

СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В ЧЕХЛЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ И ИХ РОЛЬ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Г.Н. Гогоненков, А.И. Тимурзиев

Центральная геофизическая экспедиция, 123298, Москва, ул. Народного ополчения, 38, Россия

Благодаря широкому внедрению сейсморазведки 3D на значительной части территории Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна выявлен особый тип разломов и деформаций осадочного чехла, связанный с проявлением малоамплитудных горизонтальных сдвигов фундамента. Геологический феномен, связанный со структурами сдвига, выходит за рамки традиционных представлений о строении Западной Сибири. Сложная морфология, интенсивная дизъюнктивная нарушенность, блоковое строение и аномально широкий стратиграфический диапазон нефтегазоносности характеризуют многочисленные месторождения, попадающие в зону развития структур сдвига. Проектирование разработки, бурение эксплуатационных скважин и проведение геолого-технологических мероприятий на таких месторождениях без надежной геомеханической и кинематической модели структуроформирующих, флюидопроводящих и экранирующих дизъюнктивных дислокаций, образованных сдвигами в фундаменте, являются заведомо рискованным мероприятием.

Сдвиговые деформации, тектоническое строение, сейсморазведка 3D, сдвиги фундамента, кулисообразные нарушения, Западная Сибирь.

STRIKE-SLIP FAULTS IN THE WEST SIBERIAN BASIN: IMPLICATIONS FOR PETROLEUM EXPLORATION AND DEVELOPMENT

G.N. Gogonenkov and A.I. Timurzиеv

Specific deformation patterns in sediments associated with small-amplitude strike-slip faults in the basement have been recognized over a large territory of the West Siberian basin due to 3D seismic exploration advance. These patterns represent shear structures which turn to be a phenomenon beyond the classical views of the regional basin architecture. Many densely faulted oil and gas fields of a complex geometry in reservoir rocks of a wide stratigraphic range fall in zones of shear structures. Prospecting, test drilling, and oil enhancement activities in these fields are risky without a solid mechanic and kinematic background based on simulation of sedimentary fracture patterns which are associated with basement-involved strike-slip faults and may govern hydrocarbon migration as structure controls, fluid channels, or screens.

3D reflection profiling, tectonics, strike-slip faults, en echelon fracture array, West Siberia

ВВЕДЕНИЕ

Западно-Сибирский осадочный бассейн является одним из крупнейших нефтегазоносных бассейнов мира, содержащих уникальные по объему месторождения углеводородов. За последние десятилетия здесь проведены сотни тысяч километров профильной сейсморазведки, пробурено около 200 тыс. скважин, открыты сотни месторождений нефти и газа, добыто несколько миллиардов тонн нефти и триллионов кубометров газа. Казалось бы, что основная продуктивная толща юрских и меловых отложений мощностью 2—4 км, перекрываемых чехлом третичных и четвертичных осадков, уже хорошо изучена. Однако постановка здесь сейсмических наблюдений 3D, качественная обработка и детальная интерпретация позволили открыть принципиально новые детали строения бассейна, позволяющие дополнить историю его регионального тектонического развития и внести существенные коррективы в геологические модели целого ряда крупных месторождений. В настоящей работе мы представим доказательства наличия и предполагаемую область распространения системы чрезвычайно молодых (неоген-четвертичных) горизонтальных сдвигов в палеозойском фундаменте Западной Сибири, вызывающих сложные пликативные и дизъюнктивные деформации осадочного чехла, называемые далее структурами сдвига (СС). Покажем существенное влияние сдвигов на строение месторождений и распределение нефтегазоносности по разрезу и сформулируем рекомендации по рациональному комплексу мер при поисках, разведке и разработке таких месторождений.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА НАЛИЧИЯ СТРУКТУР СДВИГА

ОАО «Центральная геофизическая экспедиция», которое представляют авторы настоящей работы, в течение 1997—2009 гг. выполнило обработку и интерпретацию ряда съемок 3D в центральной части Западной Сибири. На части площадей была выявлена геологическая картина сложных тектонических деформаций юрско-меловой осадочной толщи. Рассмотрим типичный характер выявленных деформаций на примере Северо-Комсомольской площади, вмещающей одноименное крупное нефтегазоконденсатное месторождение. На рис. 1 показана серия карт углов наклона* прокоррелированных на данных 3D сейсмических отражений, начиная от кровли палеозойского фундамента (горизонт А; $t = 2.7$ с, глубина около 4 км) и далее через ряд наиболее четко выделяемых границ в юрской и меловой толщах до горизонта С1 на времени 0.9 с, привязанного к верхам меловых отложений на глубине около 800 м. Отметим, что съемка 3D покрывает значительную площадь, превышающую 600 км².

На уровне кровли фундамента вдоль северо-западного края площади виден линейный шов протяженностью около 25 км. Поднимаясь выше на 1000 м к опорному сейсмическому горизонту Б ($t = 2.25$ с), на границе юрских и меловых отложений этот шов проявляется совершенно отчетливо как интенсивная зона деформаций шириной до 1.5 км, сопровождаемая оперением слабовыраженных сколов под углом около 45° к основной дислокации. Поднимаясь выше к границам, в верхней части меловой толщи на

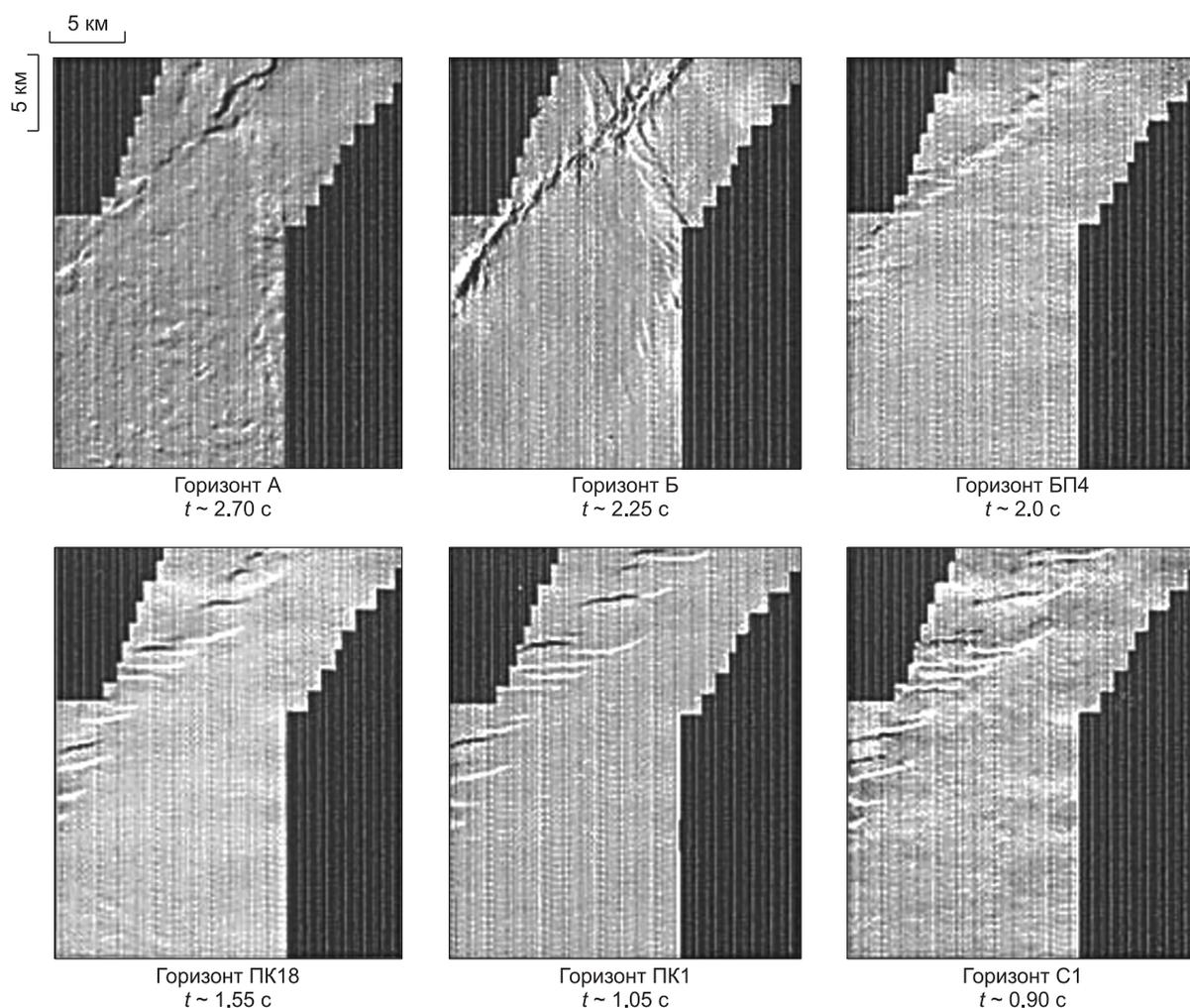


Рис. 1. Карты углов наклона на Северо-Комсомольской площади, рассчитанные по сейсмическим горизонтам на разных стратиграфических уровнях от кровли палеозойского фундамента (горизонт А) до границы в верхах меловых отложений (горизонт С1).

Видно, как линейная зона по кровле фундамента трансформируется в систему кулисообразных нарушений.

* «Карта углов наклона» — это термин, образовавшийся от английского «dip angle map» и обозначающий карту локальной производной, рассчитанной по прокоррелированному сейсмическому горизонту, хорошо отображающую зоны разрывов или резких перегибов горизонта.

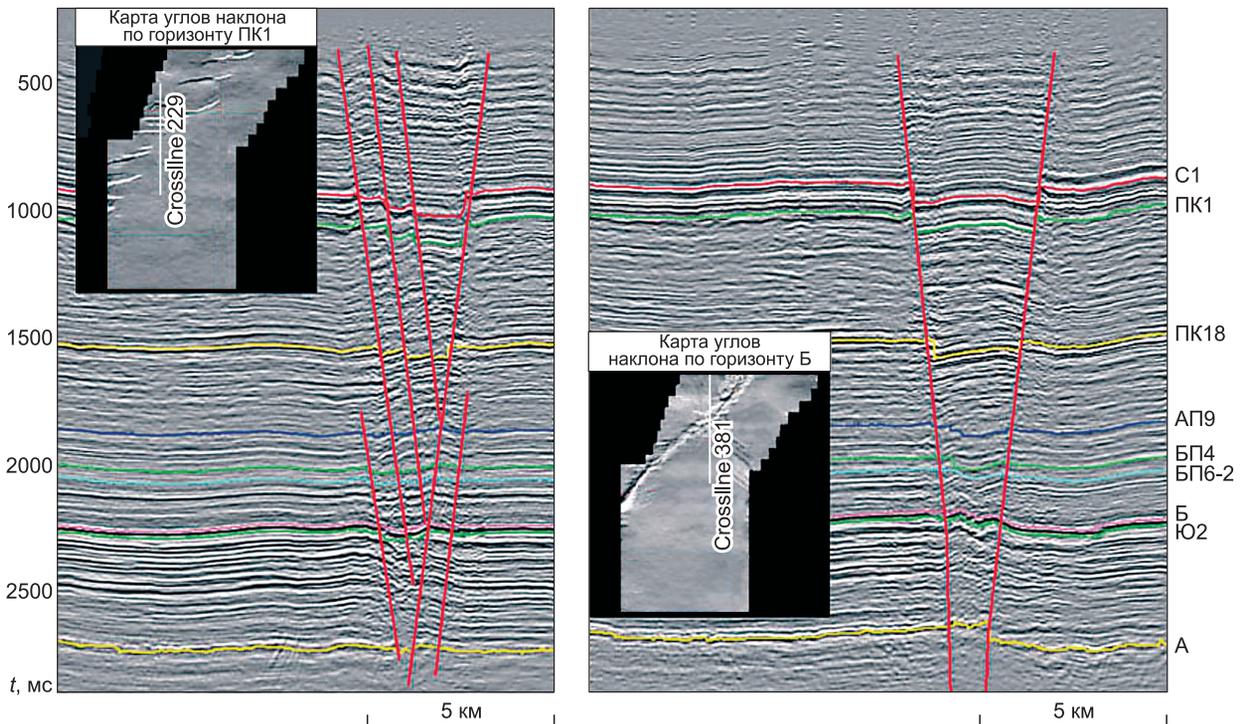


Рис. 2. Сейсмические разрезы на Северо-Комсомольской площади.

В малых окнах показано положение разрезов на картах углов наклона (см. рис. 1) по горизонтам ПК1 и Б.

картах углов наклона уже не фиксируется след глубинного шва северо-восточного простирания, но непосредственно над ним четко видна система субширотных кулисообразных нарушений. Отметим, что сами нарушения имеют винтообразный характер, меняя направление вертикального смещения на противоположное при движении вдоль кулисы. Это проявляется в смене знака освещения: кулисы по разные стороны от центральной оси выделяются белым и черным цветом.

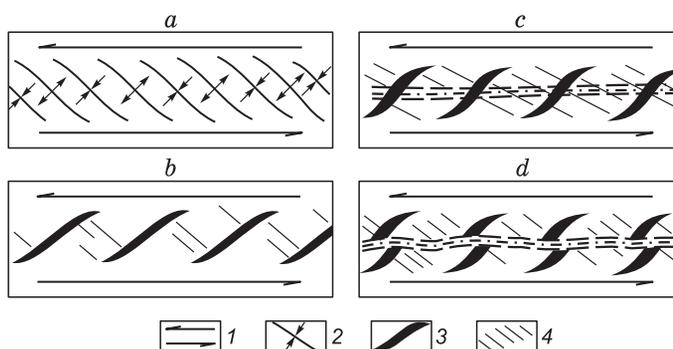
Вертикальные сечения сейсмического куба в плоскостях, перпендикулярных направлению кулисообразных нарушений, позволяют видеть взаимоотношение дислокаций на разных глубинах, оценить их амплитуду. На рис. 2 показаны два таких вертикальных сечения и их проекции на карты углов наклона, показанных на рис. 1, по горизонтам ПК1 и Б. Видно, что кулисообразные нарушения, выделяемые на разных стратиграфических уровнях, составляют единую систему субвертикальных разломов, сходящихся к основному нарушению в фундаменте. Одни разломы прослеживаются непрерывно от фундамента почти до четвертичных отложений, другие начинаются и заканчиваются непосредственно в осадочной толще, но их связь с предыдущими не вызывает сомнений. Амплитуда и полярность разломов меняется по глубине. Максимальные амплитуды разрывов по вертикали (50 м) на приведенных сечениях приурочены к верхней части разреза — сеноманским отложениям.

Вернемся еще раз к карте углов наклона на уровне баженовского горизонта (Б) (см. рис. 1). Здесь кроме основной системы кулисообразных разрывов, рассматриваемой выше, выделяется еще одна система с осью, почти перпендикулярной оси основного разлома. Амплитуды смещений в этой системе кулисообразных нарушений существенно меньше, чем в основной, — первые единицы метров, поэтому она плохо просматривается на отражениях от ниже- и вышележающих горизонтов.

Как объяснить и интерпретировать наблюдаемую картину тектонических дислокаций? Наиболее полное описание и объяснение картины кулисообразных систем нарушений мы нашли в монографии [Yaroszewski, 1974], где изложены результаты физического моделирования сдвиговых дислокаций упругопластичного осадочного чехла относительно жесткого фундамента (основания), выполненного М.В. Гзовским и Е.И. Чартковой в тектонофизической лаборатории Института физики Земли АН СССР. В частности, на рис. 3 показаны различные стадии развития горизонтального сдвига, от зачаточного до полного. В самом начале сдвига по линии разрыва в фундаменте в чехле над ним будет образовываться серия кулисообразно ориентированных относительно оси сдвига антиклинальных и синклиналиных складок волочения (см. рис. 3, а), амплитуда которых с увеличением сдвигового смещения будет возрастать, а угол наклона осей складок относительно векторов динамопары уменьшаться. Это первый пликативный этап развития зарождающегося сдвига.

Рис. 3. Результаты физического моделирования, по [Yaroszewski, 1974].

Четыре стадии развития тектонических разрывов осадочного чехла от зачаточного до полного при горизонтальном сдвиге по подстилающему жесткому основанию: 1 — направления сдвиговых смещений; 2 — образование складок волочения; 3 — кулисообразные разрывные нарушения (отрывы); 4 — трещины скальвания: *a* — начальная стадия дислокации чехла, *b* — формирование субвертикальных разрывов (отрывов), *c* — образование системы трещин скальвания вдоль основной оси сдвига по фундаменту, *d* — полный разрыв и сдвиг пород чехла по основному сдвигу фундамента.



Затем, по мере дальнейшего развития сдвига усилия растяжения превышают прочность пород и в толще возникают вертикально ориентированные кулисообразные

системы трещин отрыва и первая система трещин скальвания. Оси трещин отрыва располагаются перпендикулярно к осям складок волочения, а трещины скальвания формируются параллельно им (см. рис. 3, *b*). Увеличение сдвига приводит к росту угла осей трещин скальвания, а трещины отрыва раскрываются все больше (см. рис. 3, *c*). На этой же стадии появляется вторая система трещин скальвания, параллельная основной оси сдвигового нарушения фундамента. И при дальнейшем росте сдвига эта система вырождается в единый магистральный разрыв, завершающий процесс полного сдвига осадочных пород чехла (см. рис. 3, *d*).

Сопоставляя наблюдаемую по сейсмическим данным картину систем кулисообразных нарушений с вышеописанными результатами физического моделирования, можно констатировать полную аналогию. Зарегистрированные тектонические дислокации есть не что иное, как зарождающиеся (малоамплитудные) сдвиги в подстилающих консолидированных породах фундамента, сопровождающиеся деформациями и кулисообразными разрывами осадочного чехла. Возвращаясь к набору карт «углов наклона» по Северо-Комсомольской площади (см. рис. 1), и учитывая результаты описанного физического моделирования, можно сказать, что в нижней части осадочного чехла от фундамента и до баженовского горизонта сдвиг прошел зачаточную стадию. Здесь кулисообразные нарушения уже объединены в разлом. Выше горизонта Б следов горизонтального сдвига фундамента не видно. Кулисообразные разрывы являются разрывами растяжения (отрывами) и, несомненно, представляют собой на каком-то этапе формирования великолепные каналы вертикальной миграции флюидов.

К моменту написания настоящей статьи СС достоверно установлены более чем на 20 разведочных площадях, где выполнена съемка 3D. На рис. 4 показано еще несколько примеров выделения структур сдвига. Другие примеры приведены в работах [Эльманович и др., 1998; Гогоненков и др., 2002, 2007]. Геометрия и параметры разрывов на каждой площади различаются, но в целом они полностью подтверждают вышеописанную картину. Кроме тех различий, которые проявляются на приведенных примерах, нужно особо остановиться на фактах более сложных деформаций, выявленных на отдельных площадях. Это случаи, когда горизонтальное смещение сопровождается боковым сжатием либо растяжением. Тогда в зоне деформации осадочного чехла видно соответственно вспучивание либо прогиб горизонтов. Кроме того, на ряде площадей кулисные разломы явно асимметричны: один фланг разорван существенно сильнее другого. Такую картину можно объяснить более сложным строением разрыва по фундаменту, когда кроме горизонтального смещения он имеет и вертикальную компоненту.

О ПРОЯВЛЕНИИ СТРУКТУР СДВИГА НА ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 2D

Как же проявляются системы кулисообразных нарушений на данных профильной сейсморазведки 2D, которой покрыты десятки тысяч квадратных километров в описываемом регионе? Нами проанализированы несколько съемок 2D, прилегающих и перекрывающих вышеописанные площади 3D, где выделены системы кулисообразных дислокаций. Оказалось, что даже при достаточно плотной сети (2 × 2 км) сейсмические данные 2D не позволяют опознать кулисообразные нарушения и интерпретаторы не находят лучшего решения, чем представить дислоцированную зону как ряд близкорасположенных параллельных нарушений вдоль основной оси разлома в фундаменте. Так, на рис. 5, *a* показаны результаты выделения тектонических разрывов на Северном куполе Етыпуровской площади по данным профильной сейсмической съемки, а справа (см. рис. 5, *б*) в эту карту врезан результат интерпретации 3D, показывающий, что профильные данные при обычной плотности наблюдений не дают истинной картины тектонического строения. Теперь с большой долей уверенности можно полагать, что система параллельных разломов в правой части площади является ничем иным, как неверно проинтерпретированной зоной СС.

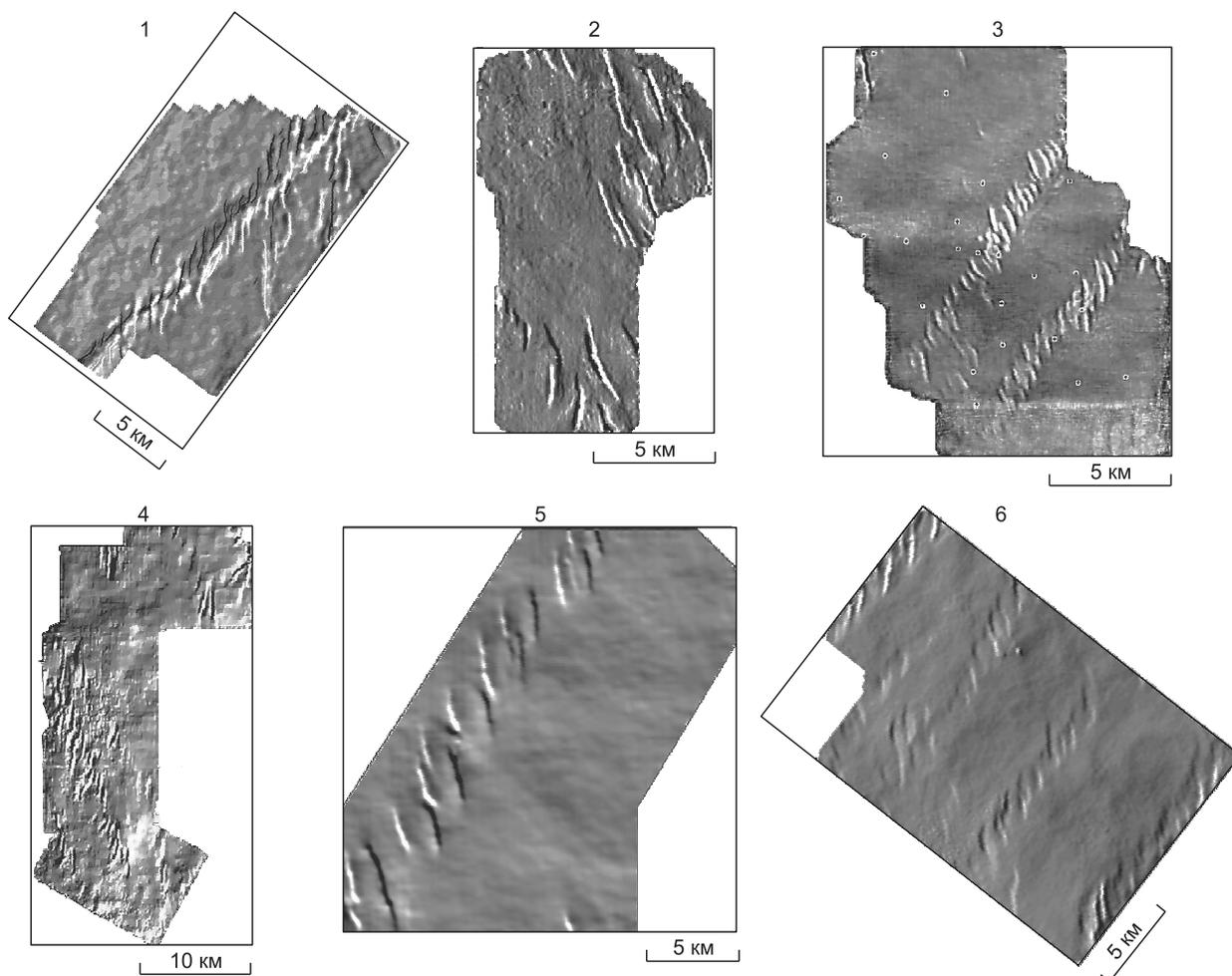


Рис. 4. Примеры сдвиговых дислокаций на ряде разведочных площадей, выделяемых на картах углов наклона по опорным горизонтам в толще осадочных отложений:

1 — Метельная площадь; 2 — Северо-Харампурская площадь; 3 — Комсомольская площадь, западный купол; 4 — Харампурская площадь; 5 — Часельская площадь; 6 — Ярайнерская площадь.

Аналогичные системы квазипараллельных систем линейных разломов можно видеть на многочисленных съемках 2D в пределах изученной зоны. Значительная часть их непосредственно примыкает к площадям, покрытым 3D и, как и на примере Етыпуровской площади, можно видеть, что они являются продуктом неправильной интерпретации системы кулисных разломов.

Отрицательную роль здесь играет тот факт, что нарушения в зоне СС являются малоамплитудными, их полярность меняется по простиранию, поэтому есть участки кулис, где разрыва или вертикального смещения отражений не наблюдается. Кроме того, при профильных сейсмических наблюдениях отсутствует возможность выполнения при обработке данных процедуры пространственной миграции, а миграция 2D в плоскости профиля не позволяет восстановить истинную картину сложной системы нарушений. Неверная интерпретация тектонических дислокаций на данных сейсморазведки 2D имеет следствием ошибочные структурные построения целевых горизонтов, а затем и неоптимальное размещение поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Таким образом, можно констатировать, что в условиях развития СС сейсморазведка 2D не может служить достаточной основой для размещения бурения.

ГЕОГРАФИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТРУКТУР СДВИГА

О площади доказанного распространения СС можно судить по данным, приведенным на рис. 6, а, где показано положение осей сдвигов по палеозойскому фундаменту, установленных по данным сейсморазведки 3D. Пунктирными линиями показаны возможные положения осей сдвигов по данным 2D.

Прежде всего, отчетливо видно, что оси сдвигов группируются в две диагональные системы: с юго-запада на северо-восток и с юго-востока на северо-запад. Не выявлено ни одного примера субмеридио-

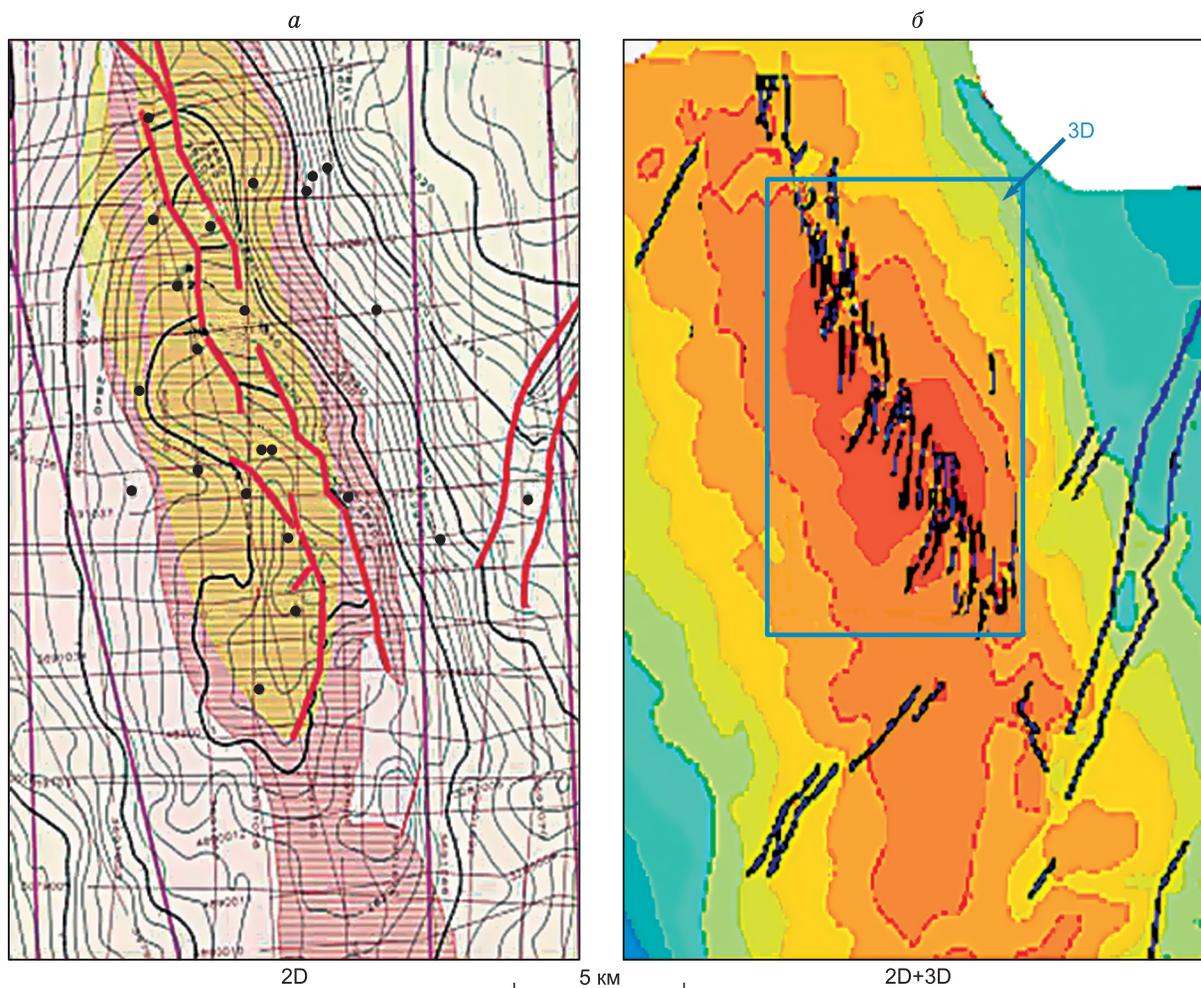


Рис. 5. Сопоставление результатов интерпретации тектонических нарушений по сейсмическим наблюдениям 2D и 3D на Етыпуровской площади.

a — показано выделение разломов по данным съемки 2D; *б* — на эту же карту врезан участок съемки 3D, демонстрирующий принципиально другую картину нарушений. Там, где по профильной съемке выделялись линейные квазипараллельные разломы, пространственная съемка показывает сложную картину множества кулисообразных нарушений.

нальной либо субширотной оси сдвига. Азимуты осей одного направления не строго совпадают, а колеблются в пределах 10—15°. Средние значения азимутов выделенных диагональных систем практически симметричны по отношению к оси меридиана и составляют между собой угол приблизительно 80°. Как можно видеть на ранее приведенных картах углов наклона по некоторым месторождениям, а также по характеру проявления зон сдвига на совокупности данных 2D и 3D, оси сдвигов не формируют единого сдвига или сдвигов протяженностью сотни километров, а представляют собой систему фрагментов, каждый длиной первые десятки километров.

Тектонофизическое объяснение наблюдаемой картины сдвигов по палеозою базируется на весьма точном ее подобии результатам физического моделирования процесса так называемого «чистого»* сдвига в толще пород, описанного [Ноеррегер и др., 1969]. На рис. 6, б приведена иллюстрация из указанной работы картины сколов в однородной модели, подвергаемой одностороннему горизонтальному сжатию по меридиональной оси. Видно, что возникающие деформации формируют систему диагональных сколов с острым углом, близким к 80°, направленным в сторону оси максимального сжатия. Эта картина практически аналогична наблюдаемой на рис. 6, а. Заметим, что эллипсы на поверхности модели показывают деформацию окружностей, нанесенных на модель до сдвига.

* В тектонофизике различают два типа сдвигов: «простой» сдвиг, когда оси сжимающих или растягивающих горизонтальных напряжений находятся не на единой оси, а смещены в перпендикулярном направлении, тогда элементарные объемы пород испытывают изгиб и вращение. «Чистым» сдвигом называют случай, когда оси сжимающих или растягивающих напряжений находятся на единой оси и сдавливают или растягивают элементарный объем породы.

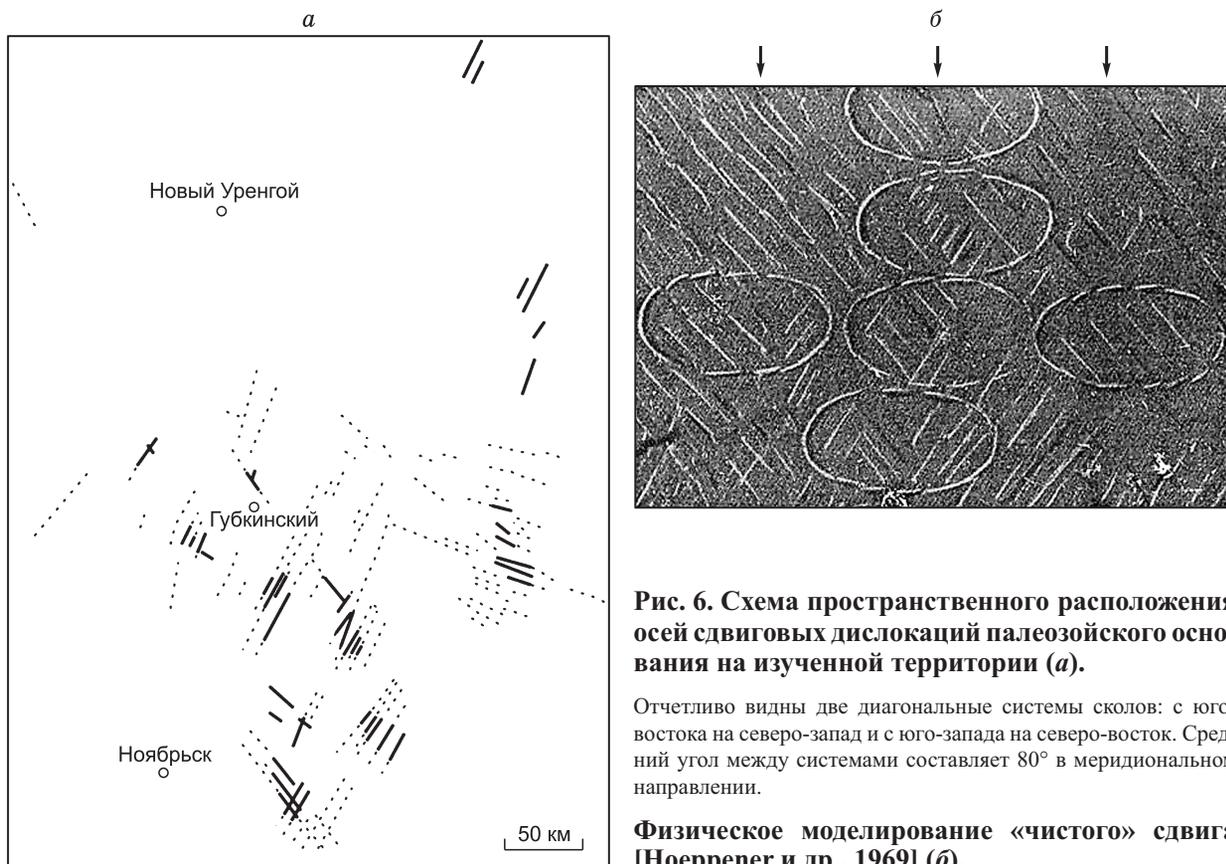


Рис. 6. Схема пространственного расположения осей сдвиговых дислокаций палеозойского основания на изученной территории (а).

Отчетливо видны две диагональные системы сколов: с юго-востока на северо-запад и с юго-запада на северо-восток. Средний угол между системами составляет 80° в меридиональном направлении.

Физическое моделирование «чистого» сдвига [Нюсренгер и др., 1969] (б).

В результате горизонтального сжатия вдоль плоскости, показанной стрелками, произошло деформирование модели (начерченные на поверхности окружности превратились в эллипсы) с образованием системы диагональных сколов с острым углом около 80° в направлении оси сжатия. Картина аналогична системе сколов в фундаменте на рис. 6, а.

Вышеизложенное позволяет объяснить картину диагональных сколов в толще палеозоя мощным относительно кратковременным (в геологическом смысле) импульсом меридионального сжатия участка земной коры центральной части Западно-Сибирской плиты на рубеже третичного и четвертичного периодов, имевшим следствием развитие системы сколов в толще консолидированной земной коры. Каждый такой скол (или наиболее интенсивные из них) формировал в покрывающей осадочной толще мезокайнозойских отложений сложные системы деформаций, основной отличительной особенностью которых является формирование рядов кулисных разломов над сколами в толще фундамента. Далее, детально рассматривая характеристики сдвиговых зон, мы увидим и другие следствия описываемого явления. А сейчас остановимся на вопросе пространственного развития структур горизонтального сдвига.

Для того чтобы обоснованно прогнозировать распространение СС в пределах остальной территории Западно-Сибирского бассейна мы используем структурную карту по кровле сеноманских отложений [Конторович, Нестеров, 2000] (рис. 7). На ней отчетливо выделяется цепь крупных валов север-северо-западного простирания (азимут $310\text{—}320^\circ$). Все валы этой цепи, попадающие в изученную нами зону (Вынгаяхинский, Вынгапуровский, Етыпуровский, Северо-Губкинский), подвержены сдвиговым дислокациям. Это дало весомые основания полагать, что и другие валы этой оси на север и на юг могут быть подвержены сдвиговым дислокациям. Предварительный анализ материалов по площадям южнее (Варьганский вал, Тагринская площадь и др.) и севернее (Медвежий вал и соседние площади) изученной зоны полностью подтверждает это предположение. На структурной карте по кровле сеномана эта структурная линия выражена цепочкой кулисного сочленения перечисленных валов к глубинному тектоническому шву Западной Сибири, связанному с Худуттейским [Сурков, Жеро, 1981] ответвлением Колтогорско-Уренгойского грабен-рифта. Важно отметить, что западнее этой цепи валов ни ряд съемок 3D, ни данные 2D не дают основания говорить о распространении СС на запад, поэтому сегодня можно рассматривать эту цепь валов как западную границу зоны развития сдвигов. Вторая структурная линия, выраженная цепочкой кулисного сочленения Харампурского, Часельского, Русского, Тазовского и других валов, продолжающихся в сторону Большехетской впадины и Енисей-Хатангского прогиба, предположительно связана с активизированными на неотектоническом этапе фрагментами Худосейского грабен-рифта. Можно предположить, что она формирует восточную границу сдвиговых дислокаций.

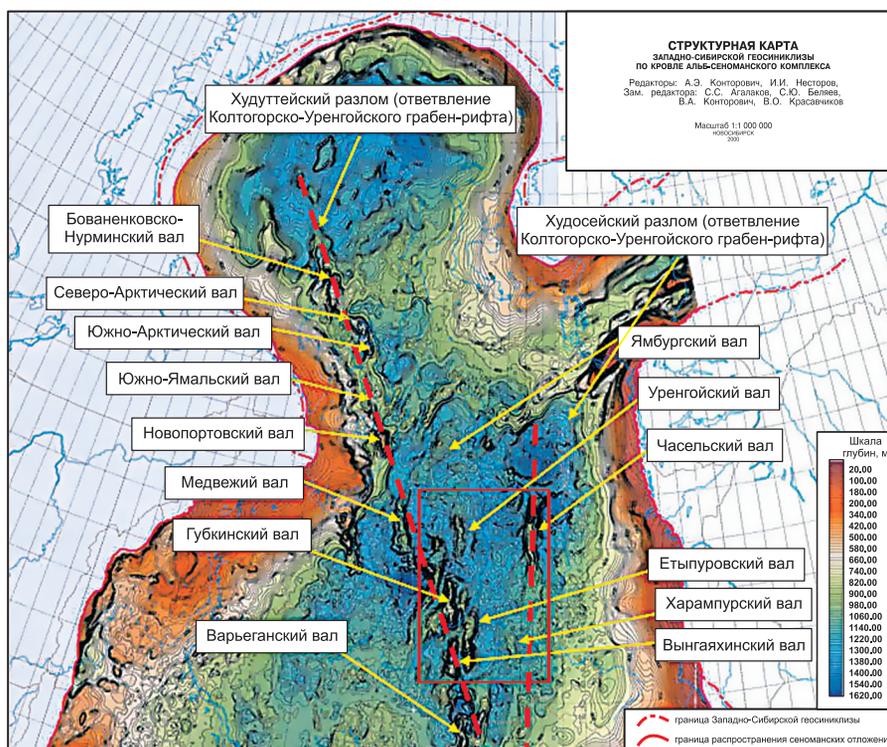


Рис. 7. Структурная карта Западно-Сибирской геосинклизы по кровле альб-сенноманского комплекса [Конторович, Нестеров, 2000].

Положение на структурной основе региональных надпорядковых линейных мегаструктур (Худуттейский и Худосейский разломы), к которым приурочены валы и мегавалы 1-го и 2-го порядков, осложненные структурами горизонтальных сдвигов фундамента. Прямоугольник показывает расположение описываемых в настоящей работе площадей.

Распространение СС по этой линии на юг предполагается нами по ряду косвенных признаков в пределах Васюганской нефтегазоносной области Ханты-Мансийского АО на структурах Бахилковского, Александровского и Междуреченского валов (Бахилковские, Хохряковские, Пермьяковские, Коликъеганские поднятия). Признаки проявления СС имеются и на Самотлорском месторождении Нижневартовского свода [Галямов и др., 2004].

Эти две оси образуют веер, раскрывающийся на север. Северная граница территории распространения сдвиговых дислокаций в настоящее время не определена, и есть все основания полагать, что огромная территория севера Западной Сибири и Карского моря, где выявлены гигантские газовые и газонефтяные месторождения, также может быть подвержена интенсивному проявлению сдвиговых деформаций земной коры.

Все это свидетельствует о региональном характере процессов, определивших активизацию в пределах Западной Сибири горизонтальных сдвигов фундамента в позднекайнозойское время. В зависимости от зрелости СС, в осадочном чехле Западной Сибири картируются различные структурные индикаторы сдвиговых деформаций — от кулисообразных складок волочения и систем ранних сколов (на ранних стадиях развития) до линейных шовных зон деформации и разрыва сплошности пород осадочного чехла (на поздних стадиях развития). Для большинства изученных объектов характерны структурные признаки ранних стадий развития СС, хотя ряд из них (Етыпуровское, Северо-Комсомольское) достигает поздних стадий развития. Это условная градация СС и, как будет показано ниже, физическая природа наблюдаемых различий в структурной выраженности СС кроется в интенсивности сдвиговых деформаций фундамента.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СТРУКТУР СДВИГА

Возраст СС можно установить по возрасту наиболее молодых пород, затронутых деформациями. На рис. 8 показаны три вертикальных сечения сейсмического куба на Етыпуровской площади, где отчетливо видно, что разрывы проходят всю толщу пород юрского, мелового и третичного возрастов и исчезают на границе верхов третичных и начала четвертичных пород, т.е. возраст СС на этой площади чрезвычайно молодой. Это типичная неотектоника, затрагивающая практически весь разрез. Аналогичную

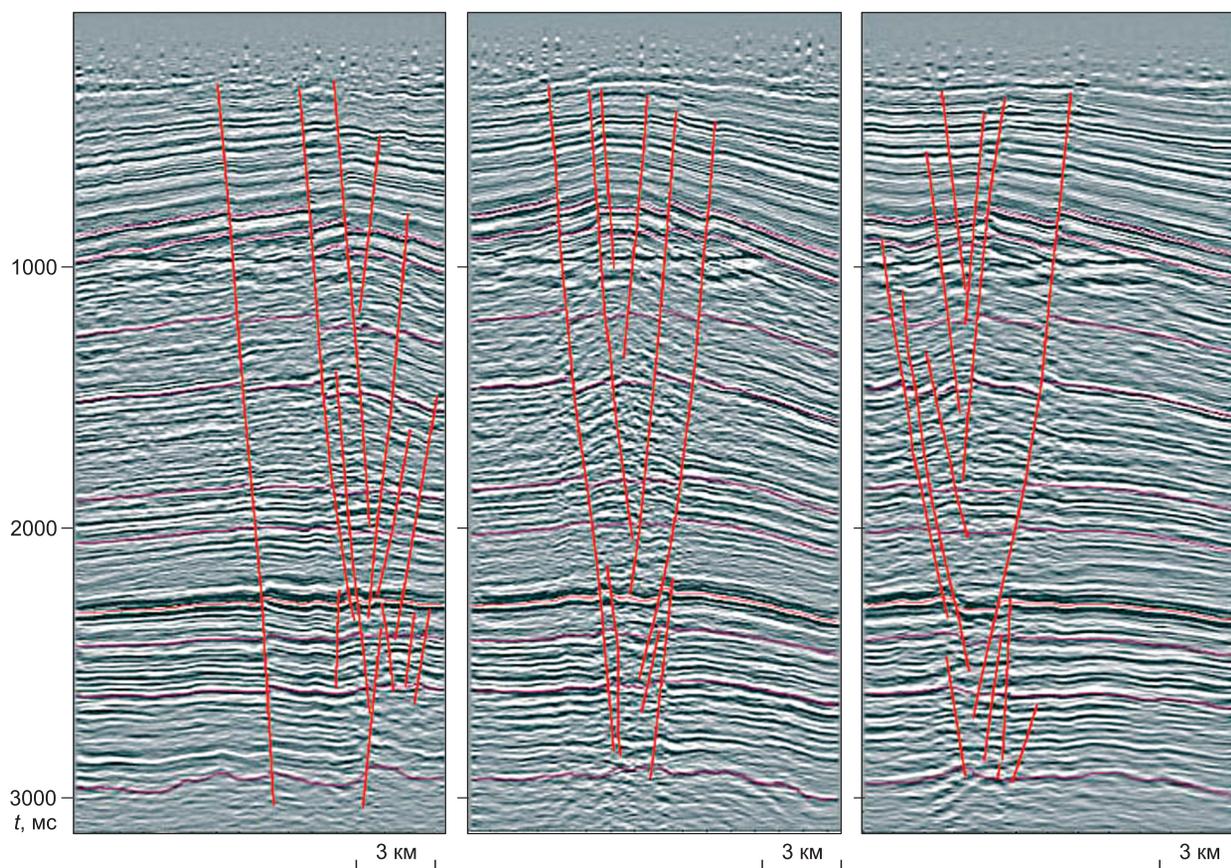


Рис. 8. Вертикальные сечения сейсмического куба 3D на северном куполе Етыпуровской площади, осложненной системой кулисообразных разломов (см. рис. 5).

Отчетливо видно, что нарушения пересекают всю толщу от фундамента практически до подошвы четвертичных отложений.

картину удалось наблюдать и на ряде других площадей. Но на этой же Етыпуровской площади, а также на некоторых других площадях можно видеть серию дислокаций, деформирующих только толщу юрских пород и низы мела (например, поперечную зону кулис на Северо-Комсомольской площади (см. рис. 1), пересекающую основную СС). Возможно, с очень малыми амплитудами смещений эти дислокации затрагивают и более молодые породы, но разрешающая способность сейсморазведки не позволяет это увидеть.

Опираясь на опубликованные материалы физического моделирования, различия в глубине проникновения СС естественнее всего объяснить не различным возрастом деформаций, а величиной амплитуды горизонтального смещения в палеозойском фундаменте. При совсем малых амплитудах горизонтальных смещений по разрыву в фундаменте деформации упругопластичной толщи покрова не способны активировать всю мощность осадочных пород и затухают внутри толщи. Отметим также, что наиболее распространенной зоной гашения деформаций выступает покрывающая горизонт Б клиноформенная толща нижнемеловых осадков, содержащая существенно более высокую долю пластичных глинистых пород по сравнению с ниже- и вышележающими толщами с относительно большим процентом песчаников.

Пространственная геометрия СС достаточно сложная. В упрощенном варианте наиболее точным приближением к наблюдаемой картине служат модели А. Сильвестра [Sylvester, 1988] (рис. 9). Кулисы разрывов достигают максимальных размеров в верхней части разреза (так, на Етыпуровской площади их длина достигает 5 км). В верхней части разрезов углы наклона плоскостей разрывов достаточно пологие (45—50°)*. С приближением к фундаменту длина кулис сокращается, углы наклона становятся более крутыми (70—80°). Азимуты простираения кулис приближаются к азимуту разлома в фундаменте. Этот тип разрывов формирует структуры «пальмы» или «тюльпана» и, согласно А. Сильвестру, отвечает случаю образования кулисной системы в условиях соответственно растяжения или сжатия в направлении, перпендикулярном оси сдвига в фундаменте.

* На рис. 2, 8 разрезы сжаты по горизонтали, поэтому углы наклона кулис искажены.

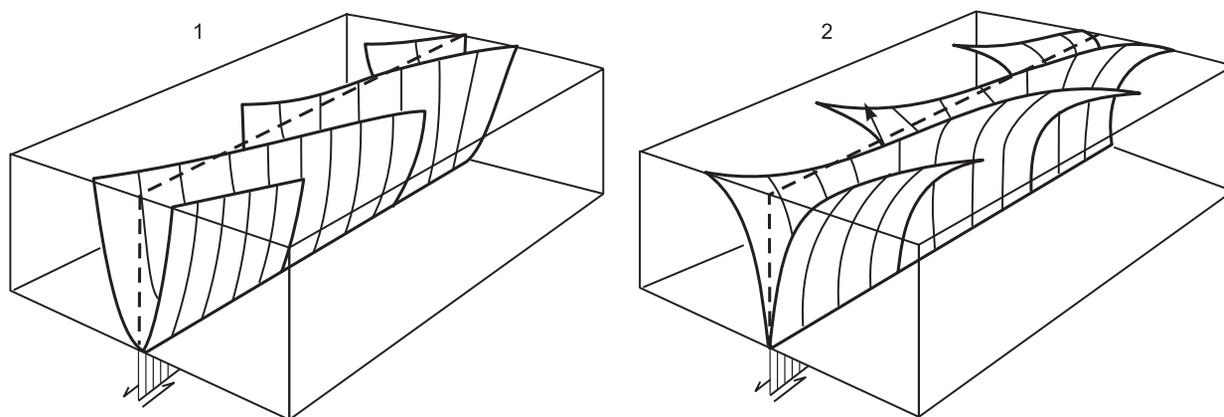


Рис. 9. Модели кулисообразных разломов над горизонтальным сдвигом в фундаменте, предложенные А.Г. Сильвестром [Silvester, 1988]:

1 — структура «тюльпана», 2 — структура «пальмы», формирующиеся в условиях дополнительного поперечного сжатия и растяжения.

Частота следования кулис меняется в диапазоне от 250 до 2500 м. Вертикальная составляющая кулисных разрывов достигает в максимальных случаях 100 м и более на уровне кровли меловых отложений.

Очень интересна и практически важна оценка амплитуд собственно горизонтального сдвига на кровле фундамента. К сожалению, до настоящего времени мы не нашли доказательных материалов, позволяющих увидеть горизонтальное смещение на реальных разрезах. Если воспользоваться модельными экспериментами, то наиболее представительные данные приводятся в работе [Naylor et al., 1986], где показано, что близкие к наблюдаемым картины кулисных дислокаций формируются при амплитудах горизонтальных перемещений, составляющих от 0.3 до 0.8 мощности осадочной толщи. Для рассматриваемых геологических условий этот диапазон составляет 0.8—3.0 км. Такие перемещения вызывают деформацию всей осадочной толщи до дневной поверхности (существовавшей на момент формирования сдвигов). В тех случаях, когда кулисные деформации затрагивают только часть разреза, например, только юрские отложения, можно полагать, что величина горизонтального смещения по кровле фундамента составит десятки и первые сотни метров.

Для характеристики ширины разрывов (или в данном случае лучше назвать их отрывами) продемонстрируем фрагмент одного из сейсмических профилей (рис. 10), где на уровне кровли верхнего мела виден вывал пород шириной около 800 м на глубину около 40 м в трещину отрыва. Такая картина воз-

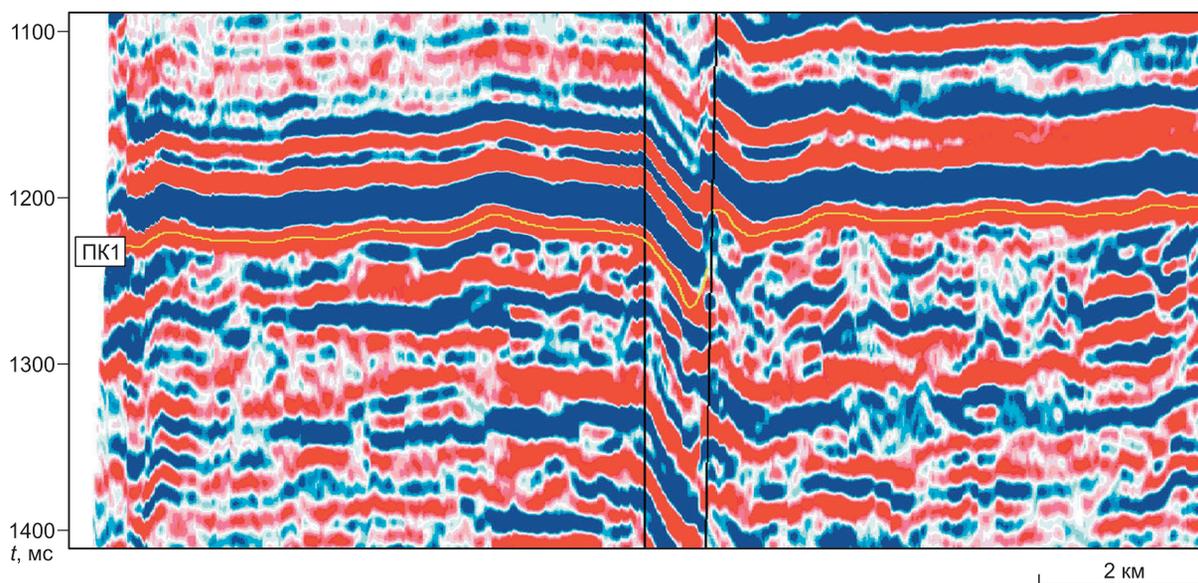


Рис. 10. Фрагмент сейсмического разреза, иллюстрирующий обрушение пород верхнего мела на глубину более 40 м в кулисообразный отрыв.

Ширина зоны обрушения 800 м.

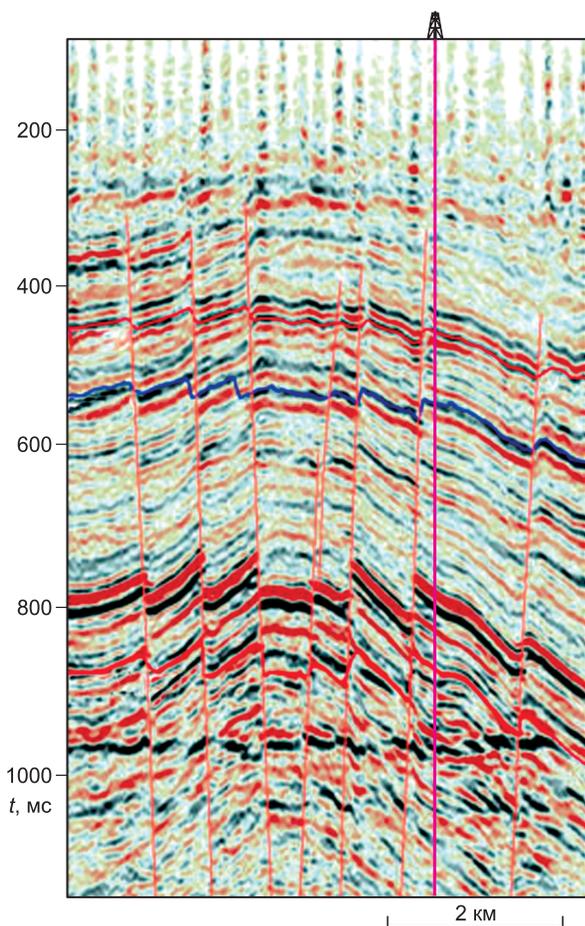


Рис. 11. Сейсмический разрез через центральную часть северного свода Етыпуровского месторождения с четким отображением горизонтального контакта газ—вода на фоне ярко выраженной системы кулисных нарушений.

можно только если ширина зияющего провала составляла несколько метров или даже первые десятки метров. Аналогичную картину можно наблюдать на нескольких площадях. Она свидетельствует, что на какой-то стадии (по-видимому, начальной) вертикальные отрывы создают мощные каналы для вертикального перемещения флюидов, и подтверждение этому мы увидим при анализе нефтегазоносности структур, осложненных СС.

Исходя из принципов геомеханики, такие каналы в осадочной толще не могут существовать долго. Как только прекращается горизонтальное движение блоков фундамента, падает напряжение сдвига в осадочной толще и силы бокового распора немедленно смыкают частично или полностью вертикальные «трубы» проницаемости, существенно ограничивая или полностью прекращая миграцию флюидов. Об этом свидетельствует сохранение гигантских газовых залежей в сеномане на ряде структур, нарушенных СС. Пример такой картины показан на рис. 11, где на Северном своде Етыпуровской структуры, разбитой серией кулисных разрывов, прекрасно виден горизонтальный контакт газ—вода, отделяющий мощную сводовую залежь. Этот положительный пример тем

не менее не исключает возможность образования на каких-то разрывах газовых сипов. Поэтому надо обеспечивать тщательный экологический контроль таких месторождений, особенно на этапе активной эксплуатации, когда скважины нарушают слой вечной мерзлоты, являющийся хорошей крышкой.

СТРУКТУРОФОРМИРУЮЩАЯ РОЛЬ СДВИГОВ

Влияние СС на формирование современного структурного плана геологических толщ и вмещающих ими залежей углеводородов можно предполагать на двух масштабных уровнях: формирование структур 1-, 2- и 3-го порядков, за которое ответственны собственно горизонтальные сдвиги в палеозойском фундаменте, а также блоковое строение отдельных структур и неструктурных ловушек, где определяющую роль играют кулисные разрывы и деформации осадочного чехла. Рассмотрим последовательно каждый из них.

Как мы отмечали выше, сдвиги в фундаменте фрагментарны: они формируют две диагональные системы сдвигов (см. рис. 6, а), каждая из которых состоит из ряда фрагментов длиной первые десятки километров (так, на ряде площадей видны точки окончания сдвигов, например на рис. 4 (карта 4)). Расстояние между такими фрагментами одного направления также составляет первые десятки километров. При этом амплитуда горизонтального смещения блоков фундамента, как показано выше, составляет величину, измеряемую в сотнях метров и первых километрах. Очевидно, что возникающие при этом деформации толщи фундамента должны разряжаться в вертикальном направлении и, прежде всего, в сторону меньшей нагрузки, т.е. в сторону поверхности осадочной толщи, формируя на ней поднятия и прогибы. Причем по возрасту эти структуры должны совпадать со временем формирования самих горизонтальных сдвигов.

Для проверки этой гипотезы на ряде площадей были выполнены палеореконструкции, убедительно показавшие, что значительная часть структур 2-го и 3-го порядков по кровле верхнемеловых отложений являются очень молодыми, сформировавшимися в кайнозое, т.е. одновременно, а правильнее сказать — как следствие возникновения сдвигов в палеозойской толще фундамента. Покажем это на примере Етыпуровского вала. Вал в современном плане сформирован двумя куполами, имеющими совершенно различную историю развития. Это хорошо видно из анализа приращений интервальной мощности, приведенных в таблице.

На момент отложения опорного репера — баженовского горизонта (Б) — в кровле юрских отложений Южный купол уже сформировался как конседиментационное поднятие, а на месте Северного купола был прогиб. Дополнительно накопленная мощность юрских отложений на месте Северного купола составила 340 м. В течение нижнего и среднего мела к моменту сеноманской трансгрессии, выровнившей бассейн, Южный купол продолжал расти, но существенно более медленными темпами, а на месте Северного купола оставался прогиб с дополнительно накопленной мощностью 56 м.

В кайнозойское время картина резко меняется. Наряду с продолжающимся медленным ростом Южного купола начинается быстрое формирование Северного купола. К моменту образования опорного отражения S2 в палеоцене дополнительное приращение мощности над Южным куполом составило 28 м. Но наибольший рост Северный купол испытал в новейшем интервале времени — между горизонтами S2 и современной поверхностью земли. Накопленная мощность осадочных пород над Южным куполом на 46 м больше, чем над Северным. Именно на этот же временной интервал приходится формирование сдвиговых дислокаций более мощных на Северном куполе и менее мощных, но более многочисленных зон сдвигов в районе Южного купола и в межкупальной зоне.

Таким образом, можно констатировать, что горизонтальные сдвиги в фундаменте в значительной мере повлияли на формирование современного структурного облика центральной части Западной Сибири.

Не менее серьезное воздействие СС оказали и на локальном уровне, формируя блоковое строение всей осадочной толщи и вызывая сложные пликативные деформации. Пликативные деформации обусловлены как воздействием самого сдвига, так и сопровождающих его процессов поперечного сжатия или растяжения осадочной толщи.

Деформации такого рода существенно изменяют общее структурное строение разведочных площадей. Так, на рис. 12 показана структурная карта по кровле горизонта Б на Северном куполе Етыпуровской площади, где отчетливо виден центральный грабен шириной от 0.5 до 1.0 км, сформировавшийся над осью сдвига. Здесь же видно, что вся структура свода деформирована. Восточное крыло структуры смещено на юго-восток, а западное — на северо-запад, амплитуда смещения составляет более 4 км.

На Етыпуровской площади впервые выявлен реверсный тип разломов (рис. 13). Свойства таких разломов определяются разнонаправленными движениями блоков по одну сторону от сместителя ниже и выше нейтральной поверхности (НП), чаще всего связанной с горизонтами клиноформенной ачимовской толщи. Если выше ачимовской толщи разлом классифицируется как сброс, то ниже этой поверхности он трансформируется во взброс; при этом по одну сторону плоскости сместителя пласты смещаются навстречу друг другу, а по другую — расходятся друг от друга. На уровне горизонтов ачимовской тол-

Таблица.

Интервал разреза	Южный купол, м	Северный купол, м	Приращение интервальной мощности, м
Кровля фундамента А Кровля юры Б А — Б	1080	1420	-340
Кровля юры Б Кровля сеномана ПК1 Б — ПК1	2053	2109	-56
Кровля сеномана ПК1 Граница в палеоцене S2 ПК1 — S2	380	352	28
Граница в палеоцене S2 Поверхность земли — Р S2 - Р	390	344	46

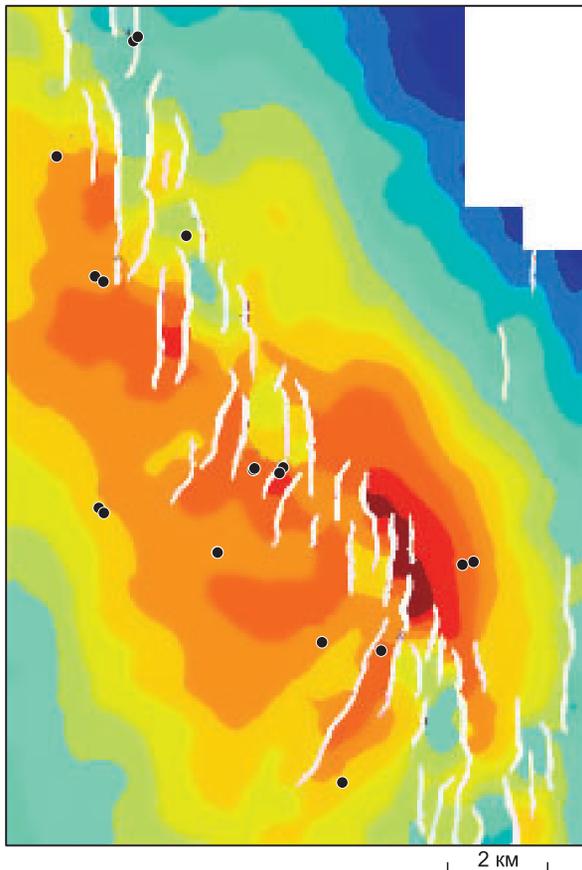


Рис. 12. Структурная карта по кровле баженовского горизонта на границе юрских и меловых отложений по северному куполу Етыпуровского месторождения.

Осевая зона системы кулисных разрывов формирует грабен шириной до 1 км и глубиной до 50 м. По разные стороны от осевой зоны наиболее приподнятые части структуры смещены на 4 км. Кулисные разломы формируют систему блоков, примыкающую с двух сторон к центральному грабену.

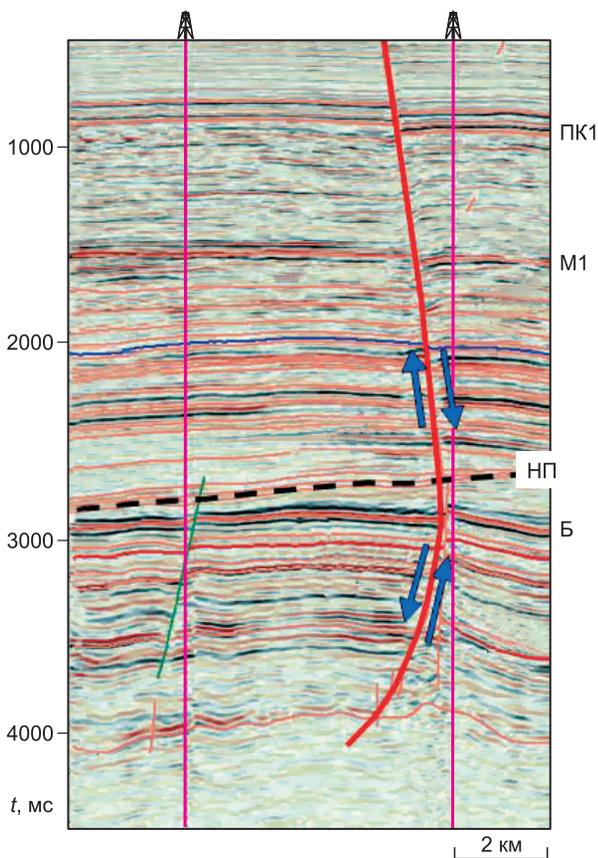


Рис. 13. Пример выделения «реверсного» разлома.

С западной стороны разлома по баженовскому горизонту в кровле юры и нижележащим отложениям виден сброс, а по отражениям в меловой толще с этой же стороны имеет место взброс. Изменение мощностей по разные стороны реверсного разлома достигает 60 м. Ненарушенная вертикальным смещением граница (НП) проходит в толще клиноформных ачимовских преимущественно глинистых отложений. Стрелками показаны направления смещения пород по обе стороны разлома.

щии смещение пластов нулевое, вверх по разрезу оно растет со сбросовой кинематикой и на уровне горизонта М1 (средний мел) составляет 40 м, вниз по разрезу смещение также растет, но уже со взбросовой кинематикой и на уровне горизонта Б составляет 20 м. Следствием таких деформаций является разница в мощности толщи Б-М1 по разные стороны от сместителя в 60 м.

Таким образом, по одну сторону плоскости реверсного разлома без нарушения последовательности залегания пластов и отсутствия перерывов осадконакопления происходит сокращение мощности за счет встречного движения блоков, пластического выдавливания и уплотнения пород. По другую сторону плоскости разлома за счет растяжения происходит нагнетание и разуплотнение пород.

Эти примеры позволяют понять возможные причины существующих невязок и являются осно-

вой для ревизии спорных моментов при проведении межскважинной корреляции горизонтов в зонах реверсных разломов и внутри клиньев сжатия СС.

СТРУКТУРЫ СДВИГА И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

Формирование субвертикальных каналов в пределах СС имело следствием образование месторождений с аномально большим числом продуктивных пластов во всей осадочной толще, затронутой сдвиговыми дислокациями. Такие месторождения, как Етыпуровское, Комсомольское, Северо-Комсомольское и другие, связанные с СС, насчитывают от 30 до 40 и более продуктивных пластов, начиная от нижней юры и до толщи третичного возраста. При этом имеет место сложное переслаивание нефтяных, газонефтяных и чисто газонасыщенных пластов, говорящее о пульсирующем характере заполнения ловушек.

Весьма характерную картину можно видеть на планшете месторождений востока Ханты-Мансийского округа, подготовленном и опубликованном Научным центром ХМАО им. Шпильмана в 2004 г. [Атлас..., 2004].

Приведенные здесь месторождения Надым-Пуровской и Васюганской нефтегазоносных областей ХМАО частично находятся на южном продолжении зоны СС, описанной выше. Можно видеть, что среди 37 месторождений, где продуктивные пласты тесно группируются вблизи баженовского горизонта на границе юрских и меловых пород, выделяются шесть месторождений, где этаж продуктивности резко возрастает, доходит до верхов меловой толщи и содержит множество продуктивных пластов. Это месторождения: Варьеганское, Ваньеганское, Тюменское, Новоаганское, Верхнеколикьеганское, Северное.

В самой публикации Научного центра ничего не говорится о геологических особенностях этих месторождений. Но сегодня мы можем с полной уверенностью утверждать, что эти месторождения входят в зону СС. На некоторых (Верхнеколикьеганское) этот факт уже подтвержден сейсмической съемкой 3D, на других это, несомненно, будет доказано последующими съемками 3D. Более того, можно ожидать, что новые съемки 3D выявят новые зоны СС и, возможно, что на ряде указанных на планшете месторождений появятся серьезные основания подвергнуть дополнительному анализу вартовскую и покурскую толщи с целью выявления там пропущенных залежей.

Особого внимания заслуживает огромная территория севера Западной Сибири, включающая ряд гигантских газовых месторождений в сеномане, где, по нашим данным, должны быть активно развиты СС. Согласно фактическим материалам, на изученной территории ниже сеноманских залежей следует

Рис. 14. Контур газовой залежи (красное) в сеноманских отложениях на Северо-Комсомольской площади, четко картируемый аномалией на карте амплитуд сейсмического отражения.

ожидать многопластовые нефтегазоконденсатные месторождения. Часть их уже открыта и находится в разработке, но реальный потенциал юрских, нижне- и среднемеловых отложений этого региона еще далек от полного освещения. Здесь необходим полный пересмотр геологической модели строения бассейна, базирующийся на картировании зон СС и связанных с ними месторождений с высоким этажом нефтегазоносности.

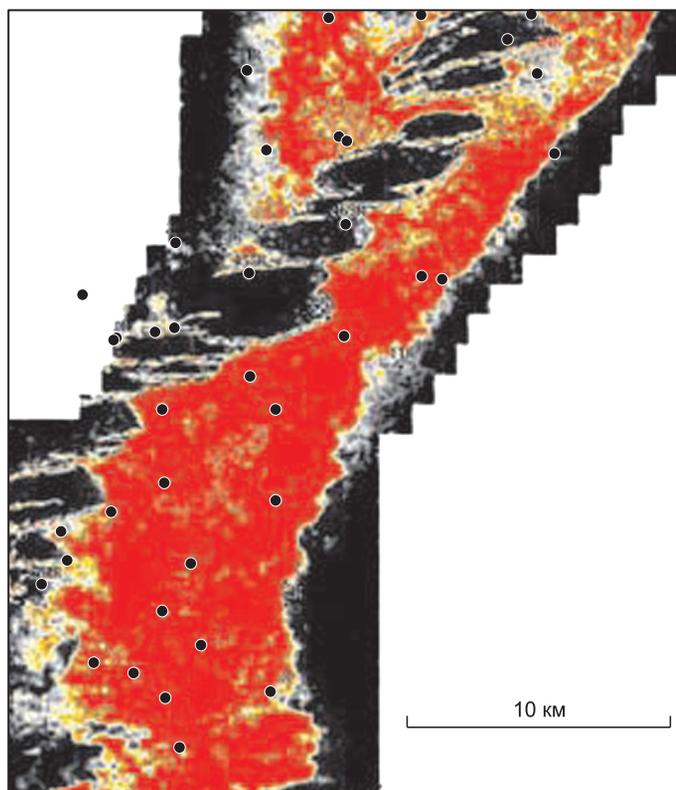
Теперь несколько слов о самих газовых залежах сеномана. На изученной нами территории все крупные залежи газа в сеноманских отложениях находятся на структурах с доказанными сдвиговыми дислокациями, прорывающими всю толщу меловых отложений. Так, на рис. 14 показана карта амплитуд сейсмической записи на уровне кровли сеноманских отложений на Северо-Комсомольской площади, четко фиксирующая аномалией амплитуд контуры огромной газовой залежи и ее увязку с системой кулисных разрывов.

Не приводя иллюстраций, отметим, что на этой площади и в нескольких маломощных песчаных пластах в покрывающих третичных отложениях, которые разорваны кулисами сдвиговых дислокаций, также сейсморазведка отчетливо фиксирует газовые аномалии. На рис. 11 показан пример сеноманской газовой залежи на Етыпуровском месторождении, где она также сформировалась на системе разрывов СС.

Для дальнейшего рассмотрения роли СС на севере Западной Сибири следует обратиться к глубокому анализу геологического строения п-ова Ямал и прилегающих территорий, представленному в книге [Скоробогатов и др., 2003]. В ней авторы достоверно показывают значительное развитие сложных дизъюнктивных дислокаций на многих гигантских месторождениях севера Западной Сибири (Новопортовское, Таркосалинское, Северо-Уренгойское, Ныдинское, Бованенковское, Харасавейское, Медвежье, Амсовейское, Тазовское, Геофизическое и др.). В том числе они называют и южнее расположенные месторождения, которые мы анализируем в настоящей статье (Етыпуровское, Северо-Комсомольское, Харампурское) и где связь разломов со сдвигами в палеозойском фундаменте нами доказана. Авторы цитируемой работы отмечают огромный этаж нефтегазоносности от верхов палеозоя до кровли мела с формированием десятков насыщенных углеводородами пластов-коллекторов на затронутых дизъюнктивными структурах. На ряде месторождений (Новопортовское, Северное) они констатируют новейшее формирование дислокаций — олигоцен-плейстоценовое — тот же временной интервал, что мы видим на детально изученной тектонике южнее расположенных месторождений. Дизъюнктивную тектонику других месторождений они датируют более ранним возрастом, но это можно объяснить отсутствием у авторов упомянутой публикации надежных индикаторов возраста дислокаций. Так, они относят нарушения на Етыпуровской структуре к конседиментационным, возникшим в раннем мелу, но это полностью опровергается достоверным выделением нарушений вплоть до подошвы четвертичных отложений (см. рис. 11).

Представляется, что на всей гигантской территории севера Западной Сибири, описываемой в работе [Скоробогатов и др., 2003], к моменту подготовки ее публикации отсутствовали либо не были качественно выполнены сейсмические работы 3D. Именно этим следует объяснить ряд ошибочных предположений авторов о преимущественно вертикальном движении геоблоков и вероятном отсутствии миграции углеводородов из палеозойской толщи. На приводимых в книге иллюстрациях тектонического строения таких месторождений, как Новопортовское, Нейтинское, не просматривается геологически обоснованная система нарушений.

Вместе с тем достоверно установленные факты широкого развития дизъюнктивной тектоники именно в той обширной зоне между Худуттейским и Худосейским разломами, которая вытекает из наших



исследований; связь высокого этажа нефтегазоносности на многих структурах с разломной тектоникой; молодой неоген-четвертичный возраст дислокаций — все это доказывает факт широкого развития сдвиговых структур на огромных территориях севера Западной Сибири.

Приведенные данные позволяют высказать предположение, что, возможно, все сеноманские залежи газа, севернее изученной нами территории, в своей основе связаны со структурами горизонтального сдвига, пока еще не выявленными и не закартированными надежными измерениями сейсморазведки 3D. Доказательство этой гипотезы имеет огромное прикладное значение, так как позволит уточнить модели эксплуатируемых залежей и сформулировать новые направления поисковых работ.

Другое важное в научном и практическом плане предположение, вытекающее из анализа накопленных данных, связано с источником углеводородов и, прежде всего, гигантских объемов газа в пределах территории распространения СС. В противовес (или в дополнение) к общепринятой гипотезе об определяющей роли пласта битуминозных глин баженковского горизонта как генератора жидких и газообразных углеводородов в пределах всего Западно-Сибирского бассейна наличие молодых вертикальных каналов гидравлической связи значительной толщи палеозойского фундамента со всем юрско-меловым осадочным чехлом позволяет обосновать наличие глубинного источника углеводородов, обеспечивающего питание гигантских залежей по каналам СС.

СТРУКТУРЫ СДВИГА И ВОПРОСЫ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Новые данные о широком развитии структур СС на перспективных территориях Западной Сибири и, возможно, примыкающей к ним с севера акватории Карского моря позволяют расширить спектр поиска ловушек нефти и газа, добавив к стандартным структурным и литологически экранированным объектам многочисленные тектонические ловушки, образованные как кулисообразными разрывами в верхах юрской и всей меловой толщи, так и самими шовными зонами горизонтальных сдвигов в толще, подстилающей юрские отложения, в базальных пластах юры, коре выветривания и самом фундаменте. Поиск таких ловушек возможен как на склонах структурных поднятий, так и в прогибах, разрезаемых структурами горизонтального сдвига.

На крупных структурах с доказанной продуктивностью картирование СС может привести к пересмотру модели строения месторождений и вместо единого резервуара определенного стратиграфического уровня закартировать ряд изолированных блоков.

Именно так получилось при постановке 3D на Етыпуровской площади при изучении юрской толщи. Вместо модели единой крупной ловушки, построенной по данным сейсморазведки 2D и сети разведочных скважин, была закартирована цепь из более чем 30 локальных блоков, для опосредования которой было рекомендовано эквивалентное количество поисковых скважин. Пробуренная к настоящему моменту часть рекомендованных скважин дала значительные притоки нефти, измеряемые сотнями тонн в сутки, что радикально повысило ресурсную базу месторождения.

Нестандартных подходов требует и проектирование геометрии стволов поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин в зонах СС. Сложная пространственная конфигурация кулисных разломов, наличие зон дезинтеграции и пластического течения пород в зонах СС требует тщательного выбора положения стволов скважин. Это принципиально важно на поисковом этапе, когда желательно одной скважиной вскрыть потенциальные ловушки на многих стратиграфических уровнях в благоприятных структурных условиях. Как правило, возможные ловушки будут здесь тектонически экранированными, поэтому ствол поисковых (и разведочных) скважин должен следовать пространственной геометрии разломов, вскрывая на каждом уровне потенциальные коллекторы в наиболее приподнятой части. Ранее было показано, что разломы СС далеко не вертикальны, плоскости их изменяются с глубиной по углу наклона и азимуту. Оптимально спроектированная скважина будет иметь криволинейный ствол сложной геометрии.

Проектирование сети эксплуатационных скважин также должно базироваться на истинной модели геометрии залежей и учитывать особенности распределения коллекторских свойств, прежде всего, проницаемости. На последнюю существенное положительное влияние оказывает трещиноватость, обусловленная горизонтальными напряжениями в приподнятых блоках, находящихся в зонах растяжения. В то же время из анализа данных бурения видно резко негативное влияние зон деструкций коллекторов, как правило, над магистральным сдвигом в фундаменте, где смятие и пластические деформации практически исключают значимую проницаемость коллекторов. Особенно важен учет положения разломов и истинных параметров продуктивных пластов при проектировании горизонтальных стволов, при размещении нагнетательных скважин, при планировании гидроразрывов пластов и других геолого-технических мероприятий, направленных на повышение конечной нефтеотдачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая настоящую работу, перечислим основные результаты и сформируем главные следствия проведенных исследований.

1. На базе значительного объема экспериментальных сейсмических данных 3D на территории одной из крупнейших нефтегазоносных провинций мира — Западно-Сибирской платформы — доказано наличие крупной зоны развития очень молодой неоген-четвертичной системы малоамплитудных горизонтальных сдвигов в толще палеозойского фундамента, вызывающих сложные пликативные и дизъюнктивные дислокации юрско-мелового осадочного чехла, вмещающего многочисленные месторождения нефти и газа.

2. Имеющиеся сегодня данные позволяют ограничить зону развития сдвигов раскрывающимся на север веером, острие которого находится вблизи границы Тюменской и Томской областей на широте около 60°. Западный край проходит по системе кулисно сочленяющихся молодых валов вдоль предполагаемого Худуттейского глубинного разлома (Медвежий, Северный, Вэнгяхинский, Етыпуровский, Тагринский валы), а восточный — по системе валов, включающих Часельский, Харампурский, Бахилловский, Александровский, расположенных вдоль предполагаемого Худосейского грабен-рифта. Северная граница зоны развития сдвигов на сегодня не определена, но по косвенным признакам можно предполагать, что она включает весь север Западной Сибири и акваторию Карского моря.

3. В толще фундамента система горизонтальных сдвигов состоит из множества шовных зон длиной первые десятки километров каждая и формирующих два диагональных направления: с юго-запада на северо-восток и с юго-востока на северо-запад. Средний азимутальный угол между ними близок к 80°. Амплитуда горизонтальных сдвигов на уровне кровли фундамента меняется в широких пределах от единиц метров до первых километров. Горизонтальные перемещения в толще фундамента ответственны за образование молодых структур 2-го и 3-го порядков, совпадающих по возрасту со временем формирования сдвигов.

4. Сдвиги фундамента создают в осадочном чехле сложные пликативные и дизъюнктивные деформации, среди которых определяющую роль играют системы кулисообразных разломов-отрывов, пронизывающих на ряде площадей всю толщу осадков до подошвы четвертичного чехла и формирующих на начальном этапе развития мощные вертикальные каналы миграции флюидов. Об этом свидетельствует аномально широкий этаж нефтегазоносности (40 и более продуктивных пластов) на большинстве месторождений в зоне СС. На современном этапе, после снятия горизонтальных напряжений, кулисообразные разломы под действием сил бокового распора толщи осадков закрылись, и какая-то часть их сегодня, вероятно, формирует барьеры проницаемости.

5. Другим важным следствием развития СС в осадочном чехле является раздробленность крупных антиклинальных структур системой кулисных разломов на серию блоков, каждый из которых может формировать самостоятельные ловушки на разных стратиграфических уровнях. Опоискование таких структур требует тщательного детального изучения формы границ блоков, их структурного строения и прогноза фильтрационно-емкостных свойств.

6. Системы кулисообразных нарушений принципиально невозможно картировать профильной сейсморазведкой. Интерпретация сейсморазведки 2D чаще всего дает ложную картину существования линейных разломов, параллельных шву сдвига в фундаменте. Только качественная съемка 3D с глубокой обработкой и применением пространственной миграции позволяет закартировать кулисные разломы по площади и по вертикали до предельной разрешающей способности сейсморазведки по выделению разломов в 2—4 м вертикальной амплитуды. Заметим также, что амплитуды горизонтальных смещений чаще всего на сейсмических разрезах увидеть не представляется возможным. Высказанные в работе оценки амплитуд горизонтальных сдвигов базируются на модельных экспериментах и должны быть уточнены в дальнейшем.

7. Поиски, разведка и разработка месторождений углеводородов в зоне развития сдвигов требуют специальных подходов как в вопросах размещения поисковых, разведочных и сети эксплуатационных скважин, обоснования геометрии стволов, так и в выборе технологий повышения нефтеотдачи. Необходимо детальное картирование сейсморазведкой 3D геометрии блоков структуры, выделение зон вероятного развития трещиноватости как источника повышенной проницаемости продуктивных интервалов.

8. Многие вопросы развития сдвиговых дислокаций в пределах Западно-Сибирской геосинеклизы, их влияния на формирование месторождений углеводородов, технологии поисков, разведки и, главное, эффективной разработки продуктивных пластов в условиях пликативных и дизъюнктивных деформаций, обусловленных сдвиговой тектоникой на сегодня не решены и требуют глубоких всесторонних исследований с привлечением фундаментальных наук.

Нет никакого сомнения в том, что настоящая публикация послужит катализатором изучения сдвиговых дислокаций в других регионах нефтегазопроисловых работ на территории России и других стран по

мере расширения областей применения сейсморазведки 3D, являющейся на сегодня основным методом картирования сложных тектонических структур.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить руководство компании «Роснефть» и «Газпром нефть» за разрешение использовать их сейсмические данные в настоящей публикации, а также большой коллектив геофизиков ОАО «Центральная геофизическая экспедиция», принимавших участие в обработке и интерпретации используемых в статье сейсмических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». Ханты-Мансийск, Государственное предприятие Ханты-Мансийского автономного округа «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана», 2004, 149 с.

Галямов К. К., Иванов С.В., Скрылев С.А., Бодрягин А.В., Митрофанов А.Д., Куприянов Ю.Д., Шелехов А.П. Определение трещиноватости горных пород на основе комплексирования дистанционных методов и геолого-промысловых данных // Каротажник, 2004, вып. 3—4, с. 155—165.

Гогоненков Г. Н., Лаврик А.С., Эльманович С.С. Зарождающиеся горизонтальные сдвиги в тектонике северной части Западной Сибири // Геофизика, спецвыпуск Технологии сейсморазведки-1, 2002, с. 54—62.

Гогоненков Г. Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири // Геология нефти и газа, 2007, № 3, с. 3—11.

Конторович А. Э., Нестеров И.И. Структурная карта Западно-Сибирской геосинклизы по кровле апт-сеноманского комплекса, Новосибирск, 2000.

Скоробогатов В. А., Строганов Л.В., Копеев В.Д. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М., Недра, 2003, 350 с.

Сурков В. В., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М., Недра, 1981, 143 с.

Эльманович С. С., Ли А. А., Лаврик А. С. Применение 3D сейсморазведки на Губкинском месторождении Западной Сибири // Геофизика, 1998, № 1, с. 25—32.

Hoeppeener R. E., Karthoff H.N., Schrader P. Zur physikalischen Tectonik, Bruchbildung bei verschiedenen Deformation im Experiment // Geol. Rundsch., 1969, № 59, 179—193 с.

Naylor M. A., Mandl G., Sijpesteijn C.H.K. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states // J. Struct. Geol., 1986, v. 8, № 7, p. 737—752.

Sylvester A.G. Strike-slip faults // Geol. Soc. Amer. Bull., 1988, v. 100, p. 1666—1703.

Yaroszewski W. Tektonika uskokow i faldon. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1974, 360 p.

*Рекомендована к печати 14 августа 2009 г.
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию 13 января 2009 г.,
после доработки — 7 августа 2009 г.*