

Д-39
Д-46
109047

**ДИНАМИКА
ЗЕМНОЙ КОРЫ
ВОСТОЧНОЙ
СИБИРИ**

Со средне- и верхнечетвертичным периодом связан основной этап формирования новейшей рифтовой структуры. Для него характерна высокая интенсивность растрескивания земной коры, воздымание поднятий, загрузка Чарской депрессии осадками в процессе прогрессивного нарастания скорости опускания ее ложа. Параллельно происходит увеличение размеров впадины вследствие разрастания и объединения первичных Апсатской и Средне-Сакуканской депрессий, а также вовлечения в относительное опускание смежных блоков, отсеченных от массивов разрывными нарушениями. Днище в центре впадины, состоящее из блоков, в этой стадии проходит нулевой гипсометрический уровень и продолжает дальнейшее опускание. По-видимому, это абсолютное опускание обусловлено включением механизма оттока из-под основания блоков квазипластичного вещества из горизонтов средней и нижней частей земной коры.

Вероятно, в начальной стадии рифтогенеза в приповерхностной части земной коры ведущая роль принадлежала упругопластическим деформациям, а в последующем начали преобладать квазихрупкие деформации. Роль разрывов резко возросла в основном этапе рифтогенеза и, на наш взгляд, заключается в нарушении монолитности горных масс, ослаблении связей между блоками и неравномерном проседании их в местах наибольшего разупрочнения коры. С этой точки зрения приповерхностные процессы рифтогенеза можно охарактеризовать как результат сосредоточенного в узкой зоне квазихрупкого разрушения верхней части земной коры под действием эндогенных растягивающих усилий. В этой связи формирование разрывов растяжения и грабенообразных впадин является следствием естественного сочетания квазихрупких и квазипластических деформаций в земной коре при рифтогенезе.

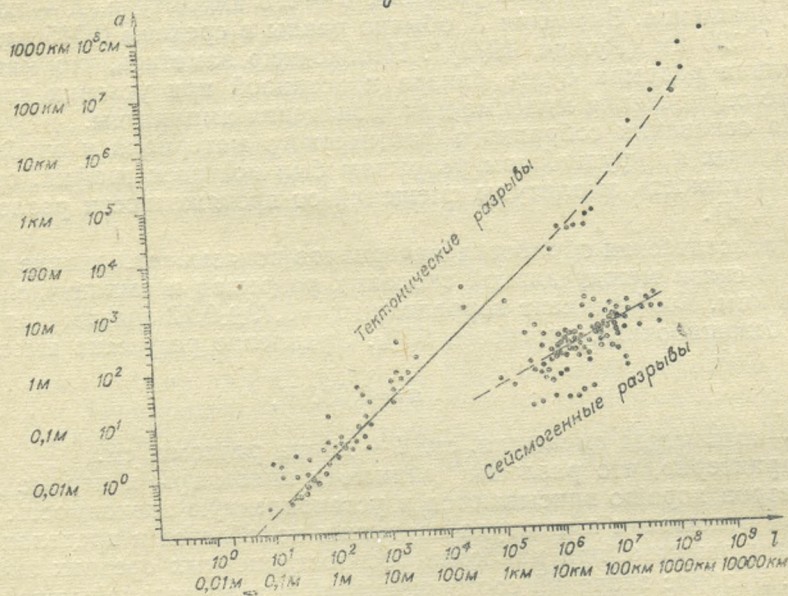
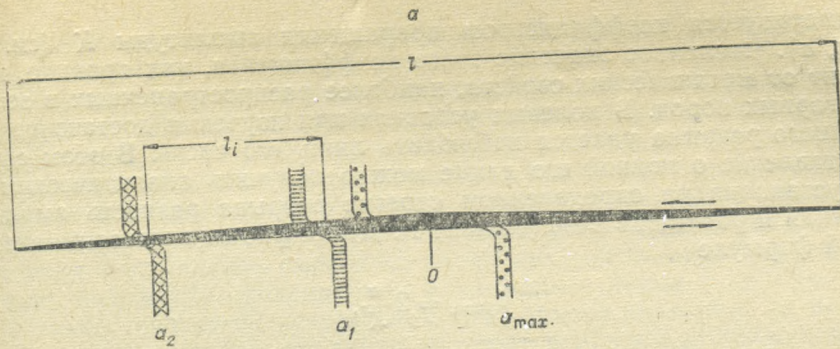
ЛИТЕРАТУРА

- Зорин Ю. А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и ее предельных территорий. М., «Наука», 1971. 168 с.
- Лопатин Д. В. Геоморфология восточной части Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, «Наука», 1972. 115 с.
- Мишарина Л. А. Исследование очагов слабых землетрясений северо-восточного сектора Байкальского рифта.— В кн.: Труды III Всесоюзного симпозиума по сейсмическому режиму. Ч. I. Новосибирск, «Наука», 1969, с. 147—166.
- Партон В. З., Морозов Е. М. Механика упруго-пластического разрушения. М., «Наука», 1974. 416 с.
- Ружич В. В. Влияние древних разрывов на развитие новейших структур Байкальского рифта.— «Геол. и геофиз.», 1975, № 1, с. 130—136.
- Солоненко В. П., Хилько С. Д., Николаев В. В. О сеймотектонике и морфоструктуре востока Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий.— В кн.: Сеймотектоника, глубинное строение и сейсмичность северо-востока Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, «Наука», 1975, с. 4—23.
- Федоровский В. С. Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кодар и Удокан. М., «Наука», 1972. 130 с.

В. В. РУЖИЧ, С. И. ШЕРМАН

ОЦЕНКА СВЯЗИ МЕЖДУ ДЛИНОЙ И АМПЛИТУДОЙ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Из геологической практики известно, что амплитуда смещения крыльев разрывного нарушения, связанного со сдвиговой деформацией, увеличивается с ростом его протяженности. В статье изложены результаты исследования по выяснению количественных значений связи между



Соотношение между длинами сколовых разрывов и амплитудами смещения.
 а — методика оценки параметров разрывов: l — общая длина, a_{max} — наибольшая амплитуда смещения, l_i — наблюдаемая длина, a_1 и a_2 — фиксируемые смещения на расстоянии l_i ; б — график, отражающий характер связи значений амплитуд (a) и длин (l) для разрывов скальвания.

двумя названными параметрами. Исходным фактическим материалом послужили наблюдения в различных по составу и возрасту метаморфических и изверженных породах Прибайкалья и Забайкалья. Для измерений использовались прежде всего четко фиксируемые в обнажениях трещины со смещением и протяженностью от сантиметров до сотен метров, а также локальные и региональные разломы с длиной от первых километров до нескольких десятков их. Для анализа привлекались разломы исключительно сколового генетического типа, т. е. те, образование которых обусловлено действием касательных напряжений. Полная длина разрыва измерялась строго параллельно направлению вектора скольжения крыльев. Только в этом случае численные значения длины разрыва и амплитуды подвижек не искажаются.

Опыт изучения разрывов показывает, что амплитуда смещения по всей длине дислокации изменяется от нулевой на ее концах до максимальной в центре. В каждом отрезке, расположенном ближе, чем соседний, к середине дислокации, смещение больше на величину Δa , определяемую как приращение амплитуды подвижки. Отношение величины этого приращения к расстоянию, на котором оно возникло $(a_1 - a_2) / l_i$,

характеризуется коэффициентом приращения амплитуды K (см. рисунок, a). Численное значение этого коэффициента, как правило, мало зависит от механических свойств, наиболее распространенных в земной коре горных пород. В полевых условиях при изучении достаточно протяженного разрыва удастся наблюдать лишь его часть. В этом случае представление о полной его длине можно получить аналитическим путем, установив на определенном отрезке разрыва разность амплитуд смещения и рассчитав коэффициент K . Далее расчет ведется по элементарной формуле

$$l_{\text{расч}} = 2 \frac{a}{K}, \quad (1)$$

где $l_{\text{расч}}$ — расчетная длина разрыва, a — его амплитуда, K — коэффициент приращения. Значения K обычно равны в среднем 0,045 для разрывов с $l \leq 20$ км (Ружич, 1972)*. Необходимо заметить, что максимальная длина разрыва будет близка к истинной при условии достаточно точного определения максимального значения амплитуды.

На основании собранного фактического материала и опубликованных данных по крупнейшим разрывам был построен график, отражающий зависимость амплитуды смещений от протяженности разлома (см. рисунок, b).

Статистическая обработка материалов показывает наличие корреляционной связи между длиной сколовых разрывов и амплитудой смещения по ним. Коэффициент корреляции $r = 0,79 \pm 0,22$ значим для вероятности безошибочных прогнозов 95%. Уравнение регрессии имеет вид

$$a = 0,08 l^{0,77}, \quad (2)$$

где a — амплитуда смещения, см; l — длина разлома, см.

Характерно, что разломы длиной в километры и первые десятки километров хорошо вписываются в установленную зависимость. В процентном отношении амплитуда подвижки колеблется в пределах 1—8% от длины разрыва, при наиболее распространенных средних значениях 2—4%. Разброс значений соотношения a/l в значительной мере зависит от точности замеров. Уравнение (2) и график, как уже упоминалось выше, наиболее точны для чистых сдвигов.

Несколько ранее М. В. Рац (1965, 1970) также анализировал соотношение связи a и l . Для сдвигов в аналитическом виде она описывается уравнением

$$a = 0,013 l^{1,2}. \quad (3)$$

Ю. Герве и А. Кайе (Herve, Caileux, 1962) провели изучение разрывных смещений на территории нефтяного поля Пехельброн (Нижн. Рейн, Франция). Было изучено 133 разлома, 132 из которых были сбросами и один — взбросом. Между величиной смещения и длиной разрыва была установлена зависимость

$$a = 0,01 l^{1,15}. \quad (4)$$

Ей подчинялись и более крупные смещения, длиной до 20 км.

Сопоставление эмпирических уравнений (2)—(4), полученных при изучении разрывов различной длины и в районах с разной историей тектонического развития, показывает идентичность поведения линий регрессий. Общий характер связи между длиной разломов и амплитудой смещения может быть выражен уравнением (Шерман, 1977)

$$a = K l^b, \quad (5)$$

* Зная этот коэффициент и максимальную амплитуду, нетрудно вычислить длину разрыва.

где коэффициенты K и b колеблются в пределах 0,01—0,08 и 0,8—1,2 соответственно.

Уравнение (5) наиболее точно отражает связь между длиной и амплитудой у сколовых разломов с незначительной (до 20 км) длиной по простиранию.

Вывести подобные соотношения для разломов, более протяженных по простиранию, несколько сложнее, так как они часто оказываются длительно живущими. В течение значительного периода тектонического развития направление смещения вдоль них могло меняться. Следовательно, амплитуда, фиксируемая в настоящее время у крупных разломов, может оказаться результатом суммарного движения за несколько тектонических циклов, во время которых вероятны подвижки противоположного знака, занижившие абсолютное значение амплитуды по отношению к длине. Понимая эти и другие трудности, тем не менее, мы проанализировали параметры серии крупных разломов.

Исследования параметров крупных разрывов, начиная с длин 75—100 км и более, показали заметное возрастание значений амплитуд по отношению к протяженности разломов. Эта тенденция проявляется довольно устойчиво, несмотря на весьма противоречивые данные об амплитудах и длинах крупнейших зон разрывов. Рассмотрим несколько примеров.

Один из крупнейших разломов Восточной Сибири — Главный Саянский разлом, активно развивающийся с раннего протерозоя, при общей длине зоны скола 1000 км имеет амплитуду горизонтального перемещения крыльев 40—80 км (Моисеенко, 1969; Мусатов, 1963). По отношению к длине амплитуда составляет 4—8%. Для приведенных в монографии Ю. М. Пущаровского (1972) данных по разломам Сихотэ-Алиньскому ($l \approx 500$ км, $a = 120$ —140 км) и Фудзино-Иманскому ($l = 200$ —400 км, $a = 40$ км) амплитуды колеблются в пределах 10—25% от длины.

На графике (см. рисунок, б) видно, что линия регрессии на участке, где она превышает многие десятки и первые сотни километров, становится круче, указывая на увеличение пропорции возрастания значений a по отношению к l . Эта особенность, на наш взгляд, характеризует изменение относительных реологических и прочностных свойств земной коры при переходе к структурам глобального масштаба.

Обратимся к оценке связи a/l для разрывных нарушений сейсмогенного типа. Как известно, их образование в отличие от длительно развивающихся протяженных тектонических разрывов происходит в эпицентральных областях землетрясений. При этом, как следует из исследований М. В. Раца (1965), амплитуда смещений по сейсмогенным разрывам на 2—4 порядка меньше, чем для рассмотренных выше тектонических разрывов. Величину отношения a/l М. В. Раци (1965) определил в пределах 0,0001—0,00001.

Подобный анализ можно дополнить серией полевых материалов (Гоби-Алтайское..., 1963; Лукьянов, 1965; Nowroozi, 1971). В Гоби-Алтайской эпицентральной области для сейсмодислокаций протяженностью от первых километров до нескольких десятков их отношение a/l лежало в диапазоне значений 0,0001—0,0007, что составляет 0,01—0,07%. Если отнести максимальную амплитуду измерений здесь взбросо-сдвиговой подвижки (9 м) к общей протяженности зоны вспарывания (270 км), то a/l будет равным 0,00003 и составит 0,003% от l . Сходные параметры отмечаются и для сейсмогенных разрывов района землетрясений г. Сан-Франциско, описания которых приведены в работе А. В. Лукьянова (1965). Соотношения a/l для дислокаций с $l \sim 1$ —25 км для этого района лежат в указанных выше интервалах, и в среднем равны 0,00025. По отношению ко всей протяженности зоны сейсмогенного разрываобразования ($l = 430$ км) амплитуда ($a = 6,4$ км) будет составлять

0,0015%. Полученные значения от данных М. В. Раца отличаются незначительно.

Из анализа имеющихся результатов связи амплитуд с данными для тектонических и сейсмогенных разрывов вытекает следствие о том, что на характер процессов разрывообразования в земной коре решающее значение оказывает скорость деформирования. При быстрых воздействиях тектонических усилий, что соответствует условиям сейсмических явлений, в основном проявляются упругие свойства горных пород. В результате имеет место преимущественно хрупкое их разрушение с соответствующим малым значением отношения a/l . Медленное нагружение и накопление напряжений в горных массивах способствует проявлению процессов квазипластического течения (крипа) при уменьшении вклада в разрывообразование явлений хрупкого разрушения. Это выражается в относительном возрастании амплитуд по отношению к длине разрывов.

Таким образом, формирование протяженных многокилометровых разрывов, называемых тектоническими, происходит длительно и при обязательном сочетании процессов хрупкого разрушения и пластического течения. Образование собственно сейсмогенных разрывов — или сейсмогенных подвижек — по более древним дизъюнктивам можно рассматривать как отдельные эпизоды в многостадийном развитии тектонического разрыва, когда происходит импульсивное приращение его длины и амплитуды, позднее сменяющееся квазивязким течением горных масс. При переходе к деформациям глобального масштаба наблюдаются качественные изменения характера их формирования, а именно — деформация и разрушение целостности монолитных блоков земной коры происходят по законам разрушения упруговязкого тела. Такой вывод совпадает с теми, что были получены ранее на основании экспериментальных данных (Кузнецова, 1969; и др.), а также расчетным и аналитическим путями (Ризниченко, 1965; Шерман, 1974). Установленные соотношения a/l могут быть широко использованы при разведке и разработке месторождений, а также при структурном геологическом картировании и при геологическом дешифрировании космических фотоснимков земной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- Гоби-Алтайское землетрясение. М., Изд-во АН СССР, 1963. 391 с.
- Кузнецова К. И. Закономерности разрушения упруговязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. М., «Наука», 1969. 86 с.
- Лукьянов А. В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М., «Наука», 1965. 195 с.
- Мойсеенко Ф. С. Строение и развитие земной коры южного горного обрамления Сибири. Новосибирск, «Наука», 1969. 206 с.
- Мусатов Д. И. Некоторые особенности глубинных разломов на примере складчатых областей юга Красноярского края. — В кн.: Тектоника Сибири. Т. II. Новосибирск, «Наука», 1963, с. 77—85.
- Пушаровский Ю. М. Введение к тектонике Тихоокеанского сегмента Земли. М., «Наука», 1972. 222 с.
- Рац М. В. Статистический анализ сдвигов в склеросфере Земли. — «Бюлл. МОИП. Отд. геол.», 1965, № 3, с. 51—55.
- Рац М. В., Чернышев С. Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М., «Недра», 1970. 160 с.
- Ризниченко Ю. В. О сейсмическом течении горных масс. — В кн.: Динамика земной коры. М., «Наука», 1965, с. 56—63.
- Ружич В. В. Разломы юго-западной части Байкальской рифтовой зоны и некоторые вопросы динамики их формирования. Автореф. канд. дис. Иркутск, 1972. 23 с.
- Шерман С. И. Основные параметры разломов Байкальской рифтовой зоны (тектонифизический анализ). — В кн.: Механика литосферы. Тезисы докл. Всес. научно-техн. совещания, 23—25 октября 1974 г. Л., 1974, с. 101—104.
- Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск, «Наука», 1977. 101 с.

- Herve J. C., Caileux A. Etude quantitative des failles de Pechelbron (Bas. Rhin.).— "Cahiers Geologiques" (Paris). 1962, N 68—69.
- Nowroozi A. A. Seismotectonics of Persian Plateau, Eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush regions.— "Bull. Seismol. Soc. America", 1971, v. 61, N 2, p. 317—343.

М. М. ОДИНЦОВ, В. Г. ДОМЫШЕВ, Л. Г. СТРАХОВ,
П. П. ЗУЕВ, А. Г. ХРАМЦОВ

ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В течение долгого времени эндогенная металлогения внутренних районов Сибирской платформы и, в частности, Тунгусской структурно-вулканической области представлялась относительно однообразной формацией сибирских траппов. Особенно однообразной считалась восточная и юго-восточная части Тунгусского бассейна, где, в отличие от хорошо изученной западной части с выделявшимися петрохимическими и металлогеническими трапповыми комплексами (Лурье, Масайтис, 1960; Полунина, Леднева, 1967; Масайтис, 1964; и др.), развиты в основном недифференцированные и слабодифференцированные траппы. В южной и юго-восточной частях региона В. И. Гоньшакова выделила (в пермо-триасовой фазе внедрения) ряд комплексов траппов под названием Тунгусско-Ленского, Средне-Виллюйского и Илимско-Виллюйского, из которых последний считается наиболее поздним дифференциатом нормальной трапповой магмы субщелочного (гибридного) ряда (Гоньшакова, 1961). Выводы названных авторов о генезисе руд во многом сходятся: по вопросам генетической связи руд с отдельными фазами траппового магматизма, с составом определенных комплексов (щелочных и субщелочных). Нет больших разногласий и в структурном отношении — магнетитовое оруденение связывается с аппаратами центрального типа (трубками взрыва).

По мере расширения геологоразведочных работ и более детальных петрологических исследований, особенно в последнее десятилетие, накопился новый материал, свидетельствующий о разнообразной и сложной металлогенической картине. Геологические исследования авторов, а также анализ нового материала геологосъемочных работ позволили значительно расширить представления о металлогении трапповой провинции и выделить в пределах юго-восточной части Тунгусской структурно-вулканической области самостоятельную структурно-металлогеническую единицу — Ангаро-Виллюйский рудный пояс.

Ангаро-Виллюйский рудный пояс протягивается широкой полосой с юго-запада на северо-восток от Присаянья (междуречья Оки и Бирюсы) через среднее течение р. Ангары (Ангаро-Илимский и Ангаро-Катский железорудные районы), бассейны верхнего течения рек Подкаменной и Нижней Тунгусок — к верхнему течению р. Виллюй и Мирнинскому алмазонасному району. Этот пояс обладает определенным комплексом особенностей геологической структуры, магматизма и металлогении. В его пределах установлен гораздо более широкий спектр эндогенных полезных ископаемых, чем это было известно ранее.

Рассматриваемый рудный пояс — структура длительного развития ($D-I$), но как металлогеническая структура он обязан факторам глобального характера: неоднородному блоковому строению фундамента платформы, заложению мощных зон глубинных разломов, способствующих проникновению огромных масс глубинной базитовой магмы (Домышев, 1968, 1974; Витте, Одинцов, 1973). Важнейшая роль в структурообразовании, магмопроницаемости и эндогенном рудообразовании в его