

39. *Small Ch.* Observations of ridge-hotspot interactions in the Southern ocean // *Journ. Geophys. Res.* 1995. Vol. 100. № B9. P. 17931–17946.
40. Tolstoy M., Harding A.J., and Orcutt J.A. Crustal thickness along the ridge axis of the southern Mid-Atlantic Ridge // *Trans. Americ. Geophys. Union*, 1991. Vol. 72. P. 467.
41. Weaver B.L., Wood D.A., Tarney J., Jurett T.L. Geochemistry of ocean island basalts from the South Atlantic: Ascension, Bouvet, St. Helena, Gough and Tristan da Cunha // *Geological society special publication*, 1987. № 30. P. 1–10.
42. Weiland M., Macdonald K.D. Crustal accretion and the magnetic structure of the southern Mid-Atlantic Ridge: 26° S and 31–35° S: variations for magmatic processes at slow spreading ridges // *Journ. Geophys. Res.* 1996. Vol. 101. № B4. P. 8055–8073.
43. White W.M. Sources of ocean basalts: radiogenic isotopic evidence // *Geology*, 1985. Vol. 13. № 2. P. 115–118.
44. Whitehead J.A., Dick H.B., Schouten H. A mechanism for magmatic accretion under spreading centers // *Nature*, 1984. Vol. 312. P. 146–148.
45. Zhang Yu., Tamino T., Scliper E.M. S-wave velocity, basalt chemistry and bathymetry along the Mid-Atlantic Ridge // *Physics of the Earth Planet. Interiors*, 1994.

ГЕОТЕКТОНИКА

Рецензенты: Э.В. Шумakov, А.Я. Шопаров

Accretion of Crust in the Axial Part of the Mid-Atlantic Ridge South of the Martin Vns Fracture Zone, South Atlantic

S. G. Skolotnev, A. A. Peyve, N. N. Turko, M. E. Bylinskaya, and L. A. Golovina

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, 7 Fychevskii per., Moscow, 119017 Russia

e-mail: skolot@glir.ru

Received November 24, 2008

Abstract. Data are obtained on the structure, evolution, and origin of zones of nontransform offsets of adjacent segments in the Mid-Atlantic Ridge (MAR), which, in contrast to transform fracture zones, so far are studied insufficiently. The effects of deep mantle plumes developing off the crest of the MAR on the processes occurring in the spreading zone are revealed. These results are obtained from the geological examination of the crest of the MAR between 19.8° and 21° S, where bottom sampling, bathymetric survey, and magnetic measurements have been carried out previously. Two segments of the rift valley displaced by 10 km relative to each other along a nontransform offset are revealed. A volcanic center of a spreading coil, which has been active over the last 2 Ma, is located in the northern part of the southern segment and distinguished by a decreased depth of the rift valley and increased thickness of the crust. Magmatic, slightly evolved basalts of the N-MORB type are detected in this center, whereas evolved and high-Fe basalts are found beyond it. The variation in the composition of the basalts indicates that the volcanic center is related to the upwelling of the asthenospheric mantle, which spread along and across the spreading ridge. In the lithosphere, the melt migrated off the volcanic center along the rift valley. In the northern segment, a vigorous volcanic center arose 2.5 Ma ago near its southern end; at present, the volcanic activity has ceased. As a result of the volcanic activity, an oval rise composed of enriched T-MORB-type basalts was formed at the western flank of the crest zone. The isotopic signatures show that the primary melts are derivatives of the chemically heterogeneous mantle. The mixing of material of the depleted mantle with the mantle material pertaining either to the Saint Helena or the Tristan da Cunha plumes is suggested; the mixture of all three sources cannot be ruled out. The conclusion is drawn that the mantle material of the Saint Helena plume was supplied to the melting zone between the axial rift near the oval rise along a linear permeable zone in the mantle extending at an azimuth of 133° ± 35°. The blocks of mantle material that got to the convecting mantle from the Tristan da Cunha plume, a product of supercontinent breakup were involved in melting as well. The nontransform offset between the ridge segments arose on the place of a previously existing transform fracture zone about 5 Ma ago. The nontransform offset developed in the regime of oblique spreading at the progressive propagation of the southern segment to the north. The zone of nontransform offset is characterized by recent volcanic activity. Over the last 2 Ma, spreading of the studied MAR segment was asymmetric, faster in the western direction. The rates of westward and eastward half-spreading in the northern segment are estimated at 1.88 and 1.50 cm/yr.

МОСКВА

УДК 551.243

РОЛЬ СДВИГА ВДОЛЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУР “ПРОПЕЛЛЕРНОГО” ТИПА

© 2009 г. Н. В. Короновский², Г. Н. Гогоненков¹, М. А. Гончаров²,
А. И. Тимурзиев¹, Н. С. Фролова²

¹ОАО Центральная геофизическая экспедиция, 123298, Москва,
ул. Народного Ополчения, д. 38/3

²Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119992, Москва, Ленинские горы

Поступила в редакцию 25.11.2008 г.

Сейсморазведка 3D впервые выявила в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты необычный парагенез структур, осложняющий нефтегазоносные брахиантиклинальные поднятия. Он представлен в плане линейными системами кулисообразно расположенных малоамплитудных сбросов, приуроченными к сдвигам в фундаменте. На разных крыльях сдвига сместители сбросов падают в противоположные стороны, образуя структуру, напоминающую лопасти пропеллера. В разрезе, параллельном сдвигу, границы слоев и сместители сбросов также падают в противоположных направлениях. В сечении вкрест простирания сходящихся к фундаменту сбросов слои обрисовывают антиформу с “просевшим” по сбросам сводом (структура “цветка”). Данный структурный парагенез сформировался в результате интерференции полей напряжений горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости (порожденного сдвигом в фундаменте) и горизонтального сдвига вдоль горизонтальной плоскости (обусловленного “гравитационным” сопротивлением чехла); при этом смещения по сбросам в чехле происходили как в вертикальном, так и в большей степени в горизонтальном направлениях, так что по существу разрывы чехла являются сбросо-сдвигами.

Генеральной причиной сдвиговых перемещений вдоль разломов фундамента, имеющих СЗ и СВ простирание и образующих в плане ромбовидную систему, является общее для Западно-Сибирской плиты субмеридиональное сжатие.

В крупных новейших сдвиговых зонах Западной Сибири встречаются нефтегазоносные брахиантиклинальные поднятия, оси которых, вопреки канонам тектонофизики, ориентированы в направлении, близком к направлению оси максимального сжатия. Наши эксперименты с эквивалентными материалами показали, что возможной причиной их формирования является локальное поле напряжений, которое возникает вблизи окончаний формирующихся в зоне сдвига эшелонированных сколов Риделя. Прогрессирующее удлинение последних вызывает соответствующее удлинение брахиантиклиналей, расположенных между их концами.

Проведенное исследование показало, что к известным типам *интерференции* элементарных геодинамических обстановок, таким как горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости + горизонтальное сжатие (*транспрессия*) и горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости + горизонтальное растяжение (*транстенсия*), можно добавить сочетание того же горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости с горизонтальным сдвигом вдоль горизонтальной плоскости, вызывающим тектоническое расслаивание (*lamination*).

Мы предлагаем назвать этот тип интерференции элементарных сдвиговых геодинамических обстановок, по аналогии, “**трансламинацией**”. Именно в геодинамической обстановке трансляминации и возникают нефтегазоносные структуры “пропеллерного” типа.

ВВЕДЕНИЕ

Западно-Сибирская эпипалеозойская плита является хорошо изученным регионом, так как в нем сосредоточены крупнейшие месторождения нефти и газа, извлечение которых происходит преимущественно из верхних горизонтов плитного чехла. В последние годы, благодаря широко развитым геофизическим исследованиям, в частности сейсморазведкой 3D, получены крайне интересные, неизвестные ранее данные, о внутренней структуре этого чехла, происхождение которой требует объяснения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В последние 20–30 лет при тектонических и геодинамических исследованиях широкое распространение получил структурно-парагенетический анализ, который называют учением о структурных парагенезах [2]. Термин “парагенез структур” в 60-е гг. XX века ввел в обиход А.В. Лукьянов [9], а в учебник по структурной геологии этот термин вошел в середине 1980-х годов [1]. Ввиду неоднозначности понимания смысла этого термина, сразу оговоримся, что структурный парагенез в нашем понимании – это “сово-

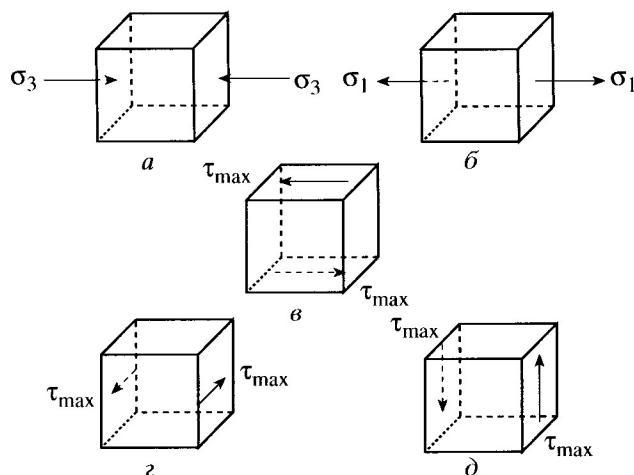


Рис. 1. Пять элементарных геодинамических обстановок: а – горизонтальное сжатие; б – горизонтальное растяжение; в – горизонтальный сдвиг вдоль горизонтальной плоскости; г – горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости; д – вертикальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости

купность структурных форм, сформировавшихся в определенной геодинамической обстановке” [6, с. 170].

Среди всего разнообразия геодинамических обстановок существуют пять *элементарных* обстановок [6] (рис. 1): а) горизонтальное сжатие, б) горизонтальное растяжение, в) горизонтальный сдвиг вдоль горизонтальной плоскости, г) горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости, д) вертикальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости¹. Для всех них характерно то, что главные оси нормальных напряжений или оси максимальных касательных напряжений ориентированы ортогонально, то есть в горизонтальном или вертикальном направлении.

Природные структурные парагенезы не всегда образуются в одной элементарной геодинамической обстановке. В такой ситуации необходимо привлекать представление о сочетании (чаще всего двух) вышеперечисленных элементарных обстановок, подобно тому как, например, любой вектор на плоскости может быть изображен в виде комбинации двух векторов, параллельных координатным осям. В качестве примера можно привести обстановку формирования вергентной складчатости. Сама складчатость в слоистой толще – это результат *горизонтального сжатия* (одна элементарная геодинамическая обстановка). А ее вергенция – это уже следствие одновременного *горизонтального сдвига вдоль горизонтальной*

плоскости (“горизонтальное скашивание” – другая обстановка).

Изучение парагенезов зон сдвига привело к представлению о том, что многие из них образовались также при сочетании элементарных обстановок. Это обстановки трансензии (сочетание горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости с горизонтальным растяжением по нормали к этой плоскости) и транспрессии (сочетание горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости с горизонтальным сжатием по нормали к этой плоскости).

Еще одно возможное сочетание обстановок – горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости, осуществляющийся одновременно с горизонтальным сдвигом вдоль горизонтальной плоскости. Но имеет ли такая обстановка место в природе? До сих пор эта ситуация никем не рассматривалась, очевидно потому, что не были известны структуры, которые могли бы образоваться таким путем.

Однако в последнее время, благодаря развитию методов 3D сейсморазведки, стало возможным детальное описание тектонических структур не только на поверхности, но и в глубине осадочного чехла. Обсуждению этого механизма на примере одного из хорошо изученных районов севера Западной Сибири и посвящена настоящая статья.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

По результатам интерпретации 3D-сейсмических материалов в последние годы получены принципиально новые данные о строении локальных структур, возникших в новейшее время во всем интервале глубин осадочного чехла севера Западно-Сибирской плиты (рис. 2) на ее нефтегазоносных площадях [4]. Чехол представлен песчано-глинистой толщей верхней юры – олигоцена мощностью до 4.5 км. В нем выявлены линейные в плане системы кулисообразно расположенных сбросов, по нашему мнению приуроченные к сдвигам в фундаменте (рис. 3), имеющие диагональное СЗ или СВ простирание и образующие в плане ромбовидную систему, причем острый угол ромбов ориентирован субмеридионально. Такое же СЗ или СВ простирание характерно и для известных разломов фундамента Западно-Сибирской плиты [20].

Наиболее детально изучен парагенез структур, расположенный в пределах Еты-Пуровского вала. Осложняющие этот вал кулисные системы изображены на рис. 4. По разные стороны от осей этих систем сместители сбросов падают в противоположных направлениях, а их концы S-образно изогнуты; таким образом, конфигурация сбросов напоминает двулопастной винт или пропеллер. В

¹ Во всех перечисленных случаях речь идет о сдвиге не в плоскости вдоль конкретной поверхности сместителя разрыва, а в объеме параллельно условной ортогонально ориентированной плоскости (см. рис. 1).

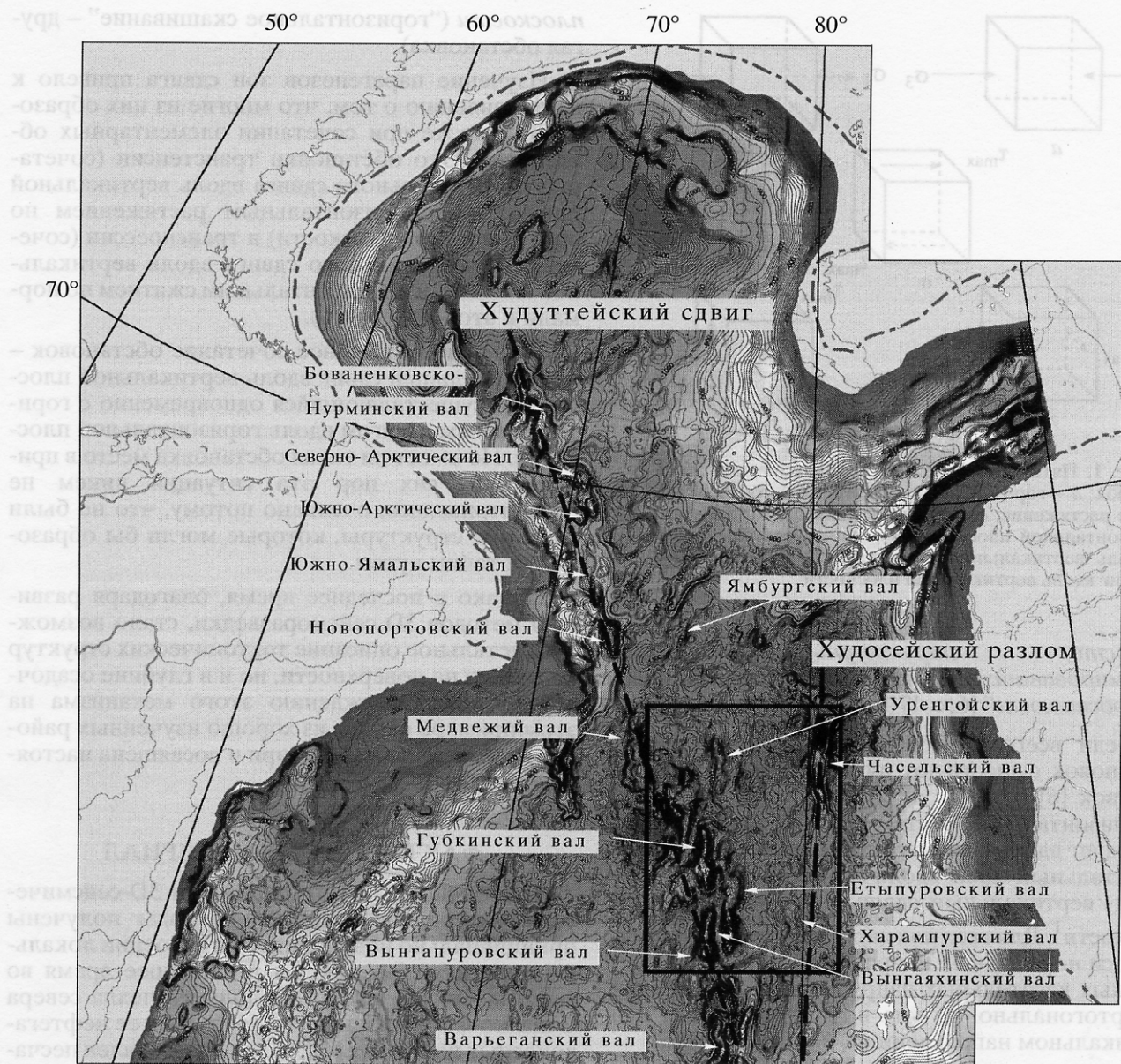


Рис. 2. Структурная карта Западно-Сибирской геосинеклизы по кровле альб-сеноманского комплекса, по [13], с дополнениями [4]

Показано положение площадей с доказанными структурами горизонтального сдвига по материалам сейсморазведки 3D (рамка, см. ниже рис. 3) на фоне регионального строения севера Западной Сибири. Жирными пунктирными линиями показаны предполагаемые надпорядковые линейные швы, связанные с региональными сдвигами фундамента на теле активизированных на неотектоническом этапе фрагментов (ответвлений) Колтогорско-Уренгойского грабен-рифта (Худуттейский и Худосейский разломы). Положение крупнейших валов и локальных поднятий характеризуется кулисным сочленением с линиями региональных сдвигов фундамента

большинстве случаев отдельные сбросы (кулисы) не образуют единого разрыва, пересекающего ось кулисной системы. Средние величины углов между простираем этой оси и простираем самих сбросов составляют около 30° в нижней части разреза чехла и увеличиваются до 50° в верхней части чехла. В вертикальном разрезе, параллельном кулисной оси (рис. 5), видно, что

углы падения сбросов не очень крутые (около $50\text{--}60^\circ$); в то же время границы слоев падают в противоположном направлении. Если соединить точки, сочленяющие границы слоев одного возраста со сместителями сбросов, мы получим своеобразное “складчато-разрывное зеркало”, аналогичное зеркалу складчатости. Это зеркало на всех разрезах, параллельных оси кулис, субгоризон-



Рис. 3. Положение осей доказанных сдвиговых деформаций в осадочном чехле на обозначенных месторождениях нефти и газа центральной части севера Западно-Сибирской плиты по материалам сейсморазведки 3D, по [4]

Оси сдвиговых деформаций (кулисных систем сбросов) образуют две диагональные системы (СЗ и СВ простирания), маркирующие сдвиги в фундаменте. Эти системы ориентированы друг по отношению к другу под острым углом, субмеридиональная биссектриса которого обозначает направление оси максимального сжатия, породившего сдвиговые деформации. Рамкой показана площадь 3D сейсморазведки Еты-Пуровского вала (см. ниже рис. 4)

тально. Амплитуда сбросов и угол падения слоев максимальны в средней части разреза и убывают как вниз, так и вверх по разрезу. В вертикальном сечении, ориентированном вкрест простирания сбросов (рис. 6), эти разрывы сходятся к фундаменту, образуя структуру “цветка”, а слои обрисовывают антиформу с “просевшим” по сбросам сводом, так что “складчато-разрывное зеркало” здесь также субгоризонтально. В схематичном виде все эти особенности структур изображены на рис. 7.

ТИПИЧНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ В ЗОНАХ СДВИГА

Под термином “зона сдвига” обычно понимается линейная зона, в которой господствует геодинамическая обстановка горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости, т. е. только *одна из трех* элементарных сдвиговых обстановок, упомянутых выше. Чаще всего описывают и моделируют структуры, возникающие в чехле над разломом в фундаменте, крылья которого смещаются вдоль его простирания друг относительно друга. За рубежом такие зоны называют сдвиговыми зонами Риделя (Riedel shear zones) [22, 25, 28]; по типу напряженного состояния – это неоднородный простой сдвиг [16].

Структурные формы, характерные для таких зон сдвига, изображены на рис. 8. Основными среди дизъюнктивных нарушений являются сколы Риделя – синтетические R-сколы и антитетические R'-сколы, а также трещины отрыва [18]. Другие трещины (P и L) возникают на поздних стадиях развития сдвиговой зоны [3] и здесь не показаны. Данные многочисленных экспериментов [3, 11, 19, 22, 28 и многие другие] свидетельствуют, что R'-сколы возникают чаще всего одновременно с R-сколами, но, из-за своего простирания под близким к прямому углом с направлением сдвига и антитетическим характером смещений, быстро прекращают свое развитие. Трещины отрыва развиваются только в хрупкой среде, например в образцах из глины – при смячивании ее водой [19]. Таким образом, доминирующую роль в структурообразовании на ранних стадиях развития сдвиговых зон обычно играют R-сколы. По данным моделирования на эквивалентных материалах, проведенного многочисленными исследователями, начиная с Г. Клооса и В. Риделя (30-е гг. прошлого столетия) и по настоящее время [3, 15, 18, 19, 22, 25, 26, 28 и многие другие], и подтвержденных экспериментами, проведенными недавно нами в Лаборатории тектонофизики и геотектоники им. В.В. Белоусова (МГУ), они обычно возникают под небольшими углами к направлению сдвига (в среднем 15°), причем сдвиг вдоль них идет почти в том же направлении, что и сдвиг в фундаменте (см. рис. 8, а также ниже рис. 10, северная часть).

В моделях при сдвигании формировались как прямолинейные субвертикальные R-сколы, так и, чаще, те же сколы, но S-образные в плане. В последнем случае поверхности сместителей вертикальны только в центральной части, а на флангах, в смежных крыльях сдвигового разлома фундамента, падают в противоположных направлениях. Впервые по данным собственных экспериментов описали изогнутую поверхность R-сколов В.Д. Парфенов и С.Д. Жуковский [14], уподобив ее двулопастному винту. Затем такая форма не-

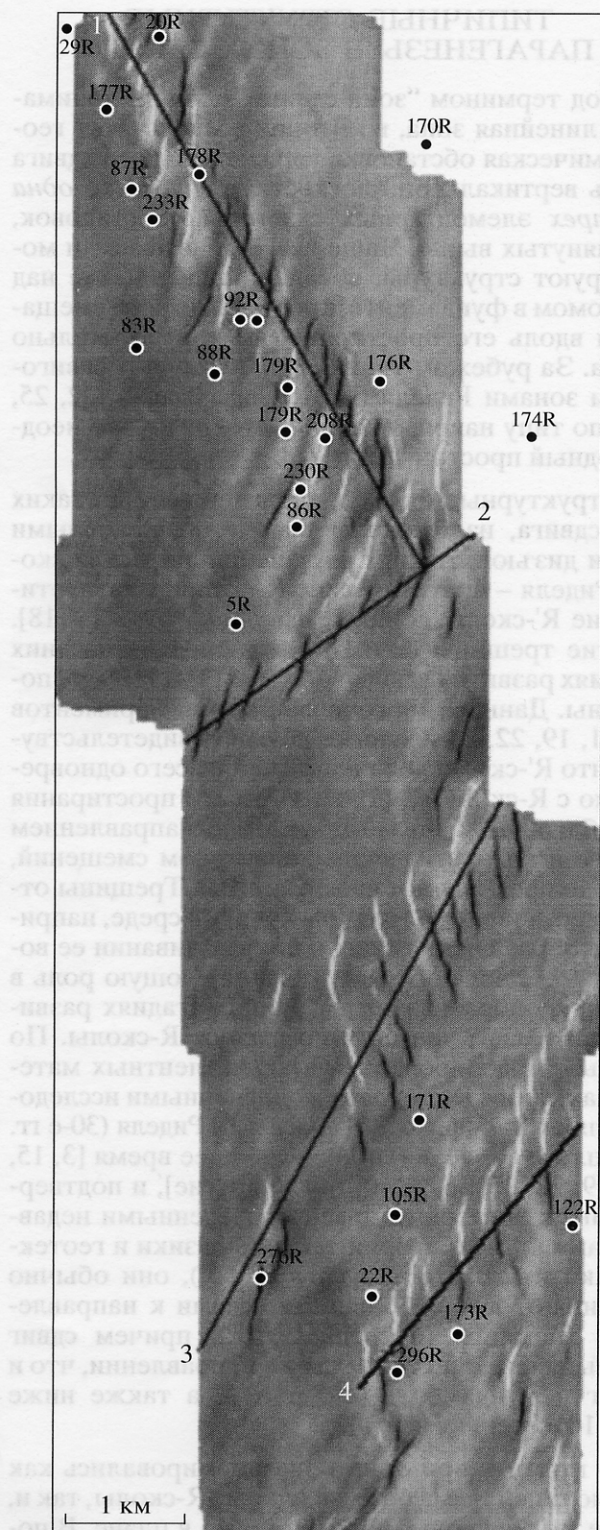


Рис. 4. Карта углов наклона кровли юры (горизонт Б), Еты-Пуровский вал, по [4]

Вариации тона соответствуют вариациям углов наклона. Сплошными прямыми линиями обозначены оси главных кулисных систем (1–4) сбросов в чехле, расположенных над сдвиговыми разломами фундамента. Средние величины углов между простиранием осей и простиранием самих сбросов составляют 40–50°. Цифры – номера скважин

однократно описывалась экспериментаторами [3, 11, 25] и получила название геликоидальной, винтообразной, сигмоидальной или пропеллерообразной. Одно из представлений о геликоидальной конфигурации сколов Риделя изображено на рис. 9. Результаты математического моделирования зон горизонтального сдвига [16] также показали, что трещины скалывания должны иметь сложную винтообразную форму.

Структурные парагенезы, возникающие при сочетании двух обстановок (сдвиг со сжатием – транспрессия и сдвиг с растяжением – транстенсия), также были неоднократно воспроизведены в моделях [12, 23–25, 27, 29]. В обстановке транспрессии над разломами фундамента возникали поднятия, сопровождающиеся взбросами и надвигами, а в обстановке транстенсии – впадины, находящиеся в парагенезе со сбросами.

Совокупность приведенных в начале статьи фактов, а также данные неотектоники, дают основание утверждать [4], что описанный парагенез структур Еты-Пуровского вала в осадочном чехле сформировался на новейшем этапе развития как результат сдвиговых перемещений в фундаменте, обусловленных общим для плиты субмеридиональным сжатием, однако во многом он отличается от парагенезов, полученных экспериментальным путем. Как только что было показано, наличие в структурном парагенезе сдвиговой зоны чехла только одной системы кулисных сколов свидетельствует скорее всего о том, что это субвертикальные в своей центральной части R-сколы, возникающие при малой амплитуде смещения по сдвигу в фундаменте и образующие с направлением смещения небольшой угол. На площади Еты-Пуровского вала развита преимущественно одна система кулисных разрывов над каждым разломом фундамента, однако по данным сейсморазведки угол простирания их сместителей с направлением сдвига достигает 50°. Другим отличием от экспериментальных данных являются умеренные на всем протяжении углы наклона поверхностей разрывов в чехле. И, наконец, нетипичным является сочетание антиформных поднятий со сбросами. Таким образом, структурный парагенез Еты-Пуровского вала действительно является необычным и его нельзя объяснить ни механизмом неоднородного простого сдвига, ни механизмами сочетания этого сдвига со сжатием (транспрессия) или растяжением (транстенсия). Каким же путем он мог сформироваться? Ответ на этот вопрос и является целью нашего исследования.

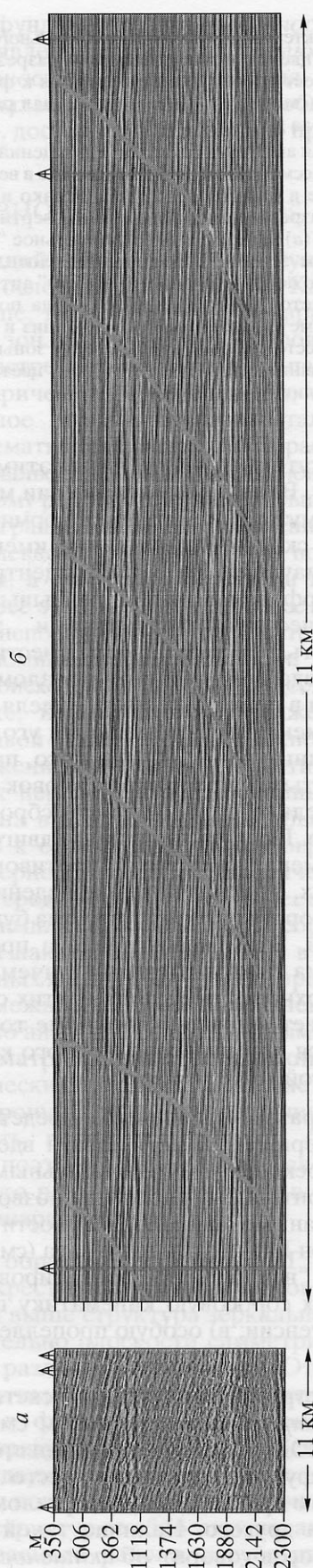


Рис. 5. Характерная структура горизонтального сдвига – сочетание однонаправленного наклона слоев с системой сбросов, падающих в противоположную сторону – в вертикальном разрезе, проведенном параллельно оси кулисной системы сбросов на одном из ее крыльев. Показан интервал разреза от нижнего мела до палеоцена, по [4]

Очень малая амплитуда складок и смещений по сбросам, если рассматривать их изображение в вертикальном разрезе в масштабе 1 : 1 (б). Однако и в вертикальном разрезе с преувеличенным вертикальным масштабом (а) хорошо видно субгоризонтальное “складчато-сбросовое зеркало”. Воздымание слоев в левую сторону компенсируется их смещением вниз по системе сбросов. Вертикальные линии – скважины

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР “ПРОПЕЛЛЕРНОГО” ТИПА С УМЕРЕННЫМ УГЛОМ НАКЛОНА ПОВЕРХНОСТЕЙ СМЕСТИТЕЛЕЙ РАЗРЫВОВ

Анализируя все эксперименты, посвященные воспроизведению неоднородного простого сдвига (модельный материал – “чехол” – деформируется под воздействием горизонтального смещения лежащих под ним жестких пластин), можно заметить, что в них не учитывалось влияние гравитационной нагрузки. В этих опытах “чехол”, сопротивляясь сдвиговому горизонтальному смещению блоков “фундамента”, испытывал только напряжение горизонтального сдвига вдоль *вертикальной* плоскости. Между тем в природе нагрузка осадочного чехла может быть весьма значительной. Так, в районе Еты-Пуровского вала мощность чехла местами достигает почти 4.5 км [21]. Кроме того, этот чехол не заканчивается, как в экспериментах, у концов разлома в фундаменте, то есть, если разломы всегда имеют конечную длину, то чехол – “бесконечную”. Таким образом, природный осадочный чехол, подошва которого испытывает значительную литостатическую нагрузку, сопротивляется также и стремлению кровли движущегося фундамента переместить его, силой трения, по горизонтали; при этом чехол подвергается действию напряжения горизонтального сдвига, но уже вдоль *горизонтальной* плоскости (обстановка горизонтального скашивания, которая, например, ответственна за вергенцию складчатости). Такая элементарная геодинамическая обстановка представляет собой однородный простой сдвиг с вертикальной ориентировкой плоскости, в которой располагаются оси максимального растяжения и сжатия. В этой обстановке должны формироваться R-сколы в виде весьма пологих *сбросов* с углами падения сместителя около 15° (рис. 10, южная часть). Действительно, эти структуры были получены нами в экспериментах (рис. 11).

Интерференция напряжений горизонтальных сдвигов вдоль обеих названных взаимно перпендикулярных плоскостей создает поле напряже-

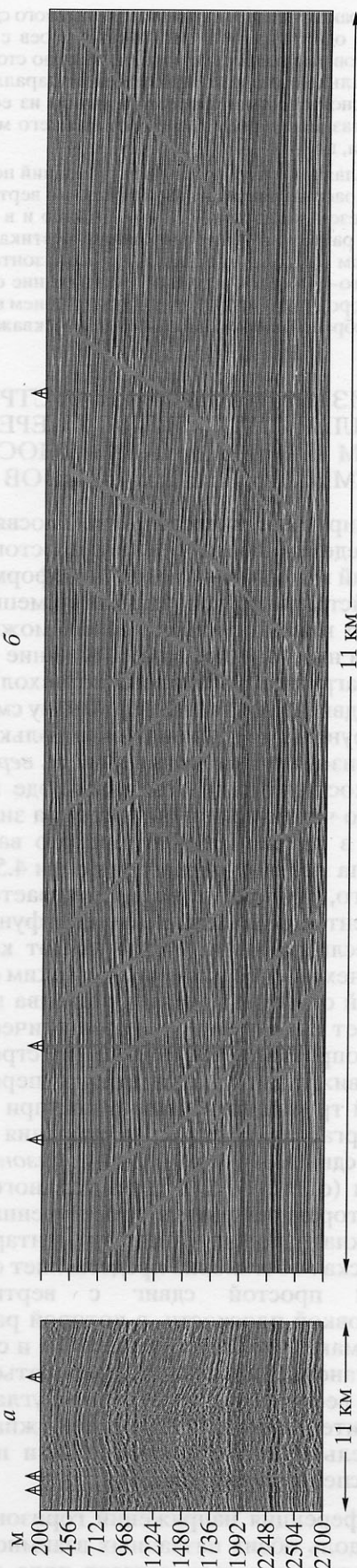


Рис. 6. Характерная структура горизонтального сдвига – структура “цветка” – в вертикальном разрезе, проведенном вкрест простирания сходящихся к фундаменту сбросов (см. рис. 4). Показан интервал разреза от нижнего мела до эоцена, по [4]

Очень малая амплитуда складок и смещений по сбросам, если рассматривать их изображение в вертикальном разрезе в масштабе 1 : 1 (б). Однако и в вертикальном разрезе с преувеличенным вертикальным масштабом (а) заметно субгоризонтальное “складчато-сбросовое зеркало”. Воздымание слоев, которое обусловлено положительным “изгибом” антиформы, компенсируется “обрушением” ее свода по системе сбросов. Заметно затухание складок вниз и вверх по разрезу, вместе с расширением сверху зоны динамического влияния сдвигов и структурой “цветка”. Вертикальные линии – скважины

ний, промежуточное между двумя этими крайними случаями. В первом приближении можно считать, что азимуты и углы падения формирующихся в этом поле сколов Риделя также имеют промежуточные значения. На рис. 10 в центре изображены “интерференционные” разрывы со “среднеарифметическими” элементами залегания. Можно видеть, что поверхности сместителей образуют гораздо больший угол с разломом в фундаменте, чем в сдвиговых зонах Риделя в плане и, напротив, имеют гораздо меньший угол падения, чем в указанных зонах. Кроме того, при сочетании упомянутых сдвиговых обстановок сколы Риделя обязательно должны иметь сбросовую составляющую. Поскольку крылья сдвигового разлома фундамента движутся в противоположных направлениях, то и направление падения сбросов по разные стороны от этого разлома будет противоположным. Этим и обусловлена пропеллеровидная форма сколов Риделя. Причем в данном случае поверхность сместителей этих сколов *нигде* не залегает вертикально; кроме того, она не продолжается при переходе с одного крыла разлома на другой.

Таким образом, привлечение представлений о сочетании горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости с горизонтальным сдвигом вдоль горизонтальной плоскости позволяет объяснить описанные выше особенности структур сдвиговых зон Еты-Пуровского вала (см. рис. 4–7), а именно: а) “нетипичную” ориентировку сколов Риделя; б) их сбросовую кинематику при отсутствии трансенсии; в) особую пропеллеровидную форму.

Иногда встречаются кулисные системы сбросов с *однонаправленным* падением сместителей (см. рис. 4, ЮВ участок), свидетельствующие о том, что в фундаменте имело место смещение только одного крыла сдвигового разлома, при неподвижности другого. Наличие такой кулисной системы сбросов говорит об *активности* расположенного под ней одного из крыльев сдвигового

разлома в фундаменте, при *пассивности* другого крыла. Выявление признаков *абсолютного*, а не только *относительного* смещения противоположных крыльев разломов – это особая, по нашему мнению, достаточно актуальная проблема [8].

“РАЗРЫВНО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ” ЯЧЕЙКИ

Следующий вопрос – причины существования антиформ, осложненных сбросами. Как уже говорилось выше, такое сочетание нехарактерно для сдвиговых зон. В районе Еты-Пуровского вала, напротив, встречается именно этот парагенез (см. рис. 5–7); причем на разрезе видно, что складчато-разрывное зеркало субгоризонтально. Обратимся к схематичному разрезу АБ, пересекающему одно из крыльев разлома в фундаменте и параллельное этому разлому (см. рис. 7). Выделим объем (ячейку), ограниченный сверху и снизу, соответственно, дневной поверхностью и поверхностью фундамента, а с боков – смежными наклонными сбросами. Все эти границы в процессе деформации остаются неподвижными, следовательно, такая ячейка напоминает конвективную и в ее центре должно происходить вращение вещества по часовой стрелке, иными словами движение сверху вниз в правой части ячейки должно сопровождаться движением вверх в левой части ячейки, что приводит к перекоосу слоев. Величина поворота максимальна в центре ячейки и убывает по направлению к ее горизонтальным ограничениям, что характерно для конвективных ячеек [6]. В результате в средней части чехла имеет место максимальная амплитуда смещения по сбросам и максимальный наклон слоев. Однако, в отличие от конвективных ячеек, в которых направление вращения в смежных ячейках направлено в разные стороны (по аналогии со сцепленными шестернями), в рассматриваемых здесь смежных “разрывно-пластических” ячейках вращение происходит в одну сторону. При своем вращении слои стремятся стать перпендикулярно к сместителям сбросов и поэтому испытывают некоторое укорочение, что реально выражается в формировании микрошарьяжей (рис. 12).

Теперь обратимся к разрезу ВГ, ориентированному вкрест простирания сбросов (см. рис. 7). Описанная выше структура зеркально отражается относительно плоскости симметрии, проходящей вдоль разлома в фундаменте. Отсюда становится понятным существование антиформы над разломом в фундаменте, затухающей вверх и вниз по разрезу. Таким образом, представление о сочетании двух упомянутых выше элементарных обстановок позволяет объяснить сочетание антиформных структур со сбросами, характерных для рассматриваемого района, и субгоризонтальное залегание “складчато-разрывного” зеркала.

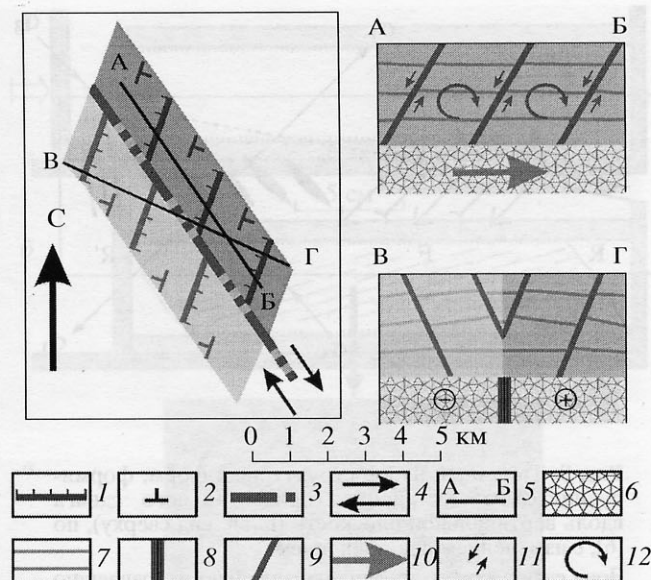


Рис. 7. Схематическая морфология и кинематика структур горизонтального сдвига

Слева – обобщенная структурная схема по кровле одного из горизонтов осадочного чехла: 1 – сбросы; 2 – элементы залегания кровли горизонта; 3 – граница смены направления падения сместителей сбросов, расположенная над сдвиговым разломом в фундаменте; 4 – направление сдвигового смещения; 5 – линии разрывов. Справа – вертикальные разрезы: 6 – фундамент; 7 – осадочный чехол; 8 – сдвиговый разлом в фундаменте; 9 – сбросы в чехле; 10 – направление смещения фундамента относительно чехла; 11 – направление смещения по сбросам; 12 – направление вращения вещества чехла внутри “разрывно-пластических” ячеек. Более темным тоном обозначен чехол на СВ крыле правостороннего сдвигового разлома фундамента, движущегося в плане к ЮВ, а на разрезе ВГ – в сторону наблюдателя (знак “плюс” в кружке, по аналогии с электрической батареей). Более светлым тоном обозначен чехол на ЮЗ крыле разлома, движущегося в плане к СЗ, а на разрезе ВГ – в сторону от наблюдателя (знак “минус” в кружке)

В рассматриваемых ячейках в нижней части нисходящего потока вещества (т.е. в нижней части висячих крыльев сбросов) имела место деформация максимального укорочения по вертикали и компенсирующего удлинения по горизонтали. В то же время в нижней части восходящего потока вещества (т.е. в нижней части лежащих крыльев сбросов) происходила деформация максимального удлинения по вертикали и компенсирующего укорочения по горизонтали, что характерно и для конвективных ячеек [6]. Это обстоятельство следует учитывать при оценке пористости и проницаемости пород, влияющих как на нефтегазоносность, так и на миграцию нефти и газа.

Выше мы рассмотрели дизъюнктивные формы, возникающие в чехле над сдвиговым разломом в фундаменте. Но одной из форм структур-

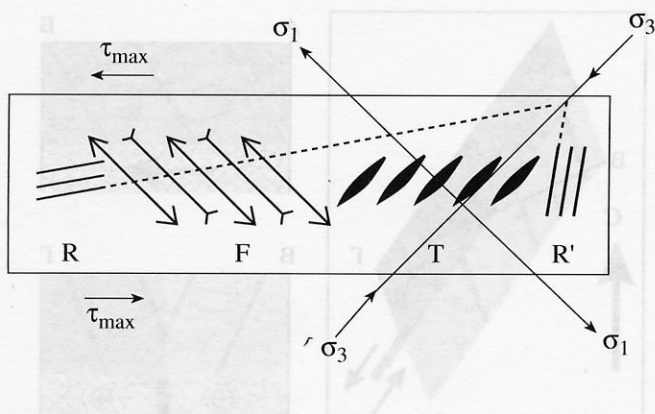


Рис. 8. Типичный набор структурных форм, формирующихся в обстановке горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости (план, вид сверху), по [6], с изменением и дополнением

Зона сдвига ориентирована параллельно направлению оси максимального касательного напряжения ($\tau_{\max}$). Две главные оси напряжений в зоне сдвига — ось максимального растяжения (σ_1) и ось максимального сжатия (σ_3) — лежат в горизонтальной плоскости. Они ориентированы под углом 45° к простиранию зоны сдвига и под углом 90° друг к другу. Субвертикальные трещины отрыва T формируются по нормали к оси σ_1 ; субвертикальные сколы Риделя R и R' — с небольшим отклонением от направления оси $\tau_{\max}$, образуя острый угол, биссектриса которого ориентирована по направлению оси σ_3 ; прямые складки F (антиклинальные и синклинальные) — по нормали к оси σ_3 .

ного парагенеза являются также пликативные формы — линейные складки (см. рис. 8). Следует отметить, что они, как правило, не встречаются в *едином* структурном парагенезе с дизъюнктивными формами — трещинами отрыва и сколами Риделя. Как видно на рис. 8, их оси перпендикулярны направлению оси максимального сжатия σ_3 , однако в новейших сдвиговых зонах Западной Сибири встречаются нефтеносные брахиантиклинальные поднятия, оси которых ориентированы в направлении, близком к σ_3 . Еще одной целью нашей работы было выяснение причин формирования таких структур.

ОРИЕНТИРОВКА НОВЕЙШИХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БРАХИАНТИКЛИНАЛЕЙ ВДОЛЬ ОСИ МАКСИМАЛЬНОГО СЖАТИЯ: ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ

Воспроизведение сколов Риделя и поднятий в зонах сдвига с применением эквивалентных материалов. В Лаборатории тектонофизики и геотектоники им. В.В. Белоусова (МГУ) воспроизводились деформации осадочного чехла под влиянием сдвига вдоль сместителей субвертикальных разломов фундамента. При этом возникали брахиантиклинальные с необычной ориентировкой их осей.

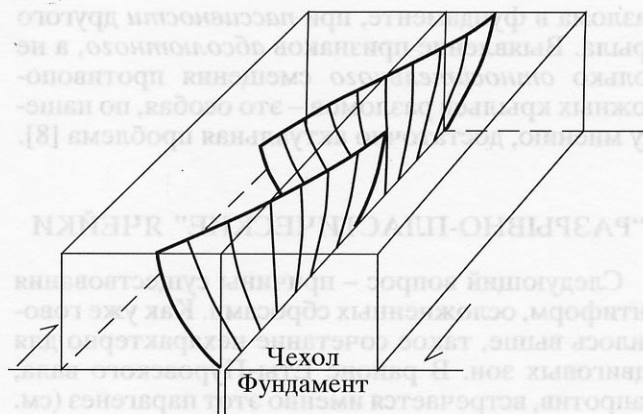


Рис. 9. Пропеллерообразная форма сколов Риделя в зоне правостороннего сдвига, по результатам физического моделирования с применением песка в качестве эквивалентного материала, по [25]

Структурная эволюция чехла, состоящего из смеси песка с солидолом, в зоне динамического влияния сдвигового разлома фундамента была обусловлена постепенным увеличением амплитуды сдвига. В экспериментах это выглядело следующим образом.

Сначала возникали кулисы мелких субвертикальных трещин отрыва, объединявшихся затем в субвертикальные сколы Риделя (рис. 13, в), что подтвердило высказывавшееся ранее [5] представление о механизме возникновения разрывов скалывания. Сколы Риделя располагались кулисообразно над сдвиговым разломом фундамента, образуя угол $10\text{--}15^\circ$ с простиранием этого разлома, причем сдвиг вдоль них шел практически в том же направлении, что и сдвиг в фундаменте.

На последующих этапах сдвигания (рис. 13, г) участки чехла, расположенные между окончаниями соседних параллельных эшелонированных сколов Риделя, испытывали горизонтальное сжатие, ось которого была ориентирована близко к простиранию сколов. При этом формировались куполообразные поднятия, имеющие тенденцию к вытягиванию в том же направлении по мере прогрессирующего удлинения сколов и все большего взаимного "перекрывания" их окончаний. Сжатие было обусловлено тем, что эти "внутренние" участки взаимного "перекрывания" располагались во *фронтальной* части движущихся навстречу друг другу крыльев смежных сколов (это движение на рис. 13, г обозначено малыми стрелками, условный знак 4). В то же время соседние "внешние" участки, расположенные в *тыловых* частях противоположных крыльев этих сколов, испытывали растяжение и опускание. В результате поверхности сместителей сколов приобретали наклон со *взбросовой* компонентой, *антивергентной* по отношению к оси поднятий. При этом по

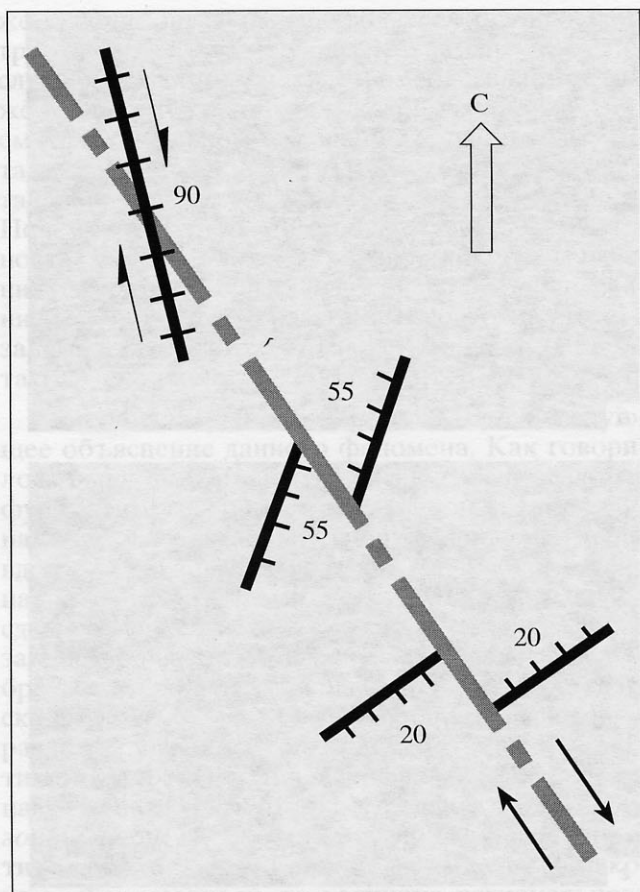


Рис. 10. Формирование в осадочном чехле сбросов по типу “пропеллера” (пояснения в тексте)
Цифрами обозначены углы падения разрывов

разную сторону от сдвигового разлома фундамента эти сместители падают в противоположных направлениях, образуя “пропеллерную” структуру.

Таким образом, в отличие от складок в “классическом” наборе структурных форм сдвиговых зон, показанных на рис. 8, воспроизведенные нами складки находятся не только в очевидном структурном парагенезе с разрывными нарушениями, но и обусловлены ими.

Простирание брахиантиклиналей. Как видно из рис. 13,г, простирание постепенно удлиняющихся куполов, имеющих тенденцию к превращению в брахиантиклинали, близко к ориентировке оси максимального сжатия. В то же время антивергентная конфигурация взбросо-сдвигов (окончаний сколов Риделя), обрамляющих поднятия, создает ложное впечатление формирования этих поднятий обычным путем, в обстановке горизонтального сжатия, направленного вкrest простирания их осей. На самом деле никакого внешнего (по отношению к брахиантиклиналям) сжатия не происходило. Имел место лишь неко-

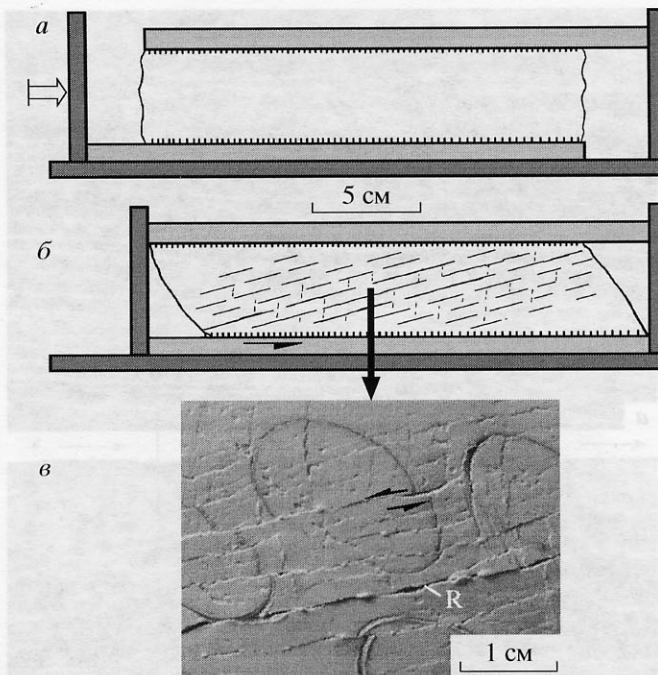


Рис. 11. Деформация горизонтального сжатия (однородный простой сдвиг) в эксперименте

Образец из влажной глины помещен между двух жестких пластин. Нижняя пластина (“фундамент”) смещается в горизонтальном направлении; верхняя жестко закреплена и создает сопротивление перемещению. а – образец до деформации; б – сдвиг на 1.4 см. Длинными и короткими черточками схематически показаны R-сколы и R'-сколы; в – фрагмент боковой части образца. Хорошо видны пологие R-сколы со смещениями сбросового типа

торый перекося первоначально субвертикальных сколов Риделя на их окончаниях. Как говорилось выше, брахиантиклинали не только ориентированы близко к оси сжатия, но в процессе своей эволюции удлинялись в том же направлении. Это обусловлено прогрессирующим удлинением порождающих и ограничивающих их с двух сторон сколов Риделя: окончания этих эшелонированных сколов все дальше “заходят друг за друга”, подобно двум движущимся навстречу поездам.

К “нетипичным” складкам в природных зонах сдвига, с “запрещенным” по канонам тектонофизики простиранием, можно отнести, например, нефтегазоносные брахиантиклинальные поднятия Западно-Сибирской плиты, возникшие в новейшее время в зоне динамического влияния регионального Худуттейского правосдвигового разлома (см. рис. 2) и схематично изображенные на рис. 13,а (среди этих поднятий наиболее широко известно Уренгойское). Многочисленные данные [4, 21], о которых речь шла выше, свидетельствуют о том, что в новейшее время в этом регионе господствовала геодинамическая обстановка

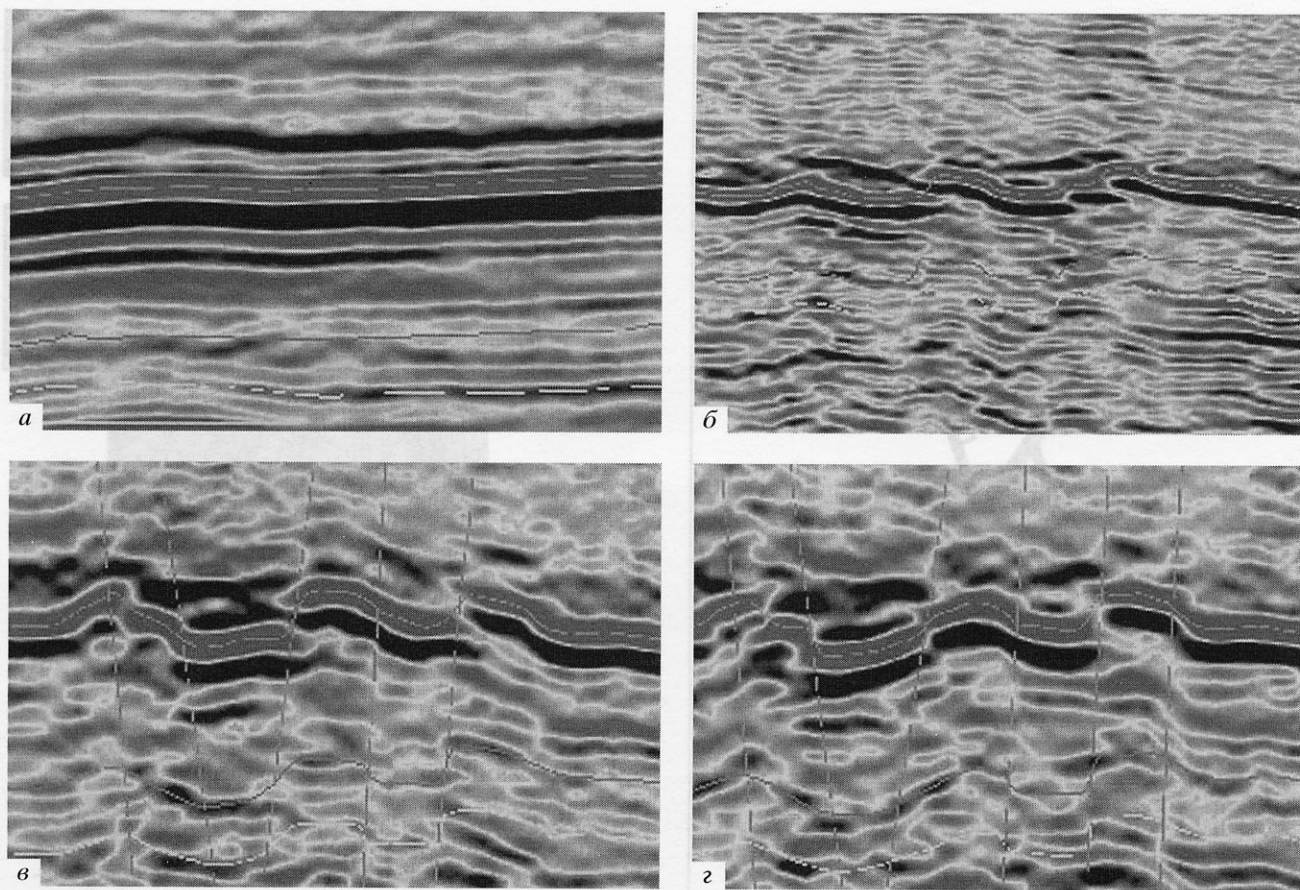


Рис. 12. Микрошарьяжи и другие структурные формы, образовавшиеся в локальной обстановке горизонтального сжатия, по [4]

Примеры тектонических деформаций разреза осадочной толщи внутри зоны динамического влияния горизонтального сдвига фундамента на уровне баженовской свиты: а) ненарушенное залегание; б) дисгармоничная складчатость и рассланцевание пород; в) черепичное налегание разорванных фрагментов баженовской свиты; 2) структуры шарьирования и будинирования в ачимовской свите и верхней юре

субмеридионального сжатия, которая, в частности, обусловила правосдвиговое смещение по названному разлому. Направление общего сжатия явно не вяжется с субмеридиональной ориентировкой осей брахиантклиналей.

Недавно были опубликованы любопытные данные о локализации поднятий между окончанием кулисообразно расположенных разрывных нарушений в зоне динамического влияния сейсмогенного правосдвигового разлома, активизированного при Алтайском землетрясении 2003 г. [17] (рис. 13,б).

Не исключено, что именно таким образом – посредством сжатия вдоль их простирания в сдвиговой обстановке – сформировались некоторые природные брахиантклинальные складки, в том числе упомянутые выше нефтегазоносные валы Западно-Сибирской плиты (Уренгойский и другие). Однако следует отметить, что порождающие их гипотетические крупные субвертикаль-

ные сколы Риделя, оперяющие Худуттейский сдвиговый разлом, пока сейсморазведкой не выявлены.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ СБРОСОВ В СТРУКТУРАХ “ПРОПЕЛЛЕРНОГО” ТИПА ОТ ВЕЛИЧИНЫ СДВИГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Возникает вопрос – почему для структур регионального ранга, изображенных на рис. 2 и 13,а и в первом приближении экспериментально воспроизведенных (см. рис. 13,в–г), должны быть характерны субвертикальные сколы Риделя, ориентированные под небольшим углом к порождающему их сдвигу в фундаменте, а в структурах локального ранга (см. рис. 3–7) преобладают сбросы, простирание которых образует с простиранием генерирующего сдвига средний угол (около 45°), а поверхности их сместителей имеют так-

же *средние* углы падения (ср. северную и центральную части рисунка 10)? Ведь в обоих случаях осадочный чехол примерно одной и той же мощности – около 4 км – своим сопротивлением горизонтальному смещению блоков фундамента создает геодинамическую обстановку горизонтального сдвига вдоль горизонтальной плоскости. Почему в структурах локального ранга эта обстановка отклоняет как простирание, так и угол падения разрывов от близко-параллельного простирания генерирующего разлома и субвертикального залегания, а в структурах регионального ранга такого отклонения не происходит?

Наиболее вероятным представляется следующее объяснение данного феномена. Как говорилось выше, в обоих случаях сдвиговый разлом в фундаменте генерирует в осадочном чехле геодинамическую обстановку горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости. Однако *величина* напряжения при этом *различна* у регионального сдвигового разлома фундамента, ответственного за формирование целого ансамбля присдвиговых брахиантклиналей, каковым является Худуттейский сдвиг (см. рис. 2), и локальных сдвиговых разломов, осложняющих одну из таких брахиантклиналей – Еты-Пуровский вал. Если величина напряжения горизонтального сдвига вдоль *горизонтальной* плоскости, обусловленного сопротивлением осадочного чехла, примерно одинакова в обоих случаях, то величина регионального напряжения горизонтального сдвига вдоль *вертикальной* плоскости значительно превосходит таковую у локального напряжения.

Недавно было введено полуколичественное понятие “относительная интенсивность полей напряжений” по степени деформированности пород трещинами сопряженных систем [10]. Показано, что разломы регионального ранга функционируют в более интенсивном поле напряжений, чем разломы локального ранга.

Таким образом, *суммарный* эффект обоих типов напряжений – “вертикального” и “горизонтального” – неодинаков. Для регионального ранга “вклад” “горизонтального” напряжения невелик, в то время как для локального ранга этот “вклад” соизмерим с “вкладом” “вертикального” напряжения.

В соответствии с данной трактовкой, сбросы, образующие кулисные системы над сдвиговыми разломами фундамента (см. рис. 3–7), являются *R*-сколами, отклоненными от их традиционно принимаемого близко-параллельного разлому и субвертикального залегания действием “горизонтального” напряжения. В то же время эти сбросы, сформированные в “вертикальном” поле напряжений, неизбежно имеют *горизонтальную* составляющую амплитуды смещения крыльев, которая не фиксируется сейсморазведкой 3D. Эта составляющая может быть оценена следующим образом.

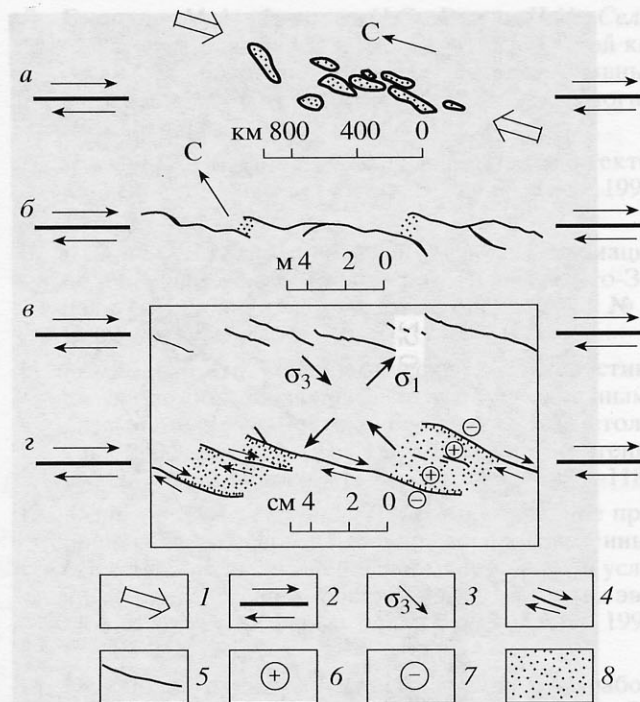


Рис. 13. Брахиантклинали в некоторых природных (а–б) и экспериментальных (в–з) зонах сдвига

а – схема расположения и ориентировки новейших нефтегазоносных поднятий Западно-Сибирской плиты в зоне динамического влияния регионального Худуттейского правостороннего разлома (см. рис. 2), со значительным упрощением; б – поднятия, возникшие на окончаниях кулисообразно расположенных трещин в зоне динамического влияния сейсмогенного правостороннего разлома, активизированного при Алтайском землетрясении 2003 г., по [17, рис. 6,в]; в – возникновение вертикальных сколов Риделя на начальных этапах сдвиговой деформации в модельном образце; з – дальнейшая эволюция структуры образца.

1 – направление общего регионального сжатия, обусловившего смещение по Худуттейскому сдвигу; 2 – расположение и ориентировка сдвиговых разломов в фундаменте, вызывающих складчато-разрывные деформации в осадочном чехле; 3 – ориентировка главных осей напряжений (сжатия – σ_3 , растяжения – σ_1) в чехле, обусловленных сдвигами в фундаменте; 4 – направления относительного смещения вдоль сдвиговых сколов Риделя (5), со взбросовой компонентой на их окончаниях; 6 – участки сжатия и поднятия на фронте движущихся крыльев сколов Риделя; 7 – участки растяжения и опускания в тылу движущихся крыльев сколов Риделя; 8 – области поднятий

Статистика амплитуд смещения по разрывным нарушениям разного ранга свидетельствует о прямой пропорциональной зависимости такой амплитуды от длины разрыва [10]. В нашем случае длина сбросов вдоль линии простирания (см. рис. 4) значительно больше, чем их длина вдоль линии падения–восстания (см. рис. 5–7). Следовательно, горизонтальная компонента амплитуды смещения по сбросам значительно превосходит

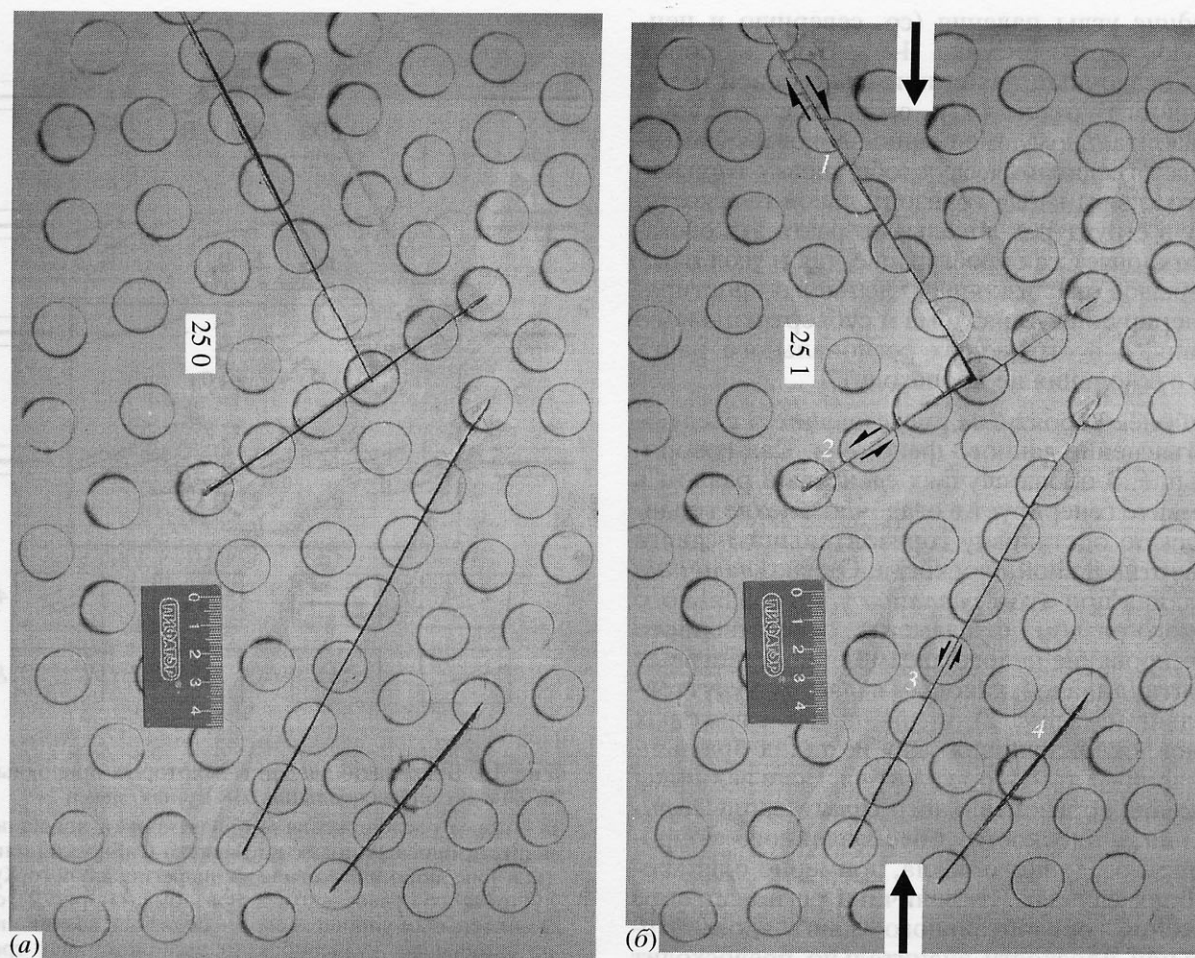


Рис. 14. Последовательное развитие деформаций в эксперименте

Образец из очень вязкой глины имитирует фундамент. В нем сделаны прорезы, соответствующие расположению разломов на участке Еты-Пуровского поднятия (см. рис. 4). Образец подвергался “субмеридиональному” сжатию. *а* – образец до деформации; *б* – укорочение на 0,9 см. Произошел сдвиг разной амплитуды по всем разломам (отражено длинной стрелкой), кроме разлома 4

вертикальную компоненту, и эти сбросы являются по существу сбросо-сдвигами. Конкретную оценку горизонтальной компоненты можно дать, используя величину вертикальной компоненты, фиксируемой сейсморазведкой 3D (см. рис. 5, 6), и статистические зависимости амплитуды от длины разрыва, приведенные в [10].

Интенсивность “вертикального” поля напряжений зависит и от ориентировки сдвигового разлома фундамента. На рис. 4 системы кулис 1 и 2 имеют различное простирание. На рис. 14 показаны амплитуды смещения вдоль соответствующих (1 и 2) сдвигов фундамента, по экспериментальным данным. Отчетливо видно, что амплитуда смещения вдоль сдвига 1 превосходит таковую для сдвига 2. Это означает, что касательные напряжения, вызвавшие смещение вдоль сдвига 1, превосходили таковые для сдвига 2. Поэтому “вертикальное” поле напряжений в зоне динами-

ческого влияния сдвига 1 было интенсивнее, чем “вертикальное” поле напряжений в зоне динамического влияния сдвига 2. А поскольку “горизонтальное” поле напряжений, обусловленное сопротивлением осадочного чехла, было примерно одинаковым (см. выше), то можно заключить, что угол между простиранием сбросов, составляющих систему кулис 1, и простиранием самой этой системы, обозначающим простирание соответствующего сдвигового разлома фундамента, должен быть меньше, чем аналогичный угол в системе кулис 2. И действительно, для системы кулис 1 этот угол составляет в среднем 38–40°, в то время как для системы 2 его среднее значение равно 47°. Этот факт также подтверждает нашу концепцию.

Все эти особенности изменения простирания сбросов и угла падения их сместителей подлежат, по нашему мнению, дальнейшему изучению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что к известным типам *интерференции* элементарных геодинамических обстановок, таким как горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости + горизонтальное сжатие (*транспрессия*) и горизонтальный сдвиг вдоль вертикальной плоскости + горизонтальное растяжение (*транстенсия*), можно добавить сочетание того же горизонтального сдвига вдоль вертикальной плоскости с горизонтальным сдвигом вдоль горизонтальной плоскости, вызывающим тектоническое расслаивание (*lamination*). Представление об этой обстановке вызвано необходимостью учета гравитационной нагрузки осадочного чехла.

Мы предлагаем назвать этот тип интерференции элементарных сдвиговых геодинамических обстановок, по аналогии, "**трансламинацией**". Именно в геодинамической обстановке трансламинации и возникают нефтегазоносные структуры "пропеллерного" типа.

Авторы искренне признательны рецензентам доктору геол.-мин. наук В.С. Буртману и доктору геол.-мин. наук Ю.А. Морозову за высказанные замечания и пожелания, которые позволили улучшить содержание статьи.

Исследование выполнено по договору с ОАО "Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз" и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64547).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.В. Структурная геология. 3-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с.
2. Белоусов В.В., Гончаров М.А., Талицкий В.Г. Учение о структурных парагенезах // Механизмы структурообразования в литосфере и сейсмичность. М.: ИФЗ РАН, 1991. С. 157–158.
3. Борняков С.А. Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны в упруговязкой модели // Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1981. С. 26–44.
4. Гогоненков Г.Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2007. № 3. С. 3–11.
5. Гончаров М.А., Талицкий В.Г. Зарождаются ли "трещины скалывания" путем скалывания? // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1998. № 3. С. 18–22.
6. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом "Университет", 2005. 496 с.
7. Гончаров М.А., Фролова Н.С. Парадокс ориентировки некоторых новейших нефтегазоносных брахиантиклиналей сдвиговых зон вдоль оси максимального сжатия: тектонофизическое истолкование // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Т. 1. М.: ГЕОС, 2008. С. 218–222.
8. Гончаров М.А., Фролова Н.С., Рожин П.Н., Селезенева Н.Н. Проблема выявления абсолютной кинематики противоположных крыльев разрывных нарушений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 4. С. 12–19.
9. Лукьянов А.В. Пластическая деформация и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.
10. Лунина О.В., Гладков А.С., Шерман С.И. Вариации полей напряжений Тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье) // Геотектоника. 2007. № 3. С. 69–96.
11. Михайлова А.В. Геодинамические характеристики структур, образовавшихся в слое над активными разломами фундамента // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сб. Трудов VIII геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М.: ГЕРС. 2007. С. 111–118.
12. Морозов Ю.А., Гептнер Т.М. Сопоставление природных и экспериментально воспроизведенных структурных ансамблей, сформированных в условиях транспрессии и транстенсии // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 219–258.
13. Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа Крайнего Севера Западной Сибири / О.М. Ермилов, Ю.Н. Карогодин, А.Э. Конторович и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 141 с.
14. Парфенов В.Д., Жуковский С.Д. Моделирование хрупкого разрушения в условиях деформации сдвига // Геотектоника. 1966. № 4. С. 112–117.
15. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 262 с.
16. Ребецкий Ю.Л. Неоднородность напряженного состояния зон горизонтального сдвига и его проявление во вторичных разрывных структурах // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Т. 2. М.: ГЕОС, 2008. С. 154–158.
17. Рожин П.Н., Овсяченко А.Р., Мараханов А.В., Ушанова Е.А. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения // Геотектоника. 2007. № 2. С. 3–22.
18. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал "Гео". 2003. 244 с.
19. Стоянов С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 с.
20. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1981. 143 с.
21. Тимурзиев А.И., Гогоненков Г.Н. Структурно-тектоническая характеристика фундамента сдвиговых зон на примере Еты-Пуровского вала // Геология нефти и газа. 2007. № 6. С. 2–10.
22. Davis G.H., Bump A.P., Pilar E., Garcia P.E., Ahlgren S.G. Conjugate Riedel deformation band shear zones // J. Structural Geology. 1999. Vol. 22. P. 169–190.

23. Dooley T., McClay K. Analog modeling of pull-apart basins // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1997. Vol. 81. № 11. P. 1804–1826.
24. McClay K., Bonora M. Analog models of restraining stepovers in strike-slip fault systems // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 2001. Vol. 85. № 2. P. 233–260.
25. Naylor M.A., Mandl G., Sijpesteijn C.H.K. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states // Jour. Struct. Geol. 1986. Vol. 8. P. 737–752.
26. Schreurs G. Experiments on strike-slip faulting and block rotation // Geology. 1994. Vol. 22. P. 567–570.
27. Schreurs G., Colletta B. Analogue modelling of faulting in zones of continental transpression and transtension // Eds. Strachan R.A., Dewey J.F. Continental transpressional and transtensional tectonics. Geol. Soc., London, Spec. Publ. 1998. Vol. 135. P. 59–79.
28. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Geol. Soc. Amer. Bull. 1988. Vol. 100. P. 1666–1703.
29. Ustaszewski K., Schumacher M.E., Schmid S.M., Nieuwland D. Fault reactivation in brittle-viscous wrench systems—dynamically scaled analogue models and application to the Rhine-Bresse transfer zone // Quaternary Science Reviews. 2005. Vol. 24. P. 365–382.

Рецензенты: В.С. Буртман, Ю.А. Морозов

Role of Shear along Horizontal Plane in the Formation of Helicoidal Structures

N. V. Koronovsky^b, G. N. Gogonenkov^a, M. A. Goncharov^b,
A. I. Timurziev^a, and N. S. Frolova^b

^a Central Geophysical Expedition, 38/3 ul. Narodnogo Opolcheniya, Moscow, 123198 Russia

^b Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, 119992 Russia

e-mail: m.a.gonch@mail.ru

Received November 25, 2008

Abstract—An unusual structural paragenesis, complicated by brachyanticlines, is revealed for the first time in the sedimentary cover of the West Siberian Plate by 3D seismic surveying. These are linear (in plan view) systems of en-echelon arranged low-amplitude normal faults related to wrench faults in the basement. On different sides off a wrench fault, the planes of normal faults dip in opposite directions, forming a helicoidal structure that resembles the blades of a propeller. In the section parallel to the wrench fault, the boundaries of the beds and normal fault planes dip in opposite directions as well. In the section across the strike of the normal faults converging toward the basement, the beds take the shape of an antiform with a crest sagged along the normal faults (flower structure). This structural assembly was formed as a result of interference of stress fields of horizontal shear in the vertical plane (induced by faulting in the basement) and in the horizontal plane (caused by gravity resistance of the cover). In this case, the displacements along the normal faults develop in both the vertical and, to a greater extent, horizontal directions, so that the faults in cover are actually characterized by normal–strike-slip kinematics. The regional N–S-trending compression of the West Siberian Plate is the main cause of shearing along the NW- and NE-trending faults in the basement, which make up a rhomb-shaped system in plan view. Petroliferous brachyanticlines, whose axes, notwithstanding tectonophysical laws, are oriented in the direction close to the maximum compression axis, are known in the large wrench fault zones of Western Siberia. Our experiments with equivalent materials showed that a local stress field arising at the ends of echelon Riedel shears within a wrench fault zone may be a cause of the formation of such brachyanticlines. The progressive elongation of Riedel shears leads to the corresponding elongation of the brachyanticlines located between their ends. The performed study has shown that the known types of *interference* of elementary geodynamic settings such as horizontal shear along the vertical plane + horizontal compression (*transpression*) and horizontal shear along the vertical plane + horizontal extension (*transtension*) may be supplemented by combination of horizontal shears along the vertical and horizontal planes, resulting in tectonic lamination. By analogy, we propose to name this type of interference of elementary shear settings **translamination**. Petroliferous helicoidal structures arise in the given geodynamic setting of translamination.