

27. *Brun J.P.* Isotropic points and lines in strain fields // *J. Struct. Geol.* 1983. Vol. 5. P. 321–327.
28. *Casey M.* Mechanism of shear zones in isotropic dilatant materials // *Ibid.* 1980. Vol. 2, N 1/2. P. 143–147.
29. *Cloos H.* Einführung in die Geologie. B., 1936. 503 S.
30. *Cloos E.* Experimental analysis of fracture patterns // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1955. Vol. 66, N 3. P. 241–256.
31. *Means W.D.* The concept of steady-state foliation // *Tectonophysics.* 1981. Vol. 78. P. 179–199.
32. *Moody J.D., Hill M.J.* Wrench fault tectonics // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1956. Vol. 67. P. 1207–1246.
33. *Passchier C.W.* The generation of ductile and brittle shear bands in a low-angle mylonite zone // *J. Struct. Geol.* 1984. Vol. 6, N 3. P. 273–281.
34. *Platt J.P.* Secondary cleavages in ductile shear zones // *Ibid.* N 4. P. 439–442.
35. *Ramsay J.G.* Shear zone geometry: A review // *Ibid.* 1980. Vol. 2. P. 251–279.
36. *Riedel W.* Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen // *Zentr.-bi. Mineral. Abt. Geol. und Paläont. B.*, 1929. S. 354–368.
37. *Sibson R.H.* Transient discontinuities in ductile shear zones // *J. Struct. Geol.* 1980. Vol. 2. P. 165–174.
38. *Simpson C.* Strain and shape fabric variations associated with ductile shear zones // *Ibid.* 1983. Vol. 5. P. 61–72.
39. *Wilson C.J.* Foliation and strain development in ice-mica models // *Tectonophysics.* 1983. Vol. 92. P. 93–122.

УДК 551.24.035

*С. И. Шерман*

## ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗЛОМОВ ЗЕМЛИ, СДВИГИ ЛИТОСФЕРЫ И ИХ РАНГОВАЯ ПОЗИЦИЯ

Исторически сложилось, что в основу геологических классификаций разломов закладывалось до десятка признаков. Сегодня, когда все большее значение придается численным способам выражения геологических объектов и процессов, особая роль принадлежит тектонофизическим критериям классификации разломов. Признаки, по которым в настоящее время классифицируются разломы, можно объединить в несколько групп. Ниже они перечисляются по степени уменьшения "количественной" выраженности и однозначности интерпретации.

1. Геометрические, которые включают сведения о длине, ширине зоны разрыва, ориентировке в пространстве сместителя, направлении смещения и амплитуде, параметрах сетки разрывов, их форме и некоторые другие. Эти признаки выражаются числом, за исключением формы, которая тоже может быть выражена численной характеристикой, хотя это и не принято.

2. Структурные, позволяющие выделить границы разлома как геологического тела и его инфраструктуру. Признаки включают характеристику зоны динамического влияния, форму и тип деструктивного поля, характер трещиноватости и ее плотность, складчатые и будинажные структуры, жильные и прожилковые образования и их геометрический рисунок и другие, объединяемые вместе термином линейно-ориентированные элементы. Если признаки первой группы дают характеристику разломов как линий на мест-

ности, то вторая группа превращает разрывы в геологические тела, оконтуриваемые по структурным критериям.

3. Вещественные, показывающие, что разломы-тела в ряде случаев вычлениются от окружающего пространства и по вещественному составу. Признаки включают тип и состав тектонитов, состав приразломных формаций или интрузивных пород, если они не входят в формацию. Количественный способ выражения вещественного состава тектонитов затруднен, хотя флюидный режим зон тектонитов и детали изменения химизма флюидов при эволюции разломов могут быть использованы в качестве тектонофизических характеристик.

4. Общие геолого-геоморфологические и тектонические: расположение и приуроченность к определенным формациям, региональным структурам или локальным участкам интенсивных современных гидротермальных, вулканических или сейсмических проявлений и другие признаки аналогичного геолого-тектонического содержания. Группа включает и собственно геоморфологические признаки: уступы в рельефе, тектонический тип речных долин и пр. Как правило, подобные признаки не могут быть переведены в количественные характеристики. Их прямой тектонофизический анализ затруднен, их нельзя использовать в качестве основы тектонофизической классификации разрывов.

5. Особо следует выделить группу косвенных признаков, происхождение которых может быть либо связано, либо не связано с разломной тектоникой. Сюда относятся геофизические признаки (линейные аномалии магнитного и гравитационного полей), геоморфологические (линейная вытянутость отрицательных форм рельефа) и др. Многие из них, особенно геофизические, могут быть выражены или выражаются непосредственно в численной форме. В этом их огромная тектонофизическая значимость. Мы их относим к косвенным лишь по причине неоднозначности интерпретации. Иными словами, в случаях, когда разлом не подтвержден геолого-структурными наблюдениями, геофизические характеристики не с чем прямо коррелировать.

Современные принципы тектонофизической классификации разломов опираются на комплексное сочетание количественных и качественных признаков. Разломы как развивающиеся в координатах пространства и времени геологические тела совершенствуют свою структуру и вещественный состав. При этом развитие структуры должно рассматриваться под углом зрения механики деформирования и разрушения тел с разными реологическими свойствами. Преобразование вещественного состава лучше оценивать через степень выраженности тектонитов и других структурно-вещественных метаморфических изменений.

При таком построении классификация не только служит для систематизации определенного объема данных по целенаправленно заданным признакам, но и выявляет новые свойства объектов.

Для разломов важным структурным параметром является длина. Классификации по этому параметру ограничиваются членением разломов на локальные, региональные и глубинные. Конкретные цифры и признаки в эту классификацию ранее не закладывались. Автор [6], опираясь на связь длин разломов с осевыми силами, определяет длину разлома как расстояние между точками, где происходит разрыв связей — нарушения прочности у слоев определенной мощ-

Ранговая шкала и номенклатура разломов Земли

Т а б л и ц а 1

Ранг	Вид элементов (вещественное содержание)	Группа	Номенклатура разломов	Длина	Слои, участвующие в деформации
1	Молекулы	Минеральная	Дислокация на уровне кристаллической решетки	Миллиметры	
2	Минералы		Трещины	Сантиметры, метры	Пласты
3	Породы				
4	Наборы пород		Группа разнородных и разноориентированных трещин	Метры и сотни метров	
5	Геоформации	Формационная	Системы ориентированных трещин	Километры	
6	Формационные комплексы		Локальные или региональные разломы	Десятки километров	Слой коры
7	Тектонические комплексы	Геоструктурная	Группа разноориентированных региональных разломов	То же	
8	Слой земной коры		Системы региональных разломов	До сотен километров	
9	Геоструктуры		Генеральный разлом	Первые сотни километров	Кора
10	Геосферы		Группы генеральных разломов	Сотни километров	
11	Глобальные	Глобальная	Системы генеральных разломов	Сотни и тысячи километров	Литосфера
12	Сегменты планеты		Разломы литосферы (глобальные разломы)	Тысячи и более километров	Литосфера с частью астеносферы

Примечание. Ранги 1, 2, 3 — по [2].

## Схема тектонофизической классификации разломов Земли



ности), предложил оценивать принадлежность разломов к рангу локальных, региональных или генеральных по отношению длины дислокаций к мощности деформируемого слоя. Таким слоем может быть пласт, кора или литосфера в целом. Разломы, соизмеримые по длине с мощностью коры, предлагается именовать региональными, соответственно меньшие — локальными и, наоборот, дизъюнктивы, длина которых в 2 раза превышает мощность коры, предлагается относить к генеральным. Недостатком классификации является ее оторванность от вещественного наполнения и других структурно-тектонических элементов Земли.

О.А. Вотях [2,3] предложил систему классификации разноранговых структурных элементов Земли, в основе которой лежало понятие "структура", содержащее в себе три аспекта: конструкция элементов определенного состава, тип связи между элементами определенного состава и целостная единица, которая образуется за счет определенного типа связи между элементами единого состава.

Успешно использовать эти представления можно лишь, точно определив понятие "единица конструкции определенного состава". В табл. 1 для структурных элементов Земли такой исходной единицей нулевого ранга является атом. Сочетания атомов, молекул и т. д. дают 12 ранговых структурных элементов всей Земли. Разломы развиваются в веществе. По аналогии с главным принципом построения систематики структур Земли в разломной зоне структура элемента относится к типу конструкции. Можно принять, что дислокацию в кристалле, т. е. смещение в кристаллической решетке. Элементарная кон-

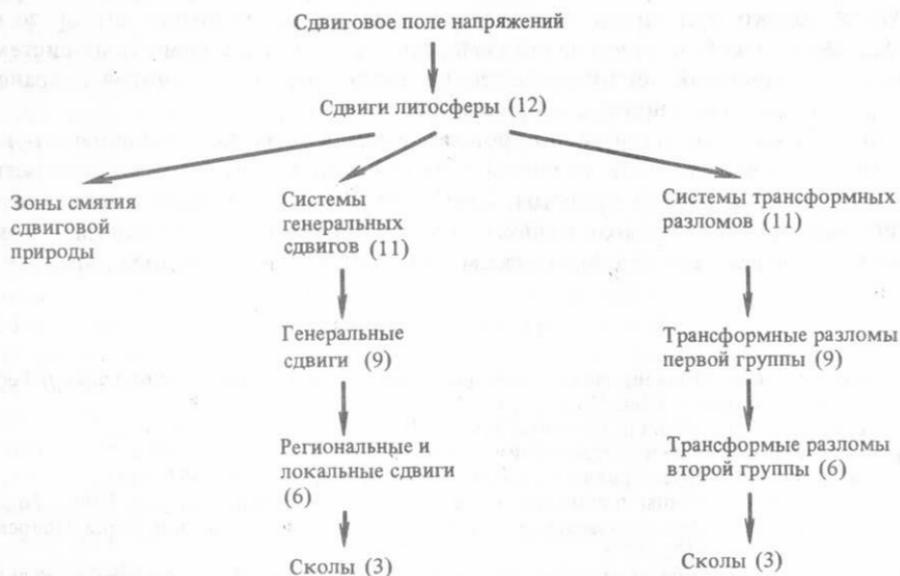
Образование сдвигов при различных видах нагружения земной коры или литосферы

Вид нагружения	Механизм разрушения	Разновидность разломов	Ориентировка разломов к вектору нагружения
Сжатие	Скол и пластическое течение	Надвиги и взбросы Сдвиги Взбросо-сдвиги	Поперечная Диагональная и параллельная
	Отрыв	Раздвиги	Параллельная
Растяжение	”	”	Поперечная
	Скол и пластическое течение	Сдвиго-раздвиги Сбросы Сдвиги Сбросо-сдвиги	Диагональная Поперечная Диагональная
Перерезывание или срез	То же	Трансформные разломы Сдвиги	Параллельная
Кручение	”	Сдвиги концентрические	По касательной или более сложная
Изгиб	Отрыв	Раздвиги	Параллельная или перпендикулярная
	Скол	Сдвиги	Параллельная или диагональная

структура как целостная структура зависит от объема и структуры тела, которое мы изучаем. Элементарная целостная единица может быть и очень простой, и достаточно сложной. Все зависит от иерархического уровня начала отсчета. При соблюдении всех условий подобия ранговая шкала структурных элементов Земли и ранговая шкала разломов приводятся в относительное соответствие (см. табл. 1). Здесь элементарная целостная единица предыдущего ранга становится базовым элементом последующего, с тем чтобы после закономерного объединения в систему превратиться в целостную единицу более высокого ранга организации. Для каждой группы выделяется своя элементарная дизъюнктивная единица: для минеральной – трещина, формационной – локальный или региональный разлом (различие только в длине), геоструктурной – генеральный разлом и глобальной – разломы литосферы. С увеличением рангов растут и длины разломов, и они приобретают численный критерий классификации. Наиболее близко к подобной классификации подошли Р.М. Лобацкая [4] и В.А. Саньков [5].

Уже упоминалось о том, что важна не только длина разрыва, но и мощность деформируемого пласта. Оба названных количественных параметра необходимо рассматривать вместе. В табл. 1 предложена системная модель

## Классификация сдвигов литосферы и их ранговая позиция



Примечание. В скобках указан номер ранга (см. табл. 1).

соотношения глубинных слоев Земли, участвующих в деформационном процессе, с дизъюнктивными зонами.

Деформационный процесс тесно связан с напряженным состоянием литосферы. В идеале оно порождает деформации сжатия, изгиба, растяжения или среза, в результате которых и формируются разломы. Общая схема тектонофизической классификации разломов показана в табл. 2.

Под этим углом зрения рассмотрим классификацию сдвигов. Как известно, сдвиги являются наиболее распространенным морфолого-генетическим типом разломов литосферы. Это объясняется чрезвычайно широкими возможностями образования сдвигов при различных видах нагружения (табл. 3). Разные по механизму образования сдвиговые дизъюнктивы будут представлять на поверхности Земли и в литосфере различные по одним критериям и одинаковые по другим разломы, пока, к сожалению, объединяемые в геологии общим термином "сдвиги". Экспериментально уже решен вопрос о специфике проявления собственно геологических свойств у сдвигов разной генетической природы [1,8]. Необходимо найти тонкие геолого-структурные, в том числе и классификационные, критерии отличий между близкими по морфолого-генетической классификации, но разными по механизму образования сдвигами. На этом акцентировал внимание и Дж. Рэмзи [10], опубликовавший обзор по геометрии сдвиговых зон. Тем не менее в тектонике даже сейчас не всегда точно дифференцируются сдвиги, трансформные и поперечные разломы, и поэтому наглядно в литературе обращается внимание в литературе [7, 9, 11].

В табл. 4 дана классификация сдвигов литосферы и их ранг, соответствующий ранговой классификации разломов Земли. Необходимо лишь заметить, что особая разновидность сдвигов — трансформные разломы — образуется только при одном виде нагружения — перерезывании или срезе и представляет собой совершенно самостоятельную ветвь сдвиговых систем Земли. Подробный тектонофизический анализ различий сдвигов и трансформных разломов приведен в ранней работе автора [7].

В настоящее время активно продолжают работы по выявлению структурных и вещественных различий в выражении в структуре поверхности Земли сдвигов разной природы. Предлагаемые в этом плане классификационные критерии сдвигов разной природы придадут исследованиям, в том числе и полевым тектонофизическим работам, целенаправленный характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борняков С.А. Моделирование сдвиговых зон на упруго-вязких материалах // Геология и геофизика. 1980. №11. С. 75–84.
2. Вотах О.А. Структурные элементы Земли. Новосибирск: Наука, 1979. 217 с.
3. Вотах О.А. Введение в геотектонику. Новосибирск: Наука, 1985. 181 с.
4. Лобацкая Р.М. Структурная зональность разломов. М.: Недра, 1987. 129 с.
5. Саньков В.А. Глубины проникновения разломов. Новосибирск: Наука, 1989. 136 с.
6. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.
7. Шерман С.И. Сдвиги и трансформные разломы литосферы: Тектонофизический анализ проблемы // Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, 1981. С. 5–26.
8. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов: Результаты моделирования. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
9. Freund R. Kinematics of transform and transcurent fault // Tectonophysics. 1974. Vol. 21, N 1/2. P. 93–134.
10. Ramsay J.G. Shear zone geometry: a review // J. Struct. Geol. 1980. Vol. 2, N 1/2. P. 83–100.
11. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Geol. Soc. Amer. Bull. 1988. Vol. 100. P. 1666–1703.

УДК 551.24.035

А.В. Тевелев

#### СДВИГИ ТРАНСФОРМНОГО ТИПА В СТРУКТУРЕ ОБЛАСТЕЙ СЖАТИЯ

Важной особенностью тектонических деформаций является их пространственная неоднородность. Полосчатое, мозаичное, а в некоторых случаях хаотическое пространственное распределение в разной степени деформированных блоков и зон отмечается во всех складчатых поясах и давно уже привлекает внимание исследователей. Так, В.Е. Хаин, характеризуя структуру альпийского пояса Ближнего и Среднего Востока, отмечал, что ее сложность выражается не столько интенсивностью деформаций, так как действительно интенсивные деформации наблюдаются лишь в сравнительно узких и обычно прерывистых зонах, сколько местным расположением отдельных структурных элементов [8]. Пространственная неоднородность