

О. И. ГУЩЕНКО

**АНАЛИЗ ОРИЕНТИРОВОК СКОЛОВЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ
СМЕЩЕНИЙ И ИХ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ**

(Представлено академиком М. А. Садовским 23 VI 1972)

Основная сложность в практическом использовании методики реконструкции тектонических напряжений, предложенной и детально рассмотренной в работах М. В. Гзовского (¹), заключается в недостаточной формализации принципов выделения сопряженных пар сколовых тектонических нарушений.

В данной работе предлагается методика документации и анализа трещинных и разрывных смещений на диаграммах полюсов тектонических нарушений, позволяющая не только формализовать один из принципов выделения сопряженных сколовых нарушений, но и получить дополнительную информацию о характере палеонапряженного состояния исследованного объема горных пород.

На рис. 1а показана в стереографическом изображении ориентировка векторов сколовых тектонических смещений в точке полюса нарушения по известному углу между линией смещения (бороздами скольжения) и линией простирания плоскости нарушений. Для построения ориентировки вектора смещения на диаграмме полюсов тектонических нарушений достаточно с помощью стереографической сетки Вульфа построить плоскость (пунктир), проходящую через линию смещения (длинная стрелка) и полюс тектонического нарушения. Касательная к следу этой плоскости, называемой нами кинематической, в точке, соответствующей полюсу тектонического нарушения, параллельна ориентировке вектора смещения в плоскости нарушения.

При реконструкции палеонапряжений одним из наиболее ответственных моментов является выделение в трещинной и разрывной структуре сопряженных систем сколовых нарушений. Как уже подчеркивалось некоторыми исследователями (^{1в}, ²), в случае сопряженности пары сколовых нарушений должно иметь место строго определенное геометрическое условие в ориентировке их векторов смещений.

Для диаграмм полюсов тектонических нарушений и ориентировок векторов смещения по ним эти условия можно выразить следующими обязательными требованиями (рис. 1б):

1) Сопряженные пары сколовых нарушений должны иметь одну общую кинематическую плоскость, т. е. для каждого отдельно взятого сколового нарушения с известным направлением смещения на стереографической диаграмме след кинематической плоскости определяет геометрическое место точек полюсов тех сколовых нарушений, которые могут быть сопряженными с данным.

2) Из них сопряженными с данным будут считаться лишь те нарушения, у которых ориентировка вектора смещений не только совпадает с касательной к следу кинематической плоскости, но и направление смещения при этом будет противоположно исходному замеру.

После выделения по указанным признакам сопряженных систем и отдельных пар сколовых нарушений для каждой из них на той же диаграмме

можно восстановить ориентировку осей предельных нормальных напряжений, лежащих в кинематической плоскости сопряженных пар сколов. Таким образом, при наличии двух сопряженных систем нарушений сколового типа (рис. 2а, б), имеющих какой-либо реальный разброс в ориентировке в пределах одного ограниченного обнажения горных пород, можно получить по различно ориентированным плоскостям ряд значений ориентировок осей нормальных напряжений.

Проведение такого типа анализа кинематики трещинной структуры позволило выделить из ряда наиболее простых трещинных структур Средней

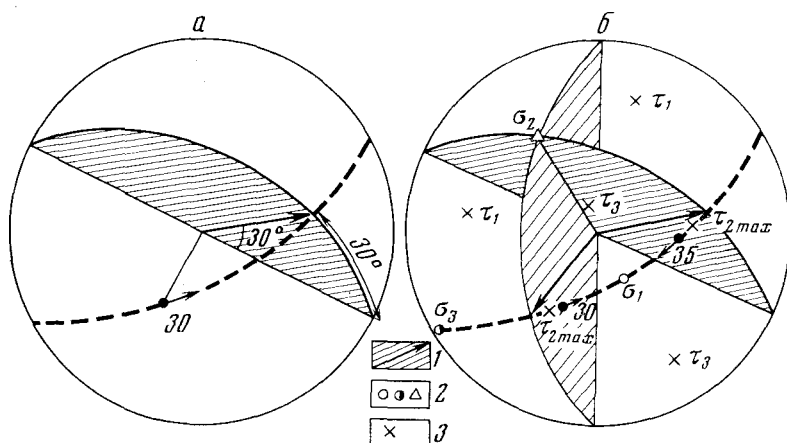


Рис. 1. Стереографическое изображение ориентировок сколовых смещений по тектоническим нарушениям (а) и условий их сопряженности (б). 1 — ориентировка направления смещения висячего крыла сколового нарушения относительно лежащего, изображенная в плоскости нарушения с указанием величины угла наклона линии смещения (борозд скольжения) к линии простираения плоскости нарушений; 2, 3 — проекции осей главных компонентов тензора напряжений на верхнюю полусферу: 2 — главных нормальных напряжений, 3 — главных касательных напряжений. Остальные обозначения те же, что на рис. 2

Азии два типа сопряженных систем сколовых нарушений, соответствующих, по мнению автора, двум различным типам напряженного состояния (рис. 2): 1) сопряженные системы сколовых нарушений, совокупность кинематических плоскостей которых пересекается по линии действия σ_3 (рис. 2а, в, д); 2) сопряженные системы сколовых нарушений, кинематические плоскости которых пересекаются по линии действия σ_1 (рис. 2б, г, е).

Для обоих выделенных кинематических типов сопряженных систем сколовых нарушений характерен ряд морфологических типов диаграмм полюсов трещинных нарушений — от двух (рис. 2а, б) сопряженных максимумов до целого спектра сопряженных систем сколовых нарушений, полюса которых как бы описывают поверхность «конуса скалывания» ⁽³⁾ с осью конуса, совпадающей с направлением действия σ_3 — конуса сжатия (рис. 2в, д) или σ_1 (рис. 2г, е) — конуса растяжения. Для трещинных структур второго типа характерно широкое развитие отрывных нарушений, нормальных к оси σ_1 , восстановленной по сколовым нарушениям.

Приведенные наиболее простые диаграммы трещиноватости с единой схемой ориентировок сколовых смещений для каждой отдельной точки наблюдения свидетельствуют о том, что разрушение материала даже в пределах ограниченного объема горных пород (не более 50 м³) происходит не только по двум строго определенным плоскостям. В силу реальной прочностной неоднородности деформируемых природных объектов разрушение материала происходит по целому комплексу плоскостей, на которых величина касательных напряжений достигает предела прочности материала на скол. При незначительных отклонениях прочностных характеристик мате-



Рис. 2. Кинематические типы диаграмм полюсов тектонической трещиноватости (а, в, д — трещинные структуры сжатия, б, г, е — растяжения): а (82 трещины), б (86 трещин) — типы взбросовой трещиноватости известняков C_{1-2} района Чарвакской ГЭС (р. Чирчик); в (97 трещин) — трещиноватость известняков C_1 верховья Дара-Об (хребет Петра I); г (68 трещин) — гипсов J_3 руч. Руноу (хр. Петра I); д (124 трещина) — гранитов C_{2-3} Чаткальского батолита, руч. Терс у пос. Кытай (Зап. Тянь-Шань); е (112 трещин) — песчаников кызылташской свиты C_1 верховья р. Дара-Об. 1—3 — след плоскостей на верхней полусфере: 1 — напластования, 2 — крупного тектонического разрыва, 3 — кинематических плоскостей отдельных сколовых нарушений при известной ориентировке относительного перемещения крыльев; 4 — полюса поверхности напластования; 5 — полюса сколовых нарушений и ориентировка кальцитовых борозд скольжения с определенным направлением относительного перемещения крыльев (а) и с неопределенным (б); 6 — полюса трещин отрыва. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

риала от их среднего значения статистически максимальные разрушения должны тяготеть к плоскостям действия максимальных касательных напряжений. При этом тенденции отклонений в ориентировке плоскостей сколовых нарушений от плоскостей действия $\pm \tau_{2 \max}$ в основном будут зависеть от типа напряженного состояния.

Так, исходя из известных соотношений между величинами главных нормальных и главных касательных напряжений ($\tau_1 = \pm 1/2(\sigma_2 - \sigma_3)$; $\tau_2 = \pm 1/2(\sigma_1 - \sigma_3)$; $\tau_3 = \pm 1/2(\sigma_1 - \sigma_2)$) следует, что при значительных отклонениях величины σ_3 от $\sigma_1 \approx \sigma_2$ должно быть $\tau_3 \approx 0$, тогда как величина τ_1 будет приближаться к величине $\tau_2 = \tau_{\max}$. В этих условиях следует ожидать отклонений в ориентировке плоскостей сколовых нарушений и их векторов смещения от плоскостей действия τ_2 к ориентировке действия τ_1 , а не τ_3 (рис. 1б), где величина касательных напряжений близка к нулю. Возникающая при этом общая структура разрушения материала должна приближаться к выделяемому выше первому типу трещинных структур (рис. 2а, в, д), конусам сжатия которых будет соответствовать напряженное состояние типа $\sigma_3 \neq \sigma_2 = \sigma_1$ и $\tau_1 = \tau_2$ при $\tau_3 = 0$ (рис. 2в, д).

В то же время при значительных отклонениях σ_1 от $\sigma_3 \approx \sigma_2$ должно быть $\tau_1 \approx 0$, тогда как величина τ_3 будет приближаться к τ_2 и отклонения в ориентировке плоскостей сколовых нарушений и их векторов смещений должны происходить в направлении от плоскостей действия τ_2 к τ_3 , а не к τ_1 . Общая структура разрушения в этом случае должна приближаться ко второму типу выделяемых выше трещинных структур (рис. 2б, г, е), конусам растяжения которых соответствует напряженное состояние типа $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ и $\tau_3 = \tau_2$ при $\tau_1 = 0$.

Таким образом, при деформации реального относительно неоднородного изотропного материала рассмотренные два типа напряженного состояния должны обуславливать два различных типа разрушения, соответствующих выделенным выше двум кинематическим типам структур сколовых нарушений.

Совместный анализ трещинной, разрывной и складчатой структуры показывает, что чаще всего первому кинематическому типу трещинной структуры могут соответствовать лишь условия преобладающего, активного, сжатия $|\sigma_3| \gg |\sigma_2| \geq |\sigma_1|$ ($\sigma_3 < 0$), а второму — условия преобладающего, активного, растяжения $\sigma_1 \gg \sigma_2 \gg \sigma_3$ ($\sigma_1 > 0$).

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
21 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. В. Гзовский, а) Сборн. Проблемы тектонофизики, М., 1960; б) Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория, ч. 3 и 4, Изд. АН СССР, 1963; в) Математика в геотектонике, М., 1974. ² Л. Д. Кноринг, Математические методы при изучении механизма образования тектонической трещиноватости, 1969. ³ Г. П. Горшков, Вестн. Московск. ун-в., № 1 (1947).