

СТРУКТУРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СДВИГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ – ПОПЫТКА СИСТЕМАТИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФЕНОМЕНА

Г. Н. Гогоненков, первый заместитель генерального директора, д-р техн. наук

А. С. Кашик, генеральный директор, д-р техн. наук

А. И. Тимурзиев, заместитель главного геофизика, канд. геол.-минерал. наук

ОАО ЦГЭ

Специалистами Центральной геофизической экспедиции по результатам обработки и интерпретации данных сейсморазведки 3D на севере Западной Сибири выявлен особый тип разломов осадочного чехла, связанный с проявлением горизонтальных сдвигов фундамента [1]. Благодаря широкому внедрению сейсморазведки 3D стало очевидным, что проявление структур горизонтального сдвига (СГС) в Западной Сибири – явление широко распространенное. Геологический феномен, связанный с СГС, выходит за рамки традиционных представлений о структурных объектах этого региона и не поддается интерпретации стандартными методами геолого-геофизического анализа. Многочисленные примеры доказывают, что СГС достоверно картируются только сейсморазведкой 3D, в то время как на огромных территориях севера Западной Сибири они неверно интерпретируются по данным сейсморазведки 2D.

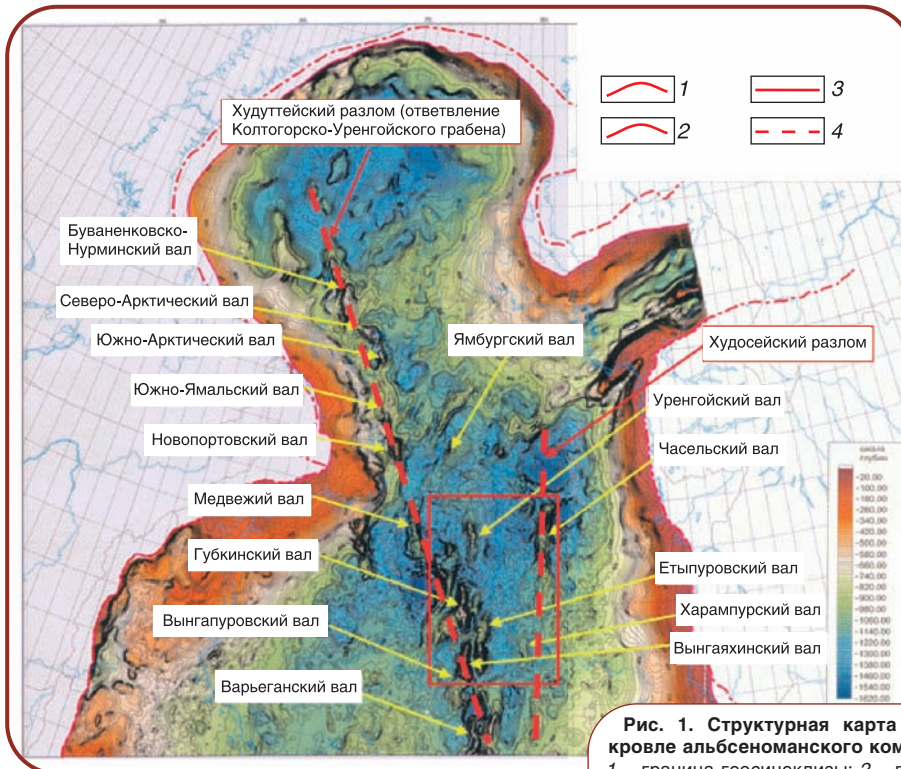
География распространения и тектоническая позиция СГС

СГС достоверно выделены сейсморазведкой 3D в пределах Пуровского района Надым-Тазовской синеклизы на ряде площадей ОАО «Газпром нефть», ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз», ОАО НК «Лукойл» и других недропользователей (группа Еты-Пуровских, Комсомольских, Харампурских, Часельских поднятий, Кынское, Русское, Новогоднее, Губкинское и другие поднятия). Они покрывают территорию общей площадью более 500 тыс. км² – от северной границы Ханты-Мансийского округа до полярных широт, – включающую крупнейшие месторождения углеводородов. Анализ данных сейсморазведки 3D западнее Вынгапуровского вала и Северного свода и южнее Широкого Приобья свидетельствует о заметном ослаблении признаков проявления СГС. В то же время северная (арктичес-

кая) и восточная (до меридиана р. Енисей) границы распространения СГС не определены и есть все основания полагать, что огромная территория севера Западной Сибири и Карского моря, где выявлены гигантские месторождения газа, также подвержена сдвиговым деформациям.

По результатам обобщения данных сейсморазведки 2D (Восточно-Етыпуровская, Вальнтойская, Урабор-Яхинская, Ванско-Намысская, Западно-Харампурская и другие поисковые площади), региональных структурных построений [2] и схем тектонического районирования (В. С. Сурков, О. Г. Жеро, 1981) можно предположить распространение СГС по всей территории центральной части Западной Сибири – от Широкого Приобья до арктического Заполярья. Анализ свидетельствует о проявлении СГС на телах валов, мезо- и мегавалов, образующих линейную надпорядковую мегаструктуру северо-западного простирания. Эта структура, помимо валов с доказанным работами 3D проявлением СГС (Вынгапуровский, Вынгапуровский, Еты-Пуровский, Северо-Губкинский валы, группа Комсомольских поднятий, Новогоднее, Ярайнерское поднятия), включает Центрально-Уренгойский, Медвежий, Новопортовский, Южно-Ямальский, Нурминский, Северо- и Южно-Арктические мезовалы, Бованенковско-Нурминский мегавал, Варьганский вал и другие поднятия, расположенные в створе этой мегаструктуры, в пределах которых предполагается развитие СГС. На структурной карте по кровле альбсеномана [2] эта структурная линия выражена цепочкой кулисного сочленения перечисленных поднятий к глубинному шву Западной Сибири, связанному с Худуттейским ответвлением Колтогорско-Уренгойского рифта. Вторая линия, выраженная цепочкой кулисного сочленения Харампурского, Часельского, Русского, Тазовского и других валов, продолжающихся в сторону Большехетской впадины и Енисей-Хатангского прогиба, связана с активизированными на новейшем этапе фрагментами Худосейского рифта (рис. 1).

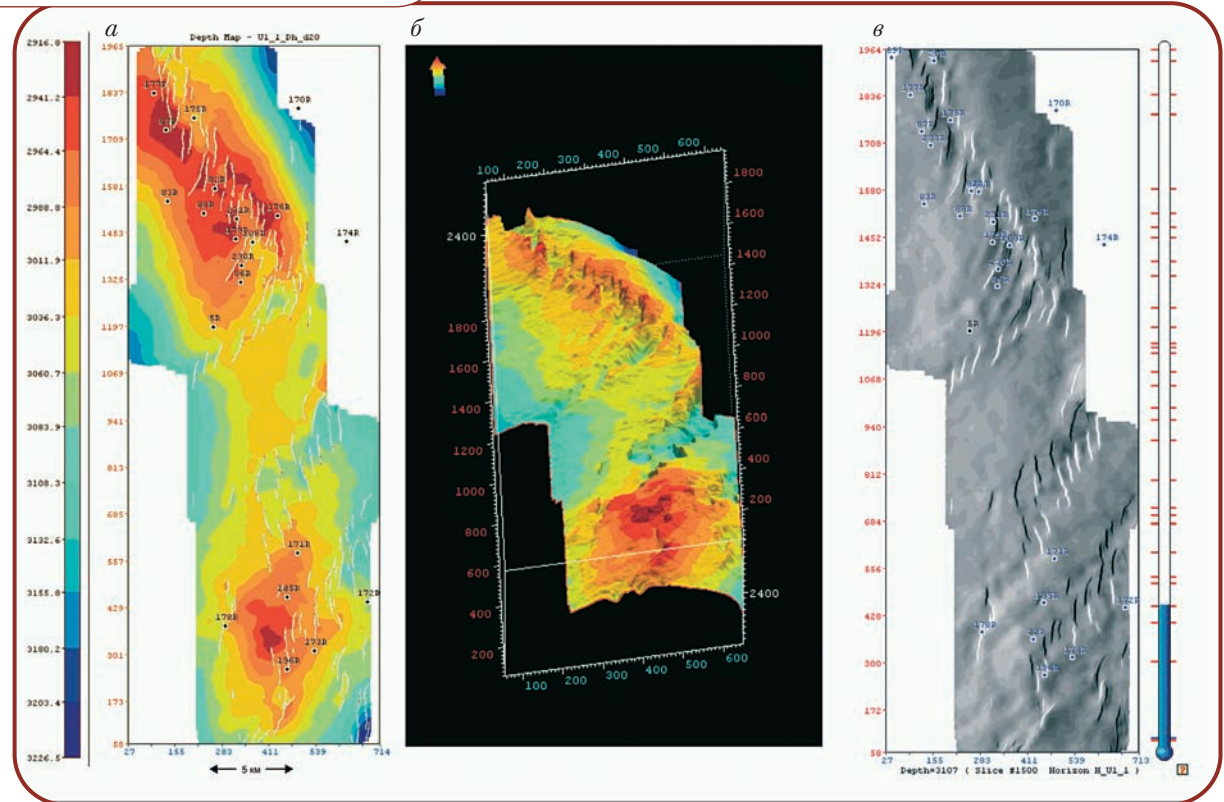
Сдвиги фундамента установлены на Вынгапуровской, Вынгапуровской, Ярайнерской и других площадях ОАО «Газпром нефть», где их строение и генезис идентифицируют характерные кулисные зоны разломов в плане и



структуры «пальмового дерева» и «цветка» в разрезе осадочного чехла. Распространение СГС на юг предполагается по ряду косвенных признаков в пределах Надым-Пуровской (западная линия) и Васюганской (восточная линия) нефтегазоносной области Ханты-Мансийского АО на структурах Варьеганского, Тагринского и Ларьеганского валов (группа Варьеганских, Ваньеганских и Кошильских поднятий), Бахиловского, Александровского и Междуреченского валов (Бахиловские, Хохряковские, Пермьяковские, Колик-Еганские поднятия). Признаки проявления СГС имеются и на Самотлорском месторождении. Все это свидетельствует о региональном характере процессов, определивших ак-

Рис. 1. Структурная карта Западно-Сибирской геосинеклизы по кровле альбсеноманского комплекса по [2] с дополнениями:
 1 – граница геосинеклизы; 2 – граница распространения сеноманских отложений; 3 – положение площадей с доказанными СГС по материалам сейсморазведки 3D; 4 – предполагаемые надпорядковые линейные швы, связанные с региональными сдвигами фундамента, на теле активизированных на неотектоническом этапе фрагментов (ответвлений) Колтогорско-Уренгойского грабенифрита (Худуттейский и Худосейский разломы)

Рис. 2. Еты-Пуровский вал (ЦГЭ, 2006). Структурная модель горизонта Ю₁ (васюганская свита верхней юры):
 а – структурная карта; б – куб структурной поверхности (аксонометрия); в – карта углов наклона (угол подсветки 270°)



тивизацию в пределах Западной Сибири горизонтальных сдвигов фундамента в позднекайнозойское время.

● Особенности строения СГС

Особенности строения СГС рассмотрим на примере Еты-Пуровского месторождения (одноименный вал, структура 2-го порядка) и осложняющего его Северного купола – структурного элемента 3-го порядка (рис. 2). Разломы чехла, картируемые съемкой 3D, идентифицируются как структурные признаки горизонтальных сдвигов фундамента по ряду характерных особенностей: кулискому расположению систем оперяющих разломов, эшелонированным цепочкам приразломных складок, наличию линейных впадин присдвигового растяжения. В пределах шовных зон сдвигов фундамента образовались сопряженные зоны сжатия – растяжения, выраженные отрицательными (грабены) и положительными (горсты) структурами, рассматриваемые как присдвиговые складки волочения. Картина эта с небольшими отличиями закономерно повторяется на всех сейсмических горизонтах, начиная от низов тюменской свиты и заканчивая самыми верхними горизонтами осадочного чехла вплоть до земной поверхности.

Преобладающее простирание оперяющих кулис шовной зоны сдвигов фундамента – меридиональное (350–360°). Кулисы группируются в линейную зону северо-западного простирания (310–320°) шириной от 1,0–1,5 км в низах осадочного чехла до 5,0–6,5 км в кровле верхнего мела. По простиранию шовная зона выполнена грабенами и впадинами присдвигового растяжения. Ширина грабена 0,5–1,0 км, глубина – 50–100 м по кровле верхнего мела. Протяженность шовной зоны сдвигов фундамента более 20 км (в пределах куба 3D). Приразломные складки располагаются кулисообразно по отношению к оси горизонтального сдвига под углом от 10–20° в низах юры до 30–40° в верхах мела. Сверху вниз к фундаменту кулисы складываются, как веер, в плоскость сдвига. Характерно чередование вкрест кулис шовной зоны опущенных (грабены) и приподнятых (присдвиговые складки) блоков, а также встречные углы падения оперяющих сбросов (разная полярность) и гипсометрической инверсии приразломных структур по разные стороны от плоскости сдвига. Уменьшение вертикальной амплитуды сбросов вниз по разрезу, фронтальное положение складок волочения к плоскости сдвига, наличие грабен-структур проседания над шовной зоной, структура «пальмы» в вертикальном сечении и другие признаки свидетельствуют о сдвиговой правосторонней кинематике смещения с трансензионной составляющей (сдвиг с элементами растяжения) для северо-западных сдвигов фундамента Еты-Пуровского вала.

Оперяющие кулисы сдвигов фундамента имеют две компоненты смещения и представляют собой комбина-

рованный тип сбросо-сдвигов и взбросо-сдвигов. Сбросовая составляющая деформаций подчеркивается элементами грабен-горстового строения свода по всему разрезу осадочного чехла. Амплитуда вертикального смещения увеличивается вверх по разрезу и достигает 100 м в кровле верхнего мела. Сдвиговая составляющая деформаций в строении Северного купола подчеркивается элементами смещения восточного блока структуры в юго-восточном направлении, а западного блока – в северо-западном направлении вдоль шовной зоны сдвига. Амплитуда горизонтального сдвига оценивается первыми километрами по базальным горизонтам юры и кровли фундамента, тип смещения – правый сдвиг. СГС Южного купола и Центрального блока Еты-Пуровского вала имеют общие структурные признаки и генезис. От Северного купола их отличает простирание осей сдвигов (северо-восточное), кинематика и стратиграфический диапазон проникновения в чехол. При общности морфологических черт сдвиги северо-восточного простирания имеют левую кинематику и образуют единую тектонопару (динамопару сколов) со сдвигами северо-западного простирания Северного купола¹.

● Сейсмический образ СГС

Оперяющие кулисы сдвигов фундамента в поперечном сечении образуют пучок субпараллельных, сходящихся к основанию разломов. Плоскости их в проекции оси схождения фиксируют источник разрывообразования существенно ниже кровли фундамента (рис. 3). По данным сейсморазведки 3D, проседание блоков по системе сбросов фиксируется повсеместно в сводах структур Пур-Тазовской синеклизы в интервале от кровли фундамента до земной поверхности. Стратиграфический диапазон, охваченный структурами вторичного обрушения сводов и формированием наложенных грабен-прогибов на телах СГС, коррелирует с интервалом «вспарывания» чехла оперяющими кулисами и является функцией интенсивности деформаций горизонтального сдвига. Сложные комбинации грабен-горстовых структур отражают неоднородность напряженно-деформированного состояния земной коры и идентифицируют чередование по площади и разрезу зон сжатия и растяжения горных пород. В поперечном сечении СГС образует в чехле структуру «пальмового дерева», характерную для трансензионных сдвигов различных стадий развития.

Плоскости разломов имеют пологие углы падения, что свидетельствует о проявлении при их формировании режима растяжения, запечатленного элементами сбросовой тектоники. Типичные углы падения сбросов от 50–60° в верхней части разреза до 70–80° в нижней². Часто наблюдаемые сбросы являются бескорневыми, т. е. не прослеживаются ниже чехла, еще чаще наблюда-

¹Единственное из известных нам исключений связано с Северо-Комсомольской площадью, для которой основной северо-восточный сдвиг имеет правостороннюю кинематику в интервале меловых отложений.

²Изображение разрезов приводится для наглядности в искаженном масштабе (по горизонтали разрез сжат), в связи с чем истинные углы наклона разломов отличаются от наблюдаемых на рисунках.

ется затухание разломов внутри чехла на различных срезах юры и мела. Другая особенность структуры «пальмового дерева» – обновление «кроны» более молодыми «побегами» – разломами самых поздних генераций. Общая закономерность возрастного соотношения разрывов сводится к омоложению нарушений к центру «ствола» и к верху «кроны» «пальмового дерева». Глубина их стратиграфического проникновения подчинена последовательности формирования кулис шовной зоны сдвигов фундамента и увеличивается от поздних приосевых нарушений к ранним периферийным.

Важной особенностью и генетическим признаком сдвигов фундамента в пределах рассматриваемой территории является практически повсеместное отсутствие следов вертикальных перепадов на уровне кровли фундамента. Это исключает поперечный изгиб как механизм структурообразования, и для его объяснения требуется привлечение представлений о тангенциальной природе складчатых деформаций позднекайнозойского времени. Генезис локальных поднятий позволяет классифицировать их как складчатость продольного изгиба (тангенциального сжатия).

● Характер строения разломов в сейсморазведке 2D

Характер строения разломов по материалам сейсморазведки 2D и 3D принципиально отличается. Анализ съемок 2D площадей, прилегающих и перекрывающих площади съемок 3D, где выделены СГС, показывает, что даже при достаточно плотной сети наблюдений (2×2 км) сейсмические данные 2D не позволяют опознать кулисный рисунок строения СГС. По характеру прослеживаемости СГС на материалах 2D кулисное строение оперяющих разломов сдвигов фундамента продолжается далеко за пределами кубов 3D. Однако, в силу дискретности пересечений разломов профилями 2D, истинную картину поведения плоскости разломов увидеть невозможно, и на данных 2D оперяющие кулисы сдвигов представлены зонами субпараллельных линий разломов, отражающих общее направление региональных сколовых сечений в фундаменте Западной Сибири.

Таким образом, картируемые сейсморазведкой 2D в центральной части Западной Сибири разломы северо-западного и северо-восточного простираний являются региональными швами горизонтальных сдвигов фундамента (в геомеханическом и кинематическом понимании), активизированными на неотектоническом этапе. Внутреннее строение этих швов и структурные парагенезы

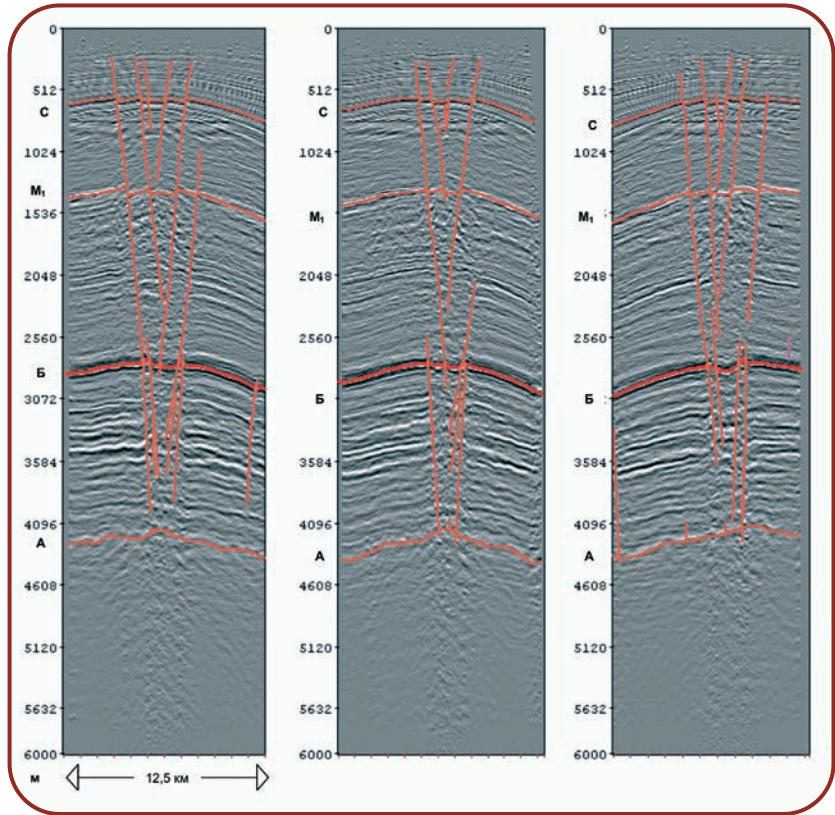


Рис. 3. Еты-Пуровское месторождение, Северный купол (ЦГЭ, 2006):

поперечные профили через шовную зону сдвиговых деформаций демонстрируют клинообразное строение оперяющих кулис горизонтального сдвига фундамента (для наглядности представления горизонтальный масштаб сжат в два раза). Ниже кровли фундамента (горизонт А) просматривается вертикальный столб деструкции пород, связанный с «окном проницаемости» (Г. Л. Поспелов), уходящий корнями ниже наблюдаемого интервала сейсмической записи. Ниже кровли верхнего мела (горизонт С) видно положение горизонтального ГВК, связанного с газовой залежью сеномана (ПК1). Внутри структуры обрушения свода поднятия меловые горизонты выгнуты (область растяжения), а юрские горизонты вогнуты (область сжатия)

осложняющих их пликативных и дизъюнктивных структур не поддаются интерпретации и расшифровке методами сейсморазведки 2D, в связи с чем все существующие по этой огромной территории структурные построения, основанные на данных 2D, нельзя считать достоверными. Неверная интерпретация разломов приводит к неверным структурным построениям по целевым горизонтам, следствием чего является неправильная геометрия ловушек и неоптимальное размещение скважин. Сегодня уже можно утверждать, что в условиях кулисного строения оперяющих разломов региональных сдвигов фундамента севера Западной Сибири сейсморазведка 2D не может служить достаточной основой для заложения поисково-разведочных скважин, а тем более для проектирования разработки месторождений и проведения геолого-технологических мероприятий.

● Структуроконтролирующая роль сдвигов фундамента

На локальном уровне структуроконтролирующая роль сдвигов фундамента проявляется в элементах блокового строения, соподчиненности амплитуд разломов и

локальных поднятий, единовременности формирования парагенезов дизъюнктивных и пликативных структур. В соотношении региональных сдвигов фундамента и положения локальных структур отмечается строгая соподчиненность, согласно которой структуры являются осложнениями на телах сдвигов по их простиранию и в узлах пересечения. Часто сочленение локальных поднятий и валов с плоскостью сдвигов имеет кулисный характер. На основе анализа данных сейсморазведки 2D по северу Западной Сибири системы кулисных разломов в пределах локальных структур 3-го порядка рассматриваются нами в качестве элементарных составных кулисных зон региональных сдвигов межблоковой делимости более высокого иерархического ранга. Таким образом, в условиях активного проявления сдвиговой тектоники на севере Западной Сибири картирование новых разломов и, что особенно важно, прослеживание и детализация по простиранию разломов и флексур, выделенных ранее сейсморазведкой 2D, имеет важное прикладное значение при картировании присдвиговых тектонически-экранированных структур – потенциальных ловушек для поисков залежей углеводородов.

Деформации горных пород в зонах влияния СГС

Внутреннее строение СГС

представляет собой зону «ряби» – фрагментарности сейсмической записи, нарушения сплошности и полной деструкции вмещающих пород. За счет дезинтеграции пород в шовной зоне сдвиговых деформаций отмечается снижение акустической жесткости и изменение атрибутов сейсмической записи. В строении структур, осложненных СГС, обнаруживается сложная комбинация механических деформаций горных пород и флюидодинамического воздействия, вызывающих «вспарывание» осадочного чехла и вздутие пластов над сводами поднятий с последующим их обрушением и проседанием в интервале проникновения разломов в осадочный чехол, причем весь нарушенный разрез чехла дефор-

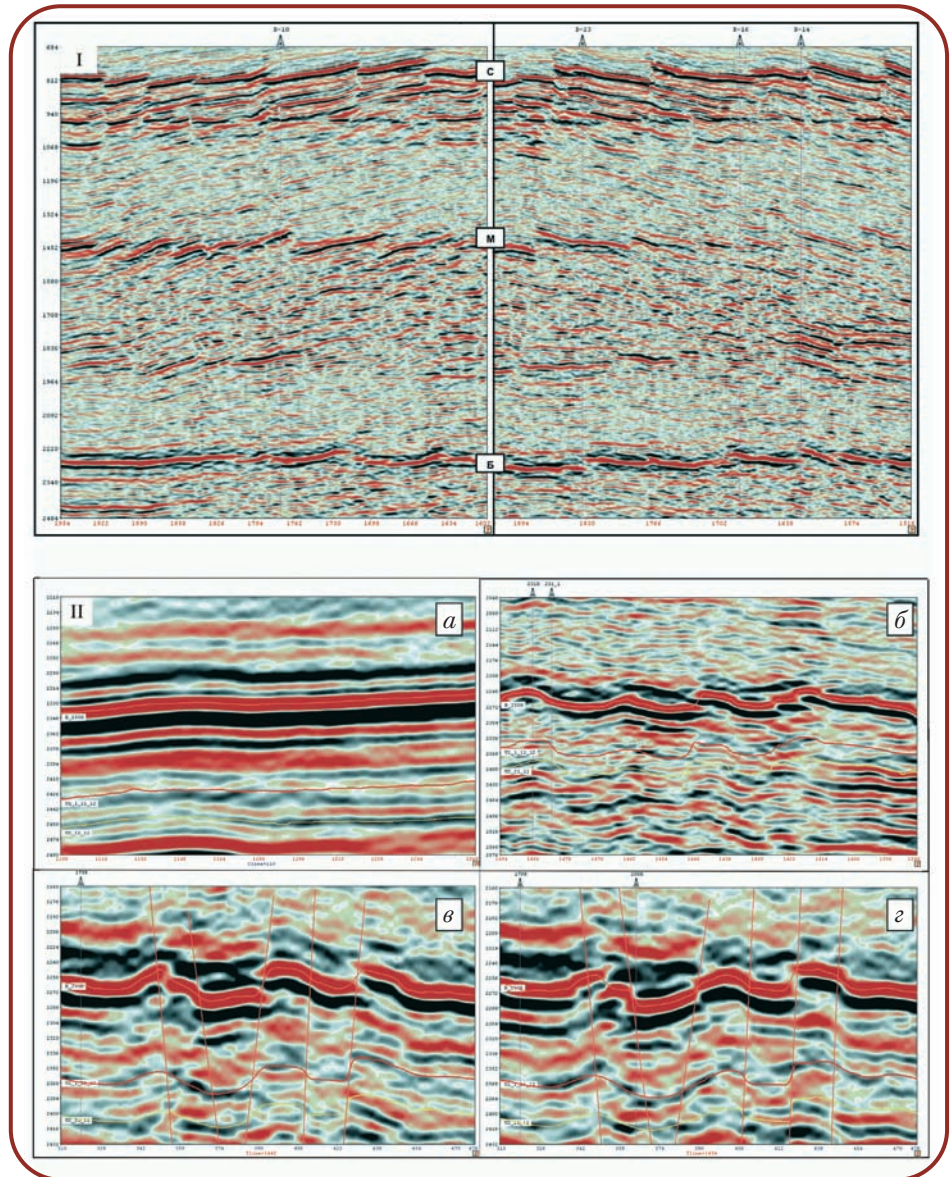


Рис. 4. Еты-Пуровское месторождение. Северный купол (ЦГЭ, 2006):

I – примеры проявления чешуйчатых сопряженных надвигов, послойного шарьирования и пластического течения юрско-меловых пород в зоне динамического влияния горизонтальных сдвигов фундамента; *II* – примеры тектонических деформаций разреза внутри зоны динамического влияния горизонтального сдвига фундамента на уровне баженовской свиты (*a* – ненарушенное залегание, *б* – дисгармоничная складчатость и рассланцевание пород, *в* – черепичное налегание разорванных фрагментов баженовской свиты, *г* – структуры шарьирования и будинирования в ачимовских отложениях и верхней юре)

мируется единообразно по морфологии и одновременно по времени (поздний кайнозой). По разные стороны от оси сдвига направление «вспарывания» пластов встречное, против направления сдвига (рис. 4). Примеры проявления чешуйчатых сопряженных надвигов, дисгармоничной складчатости и рассланцевания пород, послойного шарьирования и черепичного сдвигания разреза в зоне динамического влияния горизонтального сдвига фундамента – повсеместное явление для СГС (см. рис. 4). На микроуровне (микроимиджеры, керн) для СГС типично проявление интенсивной трещиноватости, разломов, текстур пластического течения и брекчирования пород юрско-мелового разреза.

В разрезе корни зон деструкции и дезинтеграции пород на ширину динамического влияния сдвига, сужаясь клином, уходят ниже кровли фундамента до глубин, освещенных сейсмической записью. Отличительной особенностью СГС является отсутствие видимых вертикальных смещений на уровне кровли фундамента. Ниже кровли фундамента просматривается вертикальный столб деструкции пород, связанный с «окном проницаемости» (Г. Л. Пospelов) земной коры. Очевидна тектоническая природа и связь с глубинными недрами горизонтальных сдвигов фундамента Еты-Пуровского вала, определивших линейные деформации чехла по кинематической схеме трансенсии, формирование приразломных структур по механизму горизонтального сжатия (продольного изгиба) и пластического нагнетания пород в ядра складок, формирование «окон проницаемости» на телах СГС, общее раскрытие недр и разгрузку углеводородов в осадочном чехле по механизму вертикальной струйной фильтрации. Сложные сочетания зон сжатия и растяжения пород на телах СГС по площади и разрезу определяют неоднородность строения резервуаров и ФЕС коллекторов.

● Нефтегазоносность СГС

Главная особенность месторождений, осложненных СГС, – их многопластовость. Высокая вертикальная проницаемость разреза в пределах СГС определяет высокую плотность миграционного потока углеводородов и, как следствие, высокую плотность запасов, локализованных на многочисленных тектонических блоках. В условиях сложного блокового строения и тектонического экранирования залежи углеводородов характеризуются сложной природой контуров с элементами неструктурного контроля (пластово-жильное насыщение), затрудняющими их геометризацию. Интенсивная нарушенность и тектоническая трещиноватость, картируемые на макроуровне сейсморазведкой 3D и на микроуровне в скважинах (керна, ФМ), предполагают существенную роль трещинной проницаемости в формировании фильтрационной среды гранулярных коллекторов, в особенности юрской части разреза. В пользу этого говорят факты резкой неоднородности и анизотропии проницаемости юрских коллекторов ($K_{пр}$ изменяется от сотых долей единицы до сотен милли-

дарси) и перепады дебитов скважин, исчисляемые величинами в 2–3 порядка. Нельзя не отметить и проявление аномалий пластовых давлений ($K_{ан}$ достигает 1,5) в интервале залегания юрских пород, являющихся свидетельством молодости процессов формирования залежей углеводородов в пределах СГС.

Нефтегазоносность многопластовых месторождений, осложненных СГС, связана с зонами растяжения приразломных структур, которые в условиях сдвигового поля напряжений новейшего времени представляли собой механо-деформационные структуры разрушения и прорыва флюидодинамических (нефтяных) диапиров. Обеспечивая связь осадочного чехла с фундаментом, в пределах СГС формировались вторично-наложенные пластово-жильные парагенезы «нефтяных тел» и сопутствующие им гидродинамические аномалии пластовых вод. С учетом результатов палеорекоконструкций, свидетельствующих о постседиментационной природе и позднекайнозойском времени формирования разрывных и пликативных структур, осложняющих СГС, и балансовыми расчетами вмещающих способностей ловушек углеводородов, обоснован вывод о молодом возрасте и неоген-четвертичном времени формирования залежей нефти и газа Еты-Пуровского месторождения.

Выполненные исследования показывают, что проблема изучения СГС Западной Сибири выходит за рамки чисто научного интереса и приобретает для нефтяных компаний, работающих на объектах, осложненных этими структурами, важное практическое значение на всех этапах геологоразведочных работ и проектирования разработки залежей как на новых площадях, так и при «реанимации» старых месторождений. Многие вопросы генезиса и строения СГС пока до конца не ясны. Для их изучения в ОАО ЦГЭ продолжают специальные научные исследования с привлечением ведущих отечественных ученых. И уже сегодня нефтяные компании России могут использовать огромный практический опыт ОАО ЦГЭ в практике поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов, расположенных на территории активного проявления сдвиговых деформаций севера Западной Сибири и других нефтегазоносных бассейнов мира.



Список литературы

1. Гогоненков Г. Н., Лаврик А. С., Эльманович С. С. Зарождающиеся горизонтальные сдвиги в тектонике северной части Западной Сибири // Геофизика. – 2002. – Специальный выпуск «Технологии сейсморазведки – I». – С. 54–61.
2. Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа Крайнего Севера Западной Сибири / О. М. Ермилов, Ю. Н. Карогодин, А. Э. Конторович и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004.