

Министерство высшего и среднего специального образования

РСФСР

Ленинградский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горный институт
им. Г. В. Плеханова

УДК 551.24

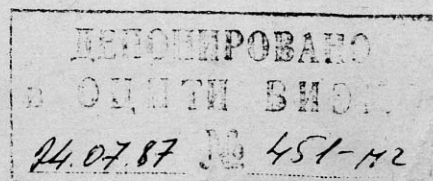
Ю. В. ЛИР, С. С. ШАКИН

УСЛОВИЯ АКТИВИЗАЦИИ КУЛИСООБРАЗНО РАСПОЛОЖЕННЫХ РУДОВМЕЩАЮ-
ЩИХ СДВИГОВ

Рук. деп. в ВИЭМС 24.07.87. N451-мг87

Ленинград

1987 г.



На материале изученных нами оловорудных жил из различных районов СССР, приуроченных к сдвигам и взбросо-сдвигам, подтверждается идея М.В.Гзовского о возникновении крупных разрывных нарушений "в результате слияния мелких первоначально самостоятельных поверхностей скалывания и объединения их в единую зону" [1, с.190]. При этом характерной чертой отдельных разрывов является их кулисообразное расположение. Особенно детально, как в полевых условиях, так и средствами тектонофизического моделирования, изучены эшелоны разрывов, возникающие при сдвигообразовании [1,3,4,6,7,8,9,10,11,12]. На примере оловорудных жил установлено, что наиболее интенсивное рудообразование происходило на участках смыкания первоначально разобщенных кулисообразно расположенных разрывов; к этим, как правило, весьма сложным в морфологическом отношении частям рудных тел приурочено около 80% линейных запасов металла. Это позволяет утверждать, что привнос и осаждение основной массы олова следовали непосредственно за возникновением магистрального разрыва, т.е. после разрушения перенапряженных перемычек между ранее образовавшимися кулисообразно расположенными разрывами I порядка. Следовательно, области перекрытия соседних трещин в эшелонированных рядах представляют особый интерес, так как именно здесь в процессе тектонической активизации возникает сложный парагенезис "вторичных" /по С.Стоянову [7]/ разрывов, часто играющих рудо локализирующую роль.

Полевые наблюдения и анализ материалов документации горных выработок позволяет выделить несколько систем разрывов, возникающих на участках кулисообразного расположения ранних трещин и образующих трещинный парагенезис второго порядка /рис. I/.

При значительных размерах межкулисных перемычек или в случае малой интенсивности действующих напряжений периода активизации они могут остаться неразрушенными, в разведочной практике такие кулисы часто рассматриваются как самостоятельные рудные тела. О проявлении вторичного структурообразования в этом случае свидетельствуют плавные изгибы окончаний кулис, которые могут быть направлены как навстречу друг другу /система 2/, так и в противоположные стороны /система I/. При большом количестве

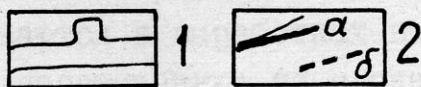
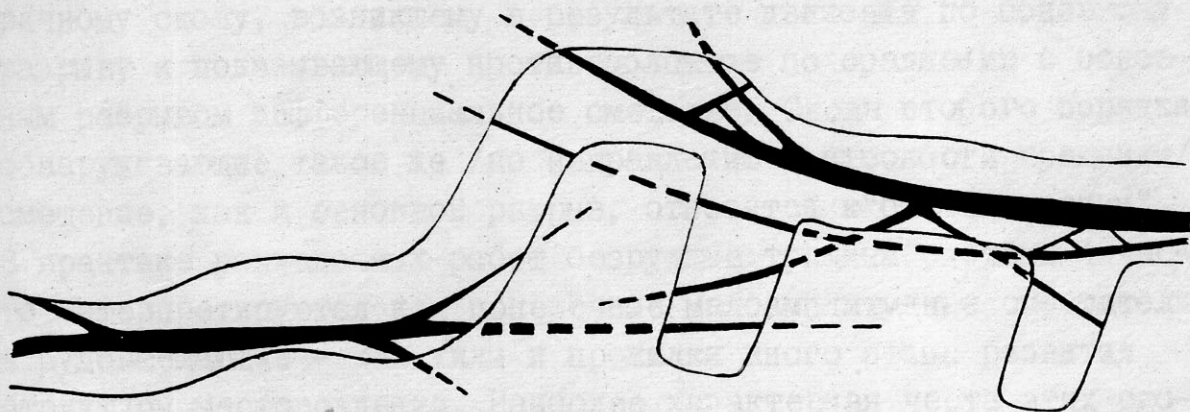
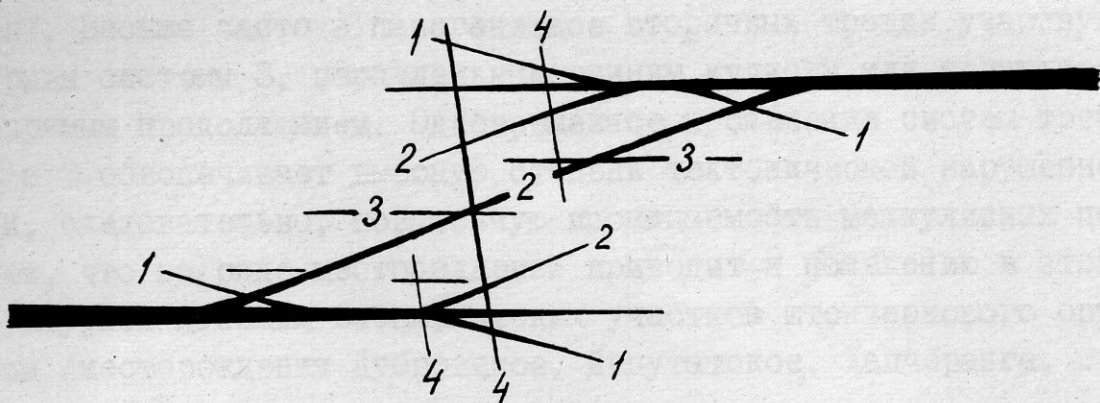


Рис.1. Системы сколов второго порядка на участке кулисообразного расположения ранних разрывов.

Рис.2. Парагенезис вторичных сколов на участке кулисообразного расположения рудовмещающих разрывов /месторождение Охотничье, жила № 2, горизонт II/

1-контуры подземных горных выработок; 2-рудные жилы и прожилки: а-прослеженные, б-предполагаемые

трещин систем I и 2 образуется так называемая структура "конского хвоста", весьма выразительно проявленная, например, в зоне ОI Карнабского оловорудного месторождения /Западный Узбекистан/. Весьма часто в парагенезисе вторичных трещин участвуют разрывы системы 3, параллельные ранним кулисам или являющиеся их прямым продолжением. Одновременное проявление систем трещин I, 2 и 3 обеспечивает высокую степень тектонической нарушенности и, следовательно, повышенную проницаемость междулисных пере-мычек, что на ряде месторождений приводит к появлению в этой структурной позиции специфических участков штокверкового оруденения /месторождения Дубровское, Депутатское, Хапчеранга, Эгехая и др./.

Особого внимания заслуживают трещины системы 4, относящиеся к так называемым "антитетическим" сколам. Напомним, что по С.Стойнову [7] термин "антитетический" относится к любому вторичному сколу, возникшему в результате движения по основному разрыву и показывающему противоположное по сравнению с основным разрывом дифференциальное смещение. Сколы второго порядка, обнаруживающие такое же /по направлению и плоскости вращения/ смещение, как и основной разрыв, относятся к "синтетическим". В практике разведочных работ безрудные трещины системы 4 часто интерпретируются как поперечные малоамплитудные сместители, а рудовмещающие - как жилы и прожилки иного этапа развития структуры месторождения. Наиболее характерная черта этих сколов - их незначительная протяженность как по падению и восставанию /они не вскрываются в выработках выше- и нижележащих горизонтов/, так и по простиранию: ни в одном из известных нам случаев их длина не превышала 6-8 м, нередко они выклиниваются в пределах ширины разведочного штрека.

Полное проявление парагенезиса вторичных сколов - явление достаточно редкое в оловорудных жилах. Чаще других наблюдаются разрывы систем I и 2, они создают своеобразное "лестничное" расположение жил и прожилков в пределах междулисных пере-мычек. Поперечные антитетические сколы системы 4 почти всегда сочетаются с трещинами систем 2 и 3. Относительно полное развитие указанных вторичных разрывов иллюстрирует рис. 2.

Понять условия возникновения различных систем вторичных

сколов в определенной мере помогает тектонофизическое моделирование зарождения и развития сдвигов. Наиболее интересны в этом плане экспериментальные исследования, выполненные при строгом соблюдении условий подобия С.И. Шерманом с сотрудниками [8].

После завершения начальной пликативной стадии развития в модельном материале /влажная глина/ возникает линейный пояс разрывных нарушений со вполне закономерной ориентировкой. В строении пояса участвуют две системы трещин, имеющие генетические, морфологические и возрастные различия. Первая система /поперечная/ составляет с простиранием зоны сдвига угол около 85° /рис.3/. Отдельные элементарные трещины, как и весь поперечный эшелонированный ряд, пропеллерообразно изогнуты, подвижки несут характер правого сдвига с некоторой вертикальной составляющей. Вторая система /диагональная/ образует с простиранием зоны сдвига угол около $20-25^\circ$, по мере развития деформации он уменьшается до $8-10^\circ$. Для отдельных трещин и эшелона в целом также характерно пропеллерообразное искривление. Большинство трещин диагональной системы представляют собой левосторонние сдвиго-сбросы. По сравнению с трещинами поперечной системы они характеризуются относительно поздним заложением, однако их структурообразующая роль более существенна. Еще раз подчеркнем принципиальную важность того факта, что в каждой системе элементарные трещины расположены кулисообразно. Картина зарождения элементарных трещин в эшелонированных рядах, их роста и слияния в единый магистральный разрыв повторялась в основных своих чертах в сотнях экспериментов в широком диапазоне изменений вязкости модельного материала и скорости деформирования.

Нами на моделях из влажной глины моделировались единичные сдвиги, развивающиеся путем слияния разобщенных кулисообразно расположенных элементарных трещин. Как и при полевых наблюдениях, отчетливо фиксировалось проявление разнообразных структур второго порядка в пределах межкулисных перемычек, таких, как антиклинальные вздутия /"валики сжатия" по А.В. Лукьянову [4] / и разноориентированные разрывы /рис.4/.

Особенности развития вторичных структур на участках кулисообразного перекрытия тектонических разрывов определенно связаны с существенной перестройкой исходного /регионального/ по-

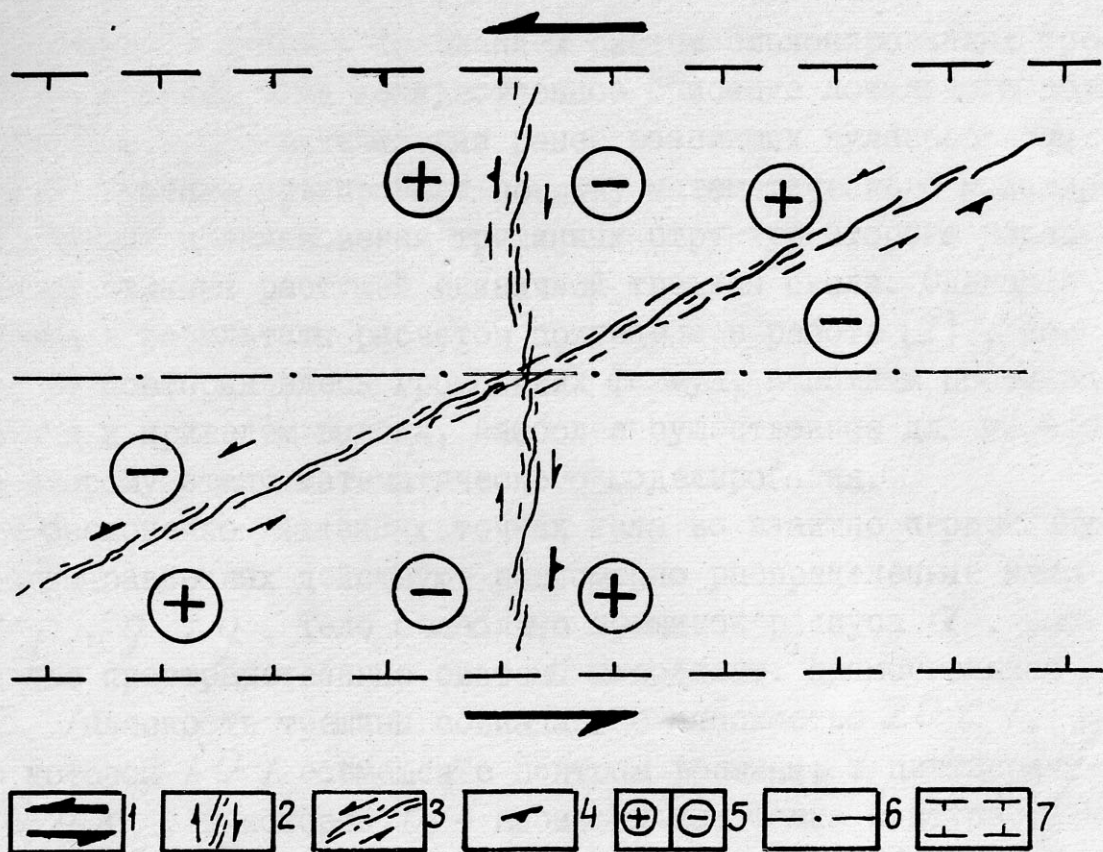


Рис.3. Основные системы трещин в области сдвига
 1-сдвигающие усилия; 2-трещины поперечной системы; 3-трещины диагональной системы; 4-направление падения плоскости сместителя; 5-крылья: а-поднятое, б-опущенное; 6-ось зоны сдвига; 7-границы области сдвига

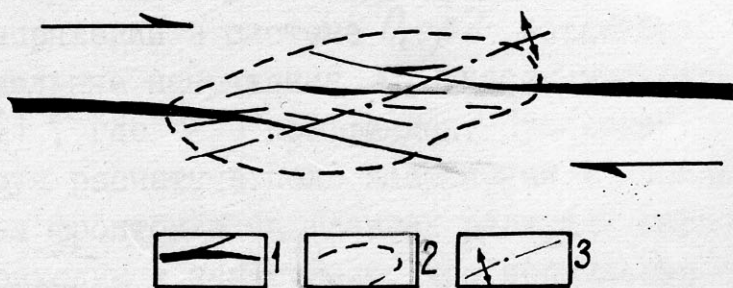


Рис.4. Строение участка перекрытия кулисообразно расположенных трещин на модели из влажной глины
 1-трещины; 2-контур антиклинального "вздутия"; 3-ось антиклинали

ля напряжений в связи с появлением систем эшелонированных трещин. Стремясь получить количественное описание локального поля напряжений периода активизации ранее возникших кулисообразных сколов мы вначале предприняли попытку математического моделирования условий возникновения трещинных структур второго порядка в области влияния растущей единичной трещины скола. Описание алгоритма и результаты расчетов приведены в работе [2], поэтому, не повторяя здесь громоздких формул, напомним постановку задачи и приведем выводы, наиболее существенные для перехода ко второму этапу математического моделирования.

В бесконечно удаленных точках тела во взаимно перпендикулярных направлениях действуют равномерно распределенные напряжения ρ , q , q . Тело ослаблено трещиной радиуса a . Вводятся две пространственные системы координат: прямоугольная $OXYZ$ /плоскость трещины совпадает с плоскостью ZOY /, центр которой O совмещен с центром трещины; и цилиндрическая $O_i r \beta \lambda$, в которой O_i - произвольная точка контура трещины, ось $O_i \lambda$ направлена по касательной к контуру трещины и расположена в той же плоскости ZOY , плоскость $\angle \beta = 0$ является продолжением трещины за ее контур /рис. 5, А/. Примем внешнюю силу, вызывающую рост трещины $P = -1$, радиус трещины в фиксированный момент времени $a = 50$. Сжатие будем считать одноосным, т.е. $q = 0.3 \rho$, $q = 0.3 \rho$, где 0.3 - значение коэффициента Пуассона. Примем значения углов между направлениями действия напряжений ρ и q с осями системы координат Z и Y соответственно $\chi_3 = 30^\circ$ и $\chi_1 = 0^\circ$.

В результате расчетов по приведенным в работе [2] формулам в любой точке околотрещинного пространства получаем полный тензор напряжений в системе $O_i r \beta \lambda$ -отдельной для каждой трещины /нормальные напряжения σ_λ рассчитываются по формуле $\sigma_\lambda = \nu(\sigma_z + \sigma_\beta)$, где ν - коэффициент Пуассона/.

Анализируя расчетные поля напряжений в изолиниях интенсивности перед фронтом и на флангах растущей сколовой трещины /рис. 5, Б/, приходим к заключению, что нормальные напряжения $\sigma_{сж}$ и $\sigma_{раст}$ ответственны за возникновение секторов сжатия и растяжения, а касательные напряжения $\tau_{z\beta}$ и $\tau_{\beta\lambda}$ - за антите-

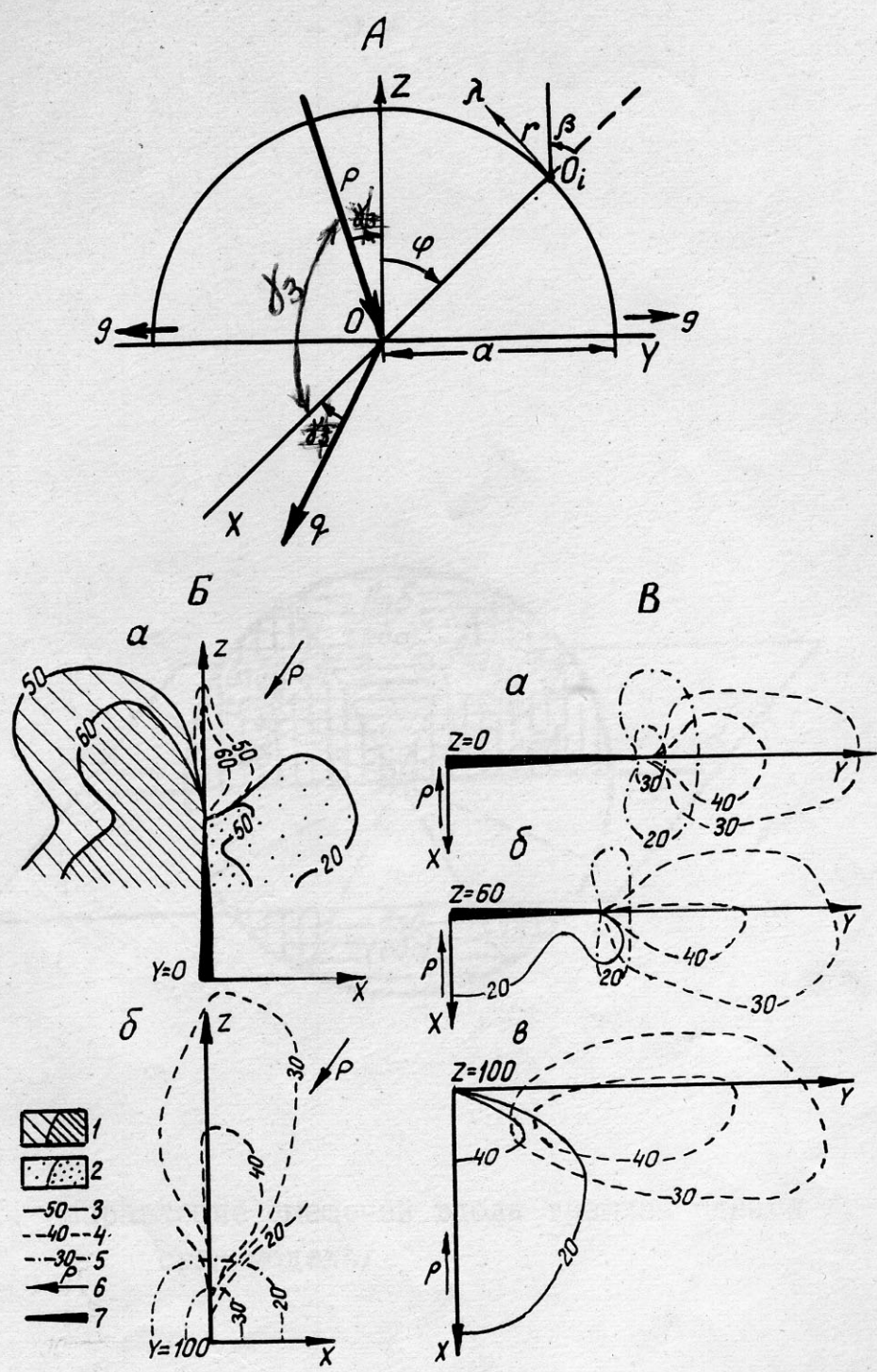


Рис. 5. Системы координат, внешняя сила и напряжения в окрестностях круглой трещины. А-схема расположения трещины, сил и напряжений. Б-расчетные поля напряжений на координатных плоскостях ZOX при $Y=0/a$ и при $Y=100/b$. 1-сектор сжатия; 2-сектор растяжения; изолинии: 3- σ_{xx} и σ_{yy} ; 4- τ_{xy} ; 5- τ_{yz} ; 6-внешняя сила; 7-трещина. В-расчетные поля напряжений в серии горизонтальных сечений трещины при $Z=0/a$, $Z=60/b$, $Z=100/v$

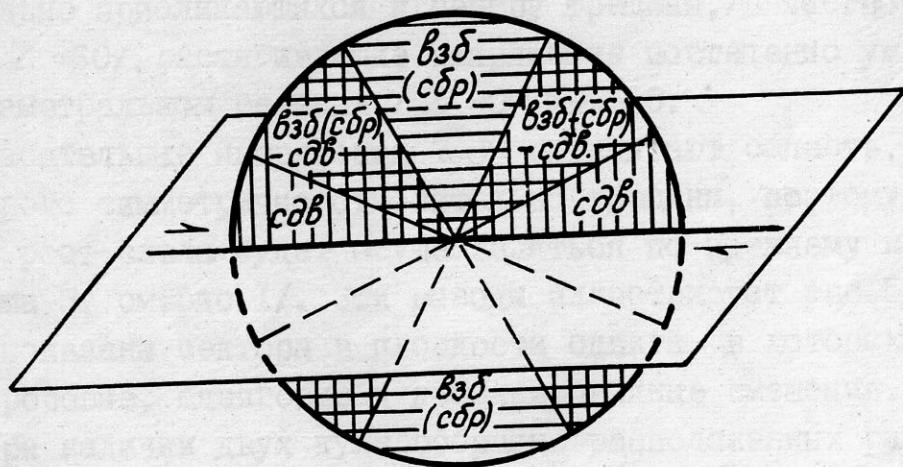


Рис. 5, Г. Направление смещений вдоль трещины сдвига /теоретическая модель/

тические и синтетические сколы соответственно.

Из рис. 5, В можно сделать вывод, что сектор растяжения возникает только с тыловой по отношению к ориентировке внешней силы стороны плоскости, в которой растет трещина. Растягивающие напряжения в этом секторе достигают максимума в сечении $Z = 100$, т.е. касающемся края трещины. Таким образом, можно утверждать, что асимметричное расположение секторов сжатия и растяжения у края трещины в плоскости, в которой действует внешняя сила /в нашем случае ZOX / будет стимулировать появление трещин второго порядка, расположенных косо по отношению к основному разрыву /системы 1 и 2, см. рис. 1/. В серии сечений, последовательно приближающихся к центру трещины, /в частности, в сечении $Z = 60$ /, растягивающие напряжения постепенно уменьшаются и в диаметральной сечении / $Z = 0$ / $\sigma_{рас} = 0$.

Касательные напряжения $\tau_{\beta\lambda}$ охватывают область, расположенную строго симметрично относительно трещины, поэтому в плоскости XOY рост скола будет осуществляться по прежнему направлению /система 3, см. рис. 1/. Эти выводы иллюстрирует рис. 5, Г, на котором показаны сектора в плоскости сдвига, в которых реализуются взбросовые, сдвиговые и комбинированные смещения.

При наличии двух кулисообразно расположенных разрывов необходимо суммировать тензоры напряжений, рассчитанные для каждой трещины в самостоятельной цилиндрической системе координат. Для этого необходимо привести эти тензоры к прямоугольным системам координат с параллельными одноименными осями, в нашем случае - к прямоугольным системам координат $OXYZ$, отдельной для каждой трещины. Таким образом, суть второго этапа математического моделирования составляет решение задачи определения полного тензора напряжений в любой точке пространства в окрестностях двух кулисообразно расположенных разрывов.

Вначале определим координаты точки O_i в прямоугольных системах $OXYZ$, отдельных для каждой трещины:

$$X_{O_i} = 0; Y_{O_i} = a \sin \varphi; Z_{O_i} = a \cos \varphi \quad |1|$$

$$\text{Введем } z = X / \sin \beta; c = z \cdot \sin \beta; XT = z \cos \beta; YT = (a-c) \sin \varphi; \\ ZT = (a-c) \cos \varphi \quad |2|$$

Тогда направляющие косинусы N_{ij} систем $O_i z \beta \lambda$ примут вид:

для оси z : $n_{11} = (X_{0i} - x)/z$; $n_{12} = (Y_{0i} - y)/z$; $n_{13} = (Z_{0i} - z)/z$;
 для оси, нормальной к плоскости λz : $n_{21} = (X_{0i} - XT)/z$;
 $n_{22} = (Y_{0i} - YT)/z$; $n_{23} = (Z_{0i} - ZT)/z$;
 для оси λ : $n_{31} = 0$; $n_{32} = \cos \varphi$; $n_{33} = \cos(\pi/2 - \varphi)$ } 13/

В выражениях /11/, /12/ и /13/ n_{ij} - направляющие косинусы систем $O_i z \beta \lambda$ относительно систем $OXYZ$ /соответственно порядку перечисления осей/; x, y, z - координаты точки d , в которой определяются напряжения в системах $OXYZ$; z - расстояние от точки O_i до точки d .

Знание направляющих косинусов n_{ij} позволяет осуществить преобразование компонентов тензоров напряжений при повороте координатных осей по закону :

$$\sigma_{kq} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 (n_{ki} n_{qj} \sigma_{ij}), \quad /14/$$

где $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$ - нормальные напряжения по осям X, Y, Z или α, β, λ соответственно; σ_{12}, σ_{13} и т.д. - касательные напряжения на плоскостях XOY, XOZ и т.д., или $\alpha\beta, \alpha\lambda$ и т.д.; k и q принимают значения 1, 2, 3.

После преобразования тензоров напряжений от обеих трещин в системы $OXYZ$ с параллельными одноименными осями можно осуществить их сложение и определить суммарный тензор σ_{kq} :

$$\sigma_{kq} = \sigma'_{kq} + \sigma''_{kq} \quad /15/$$

где σ'_{kq} и σ''_{kq} - соответственно тензоры напряжений от первой и второй трещин, k и q принимают значения 1, 2, 3.

Главные напряжения в точке d определяются как корни кубического уравнения : $\sigma^3 - \sigma^2 J_1 + \sigma J_2 - J_3 = 0$, /16/

где J_i / $i = 1, 2, 3$ / - инварианты тензора, определяемые по формулам:

$$\left. \begin{aligned} J_1 &= \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}, \\ J_2 &= \sigma_{11}\sigma_{22} + \sigma_{22}\sigma_{33} + \sigma_{33}\sigma_{11} - \sigma_{12}^2 - \sigma_{23}^2 - \sigma_{31}^2, \\ J_3 &= \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} + 2\sigma_{12}\sigma_{23}\sigma_{31} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{31}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2 \end{aligned} \right\} /17/$$

По известным главным напряжениям можно определить их направляющие косинусы из системы уравнений :

$$\left. \begin{aligned} (\sigma_{11} - \sigma_g)l + \sigma_{12}m + \sigma_{13}n &= 0, \\ \sigma_{31}l + (\sigma_{12} - \sigma_g)m + \sigma_{23}n &= 0, \\ \sigma_{31}l + \sigma_{32}m + (\sigma_{33} - \sigma_g)n &= 0, \\ l^2 + m^2 + n^2 &= 1 \end{aligned} \right\} /18/$$

где σ_g - одно из главных напряжений; l, m, n - направляющие косинусы линий действия главных напряжений относительно

осей системы $OXYZ$ соответственно. Решая эту систему методом подстановки, получим

$$n = \left\{ \left[\frac{(\sigma_{12}(-\sigma_{13}\sigma_{21} - \sigma_{23}(\sigma_9 - \sigma_{11}))) + \sigma_{13}}{(\sigma_9 - \sigma_{11})(\sigma_{22} - \sigma_9) + \sigma_{21}\sigma_{12}} : (\sigma_9 - \sigma_{11}) \right]^2 + \left[\frac{-\sigma_{13}\sigma_{21} - \sigma_{23}(\sigma_9 - \sigma_{11})}{(\sigma_{22} - \sigma_9)(\sigma_9 - \sigma_{11}) + \sigma_{21}\sigma_{12}} \right]^2 + 1 \right\}^{-1/2}; \quad m = \frac{n[-\sigma_{13}\sigma_{21} - \sigma_{23}(\sigma_9 - \sigma_{11})]}{(\sigma_{22} - \sigma_9)(\sigma_9 - \sigma_{11}) + \sigma_{21}\sigma_{12}}; \quad \rho = \frac{\sigma_{12}m + \sigma_{13}n}{(\sigma_9 - \sigma_{11})} \quad /9/$$

Подставляя в /9/ вместо σ_9 последовательно величины всех трех главных напряжений, получим направляющие косинусы для них, что позволяет построить траектории $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Направляющие косинусы нормалей к площадкам развития трещин скалывания должны отвечать следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} t_1 l_3 + t_2 m_3 + t_3 n_3 &= 0,5 \\ t_1 l_2 + t_2 m_2 + t_3 n_2 &= 0 \\ t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 &= 1 \end{aligned} \right\} /10/$$

где t_i / $i=1,2,3$ / для осей X, Y, Z соответственно / - направляющие косинусы нормалей; l_i, m_i, n_i / $i=2,3$ для σ_2 и σ_3 соответственно / - направляющие косинусы главных напряжений.

Первое уравнение системы /10/ выражает тот факт, что площадки развития вторичных сколов составляют с осью σ_3 угол скалывания $\gamma_3 = 30^\circ$, принятый по условию. Согласно второму уравнению ось σ_2 совпадает с линией пересечения вторичных сколов.

Решая систему /10/ подстановкой, приходим к квадратному уравнению относительно t_3 . Для упрощения записи обозначим

$$V = m_2 - \frac{m_4 l_2}{l_1}; \quad W = \left(\frac{n_1 l_2}{l_1} - n_2 \right) : V;$$

тогда коэффициент при t_3^2 уравнения равен $W^2 + \frac{1}{l_1^2} (W m_1 + n_1)^2 + 1$,

коэффициент при t_3 : $-\frac{l_2 W}{l_1 V} - \frac{1}{l_1^2} \left(1 + \frac{l_2 m_4}{l_1 V} \right)^2 (W m_1 + n_1)$

и свободный член: $\left(\frac{0,5 l_2}{l_1 V} \right)^2 + \left(1 + \frac{l_2 m_4}{l_1 V} \right)^2 \frac{0,25}{l_1^2} - 1$

Решение квадратного уравнения дает два значения t_3 . Подставив их поочередно в выражения $t_2 = -\frac{0,5 l_2}{l_1 V} + t_3 W$ и $t_1 = \frac{0,5}{l_1} - \frac{t_2 m_1}{l_1} - \frac{t_3 n_1}{l_1}$,

получим направляющие косинусы нормалей к площадкам развития вторичных сколов, что позволяет сориентировать эти площадки в пространстве, т.е. определить пространственное положение ожидаемых вторичных трещин скалывания периода активизации ранних кулисообразных разрывов.

Расчеты по программе, составленной на основе приведенного выше алгоритма, выполнены на ЭВМ ЕС-1035 в ВЦ Ленинградского горного института. В различно ориентированных сечениях деформируемого массива с трещинами определялись интенсивность главных нормальных напряжений σ_1 и σ_3 , касательных напряжений τ , а также пространственная ориентировка трещин скалывания второго порядка. Все расчеты выполнены при двух значениях угла $\chi_3 - 30$ и 60° .

Рассмотрим в качестве примера диаметрально сечение массива в координатной плоскости ZOX , т.е. при $Y=0$ при значении угла $\chi_3=30^\circ$ /рис.6,а/. Анализ картины интенсивности напряжений σ_3 /рис.6,б/ и σ_1 /рис.6,в/ обнаруживает хорошую сходимость результатов математического моделирования с данными тектоникофизических экспериментов [5,7]. В частности, отчетливо видна концентрация сжимающих напряжений σ_3 во фронтальных частях и растягивающих напряжений σ_1 - в тыловых частях перемещающихся вдоль разрывов блоков. Локализация областей повышенных значений касательных напряжений τ /рис.6,г/ свидетельствует о том, что сколы второго порядка будут предпочтительнее возникать вблизи окончаний кулис и на участке их перекрытия. Обе системы этих сколов являются поперечными по отношению к ранним кулисообразным разрывам, одна из них крутая, другая - пологая /рис.6,д/. Интервалы вторичных сколов, расположенные в контуре повышенных значений σ_1 /см.рис.6,в/, т.е. в области разуплотнения среды, в период рудообразования имеют наибольшие шансы сыграть роль рудных ловушек.

Распределение напряжений и ориентировок ожидаемых трещин скола второго порядка свидетельствует о том, что при неизменном направлении и величине приложенной внешней силы поле тектонических напряжений и вызываемые ими разрывные нарушения в разных частях массива существенно различны. Иллюстрацией этого могут служить рис.7-9, на которых для 9 сечений показаны области повы-

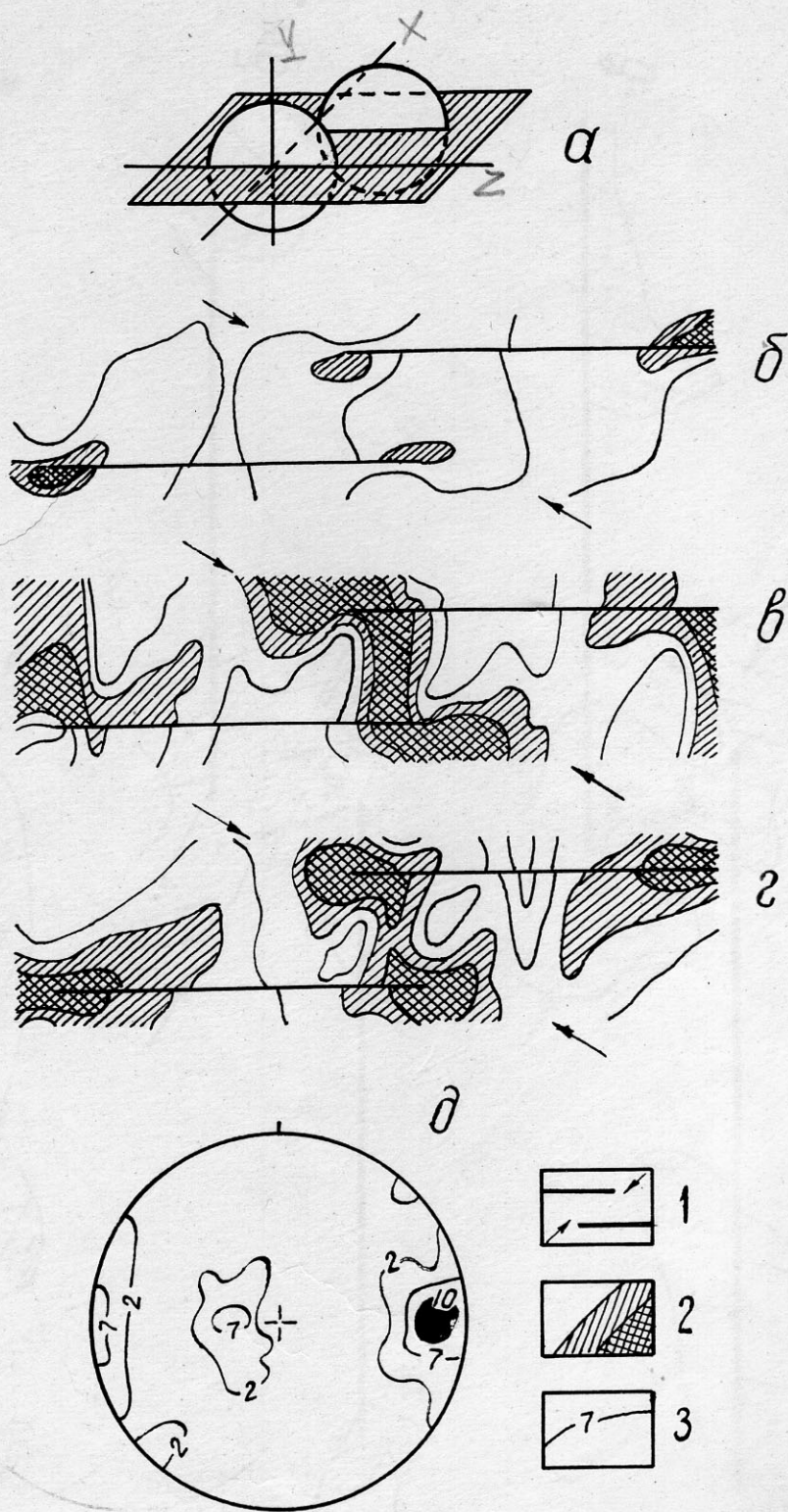
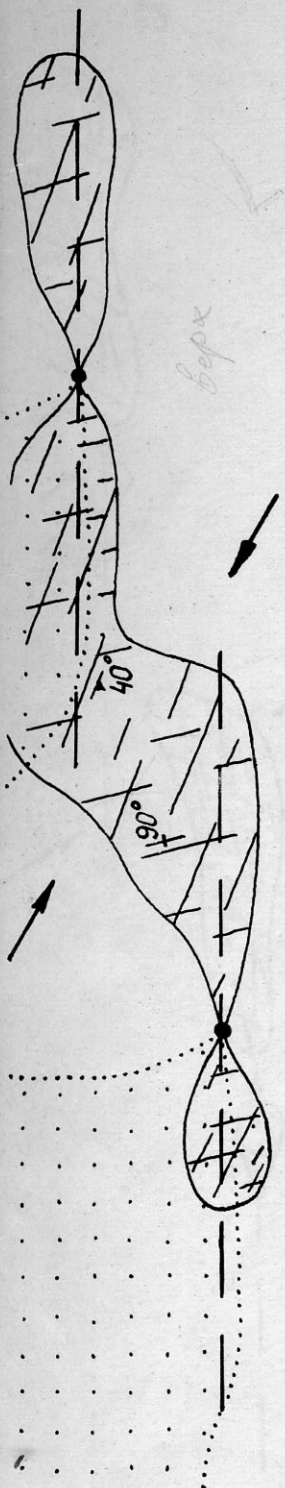


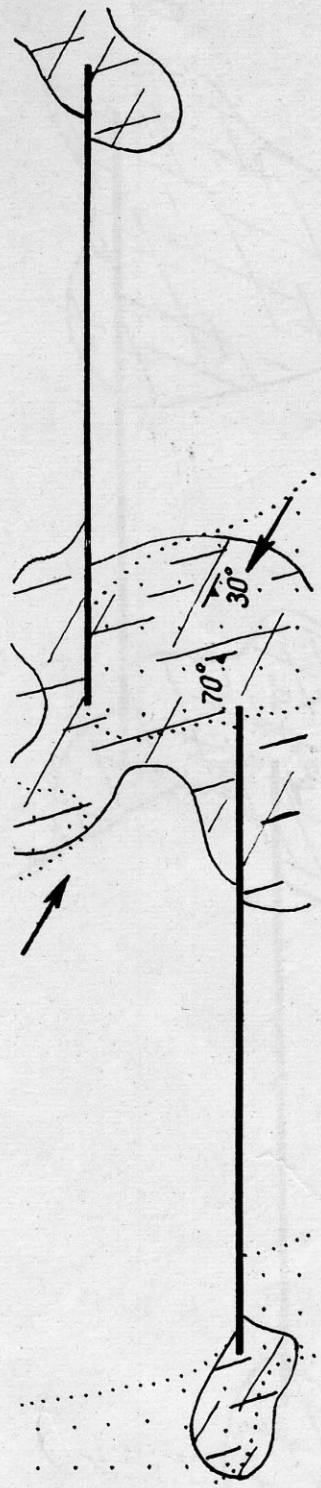
Рис.6. Диаметральное сечение кулисообразно расположенных трещин в зоне сдвига / $\chi_3 = 30^\circ$ /. а-схема расположения трещин; интенсивность напряжений σ_3 / σ_1 , σ_1 / ν и τ / γ ; ориентировка вторичных сколов. 1-разрывы и внешняя сила; 2-интенсивность напряжений; 3-изолинии плотности точек / проекций сколов / на стереограмме

границей разрыва
141.

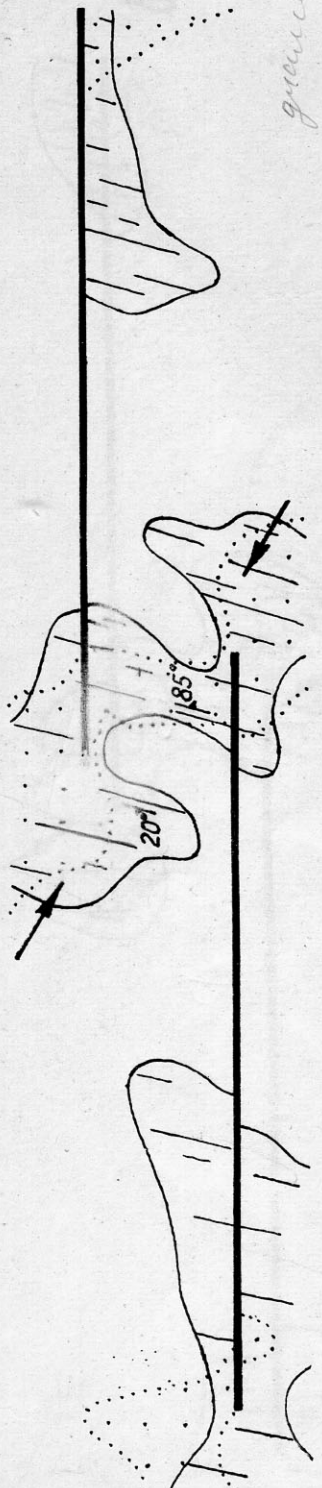
а



б



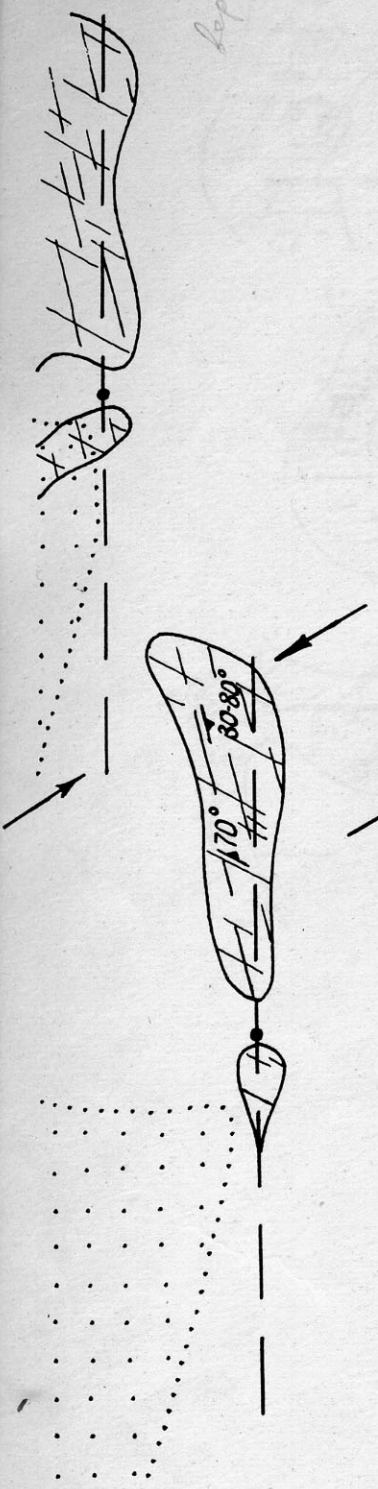
в



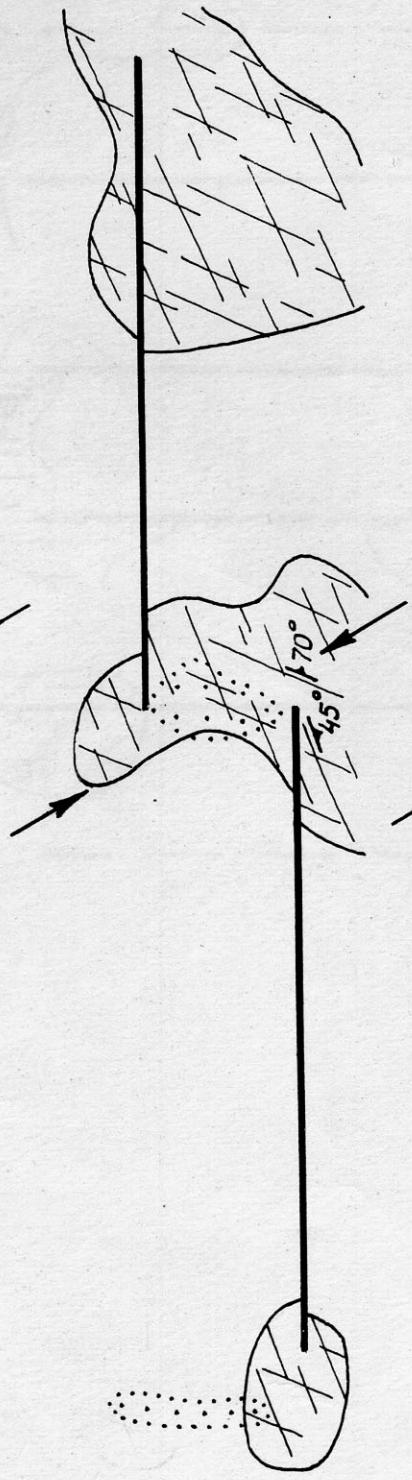
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

a

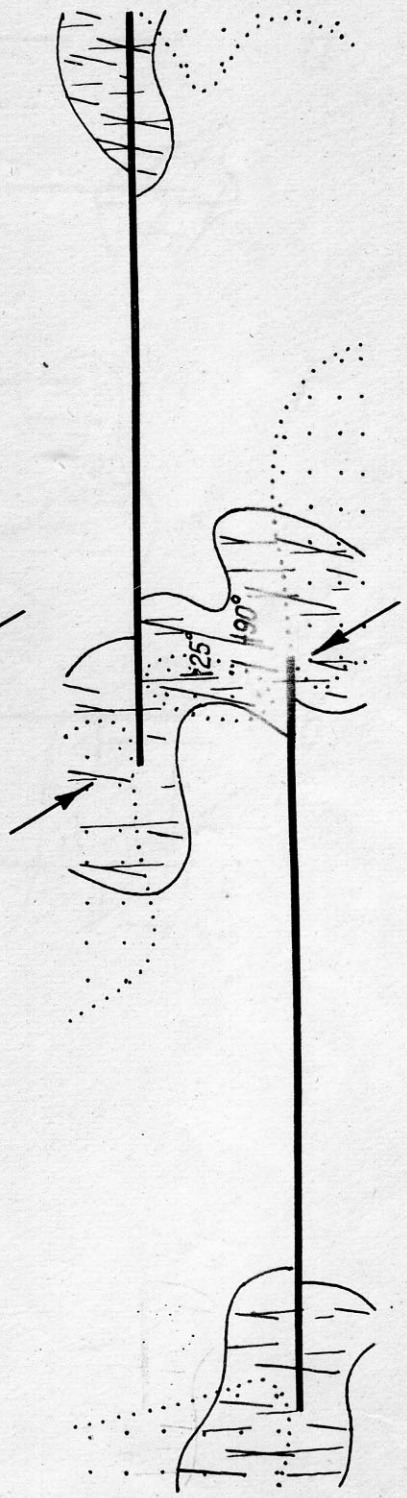
лепа



б



б



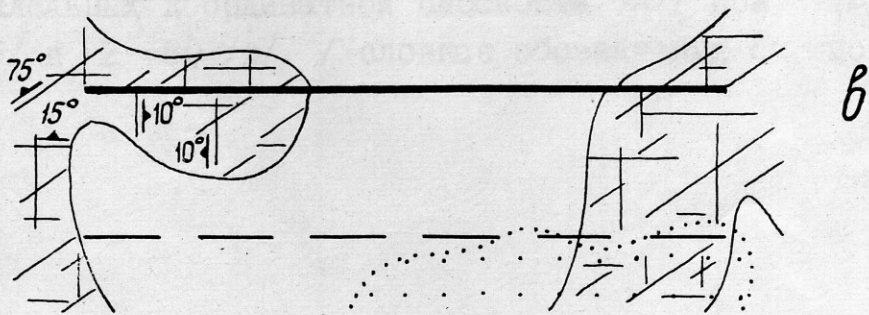
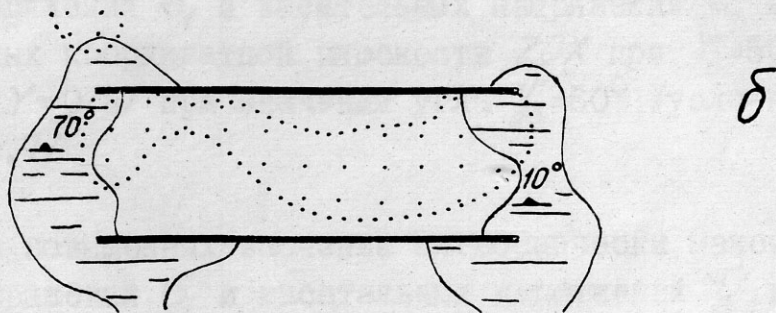
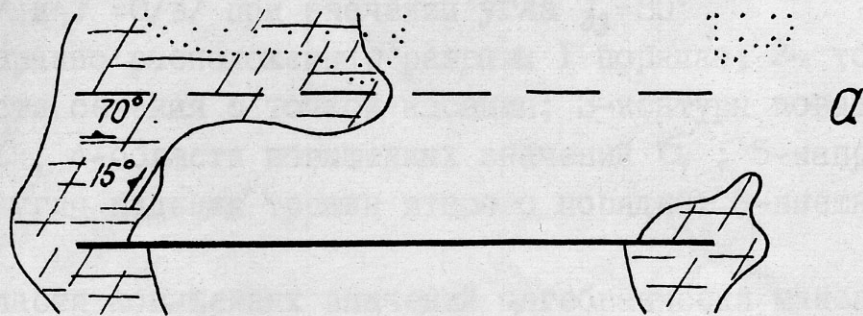


Рис.7. Области повышенных значений алгебраически максимальных нормальных напряжений σ_1 и касательных напряжений τ в сечениях, параллельных координатной плоскости ZOX при $Y=50$ /а/, $Y=25$ /б/ и $Y=0$ /в/ при значении угла $\chi_3=30^\circ$

1-кулисообразно расположенные разрывы I порядка; 2- то же ниже плоскости сечения с точкой касания; 3-контуры повышенных значений τ ; 4-области повышенных значений σ_1 ; 5-направление и средние углы падения трещин второго порядка; 6-внешняя сила

Рис.8. Области повышенных значений алгебраически максимальных нормальных напряжений σ_1 и касательных напряжений τ в сечениях, параллельных координатной плоскости ZOX при $Y=50$ /а/, $Y=25$ /б/ и $Y=0$ /в/ при значении угла $\chi_3=60^\circ$ /условные обозначения см.рис.7/

Рис.9. Области повышенных значений алгебраически максимальных нормальных напряжений σ_1 и касательных напряжений τ в сечениях, параллельных координатной плоскости XOY при $Z=10$ /а/, $Z=40$ /б/ и $Z=80$ /в/. /Условные обозначения см.рис.7/

шенных значений касательных напряжений и ориентировка ожидаемых вторичных сколов. Видно, в частности, что если в диаметральных сечениях кулисообразных разрывов $/ Y = 0 /$ преобладают поперечные вторичные сколы /система 4, см. рис. I/, то в сечениях, параллельных той же плоскости ZOX , но расположенных ближе к краю кулис $/ Y = 25$ и $Y = 50 /$ существенную роль играют диагональные сколы /системы I и 2, см. рис. I/. Важно также отметить, что направление диагональных сколов при изменении величины угла $\gamma_3 / 30^\circ$ и $60^\circ /$ меняется на противоположное. Расчет, выполненный для значения $\gamma_3 = 45^\circ$, показал равную вероятность появления систем I и 2 вторичных сколов.

В сечениях, параллельных координатной плоскости XOY , обращает на себя внимание накопление касательных напряжений τ у концов кулисообразных разрывов, реализация этих напряжений приводит к возникновению уже отмеченных систем вторичных сколов.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что математическая модель поля напряжений периода активизации в условиях сдвига массива, ослабленного кулисообразными разрывами, позволяет локализовать области концентрации главных нормальных напряжений σ_1 и σ_3 , касательных напряжений τ и в пределах последних определять ориентировку ожидаемых вторичных сколов. В диаметральных горизонтальных сечениях на окончаниях сдвигов преимущественное развитие получают поперечные сколы двух систем - крутой и относительно пологой. В сечениях, параллельных диаметральным, но удаленных к краям разрывов первого порядка, парагенезис вторичных сколов усложняется - к поперечным присоединяются диагональные нарушения, направление которых в плане зависит от ориентировки вектора внешней силы, а углы падения варьируют в широких пределах. Результаты применения модели хорошо согласуются с данными полевых наблюдений и тектонофизических экспериментов.

Литература

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975, 536 с.
2. Лир Ю.В., Шакин С.С., Кистеров К.В. Особенности развития рудовмещающих трещинных структур. - Геология рудных месторождений, 1982, № I, с.23-30
3. Лир Ю.В., Карякин И.А. Рудные тела - "Лидеры" оловорудных месторождений. - Зап.ЛПИ, 1983, т.95, с.96-103
4. Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М., Наука, 1965. 211 с.
5. Осокина Д.Н., Цветкова Н.Ю. Метод моделирования локальных полей напряжений в окрестностях тектонических разрывов и в очагах землетрясений. В кн.: Поля напряжений и деформаций в литосфере. М., Наука, 1979, с.139-162
6. Парфенов В.Д., Жуковский С.Д. Моделирование хрупкого разрушения. - Геотектоника, 1966, № 4, с.112-117
7. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М., Наука, 1977. 144 с.
8. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск, Наука, 1983, 111 с.
9. Chinnery M.A. Secondary faulting. "Canad. J. Earth Sci.", 1966, vol.3, N2, p.163-190
10. Hancock P.L. The analysis of en echelon veins. "Geol. Mag.", 1972, vol.109, N3, p.269-276
11. Shainin V.E. Conjugate of en echelon tension fractures in the Athens limestone at Riverton, Virginia. "Bull. Geol. Soc. Am.", 1950, vol.61, N6, p.509-517
12. Skempton A.W. Some observations on tectonic shear zones. In: Proc. I Cong. Intern. Soc. Rock Mech., vol. I, 1966, p.329-335