

УДК 551.242.3(575.1)

## НОВАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДВИГОВ

© 2009 г. А. И. Тимурзиев

Представлено академиком Г.С. Голицыным 16.05.2009 г.

Поступило 19.05.2009 г.

Общепринятые представления о господстве в земной коре условий сжатия или растяжения в комбинации со сдвигом противопоставляются друг другу и рассматриваются в контексте различных геодинамических условий структурообразования. Крайнюю форму противопоставления условий структурообразования мы находим у A.G. Sylvester [6] в его классификации режимов транспрессии и транстенсии при формировании сдвигов.

В работе показаны несоответствия кинематики “цветковых моделей” транспрессии и транстенсии реальным трехмерным моделям зон сдвига [1]. Примеры изучения зон сдвига по результатам интерпретации сейсморазведки 3D в пределах разновозрастных осадочных бассейнов Земли свидетельствуют о формировании их в условиях чистого сдвига при одновременной реализации обстановок сжатия и растяжения во взаимно ортогональных сечениях. Сопоставительный анализ показывает, что модели транспрессии и транстенсии не адекватны трехмерным моделям строения природных геологических структур осадочных бассейнов. В этой связи существующие представления о напряженно-деформированном состоянии земной коры и структурных парагенезах зон сдвига, восходящие к временам плоского (двухмерного) геологического мышления, являются неполными и требуют очевидного пересмотра.

Основной тезис, постулируемый в работе, сводится к утверждению одновременности проявления на этапах структурообразования объемного неравномерно-напряженного состояния, запечатленного в трех основных типах деформаций геосреды (сжатие—растяжение—сдвиг) во взаимно ортогональных сечениях структур земной коры.

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ ЗОН  
СДВИГАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существуют устоявшиеся представления о структурах разрушения, отвечающие механизму

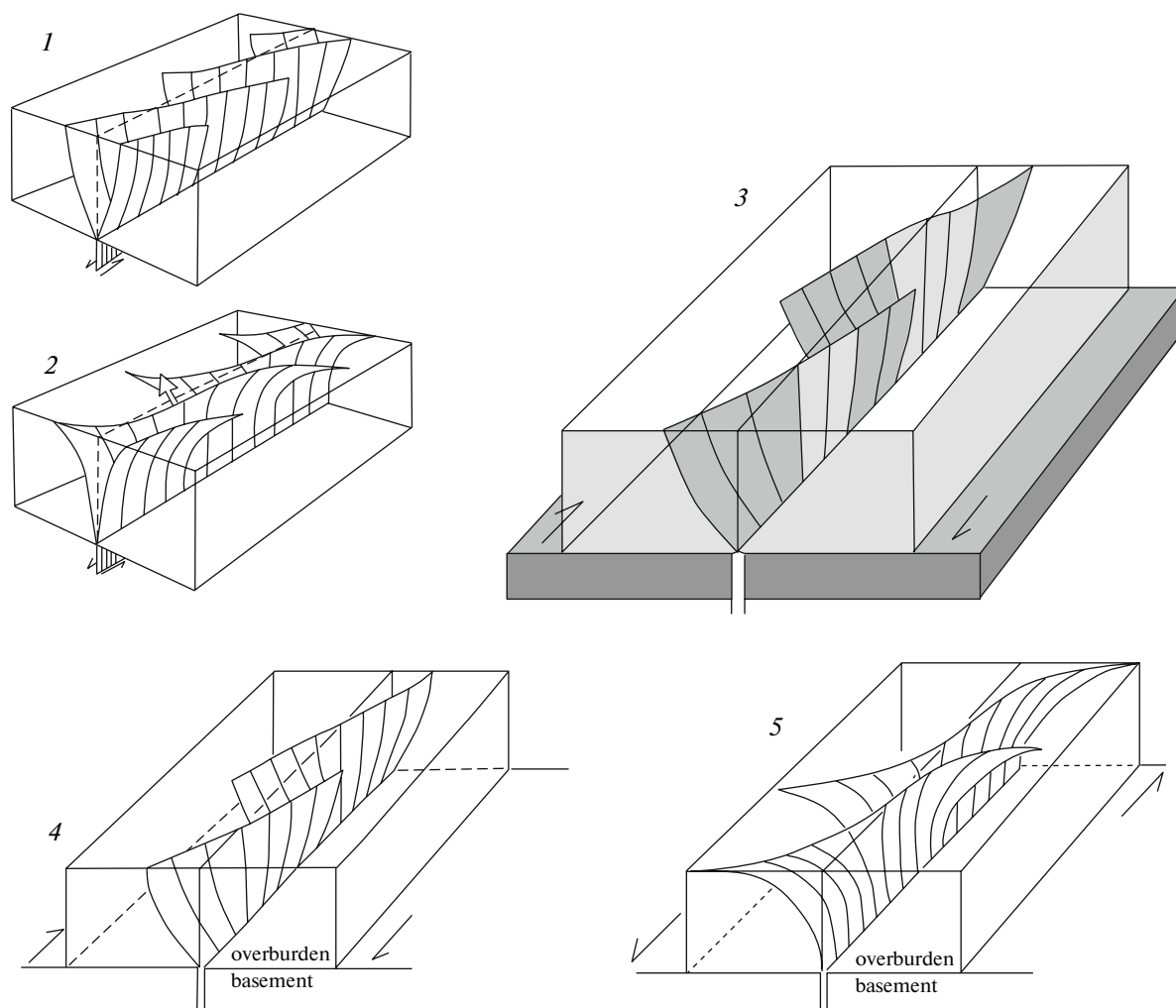
горизонтального сдвига, основанные на моделях Риделя (W. Riedel, 1929) и Андерсона (E. Anderson, 1951). В зонах сдвига по модели Риделя выделяются кулисно расположенные  $R$ - и  $R'$ -сколы, составляющие с осью сдвига острый и близкий к  $90^\circ$  углы, трещины отрыва  $T$ ,  $P$ - и  $L$ -сколы, а также кулисы приразломных пликативных складок  $F$ , длинные оси которых совпадают с ориентацией оси максимального растяжения. Изучение деформаций зон сдвига в экспериментах по физическому моделированию характеризует процесс развития сдвига как разорванную во времени последовательность деформационных событий для пространственно обособленных структурных парагенезов. Анализ результатов экспериментов показал, что поверхностные структурные парагенезы зон сдвига хорошо изучены, чего нельзя сказать об объемных деформациях, так как методы физического моделирования не дают такой возможности.

В соответствии с этими модельными представлениями интерпретируются природные структурные парагенезы для сменяющихся геодинамических обстановок транспрессии и транстенсии. Обобщенные данные о структурных парагенезах зон сдвига можно найти в работе [3], где вслед за [5] и [6] показаны основные типы деформаций для кинематических обстановок транспрессии и транстенсии.

Результаты физического моделирования, выполненного нами совместно с лабораторией тектонофизики и геотектоники геологического факультета МГУ [2], объясняют формирование сдвиговых деформаций, характерных для чехла Западной Сибири [1], сочетанием двух типов горизонтального сдвига — вдоль вертикальной и вдоль горизонтальной плоскостей без участия транспрессии или транстенсии.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ НЕСООТВЕТСТВИЯ  
“ЦВЕТКОВЫХ СТРУКТУР”

Изучение смещений поверхности, связанных с крупными землетрясениями в Новой Зеландии, Японии, Калифорнии, привело к созданию учения о разломах со смещением по простиранию (сдвигам) [6]. Эволюция вегенеровской концеп-



**Рис. 1.** Кинематическая модель “цветковых структур”: 1 – структура “тюльпан”, левосдвиговая транспрессия (A. Sylvester, 1988); 2 – структура “пальмовое дерево”, левосдвиговая транстенсия (A. Sylvester, 1988); 3 – структура “тюльпан”, правосдвиговая транспрессия (K. Kwolek, 2004); 4 – винтообразная форма отдельных сколов Риделя при простом правом сдвиге, реконструированная по горизонтальным разрезам при экспериментах на песчаных моделях (Naylor and others, 1986); 5 – винтообразная форма осевых поверхностей двух кулисообразных складок при простом левом сдвиге (Naylor and others, 1986).

ции дрейфа континентов в теорию мобилизма во многом обязана учению о трансформных разломах [7], обосновавшему возможность масштабных перемещений литосферных плит. Классификация сдвигов [8], их геометрические, кинематические и динамические характеристики были оформлены при изучении горизонтальных сдвигов в обнажениях складчатых поясов. Как отмечал A. Sylvester [6], многие концепции и вопросы, касающиеся сдвигов, выведены из результатов исследований разлома San Andreas.

Главное ограничение, накладываемое на результаты этих исследований, состоит в том, что изучались препарированные эрозией разрезы, демонстрирующие отдельные фрагменты двумерных структурных парагенезов зон сдвига. Эти ранние модели сдвигов не могли учесть все слож-

ные связи складчато-разрывных структур в их объемном взаимоотношении. В соответствии с этим A. Sylvester [6] формулирует несколько фундаментальных вопросов, которые остаются мало понятными, включая природу образования кулисообразных складок и их связи с процессом образования сдвигов.

При внимательном рассмотрении моделей “цветковых структур” [5, 6 и др.] обнаруживаются их явные несоответствия кинематическим условиям строения природных сдвиговых зон, равно как несоответствия между моделями разных авторов и моделями одного автора в разные годы. Ниже приводятся наиболее очевидные несоответствия (“кинематические ребусы”) из встреченных нами графических иллюстраций “цветковых структур” зон сдвига (рис. 1) по работам [5, 6]:

1) неверная кинематика сдвигов (на рис. 1, 1, 2, 5 правые сдвиги показаны как левые; на рис. 1, 4 кинематика уже правая);

2) плоскости кулис пересекают ось сдвига как сплошные тела, образуя винтообразные сместители разломов без осевого разрыва сплошности сдвига (в природе кулисы одного крыла структуры не пересекают осевую поверхность и не переходят в соседний блок);

3) при встречном смещении противоположных блоков кулисы скользят по плоскости разрыва как по рельсам и скручиваются, а не разрываются и не смещаются друг относительно друга;

4) для отдельной кулисы углы падения изменяются от нуля (относительно вертикали) в центре кулис (линия пересечения с осью сдвига) до максимальных величин на окончаниях кулис (в природе нулевому углу падения плоскости кулис отвечает линия выклинивания кулис над вертикальной проекцией плоскости сдвига);

5) в “цветковых моделях” отсутствуют признаки выклинивания кулис в шовной зоне сдвига;

6) несоответствие кинематики моделей А. Sylvestre (левый сдвиг) и К. Kwolek (правый сдвиг) при их морфологической идентичности;

7) наличие антиформ внутри “цветка” трансстессии и синформ внутри “цветка” транспрессии, в то время как для “цветковых структур” характерны обратные соотношения.

Обнаруженные нами несоответствия в модели Риделя распространяются на набор и соотношения структурных парагенезов природных зон сдвига. Это относится как к фактам невыраженности риделевских ( $R$  и  $R'$ ) сколов,  $P$ - и  $L$ -сколов, так и несоответствия ориентировки кулис складок  $F$  простиранию оси максимального сжатия. В отличие от модели Риделя в природе простирание приразломных пликативных складок поперечно вектору максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$ . Другие несоответствия приводятся ниже.

### НОВАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДВИГА

Как основной структурный объект, являющийся предметом изучения, структуры горизонтального сдвига (СГС) имеют черты морфологического подобия с “цветковыми структурами”, однако термин СГС много более емкий по форме и по содержанию [1]. Сопоставительный анализ показывает, что постановка вопроса о формировании структур в условиях транспрессии или трансстессии некорректна: “тюльпан” и “пальма” — кинематические парагенезы зон сдвига и раздельно не существуют. В условиях выраженных структурных форм, сформированных сдвигами фундамента, в различных сечениях чехла осадоч-

ного бассейна находят отражение структурные парагенезы и индикаторы условий сжатия, растяжения и сдвига одновременно. Выраженность или невыраженность признаков проявления этих кинематических условий нагружения определяется выбором сечения для наблюдения, относительной деформированностью структуры на фоне регионального деформационного поля, масштабом и мерностью наблюдений (двух- или трехмерных).

На фактическом материале выводы эти находят убедительную аргументацию. Рисунок 2 демонстрирует авторскую кинематическую модель СГС. Показаны реальные сейсмические профили 3D по Еты-Пуровскому валу (Западная Сибирь) в пяти критических сечениях, отражающих различный стиль деформаций и одновременное проявление на площади всех известных структурно-кинематических парагенезов СГС. Положение сечений на СГС показаны на карте углов наклона, характеризующей строение кулисной зоны оперяющих разломов чехла для горизонтального сдвига фундамента на уровне баженовской свиты верхней юры (размеры участка  $11 \times 17$  км). Сечение 1–1 отражает господствующее на своде структуры условия меридионального сжатия (ось  $\sigma_{\max}$ ), сечение 2–2 — широтного растяжения (ось  $\sigma_{\min}$ ), сечения 3–3 и 4–4 — горизонтального сдвига (ось  $\tau_{\max}$ ), встречного на разных крыльях складки. Сечение 5–5 — демонстрирует чередование условий сжатия (горсты) и растяжения (грабены) в шовной зоне сдвига. В сечениях 3–3 и 4–4 происходят одновременно внутрислойные сдвиги (горизонтальный сдвиг в горизонтальной плоскости), приводящие к пластическому нагнетанию пород и сдвиганию разреза [1].

Особенностью СГС является наличие сбросов на своде поднятия (2–2), в то время как положительные “цветковые структуры” (Positive Palm Tree — Transpression) формируются на взбросах. И наоборот, сечение 1–1 демонстрирует наличие взбросов на фоне локального прогиба, в то время как отрицательные “цветковые структуры” (Negative Tulip Structure-Transpression) формируются на сбросах. Для обоих типов “цветковых структур” (транспрессии и трансстессии) характерно схождение оперяющих разломов к фундаменту и раскрытие “цветков” вверх. Для СГС сечения сжатия (1–1) и растяжения (2–2) имеют противоположные направления схождения разломов: в первом случае раскрытие “цветков” происходит вниз (“клин” вверх), во втором — раскрытие “цветков” происходит вверх (“клин” вниз). Важной особенностью СГС является наличие на своде поднятия внутри грабен-прогиба (2–2) антиформ, а внутри горст-поднятия (1–1) синформ, в отличие от противоположных им по знаку форм в моделях “цветковых структур” (Pull Apart Basins и

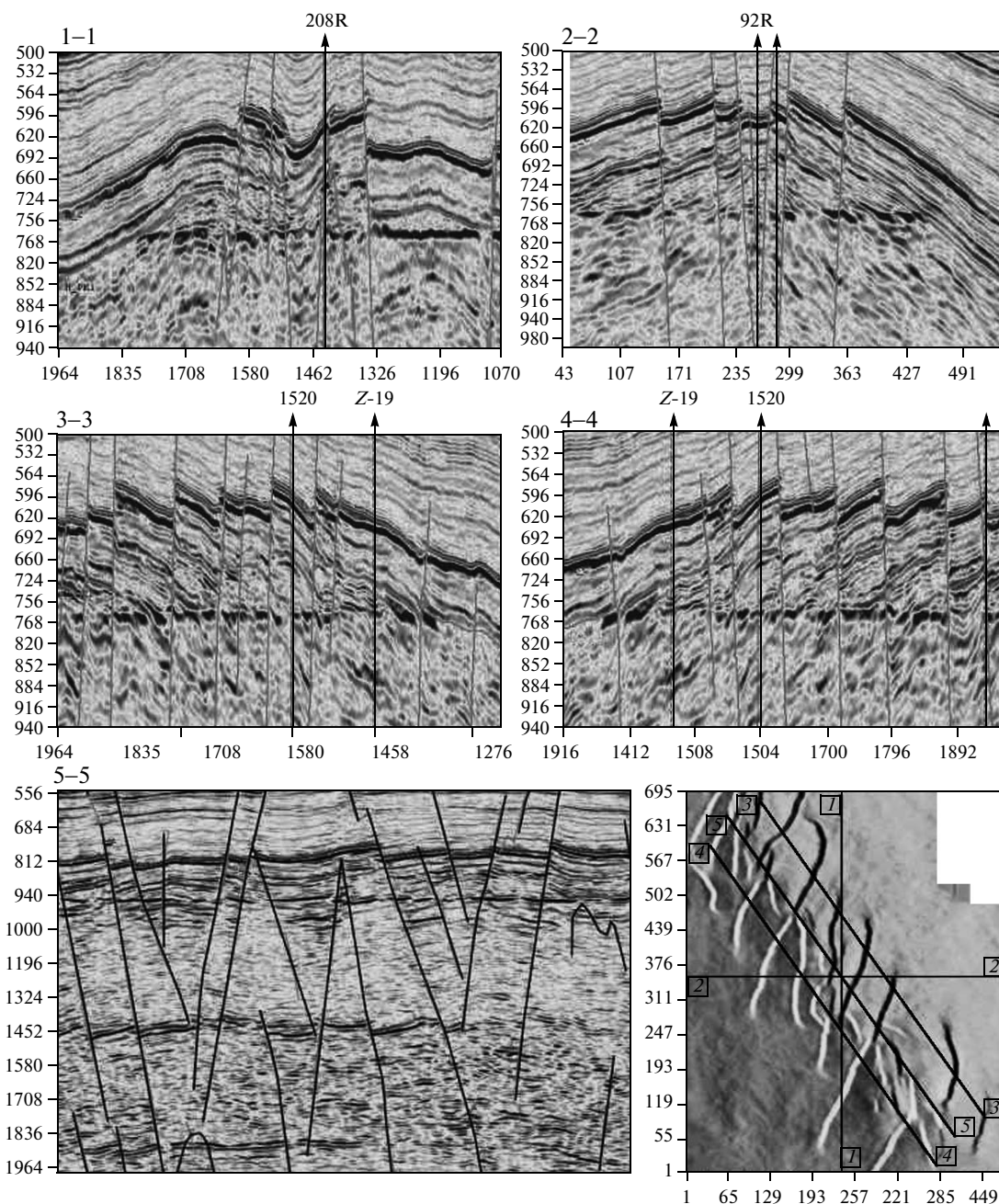


Рис. 2. Кинематическая модель структур горизонтального сдвига.

Push Up Ridges). Для СГС движение пород внутри “клина”, определяющее кинематику разломов, происходит в сторону сужения “клина”, в моделях “цветковых структур” такое строение характерно только для режима транстенсии.

Показанные несоответствия кинематики зон сдвигания позволяют утверждать, что “цветковые модели” нуждаются в пересмотре. Примеры изучения СГС по данным сейсморазведки 3D свидетельствуют о формировании их в условиях чистого сдвига при одновременной реализации обстано-

вок сжатия и растяжения во взаимно ортогональных сечениях. Модели транспрессии и транстенсии не адекватны трехмерным моделям строения природных геологических структур осадочных бассейнов. Важность этого вывода обусловлена тем, что безоговорочное принятие кинематических моделей транспрессии и транстенсии приняло “всемирный” масштаб и на их основе сегодня объясняются закономерности структурообразования складчатых поясов и кратонов, рифтовых и покровно-надвиговых структур земной коры [3–8]. Это учение широко используется

для объяснения строения и формирования осадочных бассейнов [4–6]. Налицо тенденция упрощения и сведения всего многообразия геотектонических обстановок структурообразования к геомеханическим моделям транспрессии и транстенсии как единственным и универсальным механизмам структурообразования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гогоненков Г.Н., Кашик А.С., Тимурзиев А.И. // Геология нефти и газа. 2007. № 3. С. 3–11.
2. Гогоненков Г.Н., Гончаров М.А., Короновский Н.В. и др. В сб.: Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы XLI Тектонического совещания. М.: Геос, 2008. Т. 1. С. 204–208.
3. Морозов Ю.А. // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–4.
4. Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / Под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.А. Воложа. М.: Науч. мир, 2004.
5. Naylor M. et al. J. Struct. Geol. 1986. V. 8. № 7. P. 737–752.
6. Sylvester A.G. // Geol. Soc. Amer. Bull. 1988. V. 100. P. 1666–1703.
7. Wilson J.T. In: The Sea. N.Y.: Wiley-Interscience, 1970. V. 4. Pt. 2. P. 623–644.
8. Woodcock N.H., Fisher M. // J. Struct. Geol. 1986. V. 8. № 7. P. 725–735.