УДК 551.21

С.С.Шакин

ДИСКРЕТНОСТЬ РАЗРЫВНЫХ ЗОН СЖАТИЯ И НАГНЕТАНИЯ

Дается определение зон (дизъюнктивов) сжатия и нагнетания и способы их полевой диагностики. Установлено внутреннее строение таких дизъюнктивов в виде подобных элементов - ячеек. Рассмотрено типичное строение ячеек, зависимость строения от вязкости среды, ориентировка участков проницаемости в ячейках. Приведены примеры месторождений с такими структурами.

The paper gives definition of fault compression zones and fault pump zones with methods of their field diagnostics. It establishes internal construction of such zones as similar elements called cells. The author discribes typical structure of cells and its dependence on ductility of material and also examples of deposits with such structures.

Разрывная зона (разлом, разрыв) - вид тектонического нарушения, сопровождаемого перемещением разорванных геологических тел друг относительно друга. Однако и сама зона является трехмерным геологическим телом, имеющим определенное внутреннее строение. Под дискретностью автор понимает такой вид внутреннего устройства разрывной зоны,при котором она состоит из ряда примерно одинаково построенных элементов. Эти элементы имеют, в свою очередь, некоторую форму и строение. Форма и строение элементов разрывных зон, формирующихся в условиях сжатия и нагнетания ("потока" вещества, параллельного действующей силе), и являются предметом обсуждения в настоящей статье.

1.Разрывные зоны сжатия: определение и полевая диагностика

Традиционно в тектонофизике и структурной геологии применяют понятия из механики твердого деформируемого тела - тензор напряжений и деформаций. Тензор напряжений можно задать девятью напряжениями (силами на единицу площади), действующими на гранях некоторого произвольно ориентированного элементарного кубического элемента

деформируемой среды. Из этих напряжений три - $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$, перпендикулярные граням, являются нормальными (сжатие-растяжение), а шесть - касательными (сдвиги в некоторой плоскости по направлению). Причем касательные напряжения с одинаковыми индексами (например, τ_{12} и τ_{21}) равны.

Если выделить элементарный кубический объем в той же точке иным способом, то напряжения, действующие от внешних сил на грани данного элементарного объема, перераспределятся и будут другими. При повороте элементарного объема сохраняются неизменными только особые комбинации напряжений - инварианты, которые для целей данной работы не существенны.

В механике доказано, что всегда может быть найдено такое положение элементарного кубического объема, при котором растягивающее и сжимающее напряжения максимальны по абсолютной величине. Оси X_1, X_2, X_3 в этом положении называются осями главных нормальных напряжений (или осями эллипсода напряжений), а напряжения по осям X_1, X_2, X_3 называются главными напряжениями. Главные напряжения ранжируются по величине, причем в отечественной тектонофизической литературе принято обозначать максимальное сжимающее σ_3, минимальное сжимающее или растягивающее - σ_1, а в физике твердого тела и англоязычных работах - наоборот. Среднее главное нормальное напряжение называется σ_2. Соотношение напряжений по главным осям называется напряженным состоянием. Грубо выделяют три вида напряженного состояния: $|\sigma_3| > |\sigma_1|$ - сжатие; $|\sigma_3| \cong |\sigma_1|$ - чистый сдвиг; $|\sigma_3| < |\sigma_1|$ - растяжение. Деформация сдвига в напряженном состоянии сжатия или растяжения называется простым сдвигом. Выделяемый элементарный объем может быть любого размера.

В данной работе с т р у к т у р а м и с ж а т и я называются структуры, которые при образовании испытали напряженное состояние сжатия.

Способов диагностики напряженного состояния при геологических наблюдениях довольно много. Во-первых, можно определить напряженное состояние, вызываемое внешними силами, в участках слабого влияния формирующихся структур, используя для этого, например, кинематический метод О.И.Гущенко [27] или микроструктурный анализ [9].

Во-вторых, можно определить напряженное состояние по индикаторам деформации, как в самой формирующейся

структуре, так и в ее окружении, принимая линейный характер связи напряжения с продуцируемой им деформацией. В англоязычной литературе они рассматриваются как индикаторы состояния чистый сдвиг - простой сдвиг. В зонах простого сдвига наблюдается ротация и тени давления различных жестких включений в основной породе: от отдельных минералов до ксенолитов и обломков [32]. Кроме того, в этих условиях наблюдается вращение самих структур в процессе роста, в частности поверхности сместителей. В напряженном состоянии чистого сдвига разрыв должен представлять собой плоскость. Это следует, в частности, из симметричности поля касательных напряжений вокруг кончика сдвиговой трещины, растущей за счет касательных напряжений [13]. Разрывы по деформации сдвига со сжатием должны иметь изогнутую поверхность в связи с отсутствием подобной симметрии. Изгибы при кручении приблизительно прямолинейных до деформации объектов также могут служить индикатором простого сдвига.

Следующим видом индикаторов может служить строение разрывных зон в интересующем объеме [34]. Автору наиболее вероятным представляется присутствие в зонах чистого сдвига только элементов, параллельных или перпендикулярных плоскости зоны.

Специфические структуры (текстуры) также могут являться индикаторами определенного напряженного состояния. Такими структурами для зон растяжения являются брекчии, а для зон сжатия - текстуры течения вещества . Конечно, это относится только к преобладающей структуре (текстуре), так как в любой разрывной зоне есть локальные участки разных напряженных состояний.

Типичными структурами зон сжатия можно считать также C-S-текстуры (структуры) и дуплексы. C-S-структуры - особое строение милонитов, зон сдвига при сжатии [17, 31], когда одна плоскость листоватости ориентирована параллельно основному сдвигу (C-листоватость), а вторая (S-листоватость) расположена к нему под некоторым углом. По внушающим доверие наблюдениям [31], угол между S и C тем меньше, чем ближе к чистому сдвигу напряженное состояние при формировании структуры. Дальнейшим развитием зон C-S- структур являются дуплексы сжатия, где по S-листоватости развиты сдвиги второго порядка [29].

Индикаторами вида напряженного состояния могут быть также более простые соотношения между трещинами в горных породах, чем в кинематическом методе О.И. Гущенко. С.И. Шерманом с соавторами [18] показано, что для

областей сжатия характерно как наличие трех примерно перпендикулярных друг другу систем сопряженных трещин, так и угол более 90^0 между сопряженными трещинами.

Особым видом индикаторов напряженного состояния являются физические свойства горных пород. Л.И. Звягинцев [8] показал, что в одних и тех же породах с увеличением всестороннего давления пористость уменьшается, а плотность увеличивается. В областях растяжения при гравитационной съемке наблюдался эффект снижения плотности горных пород [25].

2. Ячейка расплющивания - элемент дискретности зон разрывов со сжатием

Рассмотрение разрывов как трехмерных геологических тел принято геологами достаточно давно. Внутренняя их дискретность по простиранию и падению тоже отмечается достаточно давно,из последних можно назвать работы Р.М.Лобацкой [14]. Однако выражение регулярной дискретности в объеме даже в этих последних работах не рассмотрено.

Автор считает, что строение разрывных зон как по простиранию, так и по падению имеет некоторую периодичность, симметрию трансляции, которая выражается в примерно одинаковом устройстве разных участков разрывной зоны. Таким образом, разрывную зону как трехмерное тело можно представить состоящей из некоторого количества примерно одинаково построенных блоков - ячеек близких размеров. Эти ячейки должны иметь некоторую симметрию, соответствующую симметрии внешних сил, формировавших разрыв. Большинство разрывов сжатия с точки зрения механики - это области пластичного сдвигового течения, ориентированные под некоторым углом к основному сжатию. Таким образом, каждый из возникающих элементов дискретности должен иметь центр инверсии в плоскости, перпендикулярной формирующейся разрывной зоне, в которой лежат основные сжимающие усилия (рис.1, плоскость XZ), т.е. при повороте на 180^0 вокруг оси Y происходит самосовмещение фигуры. Ячейка также должна иметь плоскость симметрии XZ (рис. 1), как и формирующая ее система внешних сил.

Физический (или можно сказать тектонофизический) смысл появления элементов дискретности в виде ячеек состоит в растекании вещества вдоль сдвиговой зоны. Зону разлома можно представить как зону пониженной вязкости, по

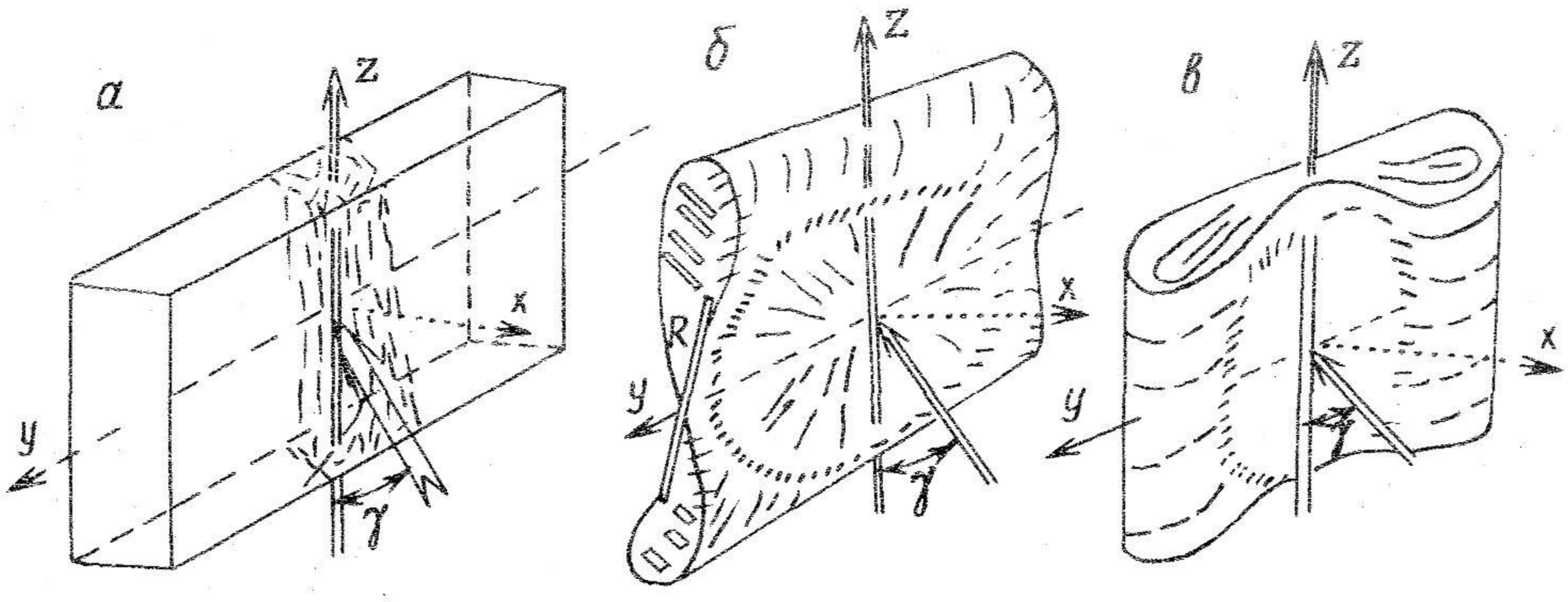


Рис.1. Строение ячейки расплющивания: а - в жесткой среде; б - в среде средней жесткости; в - в сравнительно вязкой среде

1 - с высокой жесткостью среды; 2 - средней; 3 - малой; 4 - оси ячейки; γ - угол приложения силы

которой, как по смазке, движутся контактирующие жесткие блоки. Такая модель пригодна и для современных разломов Средней Азии [12], и для древних разломов Украины [10]. Наклоненные в плоскости XZ силы (рис.1), приложенные к жестким блокам, можно разложить на две составляющие: параллельную зоне и обеспечивающую смещение блоков, передвигающую блоки, и перпендикулярную зоне, "расплющивающую" ее. Под действием этого расплющивания в сдвиговой зоне начинается растекание вещества, аналогичное явлению будинажа. В результате формируются будины, и являющиеся ячейками расплющивания. Их строение зависит главным образом от того, насколько пластичен материал зоны разлома. Второстепенным фактором является угол приложения силы (рис.1). При сравнительно жестком материале возникают области растяжения-разрыва, аналогичные структурам оловорудных месторождений Сихотэ-Алиня [24].

При малой вязкости (рис. 1, в) материал зоны начинает течь, и область максимального давления прогибается, приобретая дугообразную форму. В центре ячейки происходит утонение разрывной зоны с перемещением материала на края вдоль оси Y, где формируются раздувы с отслоениями, в которых локализуются участки максимальной проницаемости. При этом же процессе формируются тектонические клинья в виде капель , расширенных в направлении течения [5, 11].

Таким образом, структура ячейки расплющивания и положение в ней участков максимальной проницаемости зависит от вязкости вещества зоны. Для "жестких" зон участки повышенной проницаемости находятся в центре ячейки, они параллельны основному перемещению и испытывают пережим на границах ячейки. Для зон средней вязкости максимальная

проницаемость смещается на границу ячейки, в лобовой промежуток между ячейками, где ее зона расположена перпендикулярно основному вектору смещения. Именно этот случай наиболее известен геологам [15]. При высокой вязкости основные участки проницаемости локализуются на боковых границах ячейки. Здесь области повышенной проницаемости опять параллельны основному перемещению (рис.1). Они могут возникать здесь по механизму отслаивания [3, 5].

Особым является вопрос о форме ячейки, т.е. о соотношении ее размеров по осям Y и Z. С одной стороны, этот вопрос решался на основе многочисленных детальных наблюдений в угольных шахтах [19]. Полученные результаты были перенесены затем без проведения детальных работ на золоторудные жильные месторождения [16]. Выяснено, что разрывы на угольных месторождениях имеют форму плоских эллипсов, ориентированных длинной осью перпендикулярно основному перемещению. Если бы наблюдаемые разрывы были разрывами сжатия, то ячейка расплющивания таких разрывов должна была вытягиваться по оси Y, так как весь разрыв и есть самая большая ячейка. Такую форму ячейки автор выявил на Центрально-Ломоносовском месторождении [26].

Однако подобная форма противоречит механике разрушения. Коэффициенты интенсивности напряжений при росте сдвига максимальны в лобовой части, т.е. трещина должна вытягиваться вдоль основного сдвига (ось Z) [2, 13]. Это противоречие в настоящее время сохраняется, и к тому же неизвестно влияние вязкости на форму ячейки. Поэтому, принимая наиболее вероятной вытянутость ячейки по оси Y, нельзя считать этот вопрос окончательно решенным.

Следующий вопрос, возникающий в связи с ячейками расплющивания, - вопрос о расположении их центров внутри разрывной зоны. Можно представить два наиболее простых варианта: прямоугольная сеть с короткими сторонами, параллельными основному перемещению, или "шахматный порядок" в плоскости зоны. Наиболее вероятен первый вариант, т. е. единая ось Z и Y для группы ячеек. Эта оценка базируется на наблюдении над формой сбрасывателя для разрывов Средней Азии. Ю.С.Шихин [28] установил, что в плоскости YX сечение конечного шва разрыва имеет форму волн, гребни которых параллельны оси Z. Эти волны своими гребнями фиксируют боковые границы ячеек, и отсутствие изгибов "шарниров" гребней говорит в пользу первого варианта расположения центров ячеек.

Конкретное выражение ячеек расплющивания в геологических структурах разнообразно. Во-первых, это чередование близпараллельных и близперпендикулярных участков мелких (следующего порядка по сравнению с основной зоной) сколов в сдвиговой зоне [22]. Участки последних соответствуют промежутку между ячейками.

Во-вторых, это дугообразная форма разрывов в плоскости XY. Естественный разрыв в плоскости XY обычно представлен серией дуг, каждая из которых является ячейкой расплющивания [28, 33]. Интересный пример принадвигового раздавливания, перпендикулярного направлению движения, приведен также в работе [23]. В работе [30] на полевом материале показано строение дуговых надвиговых ячеек расплющивания в плоскости YX. При этом отмечается интерференция двух направлений складчатости на границах ячеек, в зоне максимальной проницаемости при высокой пластичности.

В качестве примера реализации приведенной схемы рассмотрим золоторудное месторождение Совиное в принадвиговой зоне, детально изученное автором в составе экспедиции СПГГИ. Месторождение находится в Шмидтовском районе Чукотки. Вмещающими породами являются мезозойская песчано-сланцевая толща. Месторождение локализовано в принадвиговой полосе шириной около 200 м, главным образом в висячем крыле надвига. Изучение структурной и вещественной зональности надвиговой зоны проводилось на небольшом участке размером 200 x 200 м в северной части месторождения. Наблюдения выполнялись в трех квершлагах, перпендикулярных надвиговому шву.

Методика полевых исследований была ориентирована на изучение тектонофаций и выявление структурной зональности надвига на основе картирования структурно-тектонических индикаторов. В числе последних автором в поле были выделены интенсивность кливажа и трещины с бороздами скольжения. Результаты изучения кливажа в виде значений удельной трещиноватости пород были вынесены на графики и использованы для анализа зональности надвиговой зоны (рис.2), ориентировка трещин с бороздами скольжения обрабатывалась по методу О.И.Гущенко [27].

Для изучаемого блока выделено два этапа структурообразования. Первый этап - надвигоскладчатый, близширотное одноосное сжатие при высоком уровне пластичности. Течение вещества происходило либо вдоль линии максимального сжатия - нагнетания, либо в плоскости, перпендикулярной ему.



Рис.2. Строение северного блока месторождения Совиное. Графики вдоль квершлагов - интенсивность кливажа; X, Y, Z - проекции осей ячейки расплющивания

1 - пробы с кондиционным содержанием золота; 2 - характер деформации по данным ориентировки зерен кварца (а - сжатие, б - сдвиг, в - растяжение); 3 - наличие кристаллов карбоната, повернутых поздней деформацией; 4 - основной надвиговый шов; 5 - зоны развития трещин с горизонтальными подвижками; 6 - направление действия сжимающей силы

Второй этап - взбросово-сдвиговый, который в отличие от первого этапа характеризовался трехосным напряженным состоянием, в результате чего возникла пара трещин скалывания, ориентированная под углом около 30^0 к оси σ_3 и пересекающаяся по оси σ_2 .

Описанная последовательность подтверждается наличием более тонких борозд скольжения на трещинах первого этапа, что определяет бóльшую пластичность среды и соответственно более ранний возраст подвижек.

В целом вся совокупность перемещений на обоих этапах развития структуры может быть объяснена единой деформационной *схемой - сжатием в направлении восток-запад, причем*

сжимающая сила имела наклон на восток под углом 20-30^0.

Пространственное распределение изученной трещиноватости подчинено следующим закономерностям. Трещины первого этапа на изученном фрагменте месторождения развиты практически повсеместно, хотя их плотность волнообразно меняется при удалении от основного надвигового шва, примерно согласно с изменением плотности кливажа. Трещины второго этапа развиты не повсеместно, а только в пределах трех полос север-северо-восточного простирания (рис.2).

По своим литологическим свойствам породы, слагающие рудоносную толщу, относятся к образованиям типа терригенного флишоида. В изученной части разреза он представлен ритмичным переслаиванием песчаников, алевропесчаников и филлитовых сланцев, реже гравелитов с заметным преобладанием песчанистых разновидностей. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, а вблизи надвига подвержены интенсивным дислокационным преобразованиям с широким развитием складчатости, кливажа, катаклаза и зон кварцевого прожилкования.

В случае филлитовых сланцев замеры интенсивности кливажа не проводились, так как трещины кливажа плохо заметны в тонко сланцеватых породах и , кроме того, в связи с малой прочностью филлитов замеры по ним не сопоставимы с замерами в песчаниках.

Однако в филлитах есть другой индикатор деформации: повернутые кристаллы карбонатов. При исследовании разворота кристаллов распиловка образцов производилась вдоль видимых борозд скольжения на плоскостях сланцеватости. Если борозды отсутствовали, то выпиливались два шлифа во взаимно перпендикулярных направлениях. Поворот может быть измерен по следам сланцеватости, "запаянным" внутри кристалла и повернутым вместе с ним. Повернутые кристаллы имеют тени давления, т.е. обладают признаками поворота после кристаллообразования.

Наряду с кливажом, одним из результатов сжимающих напряжений пород может являться частичная перекристаллизация и связанный с этим разворот оптических осей некоторых минералов. Традиционно для исследования подобных явлений применяется микроструктурный анализ. Автором предпринята попытка изучения ориентировок оптических осей обломочного кварца песчаников. В целях экспрессности определения ориентировок проводились в "плоском" варианте метода, без применения федоровского столика, т.е. проецированием оптических осей на плоскость шлифа. В каждом шлифе

анализировалось положение осей 42 случайно выбранных зерен кварца относительно произвольно намеченного направления. Всего таким образом по квершлагу 36 было исследовано 49 шлифов. По результатам замеров строились розы-диаграммы.

Сравнение диаграмм между собой (в различных вариантах поворотов, учитывающих неориентированность шлифов) выполнялось на компьютере с помощью алгоритма В.Б.Вяткина [4]. В итоге было получено три группы диаграмм, отражающих микроструктурные особенности распределения осей зерен кварца и соответствующих различным тектонофациям напряженного состояния . Такое заключение базируется на ряде работ по микроструктурному анализу [9, 20], в которых показано существование конуса оптических ориентировок вокруг осей напряжений. Построенные диаграммы отличаются соотношениями интенсивностей разных пиков. На первой группе диаграмм выделяется один пик наибольшей интенсивности по направлению сланцеватости. Это типичная картина S-тектонитов, формирующихся в участках сжатия. Диаграмма второй группы имеет два максимума с углом 90^0 между ними, что соответствует B-тектонитам, образующимся в условиях равенства сжатия и растяжения (чистого сдвига). Диаграмма третьей группы характеризуется двумя пиками максимальной интенсивности, ориентированными поперек сланцеватости. Эти максимумы должны образовывать конус вокруг оси растяжения, т.е. подобная картина характерна для областей относительного растяжения. Сводная схема изученного участка показана на рис. 2.

Изложенные особенности строения северного блока месторождения Совиное позволяют сделать следующие выводы. Изученный участок представляет собой половину принадвиговой ячейки расплющивания с центром в районе квершлага 56. Ячейка изучаемого масштабного уровня сформировалась в два этапа. На первом этапе ячейка расплющивания изучаемого масштаба в виде четко проявленной структуры не существовала; перетекание пластичного вещества сопровождалось образованием более крупных или более мелких ячеек. При снижении вязкости горизонтальное растекание вещества сформировало ячейку изучаемого масштаба, проявив ее структуру в изменении интенсивности кливажа и закономерном расположении зон сдвиговых трещин. Центральная часть ячейки представляет собой сжатую зону слабой проницаемости и рудоносности. Краевая часть ячейки имеет повышенную проницаемость в связи с наличием относительного растяжения, что способствовало локализации в ней оруденения. Результаты разведки дают

основание предполагать наличие второй подобной зоны, симметричной относительно центра ячейки. Таким образом, месторождение представляет собой в структурном отношении одну принадвиговую ячейку расплющивания.

Золото локализуется в краевых участках ячейки, причем интенсивность золотого оруденения прямо коррелирует с удалением от центра.

3.Структуры нагнетания и их дискретность

Кроме "обычных" с точки зрения механики разрывных зон - сколов,ориентированных под углом скалывания (30-45^0) к основной сжимающей нагрузке, геологами отмечаются специфические структуры, располагающиеся перпендикулярно или параллельно основному сжатию. Из них структуры расплющивания, ориентированные перпендикулярно основной сжимающей нагрузке, были выделены Г.Д.Ажгиреем [1], и с тех пор их существование признается многими геологами. Парагенетическим аналогам данных структур, параллельным основному сжатию, "не повезло", нами впервые эти структуры определяются как специфические структуры н а г н е т а н и я.

В литературе встречается описание подобных структур, выявленных в парагенезисе с надвигами. В работе [6] они описаны на фронтах надвига перпендикулярно его простиранию (рис. 3); в статье [30] указано, что они разделяют надвиговые ячейки. Автор также наблюдал подобные структуры в малых формах на Центрально-Ломоносовском месторождении, где в керне скважин видна структура нагнетания, параллельная сжимающей силе.

Структура нагнетания обладает очень специфической дискретностью. Действующие сжимающие силы редко располагаются на одной прямой, чаще они образуют крутящую пару, приводящую к продольному кручению всей зоны. Возникают ячейки продольного кручения, как показано на рис.3. В результате образуются специфические полости отслоения, имеющие поворотную симметрию.

Типичными примером локализации месторождения в структуре нагнетания являются Соколовское скарново-магнетитовое месторождение (северный Казахстан). Оно расположено в Соколовско-Сарбайском рудном районе. Геология района и месторождения достаточно полно освещена в работах [7, 21]. Вмещающими породами на месторождении являются андезитовые и андезито-базальтовые порфириты , их туфы и

туфобрекчии; а также туффиты и известняки. В южной части месторождения расположен массив интрузивных диоритов. Вмещающие породы интенсивно проработаны, выделяются пирит-скаполитовые и пирит-альбитовые метасомати-

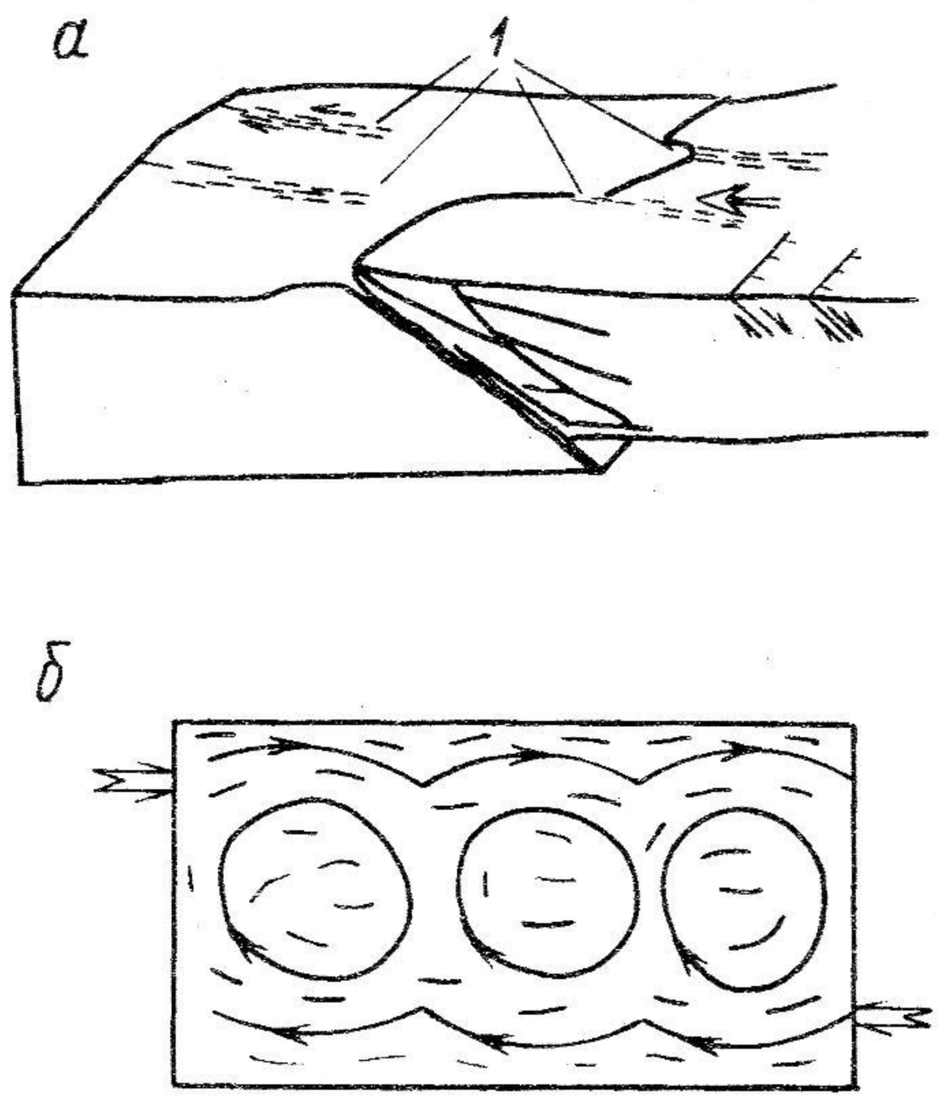


Рис.3. Структуры нагнетания в принадвиговом парагенезисе (а) и их продольное строение (б). Большими стрелками обозначены внешние нагрузки, малыми стрелками - направление перемещения вещества ("линии тока"), цифрой 1 - структуры нагнетания

ты.

Собственно месторождение локализовано целиком в субвертикальной разрывной зоне меридионального простирания мощностью около 300 м в центральной и южной части и до 650 м в северной части. Длина месторождения около 9 км. За пределы разрывной зоны рудные тела практически не выходят [7]. Н.И.Руденко [21], изучавший строение месторождения, считал рудовмещающую разрывную зону шарнирным сбросом с центром вращения в северной части месторождения. Эту точку зрения разделяют и другие исследователи . Автору она также кажется вполне соответствующей истине. Форма рудной залежи (рис.4) действительно близка к телу вращения в плоскости разрывной зоны (продольное вращение) с центром вращения в районе разведочной линии 57 - примерно там, где его помещал Н.И.Руденко. Прицентровая часть фигуры вращения близка по форме к типичным структурам продольного вращения.

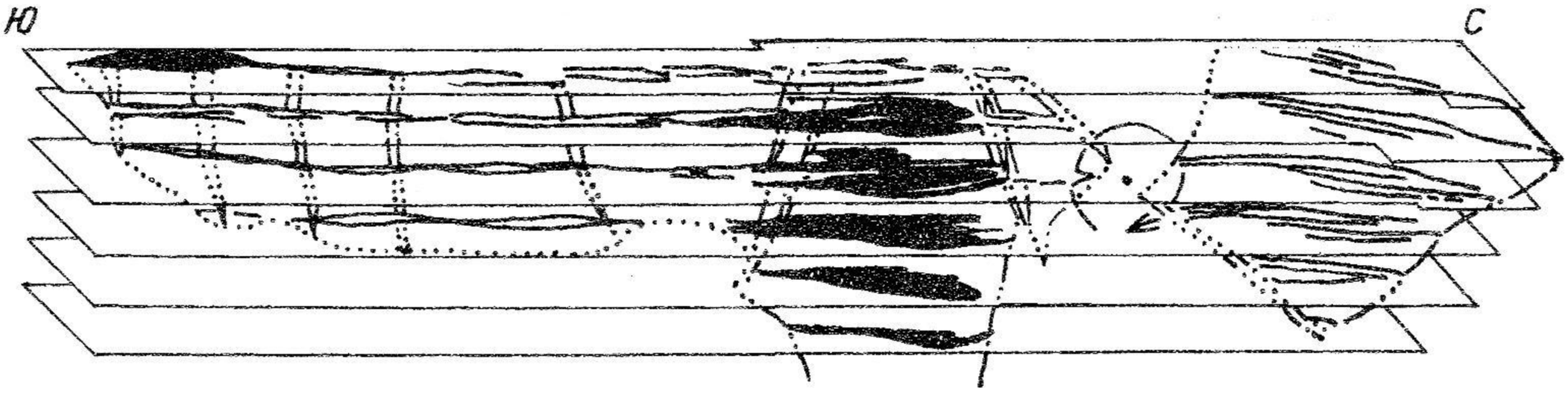


Рис.4. Блок-схема Соколовской рудной залежи (по Т.Б.Баяндарову), стрелкой показано направление вращения западного блока

Таким образом, можно заключить, что месторождение представляет собой одну ячейку продольного вращения радиусом около 7 км.

Следовательно, разрывные зоны как трехмерные геологические тела состоят из ряда примерно одинаково построенных элементов - ячеек. Форма и строение этих ячеек, ориентировка проницаемых участков в них, зависит от вязкости вещества зоны разрыва и ее ориентации относительно вектора основного сжатия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ажгирей Г.Д.* Структурная геология. М.: Изд-во МГУ, 1966.

2. *Брутяк А.Р., Гольштейн Р.В.* Статика и кинематик а пространственных трещин сдвига // Препринт Ин-та прикладной математики. 1985. № 88.

3. *Васильев Е.П., Мазукабзов А.М.* Парагенезис присдвиговых складок в южном обрамлении Сибирской платформы // Механизм формирования тектонических структур Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1977.

4. *Вяткин В.Б.* Информационный вес отражения и его возможности при прогнозно-геологических исследованиях// Количественный прогноз твердых полезных ископаемых/ КазИМС. Алма-Ата, 1990.

5. *Громин В.И.* Малые структурные формы и палеореологические реконструкции (на примере Восточного Забайкалья). М.:Наука, 1970.

6. *Доброжинецкая Л.Ф.* Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза.М.:Наука,1989.

7. Железорудные формации Зауралья. Свердловск: Изд-во УрО АН СССР,1988 .

8. *Звягинцев Л.И.* Деформация горных пород и эндогенное рудообразование. М.:Наука, 1978.

9. *Казаков А.Н.* Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.:Наука, 1987.

10. *Кобылянский В.Б.* Результаты моделирования разрывных нарушений и механизм разломообразования в земной коре Украинского щита: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал.наук/Ин-т геофизики АН УССР. Киев, 1990.

11. *Кулаковский А.Л.* Деформационная обстановка формирования месторождений скарново-магнетитовых руд/ Всесоюз.ин-т минерального сырья. М.,1991.

12. *Кучай В.К., Гусева Т.В.,Улашина С.А.* К геодинамике разломов//Изв.АН СССР, Сер. геол. 1981, N 10.

13. *Лир Ю.В., Шакин С.С.* Математическое моделирование напряжений на участке кулисообразных трещин//Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. N 9.

14. *Лобацкая Р.М.* Структурная зональность разломов. М.:Недра,1987.

15. *Малиновский Е.П., Чернышев В.Ф.* Геометрический анализ структуры рудных месторождений в дислоцированных слоистых толщах// Эндогенные рудные месторождения. М.:Наука, 1980.

16. *Мишин Н.И., Степина З.А.* Универсальная модель структуры рудных полей в приложении к месторождениям золота/Зап. Ленинградского горного ин-та. 1993. Т.137.

17. *Николя А.* Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992.

18. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия/С.И.Шерман, К.Ж.Семинский, С.А.Борняков и др. Новосибирск:Наука, 1994.

19. Разрывные нарушения угольных пластов / И .С. Гарбер, В.И.Григорьев, Ю.Н. Дупак. М.:Недра, 1979.

20. *Саранчина Г.М., Кожевников В.Н.* Федоровский метод. Л.:Недра, 1985.

21. Соколовское магнетитовое месторождение. Л.: Изд-во ЛГУ,1979.

22. *Стоянов С.С.* Механизм формирования разрывных зон. М.:Недра, 1977.

23. *Уилсон Д.* Геологические структуры малых форм.М.:Недра,1985

24. *Уткин В.П.* Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.:Наука, 1989.

25. *Филатов В.В., Кассин Г.Г.* Изучение дилатансионных процессов с помощью гравиметрии // Механизмы структурообразования в литосфере и сейсмичность . М.: Изд-во МГУ, 1991.

26. *Шакин С.С.* Механическая модель Центрально-Ломоносовского месторождения. Рукопись депонирована в ВИНИТИ 19.07.84. N 5217-84.

27. *Шерман С.И., Днепровский Ю.И.* Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989.

28. *Шихин Ю.С.* Геологическое картирование и оценка рудоносности разрывных нарушений. М.: Недра, 1991.

29. *Baer A.J.* The Grenville province as a shear zone // Nature. 1977. V.267. N 5609.

30. *Coward M.P., Potts G.J.* Strain patterns at frontal and lateral tips to shear and thrust zones // J. Struct. Geol.1983.Vol.5, N 3/4.

31. *Cymerman Z.* Rotational ductile deformations in the Snieznik metamorphic complex (Sudetes)//Kwart. geol. 1992.V.36.N 4.

32. *Hanmer S .* Natural rotated inclusions in non-ideal shear // Tectonophysics. V.176, N 3-4.

33. *Mandl G.* Mechanics of tectonic faulting. Model and basic concepts. Amsterdam:Elsevier, 1988.

34. *Sanderson D.J., Marchini W.R.D.* Transpression// J.Struct. Geol.1984.Vol.6.