

СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АЛЕКСАНДРОВСКОГО СВОДА

О.С. Юрченко¹, Л.А. Сим²

¹ – ООО «Славнефть–НПЦ», Тверь

² – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно расширяются исследования строения земной коры сейсмическими методами. Разрабатываются новые технологии, появляется новое видение геологического строения на основе интерпретации сейсмического материала [Гогоненков, Лаврик, 2002; Гогоненков, Тимурзиев, 2007; Кашик и др., 2005; Chopra, Marfurt, 2007]. Особое значение это приобретает в областях, где ведутся интенсивные поиски и разработка нефтяных и газовых месторождений, например, в Западной Сибири, где в последнее время все большее внимание уделяется изучению тектонических особенностей строения продуктивных и потенциально продуктивных площадей и участков. Степень деструкции доюрского фундамента и перекрывающего его осадочного чехла напрямую влияют на степень герметичности глинистых покрышек, на возможные направления миграции продуктивного флюида. В свою очередь, особенности тектонического строения могут пролить свет на условия и механизмы тектонических деформаций, имевших место на различных этапах геологического развития площадей и участков исследований. Следует отметить, что интерпретация данных сейсморазведки, основанных на методах дистанционного исследования глубоких горизонтов земной коры, предопределяет неоднозначность геологической интерпретации и может быть не всегда однозначной, даже когда она подкреплена фактическим материалом.

В качестве экспериментального примера применения комплекса геолого-тектонико-физических исследований были рассмотрены две площади, расположенные в пределах северной части Александровского свода Обь-Васюганской гряды (рис. 1). В рельефе доюрского основания амплитуда свода возрастает более чем в два раза (по сравнению с кровлей баженовской свиты – отражающий горизонт Б) и составляет 780 м. Наиболее крупной структурой Александровского свода является Трайгородский мезовал, имеющий линейную форму и вытянутый в северном

направлении. Мезовал осложнен структурами Шо порядка: Охтеурским, Аригольским и Вахским куполовидными поднятиями и Кривоуцким валом. В пределах вышеперечисленных куполовидных поднятий отложения осадочного мегакомплекса представлены ааленово-волжской и меловой толщами пород [Конторович, 2002].

Крупной отрицательной структурой, ограничивающей с запада Обь-Васюганскую гряду является Колтогорско-Нюрольский желоб, который на всем своем протяжении осложнен более мелкими впадинами. Сопреженным с Трайгородским мезовалом является Колтогорский мезо-прогиб с осложняющей его Северо-Колтогорской впадиной.

В интервале развития отложений осадочного чехла в пределах площади исследований было прокоррелировано несколько основных отражающих горизонтов (ОГ), которые являются устойчивыми маркерами и хорошо выделяются в сейсмическом волновом поле. В основном они приурочены к реперным глинистым пачкам, либо залегающим на эрозионных поверхностях размыва нижележащих отложений, либо завершающим разрезы крупных циклов осадконакопления. На основе анализа распределения и стратиграфической приуроченности глинистых пачек (и соответствующих им отражающих горизонтов) по разрезу было выделено 2 основных и 5 вспомогательных целевых интервалов, совпадающих с сейсмофациальными мегакомплексами (СФМК) и входящими в их состав сейсмофациальными комплексами (СФК):

1. Юрский СФМК (между поверхностью доюрского основания (ОГ А) и кровлей баженовской свиты (ОГ Б)), разделенный, в свою очередь, на:
 - 1.1. Нижний и среднеюрский СФК объединенные (между поверхностью доюрского основания (ОГ А) и кровлей тюменской свиты (ОГ Тю₂));

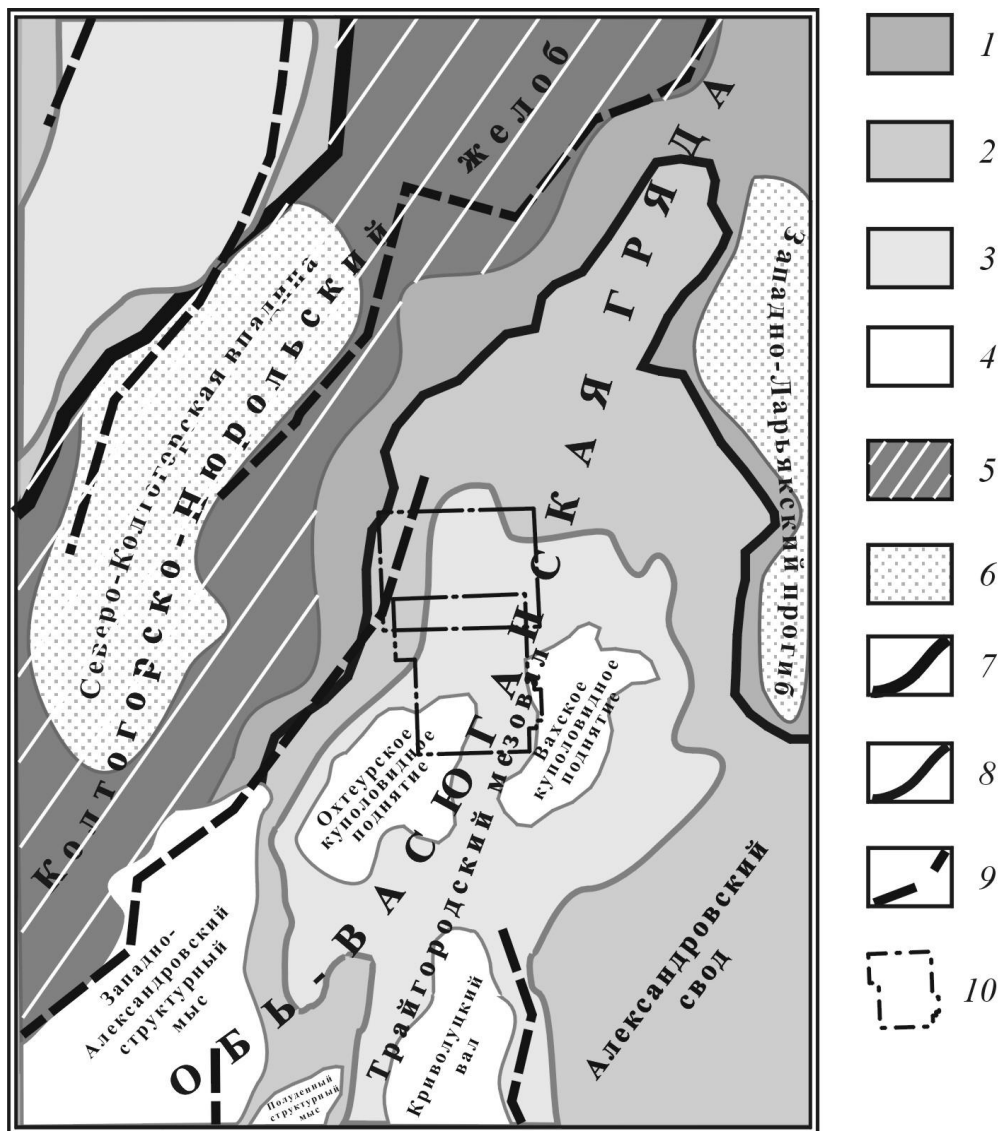


Рис. 1. Структурно-тектоническая позиция площадей исследований (выкопировка из «Тектонической карты юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции» под ред. Конторовича А.Э., 2000 г.).

Тектонические элементы: положительные: 1 – 0 порядка (Обь-Васюганская гряда); 2 – I порядка (Александровский свод); 3 – II порядка (Трайгородский мезовал); 4 – III порядка (Охтеурское куполовидное поднятие). отрицательные: 5 – 0 порядка (Колтогорско-Нюрольский желоб); 6 – III порядка (Северо-Колтогорская впадина).

Границы: 7 – структур 0 порядка; 8 – структур I порядка; 9 – разрывные нарушения; 10 – площади исследований

- 1.2. Средне-верхнеюрский СФК (между ОГ ТЮ₂ и ОГ Б);
 2. Меловой сейсмофациальный мегакомплекс (между кровлями баженовской (ОГ Б) и ганькинской (ОГ К) свиты):
 - 2.1. Неоком-нижнеаптский СФК (между кровлей баженовской свиты (ОГ Б) и подошвой кошайской пачки алымской свиты (ОГ М)). В нижней части сейсмокомплекса, представленной клиноформами, развиты отложения куломзинской свиты;
 - 2.2. Апт-сеноманский СФК (между подошвами кошайской пачки (ОГ М) и кузнецовской свиты (ОГ Г, кровля сеномана));
 - 2.3. Верхнемеловой СФК (между подошвой кузнецовской свиты (ОГ Г (кровля сеномана) и кровлей ганькинской свиты (ОГ К)).
- Таким образом, последовательное изучение сейсмических аномалий в пределах выделенных СФК позволило проанализировать степень нарушения осадочного разреза.
- Многочисленные геологические методы интерпретации сейсмического материала вносят огромный вклад в решение задач выявления и описания потенциально продуктивных структур, расположенных на сравнительно большой глубине.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований на вышеуказанных участках служили аномалии сейсмического волнового поля, отождествленные с разрывными нарушениями разного ранга и разной степени выраженности. В качестве вспомогательного материала были использованы срезы куба антикогерентности, позволяющего более тонко отобразить угол наклона разрывного нарушения (программа COG, разработка ООО «Славнефть-НПЦ»), однако, не до конца подавляющего сторонний шум, на первый взгляд, не связанный с анализируемыми разрывами.

Практически во всех случаях анализировались срезы куба антикогерентности COG, полученные пропорционально кровлям и подошвам основных отражающих горизонтов, ограничивающих соответствующие интервалы. Исключение составляет лишь интервал верхне-мелового СФК, где срезы были получены конформно основному отражающему горизонту Г в интервале 300 мс вверх от него.

Полученные результаты интерактивно сравнивались с данными анализа куба антикогерентности Variance. Последний хорошо реагирует только на крупные протяженные разрывы (глубина проникновения по разрезу более 200 мс) и на крутые перегибы структур, создавая тем самым «ложные» аномалии, отождествляемые в ходе сейсмической интерпретации с дизъюнктивами, но мелкие разрывные нарушения и общую степень деструктурированности объекта данная модификация куба антикогерентности отобразить не может. Особенно важным это оказалось, когда предпринималась попытка проанализировать взаимоотношения между выделенными разрывами различных рангов.

Учитывая, что целью исследований являлось выделение и анализ взаимоотношений между выделенными линеаменами и разрывными нарушениями, рабочим инструментом была выбрана более «тонкочувствительная» версия куба антикогерентности.

Далее к работе привлекались методики дистанционного анализа объектов по аналогии с подходами, используемыми при дешифрировании аэро- и космоснимков, изложенные в многочисленной литературе. Полученные результаты рассматривались в свете существующих разнообразных методов реконструкции тектонических напряжений и деформаций: метод тектонодинамического анализа, развитый в работах Николаева П. Н. [Николаев, 1992], структурно-геоморфологический метод анализа оперяющих разрывов, разработанный и предло-

женный Сим Л. А. [Сим, 1991], метод парагенетического анализа дизъюнктивных структур, разработанный Расцветаевым Л. М. применительно к геологическим структурно-кинематическим данным о трещинах [Расцветаев, 1987].

Поскольку в пределах площади исследований были выделены сейсмические аномалии, напоминающие своими очертаниями зону сдвига, были проанализированы данные лабораторного моделирования на предмет изучения этих структур [Белоусов, Гзовский, 1954; Гзовский, 1975; Шерман и др., 1991].

Так, согласно данным моделирования, формирование классического сдвига в осадочном чехле происходит в несколько этапов [Белоусов, Гзовский, 1954; Воронов и др., 1997 (с. 128–130)]. На стадии зарождающегося сдвига в пластичном чехле над этими зонами начинает образовываться серия кулисообразно ориентированных относительно этих зон антиклинальных и синклинальных складок под влиянием тектонических напряжений в фундаменте. В случае обнаружения в структуре осадочного чехла зоны кулисно-ориентированных складок всегда можно точно установить направления действия осей главных нормальных напряжений, а, следовательно, и направление зарождающегося сдвига на первом, пликативном, этапе его развития. В практическом отношении выявленные особенности интересны тем, что в нефтеносных районах такие складки служат ловушками для углеводородов.

Вблизи штампа (фундамента (в основании осадочного чехла)) под образовавшимся поясом складок развиваются иные процессы. Вскоре после возникновения упомянутых складок (а возможно, и одновременно с ними) здесь возникают вертикально ориентированные трещины отрыва и первая система трещин скалывания (R-сколы). При этом оси трещин отрыва располагаются вкрест простирания осей складок, а трещины скалывания – параллельно им. Иногда они проникают выше, и на их базе в верхней части чехла могут образовываться малоамплитудные сбросы и взбросы.

При дальнейшем развитии сдвиговой зоны угол трещин скалывания возрастает по отношению к оси сдвига, а трещины раскрываются все больше, преобразуясь в отрывы, и все больше улучшают свои свойства для вертикальной миграции внутрикоровых и подкоровых флюидов [Воронов и др., 1997, с. 129]. Таким образом, стадии раннего развития сдвига весьма перспективны для рудообразования, а в случае, если она

развивается в платформенном чехле, то и для вертикальной миграции высокотемпературных минерализованных вод и углеводородов.

В качестве дополнения был проведен анализ аномалий куба антикогерентности (условной трещиноватости) для выделения парагенезов оперяющих трещин в зоне сдвига. Закономерности, обнаруженные в разные годы при полевых исследованиях и по данным моделирования сдвигов, показали, что пространственная ориентировка оперяющих трещин в зонах формирующихся сдвигов зависит от характера внешней нагрузки и угла скалывания в породах. Так, согласно [Гзовский, 1975; Худолей, 2004], в обстановке простого сдвига при ориентации осей сжатия под углом, близким к 45° к зоне будущего разлома, формируется целый набор характерных структур. Во-первых, образуется сам разлом, развивающийся как сдвиг.

Во-вторых, образуются две системы разрывных нарушений (тоже сдвигов), симметричных относительно оси сжатия (так называемые сколы Риделя): синтетические (R-сдвиги) и антитетические (R'-сдвиги). Так же выделяются вторичные синтетические сдвиги (P-сдвиги) и сдвиги, параллельные основному сдвигу и фиксирующие то же направление смещения (Y-сдвиги). В зависимости от изменения угла наклона оси сжатия к плоскости основного разлома изменяется и пространственное расположение сколов Риделя [Худолей, 2004, с. 413]. Таким образом, все многообразие выделенных по сейсмическим материалам линеаментов рассматривалось с точки зрения потенциальных участников парагенеза оперяющих трещин, а основные закономерности ориентации трещин оперения в зонах сдвигов использовались для реконструкции тектонических напряжений, вызывающих сдвиги.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Максимкинская площадь. Площадь расположена в пределах северо-восточной периклинали Охтеурского поднятия. При анализе срезов сейсмического волнового поля по кубу СОГ в юрском интервале разреза (юрский СФК) обращают на себя внимание сейсмические аномалии с высокой степенью контрастности, морфологически напоминающие эшелонированные системы разрывов, расположенные линейно вдоль осевой части вышеупомянутого поднятия и придерживающиеся общего ЮЗ–СВ простирания, характеризующего направление магистрального сдвига (рис. 2).

Они имеют различную степень контрастности, форма проявления их варьирует от условно прямолинейной, узко линзообразной до S-образной. Аналогичные аномалии сейсмического поля и раньше выделялись в пределах участков севера Западной Сибири [Гогоненков и др., 2002; Гогоненков, Тимурзиев, 2007; Кашик и др., 2005]. Данные полевых исследований [Уткин, 1980] и моделирования сдвиговых зон на пластичных материалах [Воронов и др., 1997; Экспериментальная тектоника..., 1989] показывают, что образование кулисообразных рядов трещин происходит при деформации сдвигания («скашивания») пластичного материала над жесткими штампами («блоками фундамента») в процессе их разнонаправленного смещения. В пределах площади исследований были выделены

три основные зоны таких структур ЮЗ–СВ простирания: Южно-Аригольская, Охтеурская и Западно-Вахская системы кулис, расположенные соответственно в северо-западной, центральной и юго-восточной частях площади исследований (рис. 3).

Второй вид сейсмических аномалий выражен менее контрастно, по сравнению с первым. Аномалии сопровождаются достаточно сильными шумовыми эффектами, но привлекает внимание их четкая линейная выдержанность по всему юрскому интервалу разреза. Аномалии имеют в целом СЗ–ЮВ простирание и занимают секущее положение по отношению к аномалиям эшелонированного типа. Несмотря на свою слабую контрастность, с достаточной степенью уверенности можно предполагать их наложенность на систему эшелонированных аномалий. Такой вывод был сделан на основании того, что они имеют выдержанную прямолинейную форму и в большинстве случаев прорывают эшелонированные аномалии, вызывая, в ряде случаев, их смещение, преимущественно правосдвигового типа. Иногда такие секущие аномалии сопровождаются теми же явлениями эшелонирования, как и выявленные в аномалиях первого типа (северная часть площади). Это указывает на сложные взаимоотношения между выделенными группами аномалий, а также на возможную их разновозрастность.

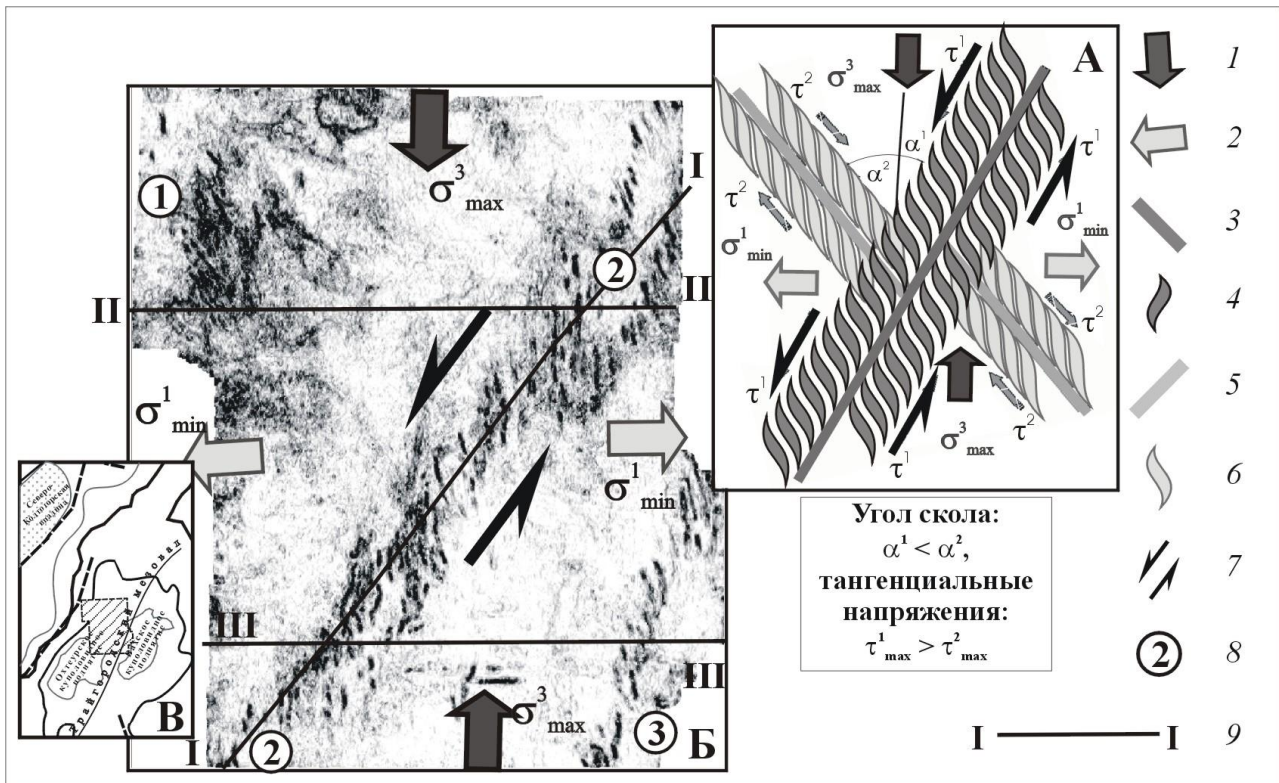


Рис. 2. Модель формирования сдвиговой структуры с комбинированной транспрессионной (сдвиг с элементами растяжения) кинематикой, с правым смещением и зрелой стадией развития (А) и пример реконструкции напряженно-деформированного состояния юрского мегакомплекса для сдвигового поля напряжения (Максимкинская площадь) (Б). На врезке (В) показано структурно-тектоническое положение площади исследований.

1 – главные нормальные максимальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное меридиональное сжатие); 2 – главные нормальные минимальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное широтное растяжение); 3 – плоскость магистрального сдвига; 4 – кулисы (шовная зона) сопряженного сдвига; 7 – направление сдвиговых деформаций (максимальные главные тангенциальные напряжения) (субгоризонтальные тангенциальные деформации сдвига); 8 – выделенные системы кулис (1 – Южно-Аригольская, 2 – Охтеурская, 3 – Западно-Вахская); 9 – сейсмогеологические профили (к рис. 5)

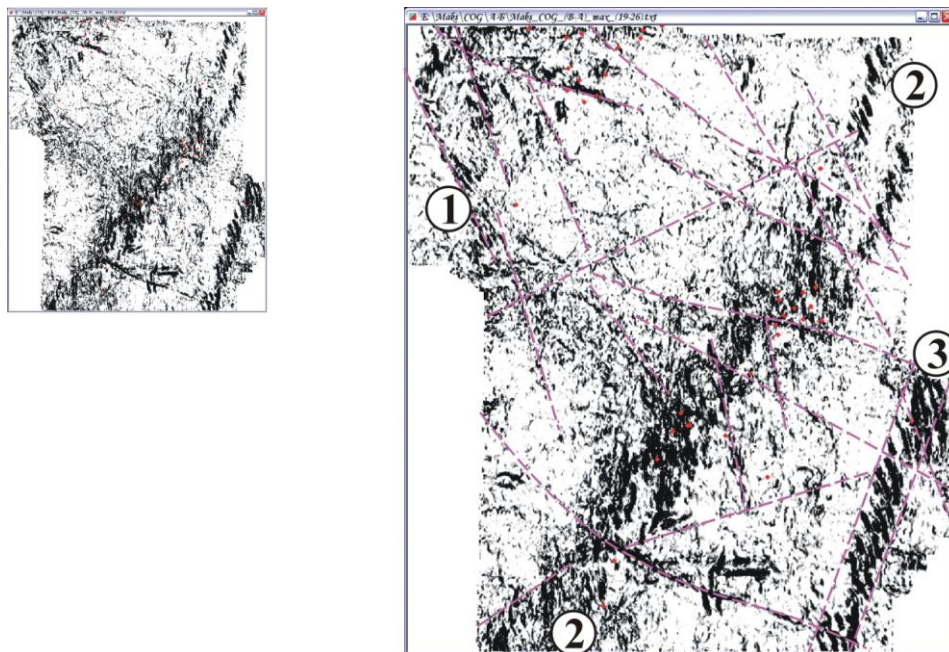


Рис. 3. Максимкинский участок. Некоторые поперечные сдвиги юрского мегакомплекса (интервал развития юрского мегакомплекса).

1 – Предполагаемые поперечные сдвиги; 2 – выделенные системы кулис: 1 – Южно-Аригольская; 2 – Охтеурская, 3 – Западно-Вахская

В результате интерпретации был сделан вывод о том, что выявленные сейсмические аномалии кулисообразного вида в пределах юрского интервала разреза характеризуют формирование сдвига I и II стадий развития. Причем, по мере продвижения вверх по юрскому разрезу кулисообразность аномалий проявляется ярче и контрастнее. Обращает на себя внимание наличие многочисленных нарушений, отнесенных авторами к сколам Риделя. По расположению этих сколов было восстановлено поле напряжений, в котором и происходило их образование в постбаженовское время (рис. 4, I–II). Возможно, что нижние уровни срезов в интервале развития отложений тюменской и горелой свит отражают сильно деструктурированную зону основания осадочного чехла, где происходило вязко-пластичное смещение «материала» в зоне магистрального сдвига. Последнее нашло свое отражение в проявлении достаточно сильных шумовых эффектов куба антикогерентности, а в верхней части юрского интервала нашли отражение лишь кулисы.

Дальнейший анализ структурных рисунков (рис. 4), нашедших отражение в сейсмическом волновом поле, показал, что выявленные системы сдвигов существенно меняют свой облик по мере продвижения в верхнюю часть разреза (интервалы развития меловых отложений). Здесь выявленные деструктивные системы выражены как объекты хрупкого разрушения верхней части осадочного чехла. Они отличаются более резкими и четкими контурами, сопровождаются меньшими шумовыми эффектами и несут на себе следы отражения нижерасположенных структур. Так, уже на уровне баженовской свиты (рис. 4, II) видно, что юрские системы кулис маркируются разрывами большей контрастности. Они сравнительно малочисленны и транзитно наследуют лишь самые ярко выраженные кулисообразные разрывы.

В интервале развития куломзинских отложений (рис. 4, III) с их мощными толщами клиноформных глин эти разрывы становятся уже единичными, что, по-видимому, связано с затухающим влиянием глинистой части разреза на происходящие деформации. Из парагенеза оперяющих трещин ярче всего проявляют себя R-сколы; R'-сколы сравнительно малочисленны и менее контрастны.

Существенно другой структурный рисунок наблюдается в кровле алымской части разреза (рис. 4, IV). Он характеризуется большей контрастностью по сравнению с куломзинским интервалом и кардинально иным обликом – по сравнению с юрским. Разрывы алымской части разреза, согласно данным сейсмической интер-

претации, можно характеризовать уже как системы встречных сбросов, ограничивающих системы грабенов, развившихся в купольной части Охтеурского поднятия. Наличие этих грабенов является достаточно ярким индикатором переиндексации основных осей тектонических напряжений, ранее влиявших на баженовскую часть разреза. Из парагенеза оперяющих трещин наиболее многочисленными оказываются R- и R'-сколы, R'-сколы имеют подчиненное значение, а общее поле напряжений диагностируется как сдвиг в обстановке дополнительного растяжения. Кровля алымского интервала является тем самым рубежом, на котором завершают свое существование сдвиговые и сбросовые деформации, так ярко проявленные в юрском и более посредственно – в неокомском (куломзинская свита) интервалах разреза.

В интервале развития отложений покурской свиты (рис. 4, V) структурный рисунок приобретает черты, присущие деформациям существенно более хрупкого разрушения. Это многочисленные малопротяженные аномалии волнового поля, простирание которых больше тяготеет к диагональным направлениям. Сравнительно малочисленны, но достаточно контрастно выражены направления, близкие к ортогональным (ЗСЗ и ССВ). Характер взаимоотношений между ортогональными элементами системы также весьма показателен. Зоны развития юрских сдвиговых зон поперечного типа (линеаменты субширотных и запад – северо-западных простираний) оказываются смещенными более контрастными линеаментами субмеридиональных и близких к ним ориентировок.

В верхней части интервала развития отложений покурской свиты исчезают даже субмеридиональные линеаменты, а общий фон деструктивной картины приобретает равномерно раздробленные черты.

В интервале развития верхнемеловых отложений (рис. 4, VI) картина становится монотонно-спокойной. Ярко проявленной деструктурированности разреза здесь уже не наблюдается, а основными объектами анализа становятся четыре линеамента ЮЗ–СВ простирания и три – СЗ–ЮВ, к которым приурочены ослабленные зоны и речные русла этой части разреза.

Анализ разрезов куба антикогерентности Variances наглядно показывает характер и степень деструкции всей рассматриваемой части разреза (рис. 5). Особенно ярко деформации выражены в меловой части разреза, где выделенные разрывные нарушения одного уровня генерации часто смещают друг друга по крутонаклонным листрическим поверхностям, образуя, таким образом, ступенчатые рисунки сейсмической записи.

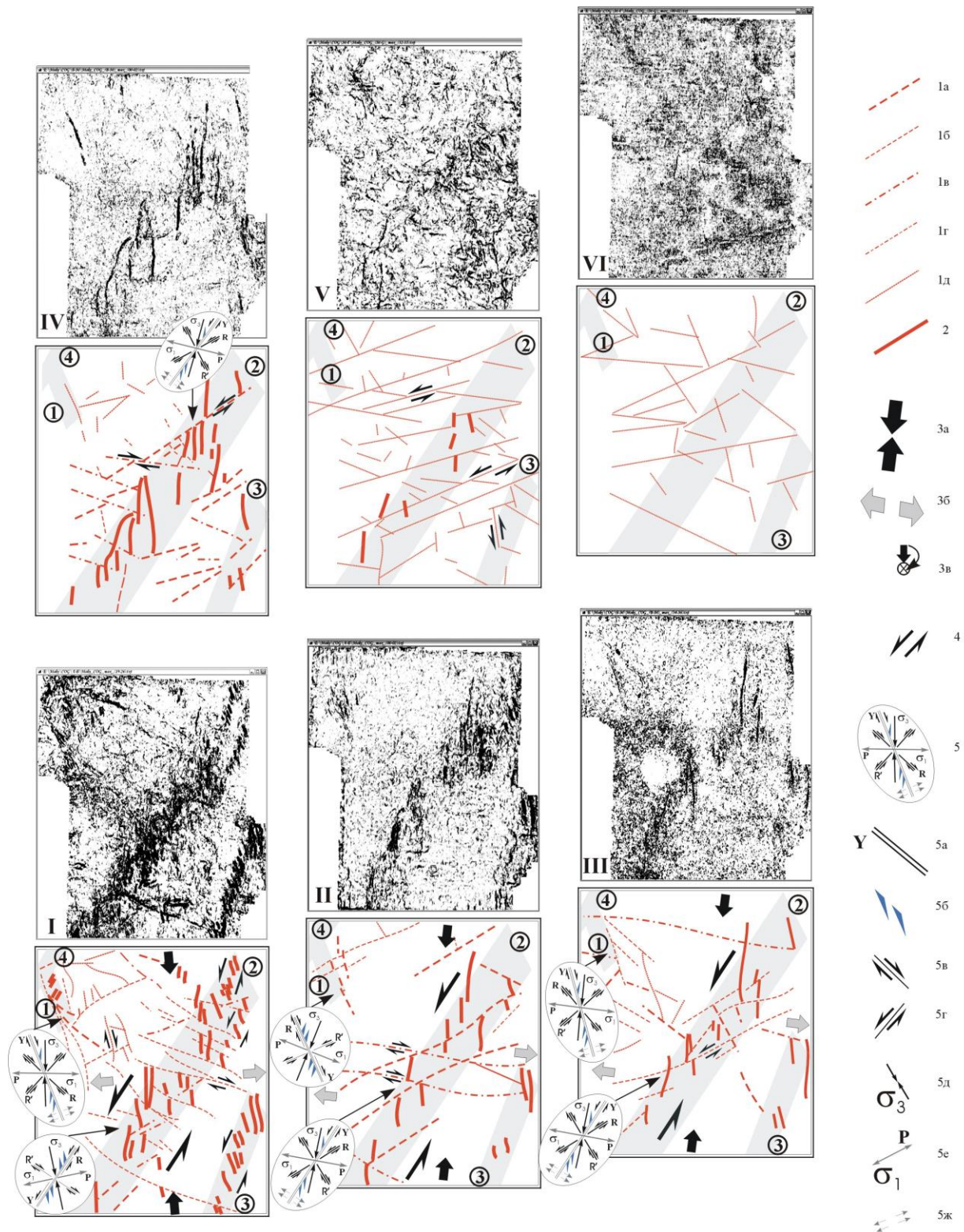


Рис. 4. Максимкинская площадь. Пример эволюции степени деструкции осадочного чехла от юрских (I) к верхнемеловым (VI) отложениям. Срезы в интервалах развития: I – тюменской, III – куломзинской, VI – кузнецовской, V – покурской свит; в подошве: II – баженовской свиты, IV – кокшайской пачки. Условные обозначения. Структурный парагенез сдвиговых зон (по Риделю), выделенный в результате линейментного анализа сейсмических данных: 1 – сдвиги (сколы Риделя), распространенные в зоне основного сдвига: 1а – К-сколы, 1б – К'-сколы, 1в – Р-сколы, 1г – У-сколы, 1д – прочие разрывы; 2 – отрывы, маркирующие зону основного сдвига; 3 – направления действия главных тектонических напряжений: а – сжатия (σ_3), б – растяжения (σ_1); 4 – направления смещения по выделенным линейментам и сдвиговым зонам; 5 – парагенез оперяющих трещин в зоне сдвига [1]: 5а – разлом, 5б – трещина отрыва; сколы со сдвиговой кинематикой: 5в – правые, 5г – левые; ориентация в горизонтальной плоскости: 5д – сжатия, 5е – растяжения; 5ж – дополнительные растяжения, нормальные к плоскости разлома. Названия систем кулис (номера в кружках): 1 – Южно-Аригольская, 2 – Охтеурская, 3 – Западно-Вахская

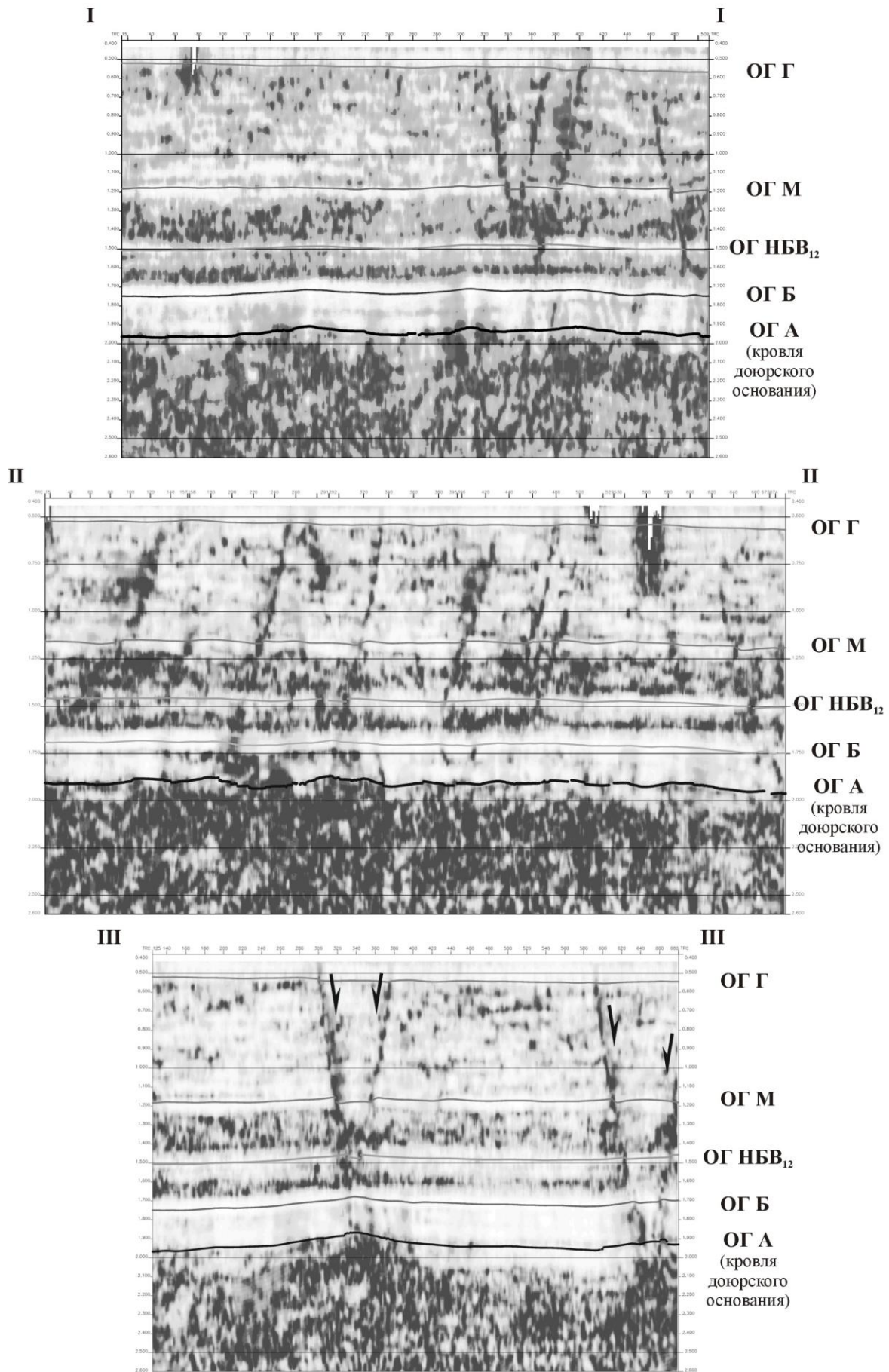


Рис. 5. Максимкинский участок. Характер проявления кулис на срезах куба Variase (расположение линий профилей см. на рис. 2).

Таким образом, подводя итог морфологическому описанию структурных рисунков выделенных линеаментов в пределах Максимкинско-й площади, можно сделать следующие выводы:

1. Степень деструкции разреза существенно меняется снизу (юрский интервал) вверх (меловой интервал).

2. Юрская часть разреза характеризуется наличием сети линеаментов (кулисообразные системы разломов), присущих верхним частям сдвиговых зон в интервалах вязко-пластичного течения материала. Для этой части разреза характерна высокая степень выраженности интенсивно разрушенных и хорошо проработанных зон на фоне отсутствия или слабой выраженности их границ.

3. Меловая часть разреза несет в себе следы преимущественно хрупкого разрушения осадочных комплексов, реагировавших как на подвижки глубоко расположенных разрывов, так и отразивших более поздние (наложенные) деформации осадочного чехла.

4. Описанные структурные рисунки являются косвенными индикаторами условий деформаций для каждой части разреза и вполне могут способствовать восстановлению полей напряжений, а также уточнить и дополнить историю геологического развития площади исследований.

Аригольская площадь. Аригольская площадь также достаточно интересна с точки зрения анализа разрывных нарушений. Учитывая низкое качество сейсмического материала и сильную выраженность шумовых эффектов, адекватное выделение разрывных нарушений и описание структурных рисунков весьма затруднительно.

Основной структурой площади является Центрально-Аригольское локальное поднятие, к которому приурочено одноименное месторождение нефти в пласте ЮВ₁ (юрский мегакомплекс). Поэтому детальный анализ тектонического строения площади и восстановление палеотектонической истории представляют большой практический интерес.

В юрской части разреза (рис. 6, I) главными тектоническими элементами являются Западно-Аригольская система кулис, аналогичная выделенной в пределах Максимкинской площади, Большой и Малый Северо-Аригольские сдвиги и Центрально-Аригольская сдвиговая зона, осложненная многочисленными разрывными нарушениями меньшего размера и меньшей степени контрастности. Примечательным является тот факт, что центральная часть Аригольского поднятия представляет собой довольно крупную изометричную зону, сильно разбитую субпараллельными крутопадающими

разрывами, отнесенными авторами к R-сколам. Эта зона приурочена к магистральной части Центрально-Аригольской сдвиговой зоны, а интенсивность аномалий срезов куба антикогерентности указывает на ее высокую степень деструктурированности и, возможно, термальной проработки. В структурном отношении эта зона представляет собой равномерное чередование малоразмерных прогибов и поднятий. Сама Центрально-Аригольская сдвиговая зона имеет конфигурацию, близкую к S-образной, как и более мелкие кулисообразные разрывы Западно-Аригольской зоны кулис. «Разбитость» ее внутренней части также показательна, поскольку разрывы, осложняющие купольную часть Аригольского поднятия, также имеют некоторую S-образность (рис. 6, II). Чуть северо-восточнее прослеживается еще одна S-образная зона, отрезок которой заходит в пределы Аригольской площади с севера.

Таким образом, видны многочисленные по морфологии структуры, которые формировались в едином поле напряжений, но их степень выраженности говорит о том, что формирование происходило в разное время. Другими крупными структурами, выделенными в пределах Аригольской площади, являются Большой и Малый Северо-Аригольские сдвиги. Первый имеет СЗ–ЮВ, а второй – ЮЗ–СВ простирание; они ограничивают Аригольское поднятие с севера и деформируют зону Западно-Аригольской системы кулис и Центрально-Аригольской сдвиговой зоны, сложным образом пересекаясь на второй аригольской S-образной структуре. Выделение простых сдвигов, не сопровождающихся образованием кулисообразных зон, в сейсмическом волновом поле весьма затруднительно.

Поскольку вертикальные амплитуды смещения по ним весьма незначительны, то при корреляции отражающих горизонтов они практически не диагностируются. Отсутствие «зияния» в плоскости разрыва также не позволяет выделить однозначно такую категорию разрывов. Поэтому единственным признаком наличия таких структур является характер поведения «контрастности» анализируемого материала. В некоторых случаях удастся выделить такую зону по наличию оперяющих трещин (R- и R'-сколов, например) и разрывов более мелкого ранга.

Анализируя взаимоотношения между элементами Западно-Аригольской системы кулис, Центрально-Аригольской сдвиговой зоны и Северо-Аригольского сдвига, с некоторой долей условности можно сделать вывод о том, что активизацию последнего можно отнести к завершающей стадии консолидации юрской части разреза. Верхняя часть неокомского интервала

разреза (рис. 6, IV) в пределах площади исследований также является интересной с позиции изучения изменений в морфологии диагностируемых разрывных нарушений. Основными структурами нижнемеловой части разреза являются протяженные сдвиги и сбросы, вертикальные амплитуды смещения по которым достигают 10–15 м. Здесь практически не находит своего отображения Западно-Аригольская система кулис, размазываются контуры Центрально-Аригольской сдвиговой зоны, уступая место лишь разрывам более мелкого ранга. Последние довольно гармонично выстраиваются в четкую последовательность, формируя структурный рисунок типа «конского хвоста» [Расцветаев, 1987], контролирующуюся с востока протяженным разрывом ЮЮЗ–ССВ простираения. Эти разрывы мелкого ранга и формируют самую яркую структуру нижнемеловой части разреза, образуя, тем самым присдвиговый ансамбль Центрально-Аригольской сдвиговой зоны. На остальной же части площади, в основном, развиты сравнительно многочисленные, но непротяженные сдвиги и сбросы. Наличие такого структурного рисунка весьма показательно, поскольку позволяет предположить вариант переиндексации осей главных нормальных напряжений (в частности, субгоризонтальной оси сжатия с промежуточной субвертикальной осью).

Общей чертой, в целом характерной для всей меловой части разреза, является полное отсутствие кулисообразности в любых ее проявлениях. Постепенно она вырождается, уступая место структурам хрупкого разрушения (сбросам, взбросам и сдвигам). Неизменной остается лишь степень выраженности купольной части Центрально-Аригольского поднятия, которая ярким пятном прослеживается по всему разрезу.

В верхах нижнего мела (рис. 6, V) появляются интересные структуры, напоминающие радиальные разрывы над сравнительно малоразмерным быстрорастущим поднятием. Они приурочены к собственно Центрально-Аригольскому поднятию, разбегаясь от его центральной части шестью «лучами». Наблюдается полная унаследованность в расположении этих «лучей»: западные и восточные приурочены к Большому и Малому Северо-Аригольским сдвигам, а северный и южный – к Центрально-Аригольской сдвиговой зоне. Возможно, именно к этому времени и относится повторная активизация площади, повлекшая за собой не только рост Аригольского поднятия, но и повторное нарушение уже консолидированной части всего разреза. Происходит повторное смещение по разрывам доюрского и юрского заложения, формируются разрывы нового (радиального) типа, наиболее

деструктурированная и термально проработанная часть Аригольского поднятия уплощается, преобразуясь в эллипс с положением его длинной оси в субширотном направлении. Речная сеть, развивавшаяся в то время, наследует ослабленные, хорошо проработанные направления «старых» разрывов.

Окончательное затухание какой-либо активности наблюдается уже в верхнемеловой части разреза. Контуры центральной части Центрально-Аригольского поднятия сильно затушевываются, но остаются сравнительно контрастными. Выделенные ранее зоны сдвигов и сбросов становятся все менее заметными, постепенно исчезая в верхней части разреза. Рассмотрение структурных планов по основным отражающим горизонтам обеих площадей (рис. 7) проводилось с целью анализа характера унаследованности структурных особенностей реперных границ в зависимости от доминирующих деформаций, повлиявших на их формирование.

Обращает на себя внимание тот факт, что выделенные ранее поперечные сдвиговые зоны в пределах Максимкинской площади контрастно развиты лишь в границах Охтеурского поднятия, а общая конфигурация Центрально-Аригольского и Охтеурского поднятий в современном структурном плане напоминает крупные Г-образные структуры, борта которых осложнены высоко градиентными зонами. Анализ карт изопахит показал, что к моменту накопления отложений юрского мегакомплекса эти поднятия имели слегка отличную от современной конфигурацию и не имели яркой выраженности в рельефе, являясь лишь структурными элементами более низкого ранга, чем собственно Александровский свод. При этом Центрально-Аригольское и Охтеурское поднятия представляли собой практически единую структуру, осложненную многочисленными впадинами и ложбинами. Учитывая обстановку герцинского этапа складкообразования в пределах этой части Урало-Монгольского складчатого пояса, заложение вышеотмеченных поднятий могло происходить в условиях субширотного (или близкого к таковому) сжатия (ось сжатия σ_3 предположительно имела ЗСЗ–ВЮВ простираение ($105 - 285^\circ$), а ось растяжения σ_1 была субвертикальна) (рис. 7, Iб).

Наличие систем мелких кулисообразных разрывов в пределах Аригольской (Западно-Аригольская система кулис) и Максимкинской (Охтеурская система кулис) площадей указывает на то, что ситуация изменилась. В постбаженновское время произошел разворот основных осей напряжений: ось сжатия σ_3 приобрела близкое к субмеридиональному (ССЗ–ЮЮВ) простираение

(173 – 353°), а ось растяжения σ_1 – близкое к субширотному (ЗЮЗ–ВСВ) (83 – 263°) (рис. 7, Пб). В этом поле напряжений происходили левосторонние подвижки по ранее

заложеным разрывам и по бортам Центрально-Аригольской и Охтеурской структур, отразив это смещение системой кулис в отложениях юрского СФК. Очередная активизация произошла

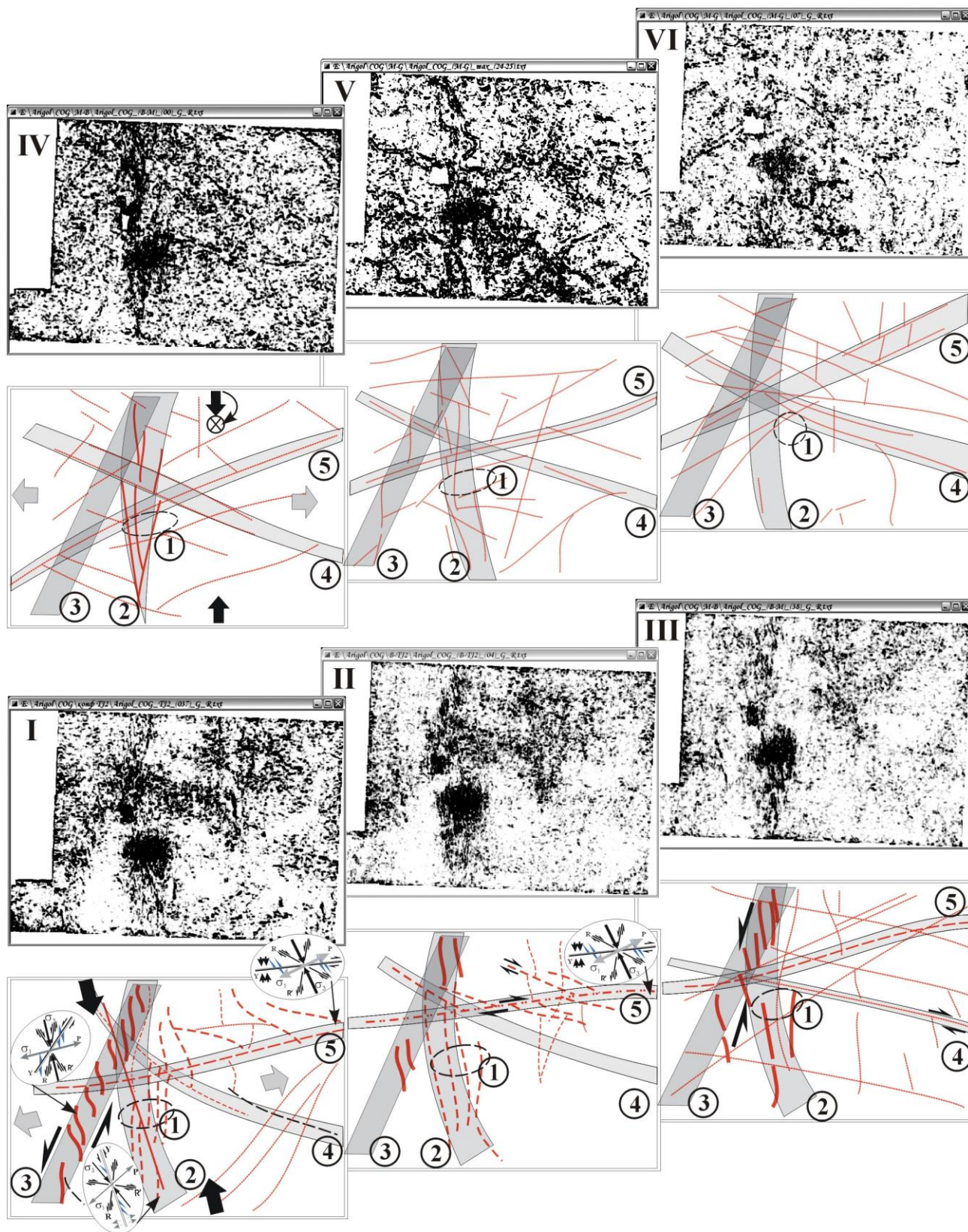


Рис. 6. Аригольская площадь. Пример эволюции степени деструкции осадочного чехла от юрских (I) к верхнемеловым (VI) отложениям. Срезы в интервале развития: I – тюменской, III – куломзинской, V – покурской, VI – кузнецовской свит и подошве: II – баженовской свиты, IV – кокшайской пачки. Условные обозначения см. рис. 4

уже в постальпийское время (постсенноманский этап активизации), когда на месте ранее существовавших кулисообразных разрывов в осевой части Охтеурского поднятия формируется система горстов и грабенов. По-видимому, в это время происходит рост локальных поднятий, в связи с чем в их кровельной части начинается «развал» структуры на фоне внушительного давления с северо-востока: ось сжатия σ_3 имела близкое к субмеридиональному (ССВ–ЮЮЗ) простирание ($10-190^\circ$), либо была субвертикальна, а ось растяжения σ_1 – близкое к субширотному (ЗСЗ–ВЮВ) ($100-280^\circ$) (рис. 7, ШБ). По ранее существовавшим кулисообразным разрывам смещения практически не выражены, как, собственно говоря, и сами разрывы.

Современный этап активизации рассматриваемых площадей отразила на себе поверхность по кровле аптсенноманского СФК (рис. 7, IVБ).

Разрывы здесь единичны и представлены слабо выраженными малоамплитудными сдвигами, протягивающимися в субмеридиональном направлении через обе рассматриваемые площади. Подвижки по глубоким разрывам фундамента выразились в образовании слабо выраженных градиентных зон диагональных направлений. Линеаментный анализ космоснимка масштаба $1 : 200\,000$ (рис. 7, VБ) показывает, что линеаменты над основными крупнейшими разломами герцинского времени заложения и новообразованными разрывами в пределах Аригольской и Максимкинской площадей характеризуют поле напряжения, аналогичное постсенноманскому этапу деформаций: ось сжатия σ_3 горизонтальна – ЮЮЗ–ССВ простирания ($10-190^\circ$), а ось растяжения σ_1 – СЗ–ЮВ простирания ($100-280^\circ$). Ситуация постсенноманского этапа деформаций нашла свое отображение и в особенностях морфологии рельефа, и на сейсмических данных.

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам структурно-тектонического анализа срезов куба антикогерентности сейсмического волнового поля, структурно-тектонофизического анализа поверхностей основных отражающих горизонтов Аригольской и Максимкинской площадей можно сделать следующие выводы:

1. Основная нефтеносность на выбранных площадях сконцентрирована не просто в пределах Аригольского и Охтеурского куполовидных поднятий, а приурочена, по-видимому, к зонам максимальной термальной проработки в пределах Центрально-Аригольской сдвиговой зоны и Охтеурского сдвига.

2. В диапазоне анализируемых юрского и мелового интервалов разреза выделены условные уровни, несущие в себе черты разной степени деструкции:

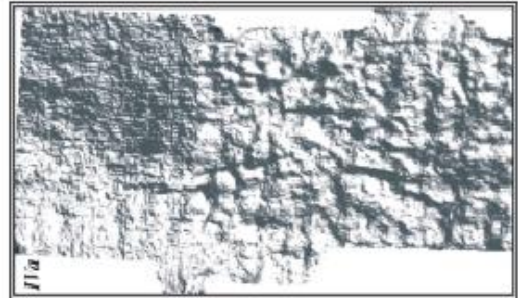
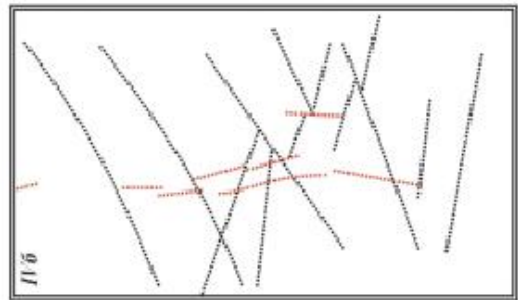
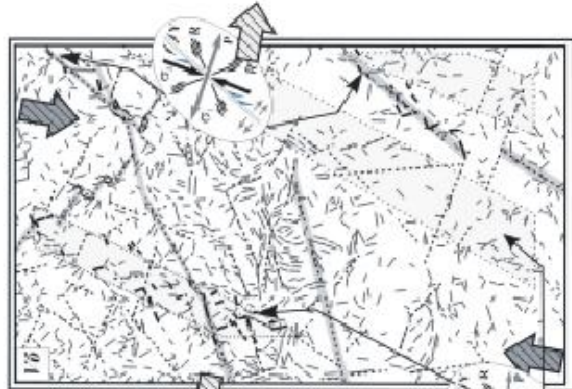
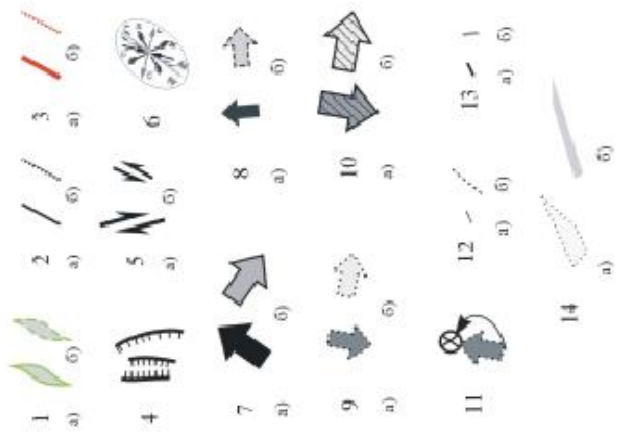
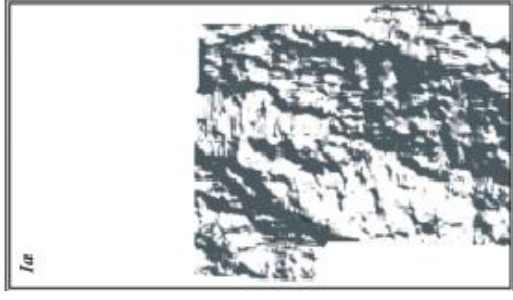
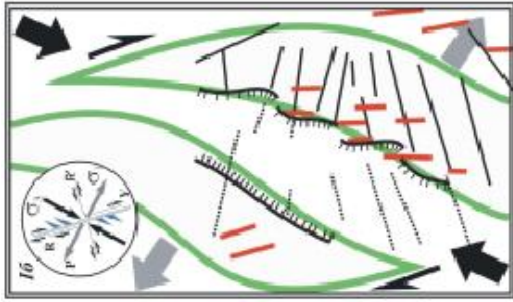
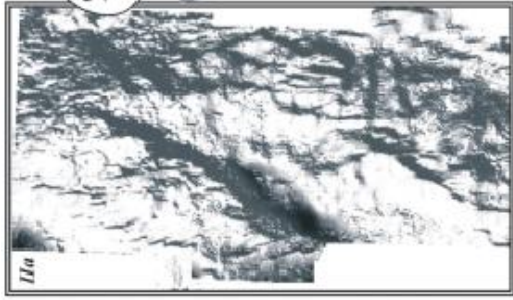
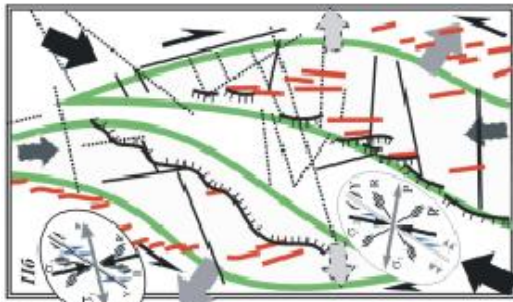
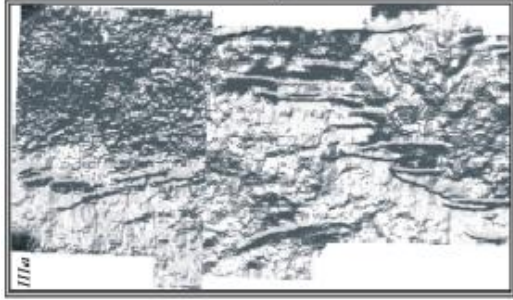
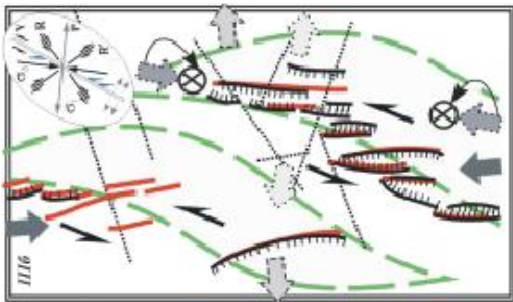
– уровень преимущественно вязкопластичных деформаций (зоны развития систем кулис) с малочисленными элементами хрупких деформаций (зоны поперечных разломов);

– уровень преимущественно хрупких деформаций с ярко выраженными прямолинейными разломами и с затухающими и отживающими свое элементы кулисообразных зон.

3. По данным структурно-тектонофизических реконструкций были выделены парагенезы оперяющих трещин, а на основе анализа их пространственного расположения относительно крупнейших сдвиговых зон и структурных планов по основным отражающим горизонтам определены 4 этапа тектонической развития рассматриваемой части Западной Сибири: I этап – герцинский (заложение основных структурных элементов в пределах Александровского свода),

Рис. 7. (следующая страница) Анализ структурных планов (Iа–VIа) и космоснимков (Va) и пример тектонофизической интерпретации (Iб–Vб) по основным отражающим границам и дневной поверхности Аригольской (на севере) и Максимкинской (на юге) площадей.

Условные обозначения. 1 – Контуры Аригольского (северное) и Охтеурского (южное) локальных поднятий (а – достоверные, б – предполагаемые); 2 – флексуобразные перегибы, приуроченные к сбросо-сдвиговым уступам предположительно герцинского времени заложения, (а – достоверные, б – предполагаемые); 3 – кулисообразные разрывы осадочного чехла над разрывами предположительно герцинского времени заложения (а – достоверные, б – предполагаемые); 4 – сбросовые уступы; 5 – направления сдвиговых деформаций: а – предположительно постгерцинского возраста, б – предположительно постбаженковского возраста (кулисообразные разрывы осадочного чехла); 6 – парагенез оперяющих трещин в зоне сдвига (пояснения см. к рис. 4 и 6). 7–11 – *Оси главных нормальных напряжений этапов деформаций*: 7 – постгерцинского; 8 – постбаженковского; 9 – сенноманского, 10 – современного (а – оси максимального сжатия σ_3 , б – минимального сжатия (растяжения) σ_1); 11 – переиндексация оси сжатия с субгоризонтальной на субвертикальную. *Для космоснимка*: 12 – линеаменты земной поверхности (а – мелкие, б – более крупные); 13 – элементы структурного парагенеза сдвиговых зон (а – трещины скола, б – трещины отрыва); 14 – зоны расположения крупных разрывов (а – юрские системы кулис, б – современные относительно крупные разрывы, находящие отражение в рельефе дневной поверхности)



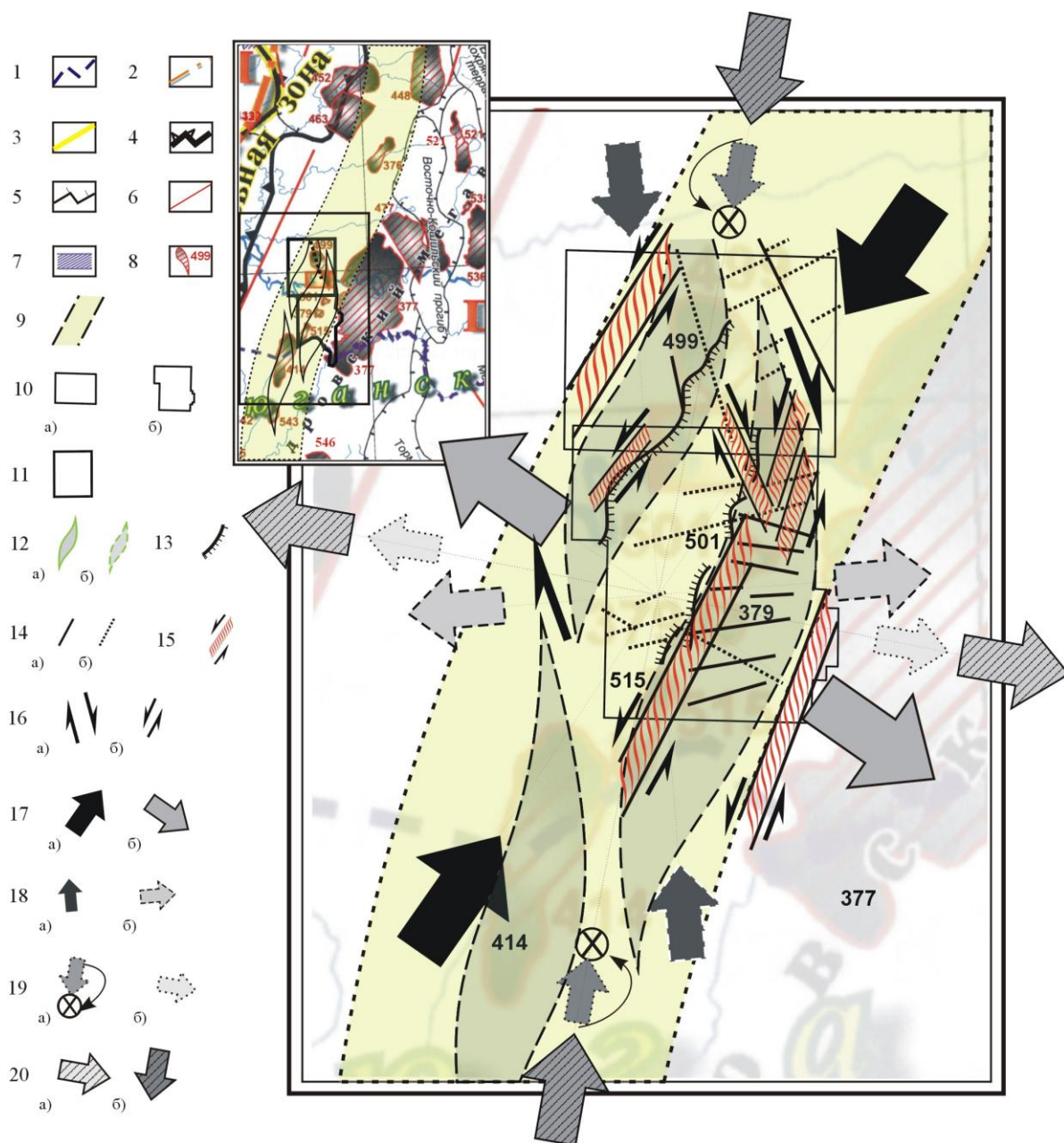


Рис. 8. Тектонофизическая интерпретация деформационных структур в зоне действия Колючеганского магистрального сдвига (фрагмент «Тектонической карты...» (под ред. В.И. Шпильмана, 1998) с элементами нефтегазоносности. Условные обозначения. Для врезки: I – Границы Ханты-Мансийского автономного округа; 2 – границы НГР (I – Варьеганский, II – Вартовский, III – Александровский); 3 – границы геоблоков; 4 – границы тектонических элементов I порядка; 5 – границы внутреннего районирования тектонических элементов I порядка; 6 – важнейшие тектонические нарушения; 7 – флексуры (с углом падения 50-70 м/км); 8 – открытые месторождения нефти, газа и конденсата; 9 – предполагаемые границы Колючеганского магистрального сдвига; 10 – площади исследований: а – Аригольская, б – Максимкинская; 11 – контуры увеличенной врезки. Для карты: 12 – Контуры локальных поднятий – Аригольского (северное), Охтеурского (восточное) и Северного (южное) (а – достоверные, б – предполагаемые); 13 – сбросовые уступы; 14 – флексуриобразные перегибы, приуроченные к сбросо-сдвиговым уступам предположительно герцинского времени заложения (а – достоверные, б – предполагаемые); 15 – кулисы Колючеганского магистрального сдвига и направления сдвиговых деформаций; 16 – направления сдвиговых деформаций: а – предположительно постгерцинского, б – предположительно постбаженского (кулисообразные разрывы осадочного чехла) возраста. Оси главных нормальных напряжений: 17 – постгерцинского, 18 – постбаженского, 19 – сеноманского, 20 – современного этапов деформирования (а – максимального, б – минимального сжатия в горизонтальной плоскости; для сеноманского этапа кроме оси сжатия σ_3 дана ее переиндексация с осью σ_2) Месторождения: 376 – Колючеганское, 377 – **Кошильско-Вахское**, 379 – **Ининское**, 414 – Северное, 432 – Ставропольское, 448 – Хохлаковское, 452 – Эниторское, 463 – Южно-Эниторское, 477 – Восточно-Кошильское, 499 – **Аригольское**, 501 – **Максимкинское**, 515 – **Восточно-Охтеурское**, 521 – Пермьяковское, 530 – Малосикторское, 543 – Горстовое, 546 – Кондаковское (жирным шрифтом выделены месторождения, указанные на карте)

II этап – постбаженовский (формирование кулисообразных разрывов в зоне действия крупных сдвигов с левосторонней кинематикой), III этап – постсеноманский (рост Центрально-Аригольского и Охтеурского локальных поднятий и образование грабенообразных структур в их купольных частях), IV этап – современный (развитие сравнительно многочисленных сдвиговых образований в пределах верхней части осадочного чехла, как новых, так и унаследованных).

4. Рассмотренные площади являются отображением довольно сложной тектонической истории развития региона. Выделенные структурные элементы, на самом деле, являются фрагментами структур более высокого ранга, а тектонические подвижки – многоактными.

5. Разрывы, выделяемые на различных уровнях, наглядно показывают, что по сути своей они являются составной частью более крупной структуры, названной авторами Коликъганским магистральным разломом (сдвигом) (рис. 8). Этот мегаразрыв по-разному выражен в различных частях разреза и на различной глубине по мере того, как исследователь удаляется вверх по разрезу по плоскости самого сместителя.

6. Согласно теории формирования сдвиговых зон (кулисообразные системы структур) [Воронов и др., 1997; Шерман и др., 1991], на ранней стадии зарождающегося сдвига в пластичном чехле начинается образование серии кулисообразно ориентированных антиклинальных и синклиналиных складок. Если проводить рассмотрение анализируемого материала в более мелком масштабе, то обнаружится, что и Аригольское и Охтеурское поднятия, в современном структурном плане, по сути своей, представляют собой не что иное, как вышеупомянутые «складки», веро-

ятно, сформированные на этапе развития постгерцидских деформаций. Их основное простирание совпадает с простиранием разделяющего их Охтеурско-Аригольского прогиба, а также с генеральным направлением сдвиговых кулисообразных зон, описанных в статье. По-видимому, сами по себе эти структуры являются составной частью еще более крупной сдвиговой зоны, выделение которой возможно лишь в масштабе всей Западной Сибири.

7. Согласно карте месторождений нефти и газа Западной Сибири (Картографический информационный Центр «ИНКОТЕК», Москва, 2000), и Аригольское, и Охтеурское поднятия включают в себя сравнительно малоразмерные месторождения нефти, являющиеся составной частью протяженной цепочки месторождений, прослеживающейся в юго-запад – северо-восточном направлении от Южно-Проточного и Горстового месторождений в юго-западной части Александровского мегавала до Малосикторского и Хохряковского месторождений на его северо-востоке (рис. 8, врезка). Этот факт позволил сделать предположение о том, что месторождения, приуроченные к выделенной зоне, маркируют собой магистральное направление более крупной сдвиговой зоны.

Согласно аналитическим данным, рассмотренным авторами выше, эта зона имеет сложное внутреннее строение, основными элементами которого являются локальные поднятия и прогибы, кулисообразно распределенные в пределах этой зоны, а их купольные и бортовые части осложнены сдвиговыми зонами более мелкого ранга. Они картируются в пределах отдельных площадей, позволяя восстановить картину тектонического строения района исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Белюсов В. В., Гзовский М. В. «Условия и механизм землетрясений // Тр. геофизич. ин-та АН СССР. 1954. М.: № 25 (152).
- Воронов П. С., Бережной В. А., Бондаренко П. М. и др. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы. СПб.: Наука. 1997. 591 с.
- Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975. 535 с.
- Гогоненков Г. Н., Лаврик А. С., Эльманович С. С. Зарождающиеся горизонтальные сдвиги в тектонике северной части Западной Сибири // Геофизика, спецвыпуск «Технологии сейсморазведки». 2002. С. 54–61.
- Гогоненков Г. Н., Тимурзиев А. И. Структуры горизонтального сдвига севера Западной Сибири (в связи с поисками, разведкой и разработкой месторождений УВ) // Сборник тезисов докладов IX международной научно-практической конференции и выставки «Геомодель–2007», г. Геленджик, 16–21 сентября 2007 г. Геленджик: 2007. С. 11.
- Кашик А. С., Гогоненков Г. Н., Тимурзиев А. И. Структуры горизонтального сдвига Западной Сибири // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазоносные системы осадочных бассейнов. М.: ГЕОС. 2005. С. 198–200.
- Конторович В. А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений

- юго-восточных районов Западной Сибири. Новосибирск: Изд. СО РАН, филиал «Гео». 2002. 252 с.
- Николаев П. Н.* Методика тектоно-динамического анализа. М.: Недра. 1992. 295 с.
- Расцветаев Л. М.* Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы геологии и физики тектонических процессов. Ч. 2. М.: АН СССР. 1987. С. 173–230.
- Сим Л. А.* Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам: (Методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1991. № 10. С. 3–27.
- Сим Л. А., Михайлова А. В., Войтенко В. Н.* Сдвиговая тектоника платформ (по данным моделирования и реконструкции неотектонических напряжений // М-лы Всерос. сов. «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии» 18-24 сент. 2007. Т. 2, Иркутск: ИЗК СО РАН. 2007. С. 147-151.
- Уткин В. П.* Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука. 1980. 144 с.
- Шерман С. И., Семинский К. Ж., Борняков С. А.* и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск: Наука СО РАН. 1991. 262 с.
- Экспериментальная тектоника: (Методы, результаты, перспективы). М.: Наука. 1989. 302 с.
- Худолей А. К.* Сдвиги (раздел 4 в энциклопедическом справочнике «Планета Земля». Том «Тектоника и геодинамика» (редакторы Красный Л.И., Петров О.В., Блюман Б.А.)). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. С. 412–414.
- Chopra S., Marfurt J. Kurt.* Volumetric curvature attributes for fault/fracture characterization // First Break. V. 25. July. 2007. P. 354.