

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071:553.078.2

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В СЮЛЬБАНСКОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ ЗОНЕ (БАСЕЙН СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ВИТИМ). Ч. 2. УРЯХСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ

И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов

Томский политехнический университет
E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

Приведено описание важнейших разломно-трещинных структур Уряхского рудного поля, определяющих размещение золото-сульфидно-кварцевой минерализации, и диаграмм трещиноватости горных пород. Реконструированы планы силового поля на предрудном и рудном этапах формирования структуры рудного поля. Показаны различия масштабов рудовмещающих структур, образованных в Каралонском и Уряхском рудных полях. В сравнительном аспекте обсуждаются результаты изучения структурно-динамических режимов образования золотого оруденения на северном фланге Сьюльбанской золоторудной зоны и формулируются выводы.

Ключевые слова:

Сюльбанская золоторудная зона, Каралонское, Уряхское рудные поля, глубинные разломы, рудовмещающие структуры, тектонические деформации, динамические режимы.

Key words:

Sulban gold-ore zone, Karalon, Uryah ore fields, depth fractures, containing ore structures, tectonic deformations, dynamic regimes.

Введение

Гидротермальное оруденение на рудоносных территориях всех масштабов, начиная от металлогенических поясов и кончая рудными столбами, контролируется разломными тектоническими структурами. Мезотермальные золоторудные поля образованы в сфере деформационного воздействия на субстрат земной коры глубинных разломов преимущественно в обрамлении последних. Приуроченность промышленного оруденения к структурам, опережающим рудоконтролирующие глубинные разломы, выполняющие и раствороподводящую функцию, обусловлена, как полагают, неспособностью этих нередко не выходящих на дневную поверхность «слепых» структур обеспечить транзит металлоносных растворов к поверхности Земли, что исключало бы рудообразование.

Наблюдаемая в золоторудных полях ориентировка рудовмещающих и сопровождающих разломов-трещин относительно стволых разломов, разная в зависимости от их кинематических и морфологических типов, воспроизведена в экспериментах еще в первой четверти прошлого столетия

[1, 2]. Согласно результатам экспериментов, в условиях осевого сжатия в изотропной (квазиизотропной) по механическим свойствам среде формируется главная (стволовая) трещина скола (в экспериментах – сдвиг), а в боках ее – трещины-сателлиты трех систем: двух систем скола и одной – отрыва. Трещины первых двух систем согласны с главной по простиранию, но имеют встречное падение, третьей – образуют тупой угол с направлением движения несущего их бока опережаемой структуры. Однако в отличие от экспериментальных данных, в природе обычно образуются не три системы, а одна или две, что, вероятно, обусловлено анизотропией механических свойств субстрата.

Результаты экспериментов доказывают одновременное образование и взаимозависимость всех перечисленных структурных элементов. Это создает условия для решения обратной задачи – реконструкции кинематики разломов и трещин, планов силового поля и тектонической «жизни» всего каркаса образованных структур в процессе их последующих многократных подновлений.

Усложнения в эту схему вносят специфические в каждом объекте особенности строения рудовмещающих объемов земной коры, обусловленные их конфигурацией, разными количественными и пространственными соотношениями отличных по механическим свойствам пород, существованием ранее образованных разломов, разного рода ослабленных направлений и пр. В подобных механически анизотропных средах могут возникать дополнительно системы разломов, ориентировка которых отклоняется от таковой, получаемой в упомянутых экспериментах в приложении к механически изотропной среде. Тем не менее, с учетом кинематики разломов, их пространственно-временных соотношений реконструкция динамических условий образования типовых и дополнительных одновременно возникающих разломов, как правило, не представляет неразрешимой задачи.

В свою очередь, понимание условий рудообразования в структурно-динамическом его аспекте в сочетании с минералогическими, геохимическими и другими данными способствует корректному прогнозу оруденения.

Описанный механизм формирования рудовмещающих и сопровождающих структурных элементов в боках рудоконтролирующих глубинных разломов реконструирован авторами в двух мезотермальных золотых месторождениях, образованных в разных по внутреннему устройству средах [3, 4].

В Бериккульском месторождении (Кузнецкий Алатау) рудные жилы вмещают массивные сверхпрочные покровные базальты среднего кембрия, слагающие в северо-восточном крыле антиклинальной складки клиновидный блок, который вследствие сближения его границ уменьшается в северо-западном направлении и с глубиной. Ограниченный более пластичными известняками на западе и габброидами на востоке, он выполнял функцию локализатора рудовмещающих и сопутствующих разломов. Месторождение Чертово Корято в Патомском нагорье сложено раннепротерозойской толщей углеродистых терригенных сланцев, образующей пологую синклинальную субширотную брахискладку в призматической ее части.

В обоих месторождениях в результате импульсов осевого тангенциального сжатия в наиболее активных висячих боках взбросо-сдвигов – ответвлений глубинных разломов по нормали к направленной вверх оси максимальных растягивающих напряжений образованы пологие тектонические структуры – падающая (16°) на юг система трещин отрыва, выполненных жилой № 4 мощностью до 20 м и протяженностью по падению около 800 м в Бериккульском месторождении, и падающая ($10...20^\circ$) на запад зона разуплотнения сланцев – отрыва и подъема ее висячего бока, вмещающая субгоризонтальную рудную залежь с прожилково-вкрапленной минерализацией мощностью до 140 м и протяженностью по падению около 500 м в месторождении Чертово Корято.

Специфические условия Бериккульского месторождения служили причиной синхронного образования сопряженных с пологим разломом двух систем разломов сколовой природы, – «типовых» субпараллельных Главному нарушению – взбросо-сдвигу северо-западного простирания, и ориентированных поперечно к нему дополнительных разломов северо-западного падения под значительными ($30...50^\circ$) углами. Последние выполнены многочисленными золоторудными кварцевыми жилами. В месторождении Чертово Корято пологая зона и многочисленные золоторудные кварцевые жилы, выполняющие в ее составе субгоризонтальные трещины отрыва, сопровождаются всего лишь мелкими трещинами скола встречного рудоконтролирующему сдвигу-взбросу крутого (40°) падения.

В том и другом месторождениях на предрудном этапе образования разломов-трещин реконструированная ориентировка главных осей напряжений силовых полей в основном согласуется с правилом В. Риделя [4]. Этот вывод следует из того очевидного факта, что образование мощных пологих структур отрыва возможно при направленной вверх ориентировке оси максимальных растягивающих напряжений, – в направлении наименьшего сопротивления среды осуществлялась разрядка усилий осевого тангенциального сжатия при образовании и/или функционировании рудоконтролирующих взбросов. В Бериккульском месторождении по совокупности признаков ось тангенциального сжатия была ориентирована под острым углом к Главному нарушению и субпараллельным ему разломам, что обусловило в них значительные взбросовую и сдвиговую составляющие, в месторождении Чертово Корято – примерно по нормали в горизонтальной плоскости к рудоконтролирующему разлому.

Специфика Бериккульского месторождения, обусловленная, как представляется, локализующей функцией базальтового блока, заключается в образовании дополнительной системы жильных разломов-трещин скола «лестничного» типа, поперечных по простиранию к оси сжатия, но в вертикальной плоскости образующих с последней острый ($<45^\circ$) угол, что согласуется с экспериментально установленным при осевом сжатии положением одной из возможных поверхностей максимальных скалывающих напряжений. Специфика месторождения Чертово Корято выражена в большой мощности пологой рудовмещающей зоны раздвига-отрыва, чему способствовало субнормальное положение слоев осадочной толщи к направлению вертикальных максимальных растягивающих напряжений. В этом случае, в отличие от сверхпрочных массивных базальтов Бериккуля, растягивающие усилия обеспечили отрыв (раздвиг) многочисленных слоев осадочных пород благодаря уже существовавшим поверхностям отдельности и синккладчатого рассланцевания в значительном вертикальном диапазоне. Отсутствие крупных и образование лишь мелких субпараллельных разлому

по простиранию круто падающих ему навстречу «пустых» трещин скола здесь обусловлено той же причиной – слоистостью толщи, в которой концентрация максимальных скалывающих напряжений в значительных объемах пород исключалась вследствие обилия межслоевых поверхностей расланцевания, гасивших скалывающие усилия.

Крутопадающие (30...50°) и пологие (до 10...20°) зоны расланцевания и дробления вмещают продуктивную золото-сульфидно-сульфосолюно-кварцевую минерализацию на северном фланге Сюльбанской золоторудной зоны – одноименной зоны глубинных разломов. Предположение о том, что описанный механизм структурной подготовки и сопровождения рудообразования был задействован природой и здесь, подтвердилось в процессе изучения структуры двух соседних золоторудных полей – Каралонского и Уряхского.

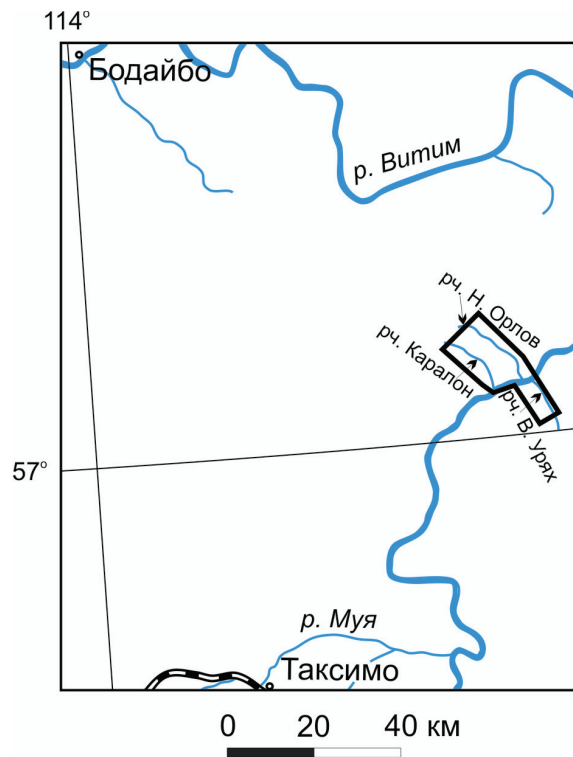


Рис. 1. Схема расположения северного фланга (в контуре) Сюльбанской золоторудной зоны в бассейнах ручьев Каралон, Н. Орлов и В. Урях

Разделение рудоносного блока, слагающего северный фланг Сюльбанской золоторудной зоны, на два рудных поля сложилось исторически по формальным основаниям: Каралонское рудное поле расположено на левобережье р. Витим на территории Бурятской республики и изучалось коллективами ПГО «Бурятгеология», Уряхское – на правобережье р. Витим в пределах Иркутской области и изучалось коллективами ПГО «Иркутскгеология» (рис. 1). Основные черты геологического строения и развития, структурные условия размещения, вещественный состав минерализации, в том числе продуктивной, формационная

принадлежность околорудных метасоматитов в обоих рудных полях аутентичны. Поэтому результаты реконструкции структурно-динамических режимов их образования в определяющих чертах совпадают. Однако есть и отличия, имеющие в том числе прикладное значение.

Структурно-динамические режимы образования Каралонского рудного поля описаны в [5]. Реконструкция структурно-динамических режимов образования Уряхского рудного поля, обсуждение материалов, приведенных в обеих частях статьи, и выводы составляют содержание данной второй ее части.

1. Краткий очерк геологического строения Уряхского рудного поля

Краткое описание геологической позиции и геологического строения северного фланга Сюльбанской золоторудной зоны и Каралонского рудного поля приведено в [5].

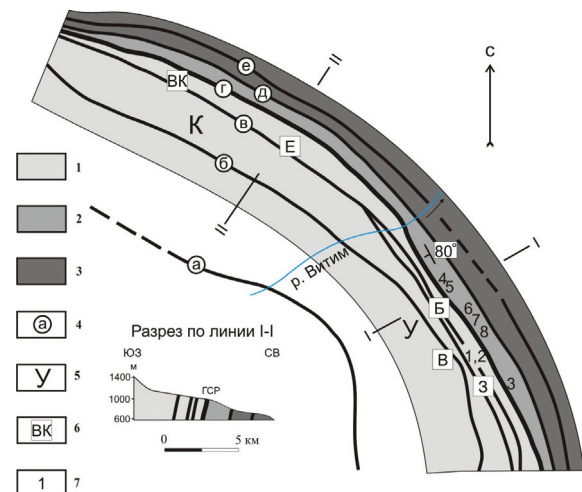


Рис. 2. Схема строения северного фланга Сюльбанской зоны глубинных разломов (по А.Н. Демину, 1985 г., с упрощениями и добавлениями): 1) келянская свита покровных вулканитов (R_3); 2) водораздельная свита терригенных углеродистых сланцев (R_3); 3) усть-уряхская свита мраморизованных известняков (R_3); 4) глубинные разломы: а – Усть-Каралонский, б – Каралонский, в – Водораздельный, г – Главный Сюльбанский (ГСП), д – Верхне-Уряхский, е – Орловский; 5) рудные поля: К – Каралонское, У – Уряхское; 6) участки: ВК – Верхне-Каралонский, Е – Еленинский, Б – Барачный, В – Ветвистый, З – Золотой; 7) площадки массовых замеров трещин

Уряхское рудное поле сложено тремя разделенными субпараллельными крутопадающими на запад глубинными разломами позднерифейскими толщами: вулканогенной полно дифференцированной келянской, черносланцевой водораздельной и известняковой усть-уряхской (рис. 2). Вулканыты келянской свиты прорваны небольшими уплощенными ориентированными согласно простиранию толщ и разломов телами габбро и плаггиогранитов позднерифейского муйского габброгранитного комплекса. В рудном поле известны

также небольшие тела гранитов в сопровождении даек кислых пород, объединяемые в вендский падоринский гранитоидный комплекс, и дорудные, внутрирудные дайки основного состава, на периферии Сюльбанской зоны пересекающие известные здесь тела позднепалеозойского конклюдеро-мамаканского гранитоидного комплекса.

В отличие от Каралонского рудного поля, в котором основные дайки образуют субширотные пояса, в Уряхском рудном поле они представлены одиночными телами преимущественно северо-северо-западного простирания. Все породы подверглись метасоматическим преобразованиям пропилит-березитового профиля. Рудные тела сложены тремя минеральными комплексами, образованными в трехстадийном гидротермальном процессе. Продуктивная минерализация представлена золото-пирит-полиметаллической с кварцем ассоциацией и отложена в температурном интервале 340...200 °С. Рудные тела всех морфологических типов – кварцевые жилы, крутопадающие и субгоризонтальные минерализованные зоны залегают в сфере деформационного воздействия на горные породы Главного Сюльбанского разлома – основной рудоконтролирующей и, очевидно, раствороподводящей в Сюльбанской зоне структуры.

2. Литологические и структурные условия залегания гидротермальной минерализации в Уряхском рудном поле

Чтобы понять влияние структурных факторов на образование и размещение гидротермальной рудной минерализации и, исходя из этого понимания, использовать полученные знания для прогнозирования оруденения, требуется, в частности, познать кинематику и динамику рудоконтролирующих и раствороподводящих разломов на предрудном и рудном этапах формирования структуры рудоносных блоков земной коры. В Сюльбанской золото-рудной зоне ту и другую функцию выполняли Главный Сюльбанский и Каралонский разломы, что доказывается приведенными в [5] и выше фактами.

Решение задачи опирается на систематизацию данных о горных породах, морфологии, внутреннем строении, минеральном выполнении и ориентировке в пространстве «стволовых» структур, сопровождающих (оперяющих) их разломов II порядка [5] и на результаты обработки массовых замеров мелкой трещиноватости горных пород.

В Уряхском рудном поле мощные субгоризонтальные предрудные полости раздвига (отрыва), подобные Верхнекаралонским и Еленинским [5. Рис. 4, 5], не известны.

Здесь, в обрамлении Главного Сюльбанского разлома в обоих его боках среди вулканитов и углеродистых сланцев залегают крутопадающие (50...80°) навстречу одна другой, но субсогласные ему по простиранию и сопровождающие его зоны дробления и рассланцевания мощностью до десятков ... многих десятков метров, имеющие, судя по морфологии и внутреннему строению, сколовое происхож-

дение. В ближнем (сотни метров) обрамлении разлома они либо насыщены прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией, в сульфидной составляющей которой резко преобладает пирит при эпизодическом участии других сульфидов, либо вмещают протяженные жилы массивных кварцев, в большей части объема которых даже пирит – большая редкость. При средней мощности кварцевых жил до 1 м в раздвиге, приуроченных к участкам изгибов вмещающих разломов II порядка, местами флексуобразных и коленчатых, они достигают мощности 15...24 м (жилы № 1, 2). В последнем случае в одной из подобных структур II порядка, вскрытой на участке Барачном (рис. 2) кварцевой жилой № 9 выполнены субмеридиональные и северо-восточного простирания части структуры, северо-западные с притертыми стенками не содержат кварца.

Обращает на себя внимание тот факт, что в крупных (до 3...5 м в поперечнике) глыбах, обломках и в коренном залегании кварц сохранил массивное строение, он не разбит даже на субсогласные ориентировке жил плиты, как это обычно бывает в жильных месторождениях, – его глыбы при столь крупных габаритах имеют примерно изометричную форму.

Механическим деформациям кварц подвергался в локальных объемах, в основном, в приальбандовом участке жил с образованием многочисленных сближенных субгоризонтальных трещин отрыва с характерными бугорчато-шероховатыми поверхностями стенок, с соответствием выступов впадинам на противоположных стенках, с обшей причудливой конфигурацией. Трещины выполнены золотосодержащими кварц-сульфидными ассоциациями, – пирит-халькопиритовой, халькопирит-блеклорудной, комплексной полиметаллической. Подвергшиеся такой трещиноватости объемы, как правило, составляют незначительную часть общего объема жил. Продуктивная минерализация в крутопадающих кварцевых жилах прослеживается на всех участках Уряхского рудного поля в форме субгоризонтальных нередко эшелонированных по вертикали полос мощностью до десятков сантиметров ... первых метров, редко большей.

Значительной протяженности, до сотен метров, такие полосы достигают в сверхмощной выполняющей Главный Сюльбанский разлом Магистральной кварцево-карбонатной жиле, в которой квазиизотропный по механическим свойствам массивный крупнозернистый агрегат пересечен многочисленными золото-сульфидно-кварцевыми прожилками с чрезвычайно сложной морфологией и разнообразной ориентировкой (рис. 3). Прожилки выполняют трещины отрыва, ветвятся, пересекаются, образуют сетчатую текстуру, на коротких расстояниях изменяют свою ориентировку. Поверхности контактов прожилков недоступны для замеров их ориентировки, но по визуальной оценке наиболее крупные из них имеют пологое запад-северо-западное падение.



Рис. 3. Сульфидно-сульфосоляно-кварцевые прожилки в крутопадающей Магистральной кварц-карбонатной жиле, выполняющей Главный Сьюльбанский разлом. Верховья ручья Малахитового – левого притока ручья Золотого (рис. 2, участок Золотой)

Системы субгоризонтальных трещин отрыва образованы также в крутопадающих линзовидных телах массивных апогранитных березитов и березитоидов висячем боку Главного Сьюльбанского разлома (рис. 4, максимум IV).

Эти трещины имеют типичные для трещин отрыва неровные («рваные») контакты, нередко – «коленчатые» изгибы, протягиваются в доступных для наблюдения местах на расстояния более 10 м при расхождении стенок (мощности выполняющих их сульфидно-кварцевых прожилков) до 10 см, эшелонированы по вертикали, повторяясь через 10...20 см. Примесь сульфидов в жилах незначительна и среди них диагностированы пирит, галенит, халькопирит, присутствует золото. Кварц нередко друзовидный, призматические мелкие кристаллики его с головками- пирамидами ориентированы субнормально к стенкам трещин, что доказывает образование кристаллов в пустотах в условиях свободного роста.

3. Результаты массовых замеров мелкой трещиноватости горных пород

Системы мелких оперяющих разломы трещин, образованных в изотропных (квазиизотропных) по механическим свойствам породах, представляют первоочередной интерес, поскольку ожидается, что их морфологические черты и ориентировка

по отношению к оперяемым структурам согласуются с экспериментальными моделями и, следовательно, они могут быть использованы для реконструкции силовых деформационных полей.

Массовые замеры трещин выполнены на восьми площадках протяженностью 10...20 м каждая (рис. 2): в однородных по составу массивных (слабо трещиноватых) апогранитных березитах (площадка № 1), в зоне рассланцевания березитизированных вулканитов (площадка № 2), в зоне рассланцевания березитизированных углеродистых сланцев (площадка № 3), в обнажениях углеродистых сланцев (площадки № 4, 5, 8) и мраморизованных известняков (площадки № 6, 7) водораздельной свиты, расположенных вдоль левого борта ручья В. Урях. Первые три площадки расположены на расстояниях до 100 м от Главного Сьюльбанского разлома, первых две – в его висячем боку, третья – в лежачем. Остальные площадки находятся на удалении от разлома до 1,0 км.

Замеры и изучение мелкой трещиноватости, обработка результатов выполнялись по стандартным методикам. В частности, на каждой площадке трещины изучались, по возможности, в стенках разной ориентировки, чтобы минимизировать эффект избирательности, возникающий вследствие меньшей доступности трещин, параллельных преобладающей в обнажении поверхности. Изучались состав

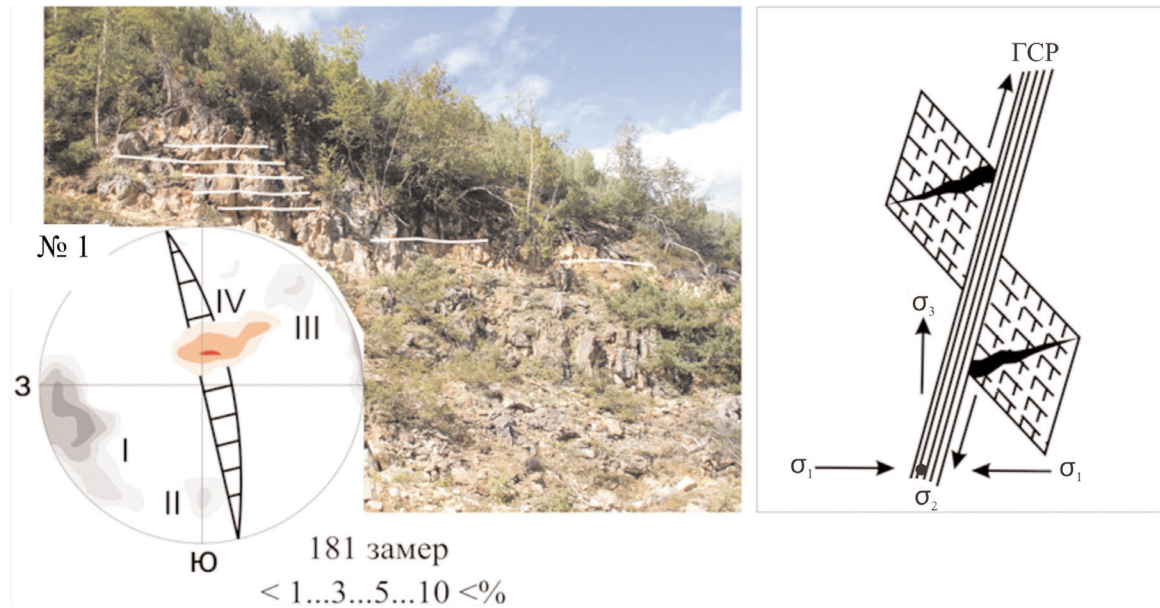


Рис. 4. Площадка массового замера трещин № 1 в залежи апогранитных березитов на участке Ветвистом, диаграмма трещиноватости горных пород и объемная схема реконструкции силового поля рудного этапа. Оси: σ_1 – тангенциального сжатия, σ_2 – относительного растяжения, σ_3 – максимальных растягивающих усилий. Белыми линиями обозначены субгоризонтальные трещины отрыва (максимум IV), выполненные сульфидно-кварцевыми прожилками. На диаграмме показано положение Главного Сьюльбанского разлома (ГСП)

и строение пород, морфология трещин, особенности их поверхностей, ориентировка в пространстве, минеральное выполнение при его наличии. Полученные данные обрабатывались на равноплощадной проекции полусферы Вальтера–Шмидта.

В массивных апогранитных березитах и березитоидах (диаграмма 1, рис. 4) образованы три системы ровных гладких не заполненных минеральным веществом трещин скола (максимумы I–III) и описанная система минерализованных трещин отрыва (максимум IV).

Две системы трещин скола (максимумы I, III) согласно Главному Сьюльбанскому разлому по простиранию, но имеют встречное крутое, как и разлом на Ветвистом участке, падение. Одна наиболее представительная в количественном отношении система (максимум I) субпараллельна разлому по падению и простиранию, вторая система крутопадающих навстречу разлому трещин выражена слабо. Малым числом трещин представлена также система поперечных субширотных трещин скола (максимум II), в разной степени распространенных и в других породах рудного поля.

Диаграмма массовых замеров мелких трещин № 1 демонстрирует классическое пространственное соотношение трещин обоих морфологических и кинематических типов, аутентичное полученному В. Риделем в экспериментах с той разницей, что здесь, в природе, мы имеем дело не со сдвигом, а со сдвиго-взбросом. На рис. 4 также приведена реконструкция силового поля, в режиме которого созданы перечисленные системы трещин.

На площадке массового замера трещин в рассланцованных березитоидах, образованных в вул-

канитах келянской свиты (диаграмма 2, рис. 5), трещины отрыва отсутствуют. Наибольшее развитие получили трещины скола, согласные простиранию и падению толщи вулканитов и флюидалной полосчатости внутри нее (два сближенных максимума I). Трещины скола поперечной ориентировки (максимумы II, III) несколько подчинены, но принадлежат к распространенным в породах рудного поля поперечным системам. Минеральное выполнение в трещинах отсутствует.

В карбонатно-сланцевых сланцах водораздельной свиты (площадка № 3) в лежачем боку Главного Сьюльбанского разлома в непосредственной его близости в левом борту ручья Золотой образованы трещины скола двух систем: согласных ориентировке полосчатости (слоистости) сланцевой толщи (максимум I, рис. 5) и крутопадающих поперечных (максимум II). Как и в предыдущем случае, раздвоение максимума II обусловлено существенным изменением ориентировки трещин этой системы по простиранию и падению. Все трещины не содержат минерализацию.

На значительном удалении (не менее 1 км) от Главного Сьюльбанского разлома в карбонатно-сланцевых, в том числе углеродистых сланцах (площадки № 4, 5, 8) и пестрых, в том числе обогащенных керогеном черных, темно-серых и серых мраморизованных известняках (площадки № 6, 7) водораздельной свиты идентифицированы только трещины скола (рис. 5). Наибольшее развитие получили трещины, согласные ориентировке толщи в целом, – это пологоволнистые трещины интенсивного рассланцевания (на всех диаграммах максимум I), число которых достигает 30 на 1 пог. м,

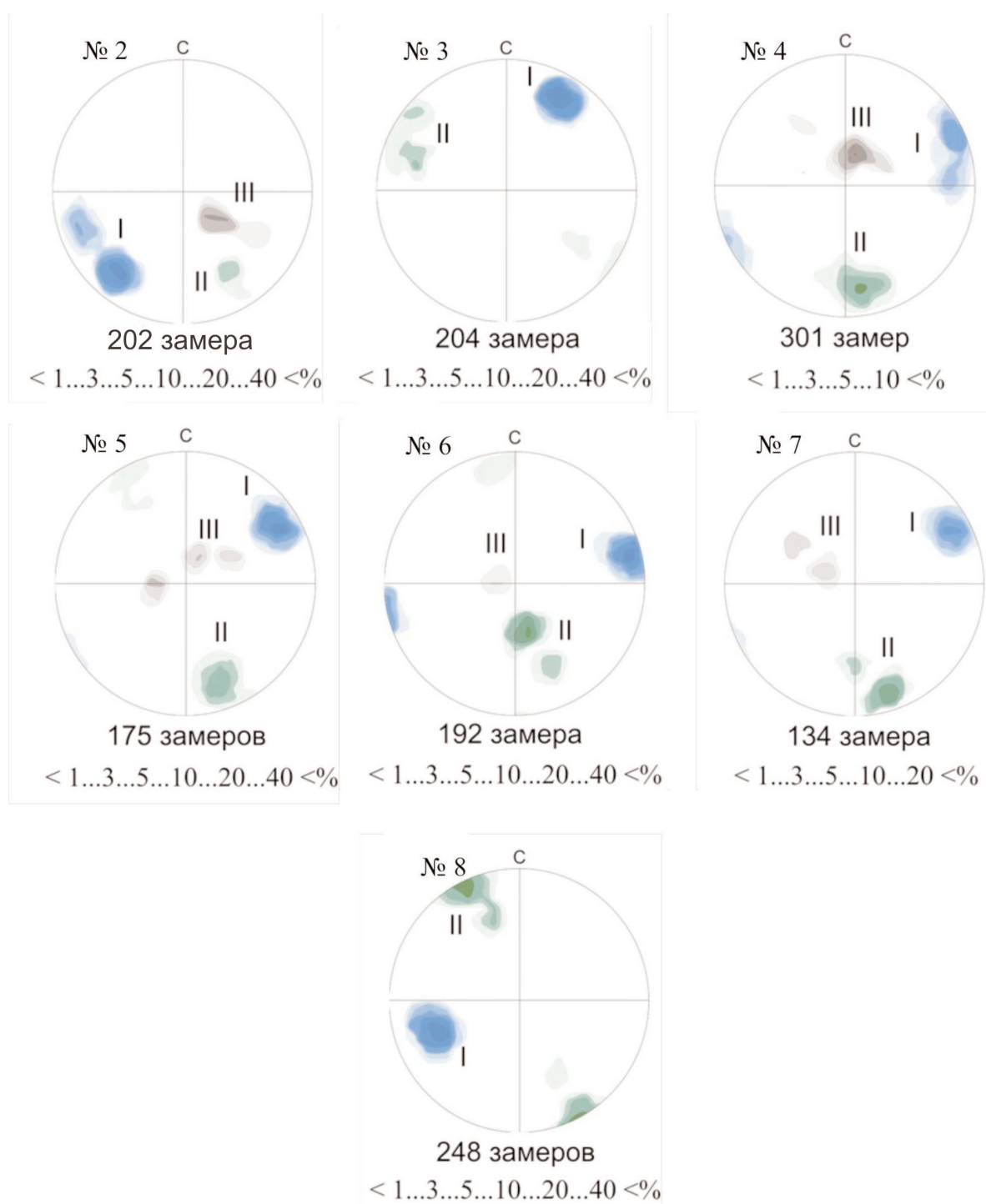


Рис. 5. Диаграммы трещиноватости: рассланцованных вулканитов келянской свиты (№ 2), терригенных углеродистых сланцев водораздельной свиты (№ 3–5, 8), мраморизованных известняков водораздельной свиты (№ 6, 7). Расположение площадок массовых замеров трещин приведено на рис. 2

иногда выполненными карбонат-кварцевыми прожилками с примесью пирита (площадка № 6, рис. 5).

Система поперечных крутопадающих трещин на всех диаграммах представлена максимумами II. Трещинам обеих главных систем присущи в целом незначительные вариации в ориентировке.

Среди поперечных к простиранию толщ трещин встречаются пологие, которые объединяются, как правило, в слабо выраженные максимумы (III). Число таких трещин изменяется в разных обнажениях от 2–3 до 5–7 на 1 пог. метр. Наиболее контрастно система поперечных (субширотных) пологих трещин скола выражена в обнажении 4 (рис. 5).

Здесь эти трещины имеют значительную протяженность и выполнены карбонат-кварцевыми прожилками мощностью до 10 см. Подобно жилкам, выполняющим трещины отрыва в алогранитных березитах, эти жилки также эшелонированы по вертикали. В обнажении высотой 1,5 м таких жилок насчитывается шесть. В кварце образованы грубые субгоризонтальные борозды скольжения, ориентированные по аз. 355° .

4. Обсуждение результатов и выводы

В качестве рудовмещающих структурных элементов Сьюльбанской золоторудной зоны служат крутопадающие и пологие (субгоризонтальные) тектонические зоны, которые по мере удаления от Главного Сьюльбанского, а на севере и Каралонского разломов в их висячих, а крутопадающие и лежащих боках на расстояниях до нескольких сотен метров исчезают. Наиболее крупные структуры располагаются в непосредственном обрамлении обоих разломов, здесь сосредоточена основная масса мощных протяженных крутопадающих и пологих кварцевых жил и минерализованных зон с прожилково-вкрапленной минерализацией. По этим основаниям рудовмещающие структуры рассматриваются как оперяющие Главный Сьюльбанский и Каралонский разломы, выполнявшие рудоконтролирующую и раствороподводящую функции.

Крутопадающие разломы II порядка образованы по типу скола, пологие по типу структур отрыва. Масштабы первых сопоставимы на всем протяжении северной половины Сьюльбанской золоторудной зоны, вторых – дифференцированы. Наиболее мощные пологие структуры отрыва известны в Каралонском рудном поле, но пока не обнаружены в Уряхском, где многочисленные системы мелких трещин отрыва, представляющие миниатюрное подобие крупных каралонских, образованы в квазиизотропных по механическим свойствам малообъемных средах, – в крутопадающих жилах массивного кварца и карбонатов и залежах массивных березитов.

Отложению рудно-минеральных комплексов предшествовала мощная гидротермальная проработка вмещающих пород в обоих боках разломов и образование сопряженных пропиловитовой и березитовой метасоматических формаций, причем производные наиболее глубоких преобразований пород – березиты формировались преимущественно в зонах наиболее высокой проницаемости, то есть в разломах. Это, в сочетании с признаками отложения кварца в открытых полостях, доказывает преимущественную циркуляцию растворов именно в них и перераспределение вещества с поступлением углекислоты, серы, калия, выносом натрия и частично кремнезема. Удаленный из пород кремнезем с участием ранних карбонатов отложен в составе жил и прожилков в крутопадающих зонах расщепления и пологих зонах дробления. Продуктивные золотоносные ассоциации выполняют

более поздние, как правило, мелкие трещины, образованные в результате новых импульсов тектонических деформаций в кварцевых прожилках и жилах, включая кварц-карбонатную Магистральную, залежах березитов, в том числе массивных, и в минерализованных зонах.

Каркас обсуждаемых предрудных круто- и пологопадающих структурных элементов золоторудной зоны отвечает совокупности сопряженных оперяющих ствольные разломы трещин скола и отрыва, моделируемых в экспериментах. Механизм образования этого каркаса не соотносится с масштабами (не зависит от масштабов) образуемых разрывных структур и план силового поля может быть реконструирован как на уровне мелкой трещиноватости, так и сравнительно крупных разломов. Покажем это на конкретных примерах.

В реконструкции силового поля в качестве исходной посылки следует принять как очевидный факт то, что образование пологих (субгоризонтальных) структур отрыва в обрамлении оперяемого разлома возможно в случае приложения растягивающих усилий, ориентированных вверх, в направлении наименьшего механического (гравитационного) сопротивления среды. Представляется также очевидным, что масштабы возникающих структур определяются величиной этих усилий и гравитационным давлением вышележащих толщ, возрастающим с глубиной. В свою очередь, максимальные растягивающие направленные вверх усилия могут возникать в условиях осевого тангенциального сжатия, достаточного по мощности для возникновения ствольной структуры – оперяемого разлома или активизации существующего. Это может быть взброс, надвиг, взбросо-сдвиг, но не сброс, образующийся при горизонтальной ориентировке растягивающих усилий.

Схема реконструкции силового поля на рудном этапе образования выполненных поздними продуктивными рудно-минеральными ассоциациями мелких пологих трещин отрыва в массивных ранних березитах (максимум IV) приведена на рис. 4. Ориентированные вверх максимальные растягивающие усилия здесь (ось σ_3), достаточные для образования этих трещин, возникли при направлении оси тангенциального сжатия (σ_1) по нормали к сместителю Главного Сьюльбанского разлома-взброса и/или под острым углом к нему. В последнем случае возникла сдвиговая составляющая, северо-северо-западное направление которой на предрудном этапе функционирования разлома подчеркивается приоткрыванием и заполнением кварцем субмеридиональных и северо-восточных, но не северо-северо-западных участков субпараллельных ему оперяющих разломов II порядка. Разрядка усилий сжатия осуществлялась также образованием типовых, получаемых в эксперименте, трещин скола, согласных сместителю (максимум I) и имеющих встречное ему крутое падение (максимум III).

Усложнение морфологии продуктивной жильно-прожилковой минерализации в Магистральной

жиле на Золотом участке (рис. 3) сравнительно с приведенной ситуацией строго эшелонированных «лестничного» типа мелких жил в массивных березитах висячем боку разлома обусловлено, скорее всего, тем, что внутри Главного Сьюльбанского разлома на участке его виргации происходило более интенсивное менее упорядоченное нарушение сплошности (дробление) кварц-карбонатного субстрата при разрядке сдавливающих усилий посредством перемещения боков разлома. Здесь слабо выражена тенденция к сохранению плана деформаций сравнительно с условиями висячего бока разлома.

Аналогичную структуру силового поля, но для прерудного этапа формирования структуры, мы получим, если заменим мелкие пологие трещины отрыва и крутопадающие трещины скола на диаграмме 1 соответственно мощными пологими зонами дробления Верхне-Каралонского и Еленинского участков и крутопадающими субпараллельными разломами и зонами расланцевания II порядка, оперяющимися Главный Сьюльбанский и Каралонский разломы и вмещающими ранние минеральные ассоциации [5. Рис. 5]. Однако тот факт, что подобные мощные эшелонированные по вертикали субгоризонтальные структуры отрыва (зоны раздвига) не обнаружены в Уряхском рудном поле и, вероятно, отсутствуют, свидетельствует о дифференциации усилий сжатия и, как следствие, усилий растяжения по простиранию Сьюльбанской зоны. Наиболее мощные усилия сжатия-растяжения создавались на запад-северо-западном окончании Сьюльбанской зоны глубинных разломов, и эти усилия ослабевали южнее, по мере изменения простирания разломов на северо-северо-западное.

Образование пологих структур отрыва преимущественно в висячих боках Главного Сьюльбанского и Каралонского разломов объясняется не только более высокой вероятной их активностью, которая вообще свойственна разломам [6], но и структурой толщи углеродистых сланцев в лежащем боку Главного Сьюльбанского разлома. Обилие здесь крутопадающих зон межслоевого, внутрислоевого и се-

кущего расланцевания препятствует концентрации растягивающих усилий на субгоризонтальных поверхностях — эти усилия гасятся вследствие перемещения пластин пород вдоль направленных вверх усилий растяжения по субпараллельным им швам расланцевания. Здесь неизвестны системы даже мелких трещин отрыва (диаграммы 3–8, рис. 5). Метавулканиты келянской толщи в этом отношении более благоприятны, так как они в основном слабо расланцованы (массивны), поэтому в них образованы мощные субгоризонтальные зоны раздвига, например, на Еленинском участке. Но в интенсивно расланцованных согласно ориентировке толщи метавулканитах, как и в углеродистых сланцах, также не возникают даже мелкие пологие трещины отрыва (диаграмма 2, рис. 5).

Постоянное присутствие во всех породах трещин скола субширотного, северо-восточного простирания отражает существование поперечных к рудовмещающим структурам разломов, которые, вероятно, влияли на распределение минерализации. В Каралонском рудном поле известны поперечные пояса даек долеритов, в сопряжении которых с рудоносными зонами фиксировались наиболее богатые руды (устное сообщение Г.И. Грабко). Однако большинство поперечных нарушений пока не вскрыто.

Образование на прерудном и рудном этапах одних и тех же систем разломов и трещин, — ранних, вмещающих в основном березиты, кварц и ранние карбонаты, поздних, выполненных продуктивной кварц-карбонат-сульфидной минерализацией, доказывает пульсационный режим и сохранение плана тектонических деформаций на обоих этапах, усиление и ослабление сжимающих и растягивающих усилий. Этот факт отражает динамику структурной подготовки и структурного сопровождения рудообразующего процесса в Сьюльбанской золоторудной зоне в позднепалеозойскую эпоху ее эволюции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Riedel W. Das Aufquellen geologischer Schnellmassen als plastischer Formänderungsvorgang // Neues Jahrbuch für Miner., Geol. und Paleont. — 1929. — Bd. 62. — Abt. B. — S. 151–170.
2. Riedel W. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen // Zentralbl. für Mineralogie. Abt. Geol. und Paleont. — Berlin, 1929. — S. 354–368.
3. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 1. Беркульское месторождение (Кузнецкий Алтай) // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313. — № 1. — С. 12–26.
4. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных ме-

5. сторожений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2. Месторождение Чертово Корято (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 314. — № 1. — С. 23–38.
5. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю. Структурно-динамические режимы образования золото-сульфидно-кварцевой минерализации в Сьюльбанской золоторудной зоне (бассейн среднего течения реки Витим). Ч. 1. Каралонское рудное поле // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 318. — № 1. — С. 29–35.
6. Великий А.С. Структуры рудных полей (в складчатых областях). — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1961. — 276 с.

Поступила 19.09.2011 г.