горизонту R4, находящемуся внутри рифейской толщи.

На верхнем из них прослеживаются системы линейных элементов. Предположительно это нарушение сплошности толстого однородного слоя карбонатов, вызванное тектоническими движениями по границам блоков пород, разделенных еще в рифейское время. Это подтверждает анализ структуры поверхности горизонта R4 по вертикальным (рис. 5) и горизонтальным (нижняя часть рис. 7) срезам сейсмического куба. На них отчетливо прослеживаются аналогичные системы. Вертикальный разрез куба данных показывает, что рифейские

разломы неравнозначны. Часть из них не имеет значимого смещения по вертикали (возможно латеральные смещения), а часть имеет амплитуду смещения до 300 метров. Поскольку вид сигнала от отражающего горизонта R4 достаточно выдержан на значительных территориях, а вендские и кембрийские отложения вертикальными тектоническими движениями не затронуты, можно предположить, что рифейские отложения подверглись разломной тектонике во время образования эрозионной поверхности. Следовательно, выходящие на разных крыльях разлома породы могут отличаться по возрасту. Интересна треугольная форма блоков рифея и разный вид систем оперяющих трещин. Такая форма пород рифейского возраста проявляется не только в пределах рассматриваемого участка, но и в северной части Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции.

Неоднородность эрозионной поверхности рифея хорошо видна на срезе по горизонту R0 (рис. 7). Во-первых, в центральной части площади отчетливо прослеживаются основное палеорусло и меандры его притоков, причем его направление - с севера на юг, не совпадает с направлением современной гидросети - с запада на восток. Во-вторых, вдоль южной части планшета съемки 3D распространены системы береговых врезов. На рисунке они расположены в нижней части и имеют характерный вид - протяженные прямолинейные элементы. Обломочный материал, аккумулятивный в них, может стать объектом поиска.

Таким образом, анализ сейсмического материала показывает, что на нем выделяется целая группа связанных между собой объектов, позволяющая получить новую информацию о геологическом строении исследуемой территории.

Завершая обзор полученных результатов, хочется отметить, что получить их позволил удачный выбор техники и методики при проведении всего комплекса работ от проектирования и полевых работ до обработки данных.

Литература

1. Кошук Е.П., Кошук Н.П. Анализ значимости факторов структурно-литологического контроля залежей УВ в рифейских отложениях Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции по материалам бурения, сейсморазведки МОГТ и электроразведки ЗСБ. В сб. «Прямые геохимические и геофизические методы поисков месторождений нефти и газа на территории Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и других нефтегазоносных бассейнов», «Красноярскприродресурсы», Красноярск, 1999.
2. Конторович А.А. Подсчет запасов нефти, газа и конденсата Юрубчено-Тохомского месторождения. Отчет по подсчету запасов УВ по состоянию на 01.07.95. «Енисейнефтегаз», Красноярск, 1995.
3. Корсунов И.В., Ильин С.Н., Ефимов А.С. Информационный отчет о геологических результатах опытно-производственных работ по методике трехмерных наблюдений в центральном блоке ЮТЗ. «Енисейгеофизика», Енисейск, 1997.
4. Бембель Р.М., Мергера В.М., Бембель С.Р. Геосолитоны: функциональная система земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003.

Вниманию читателей

В журнале №2(11)/2005, в статье Ю.А. Бару "Выбор основных параметров и типа линейного электродвигателя для импульсных электрохимических сейсмостимуляторов" по вине редакции на рисунках 2 и 3 поменялись местами цвета. Красный цвет - электродинамический ЛИЭД, зеленый - электромагнитный.

Редакция журнала приносит свои извинения автору статьи.