

Д 39

Т 30

102876

# ТЕКТОНИКА СИБИРИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

- Мокшанцев К. Б. Тектоника восточной части Сибирской платформы и обрамляющих складчатых сооружений. Автореф. докт. дисс. Новосибирск, 1971.
- Мокшанцев К. Б., Горништейн Д. К., Гусев Г. С., Деньгин Э. В., Штех Г. И. Тектоническое строение Якутской АССР. М., "Наука", 1964.
- Мокшанцев К. Б., Горништейн Д. К., Гусев Г. С., Гудков А. А., Деньгин Э. В., Штех Г. И. Глубинное строение восточной части Сибирской платформы и прилегающих складчатых сооружений Верхояно-Чукотской области. М., "Наука", 1968.
- Мокшанцев К. Б., Горништейн Д. К., Гусев Г. С., Лутц Б. Г., Сластенов Ю. Л., Фрумкин И. М., Штех Г. И. Тектоническая карта Якутской АССР в масштабе 1:2 500 000. Объяснительная записка. Якутск, 1971.
- Моссаковский А. А. Сравнительная тектоника, формационные ряды и магматизм структур орогенного этапа развития палеозойских складчатых зон Южной Сибири и Северной Европы. — В кн. "Тектоника, магматизм и закономерности размещения рудных месторождений". М., "Наука", 1964.
- Моссаковский А. А. Орогенный этап развития геосинклинальных областей и некоторые проблемы субсептентного магматизма. — В сб. "Проблемы связи тектоники и магматизма". М., "Наука", 1969.
- Муратов М. В. Тектоническое расчленение территории Советского Союза и основные черты строения складчатых поясов в его пределах. — Изв. вузов, Геология и разведка, 1967, № 10.
- Нагибина М. С. Стратиграфия и формации Монголо-Охотского пояса. М., ВИНТИ, 1969.
- Окиров Ц. О. Тектоника Бурятии. — Геотектоника, 1966, № 1.
- Пейве А. В., Штрейс И. А., Книппер А. А. и др. Океаны и геосинклинальный процесс. — Докл. АН СССР, 1971, т. 196, № 3.
- Пушаровский Ю. М. Приверхоянский краевой прогиб и мезозойды Северо-Восточной Азии. — В кн. "Тектоника СССР", т. V. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Пушаровский Ю. М. Тихоокеанский тектонический пояс земной коры. — В кн. "Тектоника советского Дальнего Востока и прилегающих акваторий". М., "Наука", 1968.
- Салоп Л. И. Геология Байкальской горной области, т. II. Магматизм, тектоника, история геологического развития. М., "Недра", 1967.
- Соловьев В. А. Основные черты мезозойской тектоники Прибайкалья и Забайкалья. М., "Наука", 1968.
- Сурков В. С., Жеро О. Г., Уманцев Л. Ф. Строение промежуточного структурного яруса Западно-Сибирской плиты. — Сов. геология, 1969, № 5.
- Тихомиров Н. И. Интрузивные комплексы Забайкалья и тектонические условия их образования. — Труды ВСЕГЕИ, новая серия, 1963, т. 85.
- Флоренсов Н. А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. Л., Изд-во АН СССР, 1960.
- Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., "Недра", 1964.
- Хаин В. Е., Волобуев М. И., Воробьев И. В., Ицков А. И., Синельников Д. В. Основные этапы тектонического развития Енисейского кряжа в докембрии и раннем палеозое. — Вестн. МГУ, геология, 1967, № 5.
- Хренов П. М., Комаров Ю. В. и др. О вулканоплутонических поясах юга Восточной Сибири. — Докл. АН СССР, 1965, т. 160, № 6.
- Шатский Н. С., Богданов А. А. Тектоническая карта СССР и сопредельных стран в масштабе 1:5 000 000. Объяснительная записка. М., Гостеолтехиздат, 1957.
- Щеголов А. Л. Металлогения областей автономной активизации. Л., "Недра", 1968.
- Яншин А. Л. Тектоническое строение Евразии. — Геотектоника, 1965, № 5.

С. И. ШЕРМАН

### НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Разломы, в какой бы тектонической структуре они ни располагались, чаще всего образуют сетку, состоящую преимущественно из продольных, поперечных и диагональных линий по отношению к простиранию рассекаемой ими таксономической единицы. В большинстве случаев устанавливается, что направление разрывов предопределяется сочетанием планетарного и регионального полей напряжений с локальным, связанным с процессами в коре и верхней мантии.

Параметры (длина разломов определенной системы, их густота, глубина проникновения и некоторые другие) формирующейся сетки разломов тесно связаны, в свою очередь, с физическими законами разрушения земной коры. Поэтому пара-

метры разломов не всегда прямо подчинены степени тектонической активизации, а являются функцией ряда тектонофизических процессов (Шерман, 1973). Доказательства последнего можно получить при математической обработке серии усредненных параметров разломов.

**Длина разломов и их количество.** Хорошо известно, что более крупные разломы встречаются реже мелких. Исследования показывают, что эту зависимость можно выразить численно, и именно она отражает одно из свойств разрушения земной коры.

Для определения численных соотношений между длиной разломов и их количеством нами были использованы полевые наблюдения на территории Байкальской рифтовой зоны и государственные геологические карты среднего масштаба. Было зафиксировано более 3000 разломов, распределяющихся согласно своим длинам следующим образом (табл. 1).

Статистическая обработка материалов показала наличие тесной корреляционной связи между названными параметрами. Коэффициенты корреляции для Байкальской рифтовой зоны и Западно-Сибирской плиты соответственно равны  $r_1 = -0,95 \pm 0,17$  и  $r_2 = -0,87 \pm 0,21$ . Обе связи значимы при вероятности безошибочных прогнозов 0,95. Они описываются уравнениями

$$l_1 = \frac{0,78}{n^{0,42}} \quad [1]$$

и

$$l_2 = \frac{1,07}{n^{0,43}}, \quad [2]$$

где  $l$  — длина разломов, км;  $n$  — количество разломов на  $1 \text{ км}^2$ .

Таблица 1

Количественное распределение разломов по классам длин  
Байкальская рифтовая зона

Класс длин, км	Количество	Класс длин, км	Количество
1-5	918	45-50	14
5-10	1028	50-55	16
10-15	487	55-60	18
15-20	262	60-65	4
20-25	135	65-70	4
25-30	91	70-75	5
30-35	61	75-80	4
35-40	29	80-85	2
40-45	23	Всего	3101

Западно-Сибирская плита (Гурари и др., 1970)

Класс длин, км	Количество	Класс длин, км	Количество
0-10	104	141-150	14
11-20	431	151-160	15
21-30	293	161-170	16
31-40	266	171-180	10
41-50	238	181-190	10
51-60	185	191-200	4
61-70	142	201-210	3
71-80	118	211-220	2
81-90	65	221-230	2
91-100	53	231-240	3
101-110	52	241-250	1
111-120	37	>250	3
121-130	22	Всего	2114

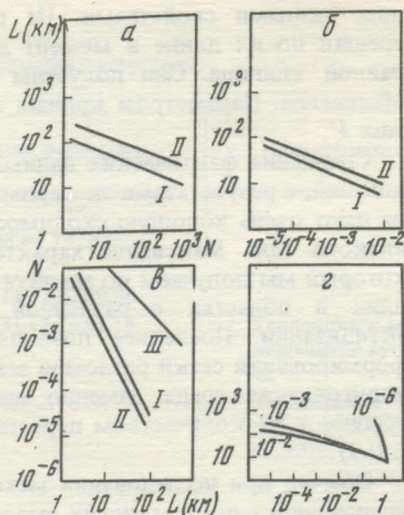
Рис. 1. Графики зависимости между длиной разломов  $L$  и их количеством  $N$

$a$  – по объему полной выборки (табл. 1);  $b$  – на  $1 \text{ км}^2$  по уравнениям [1, 2];  $c$  – на  $1 \text{ км}^2$  при  $N=f(L)$

$I$  – для Байкальской рифтовой зоны;  $II$  – для Западно-Сибирской плиты;  $III$  – для Байджансайского антиклинория

$e$  – зависимость между числом  $N$  и длиной  $l$  трещин при разрушении тела Максвелла (Кузнецов, 1969).

Цифры у кривых – скорость деформирования



Вычисление корреляционных отношений ( $\eta_{l|N} = 0,88$ ;  $\eta_{N|l} = 0,85$ ) дает основание при расчетах принимать за независимую переменную величину  $n$ .

Связь между длиной разломов и частотой их распространения рассматривалась М. В. Гзовским (1963) на примере детально изученного Байджансайского антиклинория. Она описывается уравнением

$$\Delta \lg n = -\gamma \Delta \lg l, \quad [3]$$

где  $\Delta \lg n$  – изменение логарифма числа разрывов;  $\Delta \lg l$  – изменение логарифма длины разрывов;  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности, близкий к 1,3.

Характер функциональной связи, описываемый уравнениями [1] – [3], идентичен (рис. 1). Заметим, что наклон линий регрессий во всех приведенных на рис. 1 зависимостях мало отличается один от другого.

Таким образом, несмотря на несопоставимость тектонической обстановки Западно-Сибирской плиты, Байджансайского антиклинория и Байкальской рифтовой зоны, тенденция в соотношениях между длиной разломов и их количеством подчиняется более общей закономерности, которая выражается гиперболической зависимостью (логнормальный закон распределения):

$$L = \frac{a}{N^b}, \quad [4]$$

где  $L$  – длина разломов;  $N$  – их количество;  $a$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от максимальных длин разломов, участвующих в выборке;  $b$  – коэффициент пропорциональности, определяемый физическими свойствами горных пород. Иными словами, на обсуждаемых графиках отражаются главным образом свойства разрушаемого тела, т.е. земной коры.

Полученное соотношение [4] позволяет сделать вывод, что при формировании сетки разломов, т.е. при мега- и макроразрушении горных пород, в естественных условиях независимо от степени тектонической активизации проявляются некоторые общие закономерности дробления твердых тел. Подобную задачу математически рассмотрели А. Н. Колмогоров (1941) и А. Ф. Филиппов (1961) и показали, что при дроблении твердых частиц распределение  $N=f(L)$ , где  $L$  – произвольная характеристика размера образца, прямолинейно в координатах  $\lg L$  и  $\lg N$ . Последнее означает подобие явления разрушения в широком диапазоне изменения величин, т.е. свойство автомодельности процесса разрушения. В это свойство вписываются установленные нами эмпирические зависимости, охватывающие более крупные по масштабу объекты.

Физический смысл установленной связи [4] становится ясным при сопоставлении полученных данных с результатами экспериментального разрушения тел, обладаю-

щих разными свойствами. На рис. 1,г приведены кривые распределения числа трещин по их длине в момент достижения первой из них относительной длины, равной единице. Они получены К. И. Кузнецовой (1969) при разрушении тела Максвелла. Параметром кривых внутри семейства является скорость разрушения  $V$ .

Сравнение фактических данных, полученных в результате геологических исследований, с результатами экспериментов К. И. Кузнецовой (1969) для тела Максвелла дают очень хорошую сходимость результатов. Именно при разрушении упруговязкого тела Максвелла характер поведения кривой  $L = f(N)$  идентичен тому, который мы получаем по анализу количественного распределения разломов разных длин в областях с различной тектонической историей развития и степенью активизации. Последнее позволяет сделать второй, более общий вывод: при формировании сетки разломов земная кора ведет себя как тело Максвелла, т.е. как упруговязкая среда. Именно при ее разрушении соотношение между длинами трещин и их количеством перестает зависеть от скорости разрушения (Кузнецова, 1969).

Обычно при исследовании механизма образования разломов, особенно мелких, используются представления, развиваемые в механике простейшей сплошной среды, каковой является идеально упругое тело Гука. Возможно, такой подход справедлив при анализе отдельных дислокаций. В региональном же и более крупных масштабах динамику развития сетки разломов в отличие от одиночной дислокации необходимо рассматривать, опираясь на поведение материала земной коры как упруговязкого тела.

**Оптимальное расстояние между параллельными и субпараллельными разломами.** В геологии принято определять густоту трещин, или среднее количество трещин данной системы, приходящееся на 1 м (Белоусов, 1952). Когда речь идет о трещинах, которые повсеместно встречаются в обнажениях, термин "густота" не требует никаких пояснений. Определение же густоты разломов наталкивается на некоторые методические трудности из-за сложного внутреннего строения зон крупных разломов. Единая в мелком масштабе зона разлома состоит, как правило, из отдельных, разных по длине и значимости дислокаций. Принимая во внимание это обстоятельство, при определении исходных параметров для расчетов были использованы только соизмеримые по длине дислокации, одинаково выраженные в соответствующем масштабе.

Повседневный опыт показывает, что чем короче по длине разломы, тем с большей вероятностью следует ожидать высокое абсолютное значение их густоты. Из этих

Таблица 2

Количественные параметры для расчета зависимости между длиной разломов и минимальным расстоянием между ними

Классы длин	Интервалы длин разломов, км	Направления систем разломов								В целом по зоне	
		северо-восточное		северо-западное		меридиональное		широтное		N	M
		N	M	N	M	N	M	N	M		
1	1-5	48	1,94	35	2,81	10	3,0	10	2,3	103	2,37
2	5-10	64	3,52	46	5,03	16	3,52	24	4,0	150	4,05
3	10-15	52	4,60	21	6,25	14	7,32	20	5,3	107	5,41
4	15-20	23	5,80	13	7,07	9	12,0	6	4,7	51	7,08
5	20-25	19	7,40	4	9,62	4	9,87	4	4,75	31	7,66
6	25-30	17	8,97	6	11,78	6	14,73	6	8,46	35	10,38
7	30-35	40	10,36	5	10,34	6	12,20	13	12,5	64	10,96
	Всего	263		130		65		83		541	

\* Определено взвешиванием на число наблюдений.

Таблица 3

## Коэффициент корреляции и уравнения регрессии

Направление систем разломов	Коэффициент корреляции	Уравнения регрессии	Примечание
Северо-восточное	0,99±0,05	$M^I=0,28L+1,15±0,06$	—
Северо-западное	0,95±0,05	$M^{II}=0,28L+2,63±0,06$	—
Меридиональное	0,90±0,10	$M^{III}=0,38L+2,26±0,18$	Тенденция к минимальной густоте
Широтное	0,66±0,30	$M^{IV}=0,20L+2,48±0,34$	Тенденция к максимальной густоте
Вне зависимости от направления систем	0,99±0,05	$M=0,29L+1,74±0,06$	—

предположений вытекает логический вывод, что между длиной разломов и их оптимальной густотой, т.е. расстоянием, ближе которого, как правило, не могут располагаться параллельно друг другу разнозначные дислокации, должна существовать определенная связь.

Для практической проверки высказанного предположения на основании составленных автором тектонических карт по юго-западной части Байкальской рифтовой зоны (Шерман и др., 1973) и геологических карт среднего масштаба для большей части территории рифтовой зоны были выделены независимо от генетического типа разломы четырех направлений (табл. 2). Внутри направлений разломы были дифференцированы по классам длин. Всего было выделено семь классов, охватывающих разломы длиной до 35 км. Более длинные по простиранию разломы состоят именно из отрезков в 25–40 км. Во внимание не принимались параллельные и равные по длине разломы, если расстояние между ними по перпендикуляру превышало в 3–4 раза их длину. Исключение таких случаев гарантировало нас от влияния фактора ослабления тектонической деятельности, а также других сугубо тектонических причин. Всего удалось получить 541 пару наблюдений (см. табл. 2), удовлетворяющих поставленным условиям.

Дифференцированная по направлениям статистическая обработка материала позволила установить наличие тесной корреляционной связи между длиной разломов и расстоянием между ними (табл. 3). Уравнения регрессии, вычисленные для каждого направления, отражают идентичную закономерность, а своими коэффициентами и свободным членом практически не отличаются друг от друга. Намечавшаяся связь одинакова и общая для разломов любых направлений в Байкальской рифтовой зоне. На этом основании были обработаны все данные, собранные по Байкальской рифтовой зоне, вне зависимости от направления разломов. Статистический анализ показал наличие тесной корреляционной связи ( $r = 0,99±0,05$ ) между длиной разломов и расстоянием между ними  $M$  при пороге вероятности безошибочных прогнозов 95%. Уравнение регрессии имеет вид:

$$M = 0,29L + 1,74 \text{ (км)} \quad [5]$$

с доверительным интервалом  $±0,06$ .

Внимательное изучение изменения характера связи при росте длин разломов показывает отклонение (уменьшение) величины  $M$  от теоретически рассчитанной по уравнению [5].

Для вывода общей зависимости между длиной разломов и расстоянием между ними были использованы данные Юэри и Мицутани (Jairi, Mizutani, 1969) по

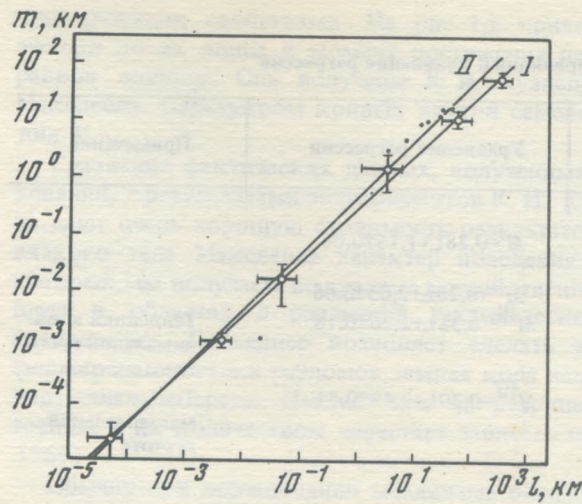


Рис. 2. Длина разрывов и оптимальное расстояние между ними  
 I — для Восточно-Африканской рифтовой зоны; II — общий вид связи по уравнению [6]

нам по Байкальской рифтовой зоне. Принимая во внимание это важное обстоятельство, был проведен статистический анализ всего имеющегося в нашем распоряжении цифрового материала. Коэффициент корреляции оказался равным  $r = 0,98 \pm 0,13$  для логарифмов коррелируемых пар. Расчет уравнения регрессии позволил получить общую формулу, описывающую связь длины разломов  $L$  и интервалов между ними  $M$  и подтверждающую параболический характер зависимости при широком диапазоне колебаний длин:

$$M = 0,44L^{0,95} \pm 1,25 \text{ (км)}. \quad [6]$$

Высокий коэффициент корреляции свидетельствует о надежности установленных связей (рис. 2).

Таким образом, разломы заданной длины могут сгущаться только до определенных пределов, который можно считать критической плотностью разломов. Превышение его ведет к нарушению единства связи, описываемой уравнением [4].

Физическое объяснение выявленной эмпирической связи расстояний между разломами и их длин лежит в рамках тех же законов. Интервал между разломами, относящимися к одному классу длин, определяется распределением полей напряжений. Дислокация создает в окружающих ее областях самоуравновешивающееся поле напряжений (Макклиток, Аргон, 1970). В реальных кристаллических средах, содержащих оптимально густую серию дислокаций, поле напряжений каждой дислокации будет захватывать область размером, равным половине расстояния до дислокации такого же класса длины и направления.

Распределением полей напряжений, которые не могут перекрывать друг друга, и контролируется оптимальное расстояние между разломами соизмеримой длины и общего направления.

**Общие выводы.** Геометрически правильный рисунок сетки разломов определяется не только выдержанностью направлений систем, но и незначительными колебаниями расстояний между разломами, образующими систему. Воспользовавшись установленным соотношением [6], в которое не входит параметр, каким-либо образом отражающий тектоническую активность, можно предопределить примерный план разломной тектоники и использовать его при научном прогнозе.

Формирование сетки разломов в отличие от отдельной дислокации необходимо рассматривать, опираясь на законы поведения земной коры как упруговязкого тела. Они дают физическое обоснование установленной гиперболической взаимосвязи между длиной разломов и их количеством, которая не зависит от истории тектонического развития региона. Они объясняют известную последовательность разломообразования от мелких дизъюнктивов к крупным, от крупных к зонам разломов, в том числе удлинение крупных на фоне общего увеличения мелких, что необходимо для сохранения неизменной общей для земной коры функциональной зависимости [4].

Таким образом, в настоящее время было бы недостаточно убедительно объяснять всю сложную дизъюнктивную тектонику отдельных регионов земной коры только за счет многократного действия тектонических сил. Знание физических законов, лежащих в основе дробления земной коры, может быть гарантией глубокого понимания и серьезного научного толкования фиксируемой природной картины сетки разломов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Белоусов В. В. Тектонические разрывы, их типы и механизм образования. — Труды Геофиз. ин-та АН СССР, 1952, вып. 17 (34).
- Гзовский М. В. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория, ч. 3 и 4. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Гурари Ф. Г., Микуленко К. И., Старосельцев В. С., Андреев В. А., Зимин Ю. Г. и др. Дизъюнктивная тектоника Западно-Сибирской плиты. — Труды СНИИГИМС, 1970, вып. 97, серия региональная геология.
- Колмогоров А. Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. — Докл. АН СССР, 1941, т. 31, № 2.
- Кузнецова К. И. Закономерности разрушения упруго-вязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. М., "Наука", 1969.
- Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов. М., "Мир", 1970.
- Филиппов А. Ф. О распределении размеров частиц при дроблении. — Теория вероятностей и ее применения, 1961, т. VI, вып. 3.
- Шерман С. И. Некоторые физические закономерности формирования глубинных и региональных разломов (на примере Байкальской рифтовой зоны). — В кн. "Тектоника Забайкалья". Материалы к X сессии Научного совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1973.
- Шерман С. И., Медведев М. Е., Ружич В. В., Киселев А. И., Шмотов А. П. Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, "Наука", 1973.
- Yairi K., Mizutani Sh. Fault system of the Lake Tanganyika rift at the Kigoma area, western Tangania. — J. Sci. Nagoya University, 1969, v. 17.

П. П. КОЛМОГорова, В. Г. КОЛМОГОРОВ

### СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И В СОПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ

На основе геофизических, геологических и геоморфологических данных, а также по характеру новейших и современных движений в пределах Байкальской рифтовой зоны и сопредельных с ней территорий выделяют (Павловский, 1948; Флоренсов, 1960; Зорин, 1971; и др.) три крупные зоны первого порядка. Они пространственно совпадают с юго-восточной окраиной Сибирской платформы (Иркутским амфиатром), Саяно-Байкальской горной страной (сводовым поднятием) и Забайкальской геосинклинальной зоной. Работами Е. В. Павловского (1948 и др.), Н. А. Флоренсова (1960, 1968), В. В. Ламакина (1968), Н. А. Логачева (Логачев и др., 1964), В. П. Солоненко и др. (1968), Ю. А. Зорина (1971) и многих других показано, что различия в интенсивности тектонических движений между Сибирской платформой, Саяно-Байкальским сводовым поднятием и Забайкальской геосинклинальной областью были характерны для всего времени проявления кайнозойской активизации (вторая половина третичного периода — четвертичный период). Внутри этого временного интервала изменялся только темп тектонических движений. В связи с этим большой интерес представляют сведения о тектоническом развитии земной коры в этих регионах на современном этапе. В настоящее время все сильнее и сильнее укрепляется мнение о глобальном характере проявления современных вертикальных движений земной коры (СДЗК). Следовательно, логично предположить, что данные о СДЗК характеризуют современное тектоническое развитие земной коры и