ISSN 0135-3500. Зап. Ленингр. горного ин-та. 1990. Том 121.

УДК 551.243.3:553.2

Н.И.МИШИН, З.А.СТЕПИНА

СТРУКТУРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР

Рассматриваются структурно-геометрические особенности расположения золото-серебряных рудных тел жильного типа относительно рудоконтролирующих и рудовмещающих разломов. Предлагается схема локального прогноза скрытого оруденения на основе люминесцентного картирования околорудных кальцит-содержащих метасоматитов.

При изучении гидротермальных рудных месторождений жильного типа признается очевидным, что рудоотложению предшествовал процесс образования рудовмещающего дизъюнктива и сопутствующей ему трещиноватости. В связи с этим установление закономерностей пространственного распределения разрывных нарушений представляет непосредственный практический интерес при поисках и локальном прогнозе месторождений данного типа.

Основные характеристики дизъюнктивов были изучены на угольных месторождениях, поскольку стерильность угленосных толщ в отношении рудоконцентраций позволяет подойти к исследованию всех рангов нарушений с единых методических позиций. Наибольшее внимание уделялось малоамплитудной нарушенности как важнейшему негативному фактору, учет которого необходим при современной механизированной разработке угольных пластов [2, 3, 5, 8].

Важнейшие положения исследований заключаются в следующем:

1) единичное разрывное нарушение представляет собой замкнутую систему эллипсоидной формы с максимальной амплитудой перемещения в центральной части, постепенно, вплоть до нуля, затухающей во всех направлениях;

2) основной элемент разрыва – сместитель, представляет собой эллипс, ограниченный нулевыми амплитудами смещения;

3) конечность разрывного нарушения (замкнутость по нулевым смещениям) определяет наличие в нарушаемом им объеме пород зон сжатия и растяжения, характеризующихся особым парагенезом трещиноватости, с определенными угловыми соотношениями составляющих его единичных дизъюнктивов;

4) непересекаемость сопряженных дизъюнктивов, т.е. затухание одного вблизи другого, обусловлена их конечностью.

Из этих положений вытекает ряд структурных построений, основанных на взаимосвязи тектонических напряжений регионального и локального плана и деформаций, которые проявляются в виде разрывных нарушений разных рангов и тектонической трещиноватости. В условиях объемного напряженного состояния, существующего в земной коре, разрушение горных пород происходит со смещением их объемов под действием ударной волны, возникающей

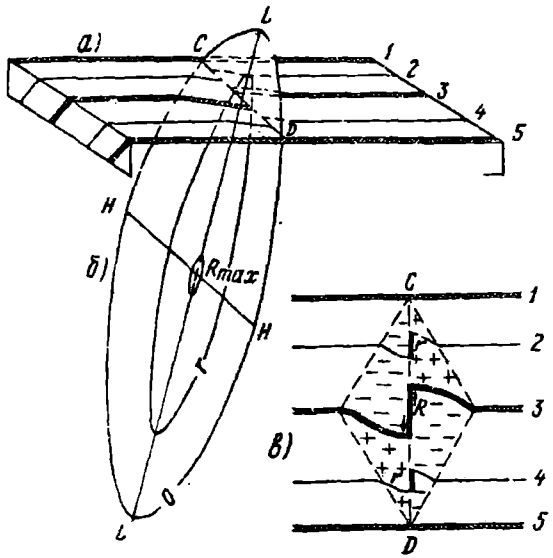


Рис.1. Структурно-геометрическая модель дизъюнктива: а – погоризонтный план крутопадающих угольных пластов 1-5 б – эпюра сместителя; в – горизонтальное сечение сдвига

в результате скачкообразного увеличения касательных напряжений при образовании свободной поверхности разрушения. Процесс образования дизъюнктива можно разделить на два неравнозначных по времени этапа: I – длительный – от начала накопления напряжений до образования сместителя; II – непродолжительный – от возникновения ударной волны до ее затухания, причем процесс этот сопровождается дифференциальным смещением пород по поверхности сместителя [3, 8].

Рассмотрим характер изменения амплитуд перемещения и деформаций пород вблизи сместителя при вертикальном сдвиге (рис.I, в). В точках C и D соответственно по слоям I и 5 амплитуда перемещения равна нулю. Максимальная амплитуда R соответствует центральной части сместителя и фиксируется по слою 3 как сумма двух одинаковых по значению, но противоположно направленных в разных крыльях сдвига перемещений. Амплитуда перемещения постепенно уменьшается от центра к периферии. Если привести данные об амплитуде перемещения не только по сечению, изображенному на рис.I, в, но и по другим горизонтальным сечениям этого нарушения и соединить одинаковые амплитуды линиями, получим эпюру сместителя рассматриваемого сдвига, на которой в виде концентрически замкнутых изолиний отобразится характер изменения амплитуд (рис.I, б).

Подобное строение, определяемое характером распределения амплитуд перемещения, имеют сместители любого разрывного нарушения. Нулевая амплитуда оконтуривает сместитель и отражает его форму и размеры. Работами [2, 8] показано, что сместители, как правило, имеют удлиненную, близкую к эллипсу форму и обладают всеми свойствами симметричных фигур. У них выделяют две взаимно перпендикулярные оси – малую H и большую L, соотносящиеся между собой как I:3, при этом вектор перемещения крыльев по сместителю всегда направлен параллельно его малой оси. Максимальная амплитуда перемещения R_{max} приходится на точку пересечения осей сместителя.

Формирование такой замкнутой системы смещений можно представить из схемы рис.I, в. В направлении перемещения слоев в каждом крыле сдвига (для левого – из точки C, а для правого – из точки D) вначале идет рас-

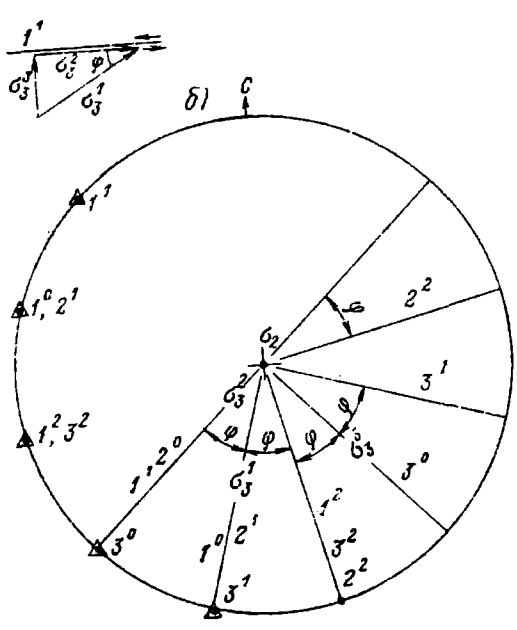


Рис.2. Схема образования содизъюнктивных трещин у вертикального сдвига: а – расположение осей напряжений при образовании сместителя „генерального" разлома; б – круговая диаграмма проекций полюсов трещин и осей напряжений

тяжение пород, а затем их сжатие. Деформации растяжения и сжатия распределяются в массиве на некоторое расстояние от сместителя, образуя возле него зоны растяжения, показанные на рис.I, в знаком „–", и зоны сжатия, показанные знаком „+". Формирование зон сжатия и растяжения при перемещении крыльев дизъюнктива по сместителю осуществляется за счет хрупкого разрушения пород, проявляющегося, главным образом, в виде трещиноватости. Трещины, связанные с образованием сместителя дизъюнктива и перемещением крыльев по нему, названы содизъюнктивными [3, 4].

Анализ систем содизъюнктивных трещин обнаруживает вполне закономерное пространственное расположение их по отношению друг к другу, сместителю и осям напряжений, обусловивших возникновение данного разрыва. Это хорошо видно на рис.2, где с помощью картографической сетки изображены проекции плоскостей сместителя и содизъюнктивной с ним трещиноватости для случая вертикального сдвига. Согласно теории [3, 8, 10] одновременно с указанным сместителем или, скорее, раньше его при той же ориентировке осей напряжений возникают системы трещин скалывания I^I, параллельных сместителю, и I^2, составляющих с ними угол 2φ. Таким образом, этапу образования сместителя и действию оси напряжений σ_3^1 соответствуют системы трещин скалывания I^I и I^2. Вслед за образованием сместителя и трещин первой генерации происходит перераспределение напряжений. Исходные максимальные напряжения σ_3^1 раскладываются на две составляющие, из которых σ_3^2 действует параллельно плоскости сместителя, вызывая перемещение крыльев дизъюнктива, а σ_3^3 – в направлении, перпендикулярном к нему. Действие этих напряжений приводит к образованию пар сопряженных трещин скалывания 2^I–2^2 и 3^I–3^2. Кроме сколовых трещин в ходе развития дизъюнктива формируются трещины отрыва, располагающиеся параллельно осям σ_3^1, σ_3^2 и σ_3^3.

Следует учесть, что не все возможные системы трещин реализуются в массиве горных пород при образовании дизъюнктива. Чтобы сформировались зоны растяжения и сжатия около сместителя, необходимо образование компенсирующих трещин: в зоне растяжения – трещин отрыва и сколовых трещин

растягиванием слоев, а в зоне сжатия – только сколовых трещин со сдвоением слоев.

В угленосных толщах, в строении которых участвуют многочисленные маркирующие горизонты в виде угольных пластов, идеально выдержанных по мощности и строению на значительных площадях, вышеперечисленные закономерности строения дизъюнктивов и содизъюнктивной трещиноватости выявлены с полной достоверностью [3-5, 8]. Однако в рудных районах со сложным геологическим строением, наличием в разрезах формаций магматического и вулканического происхождения со сложной конфигурацией границ и контактов подобного рода структурно-геометрические изыскания крайне затруднительны. Тем не менее, еще в 1964 г. В.Н.Даниловичем [1] была отмечена закономерность в проявлении зон дизъюнктивной трещиноватости именно в рудных районах. Наши исследования подтверждают возможность проведения структурно-геометрического анализа при дешифрировании структурных каркасов рудных месторождений.

Эталонным объектом исследований в рудных полях послужило золото-серебряное месторождение, расположенное в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. В разрезе месторождения фундамент сложен осадочными образованиями триасового возраста, а нижний и верхний структурные этажи представлены вулканогенно-осадочными отложениями ранне- и позднемелового возраста. К позднемеловому времени относятся и интрузии гранитов, сыгравшие роль в формировании купольного поднятия, к которому приурочено месторождение, и вскрытые в структурных скважинах на глубине более 1000 м. По составу и граниты, и вулканические породы представлены „ультракалиевыми" разностям

золото-серебряного рудообразования протекал по крайней мере в два этапа: рудные жилы первого этапа имеют кварц-адуляровый состав, второго – кварц-родонитовый. Этими минеральными ассоциациями сложены практически все рудные тела месторождения, и лишь крайне незначительная часть представлена наиболее ранней кварц-сульфидной парагенетической ассоциацией. Бо́льшая часть рудных тел выходит на поверхность, а на западном фланге рудные жилы в значительной мере скрыты под вулканогенными верхнемеловыми покровами.

Исследователями региона отмечалась своеобразная стадийная и фациальная зональность месторождения. Первая выражалась в приуроченности рудных жил вышеперечисленного состава к определенным направлениям: кварц-сульфидных – северо-восточному, кварц-адуляровых – меридиональному и кварц-родонитовых – северо-западному. Фациальная зональность выражается в повышении сульфидности руд с глубиной и по периферии рудного поля одновременно с повышением карбонатности и появлением альбита в метасоматических новообразованиях.

Помимо рудовмещающих тектонических структур указанных направлений в структурном каркасе месторождения в качестве рудоконтролирующих разломов выделялся три субпараллельных разлома северо-восточного простирания и северо-западный разлом, ограничивающие рудоносные блоки (рис.3, а).

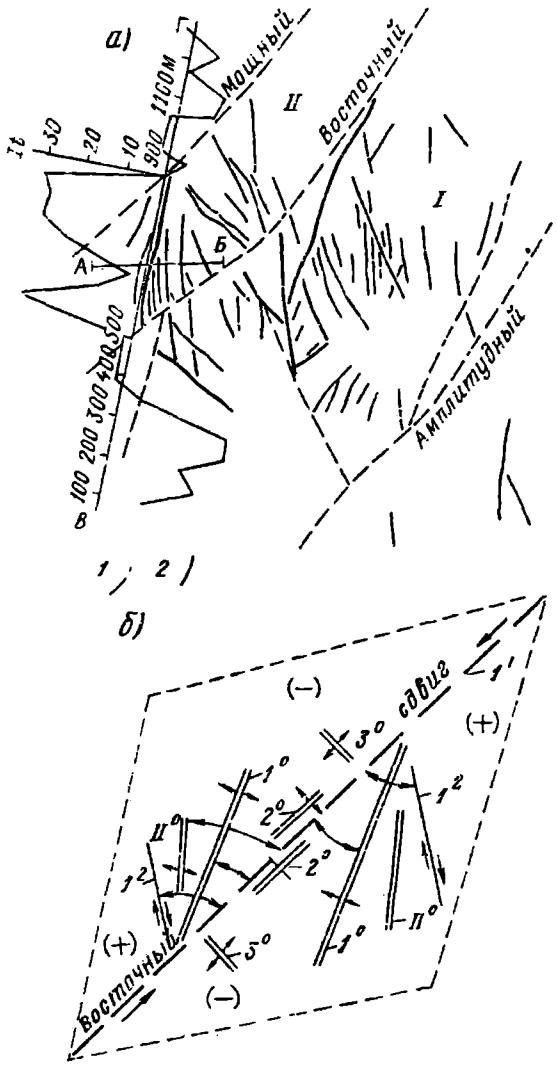


Рис.3. Схемы рудовмещающих (2) и рудоконтролирующих (1) структур описываемого месторождения: а – выход рудных тел под перекрывающие отложения (по А.И.Колинину) (ВГ – профиль с графиком распределения значений It); б – схема усредненных простираний рудных тел относительно Восточного сдвига

Детальное изучение приведенной схемы рудовмещающих и рудоконтролирующих структур месторождения с позиций структурно-геометрического анализа дает, по нашему мнению, основание значительно углубить и расширить вопрос о рудоконтролирующем значении северо-восточных разломов. Во-первых, главным, или „генеральным", разломом следует считать один из них, Восточный, и не только потому, что он разграничивает рудные блоки I и II (рис.3, а). Этот разлом является рудоначальным дизъюнктивом сдвигового типа, определяющим все ориентировки рудовмещающих нарушений.

Тектонофизический анализ, позволивший восстановить ориентировку палеонапряжений, обусловивших существующий план деформаций месторождения, основывался на изучении трещиноватости вблизи „генерального" разлома. Интерпретация выявленных систем трещин (рис.4), в соответствии со схемой, приведенной на рис.2, позволяет провести их диагностику.

Генетически трещиноватость связана с образованием Восточного разлома, сформированного в сдвиговом поле напряжений под действием горизонтально ориентированной оси максимальных скалывающих напряжений σ_3^1 при вертикальном положении оси σ_2. Трещины системы I^I ориентированы параллельно простиранию сместителя генерального разлома и сформировались, по-видимому, одновременно или несколько раньше его. Для этих трещин характерно близвертикальное залегание и многочисленные горизонтальные следы скольжения на их поверхности. Как сопряженные с этой системой диагностируются трещины

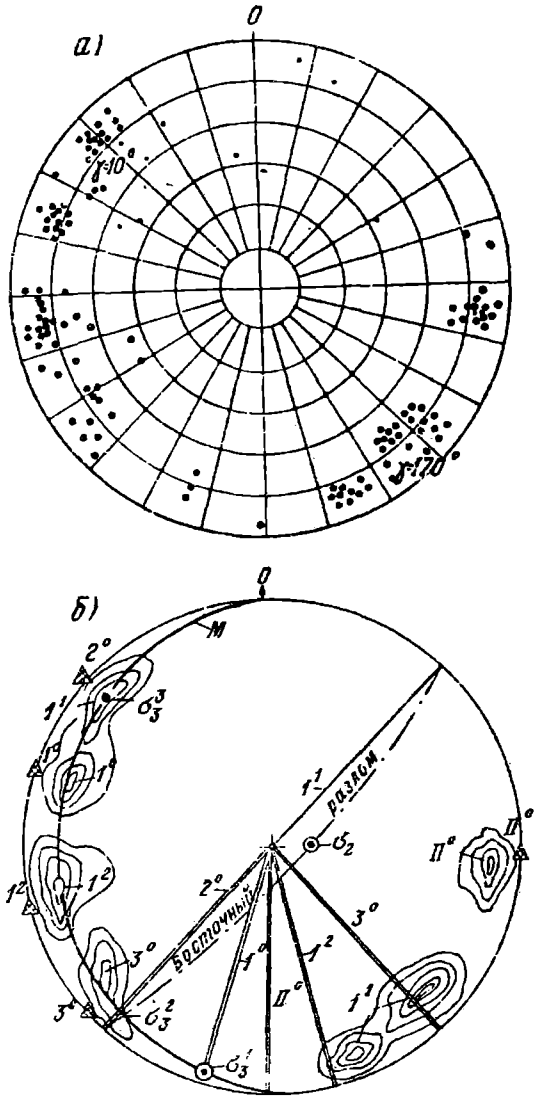


Рис.4. Круговые диаграммы трещиноватости, развитой в зоне Восточного сдвига: а - точечная; б - в изолиниях плотности полюсов

системы I^2 и трещины отрыва системы I^0, ориентированные параллельно направлению действия оси σ_3^1. Положение на диаграмме трещин системы 3^0 свидетельствует об их отрывном происхождении, связанном с действием оси σ_3^3, полюс которой совпадает с полюсом системы I^1. Итак, можно констатировать, что все системы трещин, геометрические центры которых располагаются на меридиане сетки M (I^1, I^0, I^2 и 3^0), обязаны своим возникновением раннему этапу формирования Восточного сдвига, включающему образование сместителя под действием оси σ_3^1 и перемещение массива пород в разных крыльях при дальнейшем разложении оси σ_3^1 на оси σ_3^2 и σ_3^3. Особое положение на диаграмме занимает система трещин $П^0$, полюс которой не лежит на меридиане M. По видимому, ее образование обусловлено смещением направления действия оси σ_3^1 в более позднее время [6].

Диагностика систем трещин I^1 и I^2, как сколовых трещин, сопряженных относительно оси напряжений σ_3^1, позволила достаточно достоверно определить для рудоносных пород месторождения значение угла скалывания равное 20–25°.

Дальнейшая обработка фактического материала касалась выяснения вопроса о структурной позиции рудовмещающих дизъюнктивов в приведенной выше схеме формирования Восточного сдвига и содизъюнктивной с ним трещиноватости. Поскольку все рудные тела, изображенные на рис.3, а, практически имеют близвертикальное залегание, обработка свелась исключительно к установлению средних направлений их простирания, но не по азимутам, а по углу встречи V с Восточным сдвигом. Среди всех изученных рудных тел было выделено пять систем со средними углами отклонения от

простирания Восточного сдвига 0, 24, 41, 57 и 85°. Получена схема усредненных простираний рудных тел в обоих крыльях Восточного сдвига (рис.3, б), их полюса в виде заштрихованных треугольников нанесены на круговую диаграмму трещиноватости (рис.4, б). Факт совпадения полюсов рудовмещающих дизъюнктивов с ранее диагностированными полюсами систем содизъюнктивных трещин однозначно свидетельствует об их сопряженности с рудоконтролирующим Восточным сдвигом, т.е. о структурно-генетической связи этого генерального нарушения со всеми известными на месторождении системами линейных рудных тел.

Зоны растяжения, сформированные в обоих крыльях Восточного сдвига (рис.3, б), маркируются ореолами нерудной минерализации, приуроченными к околорудно-измененным породам. Особое внимание заслуживает кальцитизация ввиду сквозного характера и полигенерационности проявлений кальцита. По люминесцентным свойствам, исследованным с помощью полевых люминоскопов ЛСП-101 и ЛСП-103 производства НПО «Рудгеофизика", нами выделено шесть фаз или генераций кальцита.

Кальцит I образует метасоматическую микровкрапленность, имеет характерное послесвечение (фосфоресценцию) желтовато-зеленоватого цвета различной интенсивности и продолжительности.

Кальцит II также образует метасоматического характера вкрапленность, как правило, неразличимую невооруженным глазом. Часто присутствует совместно с кальцитом I. Для него характерны флуоресценция (свечение в процессе облучения) и послесвечение (после снятия возбуждающего облучения) яркого красно-оранжевого цвета продолжительностью доли секунды. Эти свойства возникают только при коротковолновом облучении ультрафиолетовыми лучами в области длины волны 254 нм. При снятии этого диапазона излучения с помощью дополнительного стеклянного фильтра и переходе на диапазон длинноволнового облучения с максимумом в области длины волны 365 нм кальцит перестает и флуоресцировать и фосфоресцировать.

Кальцит III обладает такими же люминесцентными свойствами, как и кальцит II, отличаясь от него только жильными формами проявления. По отношению к рудным минеральным ассоциациям этот кальцит является наиболее близким, синрудным.

Кальцит IУ – пострудная генерация. Он флуоресцирует в ультрафиолетовых лучах как коротковолнового, так и длинноволнового диапазона розоватым, фиолетово-красноватым, а иногда и достаточно ярким розовым цветом, но интенсивность флуоресценции значительно меньшая, чем у кальцита III. Формы выделения также жильные и прожилковые.

Кальцит У наблюдается в виде прожилков, люминесцентные свойства аналогичны таковым у метасоматического кальцита I генерации.

Кальцит УI образует пылеватые и порошковидные налеты на современных поверхностях выветривания и представляет собой переотложенный известковистый материал, в котором может быть проявлена фосфоресценция в желто-зеленой области.

В шести рассмотренных генерациях кальцита, по сути дела, присутствуют только два вида люминогенных примесей: за желто-зеленую область излучения ответственны углеродистые люминогены типа полициклических ароматических углеводородов, компонентно-групповой состав которых изучен на примере карбонатных осадочных формаций [9]; красно-оранжевая люминесценция активируется Mn^{2+}, занимающим октаэдрические позиции в кристаллической решетке кальцита. Разница в люминесцентных свойствах III и IУ генераций кальцита имеет вполне определенный геохимический смысл. Реакция кальцита III только на коротковолновое возбуждение свидетельствует о присутствии в его кристаллической решетке помимо марганца так называемых элементов-соактиваторов, поглощающих энергию в области 254 нм. Для урановых месторождений была установлена соактивирующая роль Pb^{2+}, на золото-серебряных месторождениях такую роль, возможно, играют церий и таллий, скорее же всего целый комплекс примесных ионов, которые поглощают ультрафиолетовое излучение в области 254 нм и переносят электроны ионам основного излучателя - марганца. Кальцит IУ генерации представлен высокомарганцовистой разновидностью, которой свойственны флуоресценция и фосфоресценция как при коротковолновом, так и при длинноволновом облучении. Такое различие люминесцентных свойств кальцита III и IУ генераций, занимающих по отношению к рудным минеральным ассоциациям определенное место (синрудная и пострудная генерации), вполне оправданно могут быть отнесены к разряду типоморфных.

Люминесцентные ореолы кальцита разных генераций, образно говоря, являются „мечеными" и по ним можно более полно, чем при петрографических или даже топоминералогических исследованиях, восстановить картину распределения околорудно-измененных пород относительно рудных тел и рудоконтролирующих разломов.

Выполнено люминесцентное картирование по профилям АБ - вкрест простирания рудной зоны (рис.5) и ВГ - по ее простиранию (рис.3, а). Для дифференцированной оценки количества метасоматического кальцита двух разновидностей и степени насыщенности их люминогенными примесями был использован способ определения светосумм фосфоресценции It. По шкале от 0 до 50 усл.отн.ед с учетом степени интенсивности фосфоресценции (нулевая, слабая, средняя, сильная, очень сильная, чрезвычайно сильная) и продолжительности послесвечения в секундах, с хорошей контрастностью были выявлены изменения значений параметра It по геологическим разрезам, в том числе по профилю АБ. За ореол метасоматической кальцитизации нами принимается массив экстремальных положительных значений It.

Первое, что обращает на себя внимание в картине распределения ореола метасоматического кальцита - асимметричность относительно рудной зоны в целом и каждого из отдельно взятых рудных тел. Ореол прикурочен к лежачему боку с стороны же висячего бока имеет место отрицательная аномалия, откуда сколько-нибудь заметных значений светосуммы фосфоресценции. По профилю ВГ - по простиранию рудной зоны - наблюдается плавное затухание ореола от максимальных значений It над центральной частью

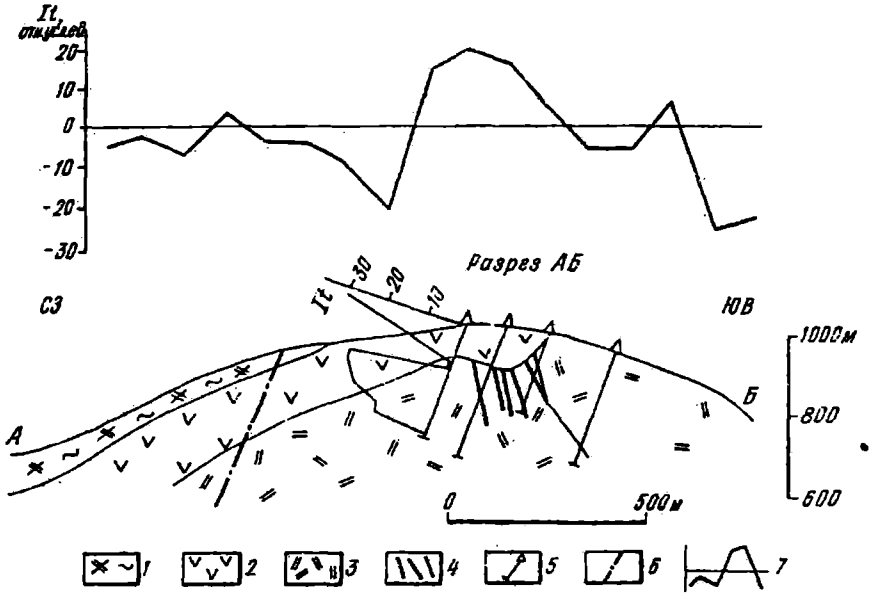


Рис.5. Графики распределения значений *It* по разрезу АБ
1 – фельзиты; 2 – андезиты; 3 – липариты; 4 – рудные тела; 5 – скважины; 6 – разлом; 7 – график *It*

рудной зоны до полного выклинивания вблизи рудоконтролирующего разлома при минимальных значениях It (см. рис.3, а). В зоне разлома проявления кальцита I, II, III генераций отсутствуют, так же как и повышенные концентрации золота и серебра.

Особенно пристального внимания заслуживает поведение ореолов кальцитизации в экранирующей оруденение толще. Она сложена андезитами, туфобрекчиями и туфопесчаниками нижне-верхнемелового возраста (таватумская свита) и кислыми эффузивами верхнего мела (наяханская свита), общая мощность ее над скрытым на глубине оруденением составляет от 80 до 200 м. На поверхности проекция рудной зоны выделяется как сопряжение массива экстремальных положительных значений с отрицательной аномалией данного параметра. Ширина ореола, выходящего на поверхность над рудной зоной, в ее лежачем боку, составляет до 300 м, а по простиранию ореол вытягивается над зоной почти на 2 км, затухая в приближении к рудоконтролирующим разломам. По керну скважин ореол фиксируется по всей мощности экранирующей толщи со стороны лежачего бока залегающей на глубине зоны (рис.5).

Картина распределения ореолов кальцитизации, сопутствующих золото-серебряному оруденению, дает возможность по-новому посмотреть на вопросы возраста оруденения и предполагаемых источников повышенных концентраций благородных металлов. Проникновение ореолов в экранирующие толщи однозначно свидетельствует о послеНаяханском возрасте рудной минерализации всех этапов, локализовавшейся в жильных рудных телах в толще риолитов

аскольдинской свиты. Именно эта толща по компетентности слагающих ее пород оказалась наиболее благоприятной для проявления тектонической нарушенности, предшествовавшей как I так и II этапу оруденения. В породах экранирующих толщ наблюдается выклинивание и затухание разломов. Для оруденения обоих этапов нет необходимости искать глубинные источники, связанные с проявлениями нижне- и верхнемелового вулканизма или гранитными интрузиями позднемелового возраста. Замкнутость структурно-тектонической системы, созданной генеральным рудоконтролирующим разломом и оряженными с ним рудовмещающими дизъюнктивами, предполагает местный источник оруденения. Это предположение тем более оправданно, что сами удовмещающие толщи вулканогенных пород характеризуются повышенными кларковыми значениями серебра. С учетом известного соотношения осей разрывных нарушений [8] Восточный сдвиг представляет достаточно глубинную структуру (глубиной проникновения не менее 4,5 км), так что объем пород, вовлеченный в гидротермально-метасоматическое преобразование в зоне влияния генерального нарушения, был вполне достаточен для рудоотложения при нормализации тектонической обстановки [6, 7].

Технология локального прогноза с учетом структурно-тектонических построений и заверки их люминесцентным картированием ореолов карбонатизации непосредственно вытекает из рассмотренных моделей. Наиболее благоприятными для локализации оруденения следует признать условия сдвигового поля при расположении на поверхности возможных рудных тел в обоих крыльях сдвига. Однако при проведении детальной и эксплуатационной разведки следует чётко представлять, что рудное поле месторождения, локализованного сдвиговых структурно-тектонических ловушках, фактически разбито на два мостоятельных объекта, разделенных барьером генерального рудоконтролирующего разлома через который не может быть прослежено ни одно из рудных тел той или другой изолированных таким образом частей месторождений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

В. ...поисов в исследовании трещиноватости, связанной с разрыв... и полезн. ископ. Иркутской области. 1961. Вып. 2.

...етризация сместителей для прогноза протяженности и амплиту...вных нарушений // Маркшейдерское дело в социалистических стран... Острава, 1972.

3. Забродин А.С., Любич Г.А., Дупак Ю.Н. Прогноз элементов разрывных смещений на осно... круговых диаграмм трещиноватости и геометризации сместителей / Всесоюз. НИИ м... Л., 1970. 76 с.

4. Любич ...кин Н.И. Методы изучения трещиноватости с целью оценки горно-геологических условий отработки угольных пластов / Ленингр. горный ин-т. Л., 1938. 73 с.

5. Мишин Н.И. Структурно-геометрический анализ разрывных нарушений с применением картографических сеток Ле нингр. горный 1987. 72 с.

6. Немец В., Квет Р. Проблемы применения математических методов для геологических исследований с учетом иерархии в планетарных равноудаленных разры системах / Ин-т тектоники и геоф Хабаровск Владивосток, 1976. С. 49-55.

Николаев Новейшая тектоника и динамика литосферы. М.: Недра, 1989. 480 с.

8. Разрывны нарушения угол териалам шахтной геологии) / И.С.Гарбер В.Е.Григорьев, Ю.Н.Дулак и др. Л.: Недра, 1979. 190 с.

9. Степина З.А. Спектроскопическая характеристика углеродистых доломит-фосфоритов // Зап. Всесоюз минерал о-ва. 1969. Ч. 98, вып. 5. С. 616-619.

10. Тектоника угольных бассейнов и месторождений СССР. М.: Недра, 1976. 336 с.