

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071:553.078.2

СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОБРАЗОВАННЫХ В НЕСЛАНЦЕВОМ И ЧЕРНОСЛАНЦЕВОМ СУБСТРАТЕ.

Ч. 2. Месторождение Чертово Кори́то (Патомское нагорье)

И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко*, А.В. Верхозин*

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: Verkhosin AV@polyusgold.com

В заявленном в первой части статьи сравнительном исследовании причин существенно отличных промышленных параметров золотого оруденения в месторождениях, образованных в различном, в том числе кристаллическом субстрате, с одной стороны, и в толщах углеродистых сланцев, с другой, участвуют материалы, раскрывающие в данной второй части структуру месторождения Чертово Кори́то, залегающего в раннепротерозойских черных сланцах. Показаны последовательность образования складчатых и разрывных структурных элементов месторождения на дорудном, рудном и послерудном этапах. Разломно-трещинные элементы дифференцированы по морфологии, масштабам, кинематике, роли в рудообразовании. Разработана структурно-динамическая модель месторождения, в которой ведущие позиции в размещении золотоносной минерализации занимают многочисленные крупные и мелкие трещины отрыва, образованные в начале рудного этапа в висячем боку рудоконтролирующего и раствороподводящего разлома-взброса в результате повторяющихся импульсов тангенциального сжатия и сопровождающего его растяжения. Приведены и обсуждаются черты сходства и различий этой модели со структурно-динамической моделью кварцево-жильного образованного в толще базальтов Берикюльского месторождения, описанной в первой части статьи. В числе факторов, определяющих упомянутые различия параметров оруденения в золотых месторождениях двух обсуждаемых однородных по геолого-генетическим показателям совокупностей ведущее значение имеют состав и строение рудовмещающего субстрата.

Ключевые слова:

Месторождение Чертово Кори́то, углеродистые сланцы, структура месторождения, складки, разломы, раздвиг, структурно-динамическая модель.

Введение

Приведенные в [1] факты демонстрируют геолого-генетическую однородность золоторудных месторождений, образованных в толщах черных (углеродистых) сланцев разного возраста, с одной стороны, и в ином (кристаллическом) субстрате, с другой. Изученные в южном горно-складчатом обрамлении Сибирского кратона объекты той и другой совокупности принадлежат к классу плутоногенных базальтогенных мезотермальных месторождений в составе золоторудных кварцевых жил, минерализованных зон, залежей с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией. Данный вывод представляет альтернативу популярной для региона метаморфогенной [2 и др.], традиционной гранитогенной [3 и др.] и недавно предложенной полигенной [4] гипотезам рудообразования.

Вместе с тем, крупные и уникальные (сотни – тысячи тонн) запасы золота, сосредоточенные в рудных телах месторождений «сланцевого типа»,

сочетаются с низкими, на уровне первых г/т, содержаниями металла в противоположность месторождениям «несланцевого типа», которым, как правило, свойственны относительно небольшие (до 100 т) запасы золота, но высокие, в среднем до десятков г/т, его содержания. Причины этого, насколько известно авторам, в сравнительном аспекте не обсуждались, но с позиции базальтогенной концепции факт требует объяснения.

Чтобы понять причины упомянутых различий, необходим сравнительный анализ литолого-структурных условий образования и локализации оруденения, поскольку последние в однородных термодинамических и физико-химических режимах рудообразующих систем существенно влияют на формы, размеры, внутреннее строение заполняемых металлоносными растворами полостей и на распределение рудного вещества в них. Для достижения корrekтности анализа целесообразно сопоставлять месторождения той и другой совокупности, структурный каркас которых в части рудовмещающих и со-

проводящих элементов предрудного и рудного этапов формировался в результате реализации сходных планов тектонических деформаций. В этом случае следует ожидать возникновение сходных структурных форм, которые и составляют вещественную основу для реконструкции силовых полей.

С учетом этого выбрано два детально изученных авторами золотых месторождений, одно из которых (Берикульское) образовано в раннем палеозое в толще массивных покровных базальтов и андезитов кембрия, другое (Чертово Кори́то) — предположительно в позднем палеозое в раннепротерозойской слоистой толще углеродистых терригенных сланцев. Структурно-динамическая модель Берикульского месторождения приведена в первой части статьи [1], материалы по месторождению Чертово Кори́то, обсуждение результатов и выводы составляют содержание данной второй ее части.

Геологическая позиция месторождения Чертово Кори́то

Месторождение Чертово Кори́то расположено на севере Патомского нагорья в бассейне р. Бол. Патом — правого притока р. Лены в среднем ее течении (рис. 1).

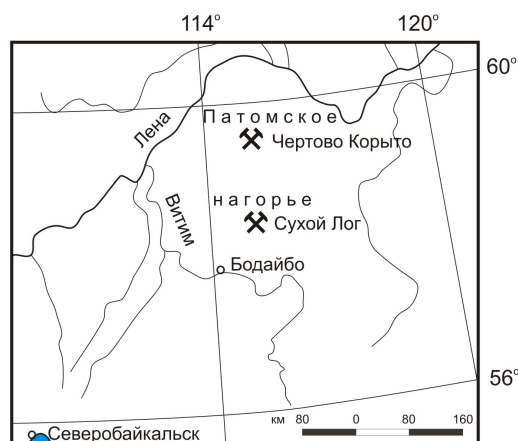


Рис. 1. Схема расположения месторождения Чертово Кори́то

Согласно схемы металлогенического районирования (Коткин, 2006), месторождение входит в состав Артемьевского рудного поля, последнее — в состав Кевактинского рудного узла Тонодского рудно-россыпного района Витимо-Патомской структурно-металлогенической зоны. Положение основных золотоносных районов и узлов в структурно-металлогенической зоне контролируют выступы пород раннепротерозойского возраста в региональной структуре территории — Витимо-Патомо-Нечерском антиклинории. К одному из таких выступов — Тонодскому поднятию приурочен Кевактинский рудный узел — крупный (около 250 км²) сложенный раннепротерозойскими и рифейскими осадочными толщами интенсивно тектонически нарушенный блок, заключенный между массивами гранитоидов раннепротерозойских амандракского и чуйско-кодарского комплексов.

В центральной части узла нижний структурный ярус сложен отложениями кевактинской серии в составе терригенно-сланцевых албазинской и михайловской свит мощностью соответственно до 1700 и 1200 м, образующих Кевактинскую антиклиналь, сочлененную севернее по крупному разлому с Михайловской синклиналью (рис. 2). Отложения смяты в пологие (10...20°) брахиформные субширотные складки, осложненные флексурами. К восточному брахиформному замыканию Михайловской синклиннали приурочено месторождение. Верхний (рифейский) ярус объединяет отложения пурпольской, медвежевской (нижний рифей), хайлухтакской, хайвергинской и бугарихтинской (средний рифей) свит общей мощностью до 2250 м, залегающие с угловым и азимутальным несогласием на раннепротерозойских отложениях. Эти преимущественно грубообломочные образования собраны в малоамплитудные складки и залегают на периферии рудного узла.

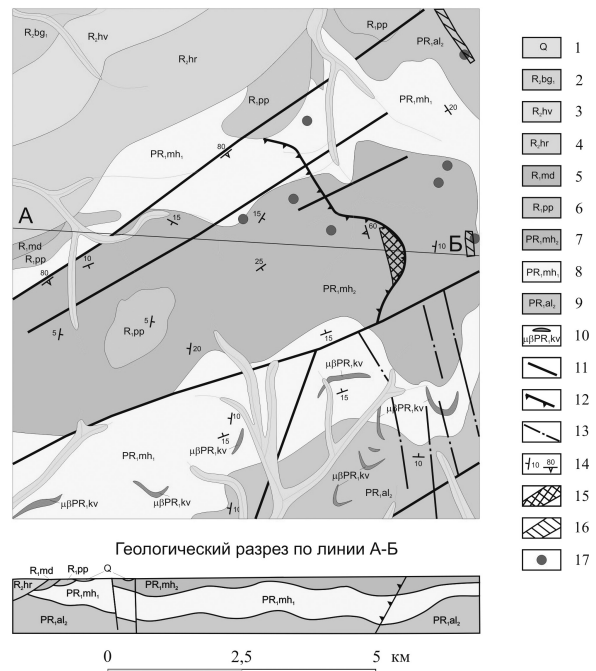


Рис. 2. Схема геологического строения района месторождения Чертово Кори́то: 1) четвертичные отложения; средний рифей: 2) бугарихтинская свита, нижняя подсвита, метагравелиты, песчаники, сланцы; 3) хайвергинская свита, конгломераты, метагравелиты, метапесчаники, сланцы; 4) харлухтакская свита, конгломераты, метагравелиты, метапесчаники, сланцы; 5–6) нижний рифей: 5) медвежевская свита, метапесчаники, метагравелиты, сланцы, гравелиты; 6) пурпольская свита, кварциты, сланцы, гравелиты, конгломераты; 7–8) нижний протерозой: 7) михайловская свита, верхняя подсвита, метапесчаники, сланцы; 8) нижняя подсвита, метапесчаники, алевросланцы, сланцы; 9) албазинская свита, верхняя подсвита, сланцы, алевросланцы, песчаники; 10) ранний протерозой: кевактинский комплекс, дайки метадиабазов; 11, 12) глубинные разломы, в том числе 12) рудо-контролирующий; 13) второстепенные крутопадающие нарушения; 14) элементы залегания слоистости, тектонических нарушений; 15) зоны сульфидно-кварцевой минерализации с промышленной золотоносностью (месторождение Чертово Кори́то); 16) зоны сульфидной минерализации; 17) рудопроявления золота

Кевактинский рудный узел расположен в области пересечения Хайвергинско-Кевактинского и Тонодского региональных разломов северо-восточного простирания и субмеридиональной структуры, приуроченной к Амандракской зоне глубинных разломов. К числу субмеридиональных разломных структур, оперяющих последнюю, относится рудоконтролирующая зона тонкого расщепления на восточной периферии месторождения. Фрагменты этих структур приведены на рис. 2, 3.

Отсутствие данных о возрасте месторождения Чертово Кoryто затрудняет реконструкцию геодинамических обстановок и режимов, в которых образовалось оруденение. Тем не менее, не исключена принадлежность его к средне-, позднепалеозойской эпохе по аналогии с соседним месторождением Сухой Лог, возраст прожилково-вкрапленной минерализации и околорудных метасоматитов в котором составляет 447 ± 6 млн л, а золотоносных кварцевых жил — 321 ± 14 млн л [5]. Помимо пространственной близости оба месторождения обладают признаками геолого-генетической однородности. Если возраст подтвердится, будет предпочтителен вывод об образовании месторождения в режиме тектономагматической активизации вмещающего руды геоблока земной коры, сложенного, как будет обосновано ниже, отложениями, образованными в шельфовой области перикратонного морского бассейна. В этом случае месторождение будет представлять ту совокупность золотых месторождений, которые контролируются глубинными разломами в областях тектономагматической активизации [6].

Структура месторождения Чертово Кoryто

Устройство месторождения, условия залегания и морфологические черты оруденения определяются сочетанием складчатых и разрывных структурных элементов, образованных одновременно и последовательно в неоднородной по составу и физико-механическим свойствам среде — терригенных сланцах верхней подсвиты михайловской свиты с переменным, как правило, менее 2 % содержанием некарбонатного углеродистого вещества [7].

В составе рудовмещающей толщи преобладают регионально метаморфизованные и позднее околорудно измененные обломочные породы — метапесчаники и метаалевролиты, занимающие до 90 % ее объема, при участии глинистых пород — аргиллитов (рис. 3, 4). Несмотря на эпигенетические преобразования породы сохранили основные черты первоначального состава и строения.

Метапесчаники и метаалевролиты — серые до темно-серых, мелкозернистые, разнозернистые с подчиненным участием средне- и крупнозернистой (до 1 мм) обломочной фракции существенно кварцевые и полевошпат-кварцевые породы. В качестве аксессуарных присутствуют апатит, циркон, сфен, рудные минералы, метаморфических минералов — амфибол (жедрит), турмалин, биотит, ме-

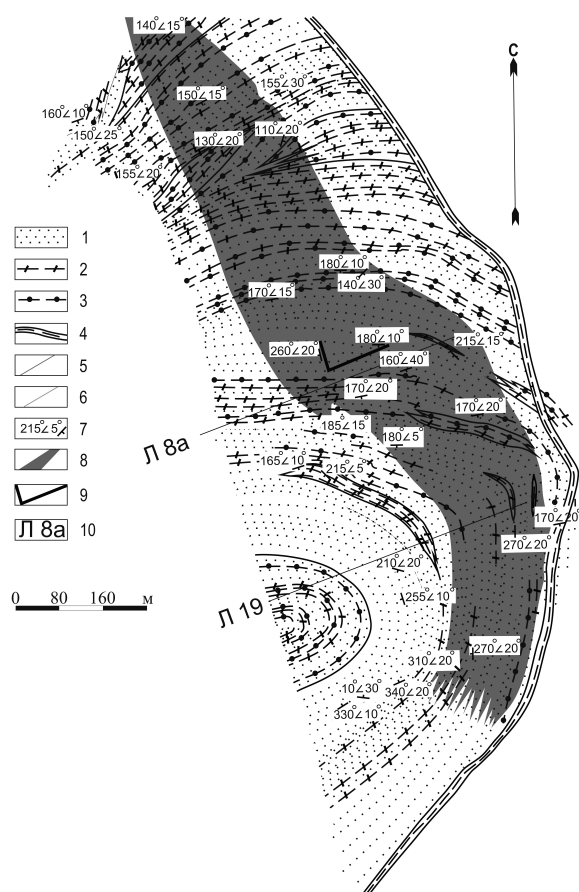


Рис. 3. Схема геологического строения месторождения Чертово Кoryто: 1) как правило, плохо отсортированные серые до темно-серых, от тонко- до среднезернистых, неяснослойчатые грубослойчатые полевошпат-кварцевые песчаники, алевро-песчаники, углеродистые и безуглеродистые; 2) как правило, плохо отсортированные темно-серые разнозернистые, от мелко- до крупнозернистых тонкослойчатые до грубослойчатых полевошпат-кварцевые алевролиты, песчаные алевролиты, углеродистые и безуглеродистые; 3) аргиллиты серицитовые с незначительным (до 25 об. %) содержанием или отсутствием обломочной фракции песчаной и/или алевритовой размерности, углеродистые и безуглеродистые; 4) разлом; 5) зоны тонкого расщепления и дробления пород; 6) тыловые зоны (хлоритовая, альбитовая, березитовая) рудовмещающего метасоматического ореола; 7) азимуты и углы падения слоев; 8) область промышленной золото-сульфидно-кварцевой минерализации; 9) границы карьера опытной эксплуатации; 10) номера разведочных линий

тасоматических — серицит, хлорит, альбит, карбонаты, рудные. Обычны взаимопереходы от песчаников к алевролитам и далее — к аргиллитам посредством изменений количественных соотношений обломков различной крупности. Слабая сортировка обломочной фракции, составляющей до 90 % объема пород, сочетается со слабой окатанностью обломков, которые часто сохраняют угловатую форму. Цемент базальный, контактово-поровый, контактовый. Породам свойственны сланцеватые, реже массивные текстуры. Обычны горизонтальная, волнистая, перекрестно-волнистая,

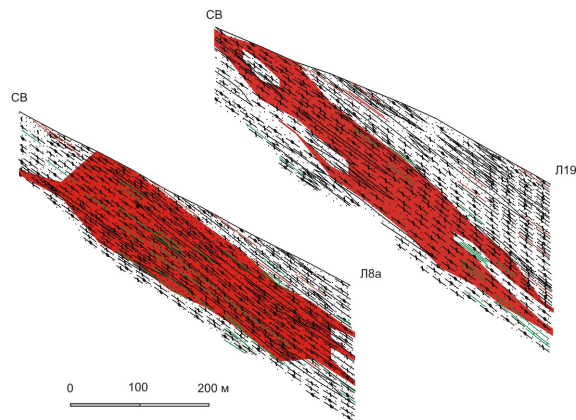


Рис. 4. Вертикальные литологические разрезы рудовмещающей толщи. Один из вариантов оконтуривания рудной залежи. Условные обозначения см. рис. 3

косая слойчатость, обусловленная чередованием слоев разного минерального или гранулометрического состава. Отмечаются сложные узоры слойчатости, деформированной в результате оползания осадков на неровностях дна (рис. 10). Последнее аргументируется тем, что упомянутые сложные (причудливые) узоры внутри слоев не сопровожда-

ются деформациями (смятием) межслоевых поверхностей тектонической природы.

Аргиллиты — сланцеватые или массивные тонкозернистые породы черного цвета, сложенные серицитом, чешуйки которого в массе ориентированы согласно сланцеватости пород.

Перечисленные породы ритмично чередуются в разрезе по схеме: песчаники — алевролиты — аргиллиты. Слои последних нередко размыты и уплотненные обломки аргиллитов встречаются в песчаниках, а ритмы повторяются в «усеченном» составе песчаников и алевролитов.

Все породы слагают слои мощностью от первых см до первых метров. Они ограничены выдержанными межслоевыми поверхностями отдельности, в стенках траншей и карьера на расстояниях до многих десятков метров выраженных прямолинейными швами (рис. 5). Незначительные различия в ориентировке ограничивающих слоев поверхностей обуславливают клиновидные окончания слоев и замену одних слоев другими по простиранию и падению толщи. На межслоевых поверхностях отдельности отсутствуют знаки ряби, трещины усыхания и другие скульптурные детали этапа седиментации.

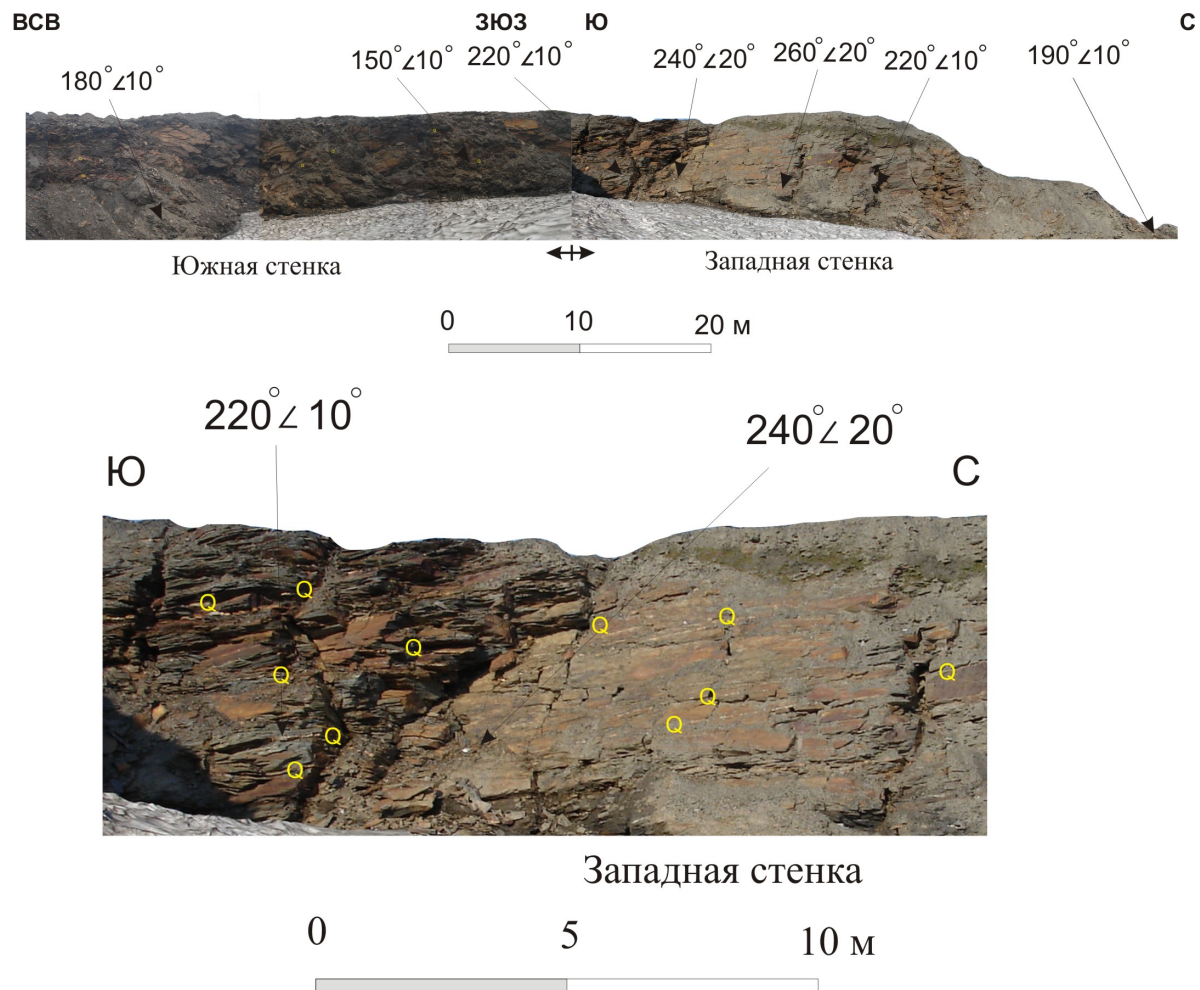


Рис. 5. Фрагменты стенок карьера опытной эксплуатации. Золото-сульфидно-карбонатно-кварцевые жилы (Q), выполняющие межслоевые полости. Цифрами обозначены азимуты и углы падения слоев горных пород

Описанные черты состава и строения осадочной толщи в совокупности подчеркивают образование ее в неспокойном гидродинамическом режиме прибрежно-морского мелководья, скорее всего, в условиях средней части шельфа при колебательных движениях дна.

Оруденение представлено типом прожилково-вкрапленной золото-карбонатно-сульфидно-кварцевой минерализации, образованной в толще терригенных черных сланцев, метасоматически измененных в объеме, значительно превышающем объем промышленных руд. Крупнообъемный рудовмещающий метасоматический ореол принадлежит к пропилит-березитовой формации [7] и неравномерно насыщен кварцевыми жилами и прожилками мощностью от 4,5 м до первых мм. Рудная минерализация включает в последовательности образования три минеральных комплекса: пирит-пирротинный (кварц I, кальцит, анкерит, пирит I, пирротин I), арсенопирит-пирит-пирротинный (кварц II, арсенопирит, пирит II, пирротин II, кобальтин, ульманит, золото I), галенит-халькопирит-сфалеритовый (кварц III, анкерит, галенит, халькопирит, сфалерит, золото II, теллуросмугтин, валлеиит). Основная масса сульфидов в форме вкрапленников, прожилков, «просечек» сосредоточена в метасоматитах, видимое золото, напротив, чаще встречается в кварце.

Дорудные складчатая и разломно-трещинные элементы структуры

Складчатая структура месторождения (рис. 3) — фрагмент Михайловской синклинали в ее приамбовой части относится к наиболее ранним в районе (раннепротерозойским) элементам тектонических деформаций, поддающимся расшифровке благодаря сохранности слоистости, а, следовательно, и стратификации рудовмещающей осадочно-метаморфической толщи. Однако при кажущейся простоте основной структуры она осложнена син-складчатыми или наложенными разломно-складчатыми деформациями, особенно на восточной периферии и южном фланге месторождения.

Породам свойственно пологое залегание под углами менее 30°, а обычно менее 20° вплоть до субгоризонтального. Оно документируется в траншеях, карьере и в керне всех вертикальных скважин — углы между осями скважин и нормальными к поверхностям отдельности слоев и наследующим их поверхностям рассланцевания при зафиксированном незначительном искривлении стволов скважин не превышает 5...20°. Последнее свидетельствует о том, что пологое на поверхности залегание крыла синклинали на глубоких горизонтах месторождения не претерпело существенных изменений.

На северном фланге месторождения на вскрытых рельефом нижних стратиграфических и топографических (отметки рельефа 1325...1425 м) уровнях стратификация толщи ориентирована в северо-восточном направлении с пологим падением на

юго-восток. Южнее, на стратиграфически и топографически наиболее высоких (отметки рельефа 1425...1500 м) уровнях простирание слоистости приобретает субширотное направление при пологом падении на юг. На восточном склоне вершины Чертова Корыто в районе разведочного профиля 19 слои испытывают заметное изгибание в юго-восточном направлении, которое южнее сменяется резким поворотом на юг и далее на юго-запад. Толща приобретает субмеридиональное простирание с преобладающим падением на запад, а на юге месторождения — на северо-запад. Отсюда следует, что складчатая структура месторождения характеризует восточное замыкание брахисинклинали. Обилие мелкоскладчатых осложнений главной структуры, особенно на южной половине площади обуславливает часто меняющуюся здесь ориентировку слоистости.

К числу наиболее ранних, синскладчатых, разрывных нарушений относятся межслоевые поверхности рассланцевания — протяженные поверхности скалывания с зеркалами скольжения, подчеркиваемыми пленками растертого блестящего черного керогена. Борозды скольжения на них завуалированы пленками углеродистого вещества, а в местах, где последнее отсутствует, немногочисленны и, следовательно, малохарактерны. Вероятно, это означает, что скольжение поверхностей одна относительно другой было ограниченным.

Протяженные поверхности рассланцевания данной системы сопровождаются общим рассланцеванием пород. Интенсивность рассланцевания квалифицируется как умеренная или слабая, — толщина плиток составляет 2...10 см (рис. 5). Значение этого показателя близко по всему разрезу толщи в рудных, подрудных и надрудных интервалах, равно как и в интервалах, наиболее насыщенных кварцевыми жилами и не содержащих их. Не фиксируется увеличения в рудных интервалах редких зон интенсивного рассланцевания, подобных изображенной на рис. 11.

Часть поверхностей рассланцевания сопровождается золотоносными кварцевыми жилами относительно небольшой, до десятков сантиметров мощности (рис. 5), и зонами околотрещинной березитизации мощностью до 12 м [7]. Эти жилы просты по морфологии, их протяженность по простиранию достигает многих десятков метров. Ориентировка жил следует описанной стратификации толщи (рис. 6). На южной половине месторождения, согласно М.М. Баженову с соавторами (1981), кварцевые жилы данной системы имеют субмеридиональное простирание и падают на запад-юго-запад (260°) и северо-восток (80°) под углами соответственно до 25° и 5...10°. Такая ориентировка согласуется с некоторым усложнением складчатой структуры толщи мелкими складками более высоких сравнительно с главной синклиналью порядков (для случаев северо-восточного — субгоризонтального падения жил). На южной окраине месторождения преобладают согласные стратификации

кварцевые жилы и прожилки, падающие в северо-северо-западном направлении под углами $12...25^\circ$. Менее распространены прожилки, падающие на юго-запад под углами $10...25^\circ$ при мощности их не более 0,5 м.

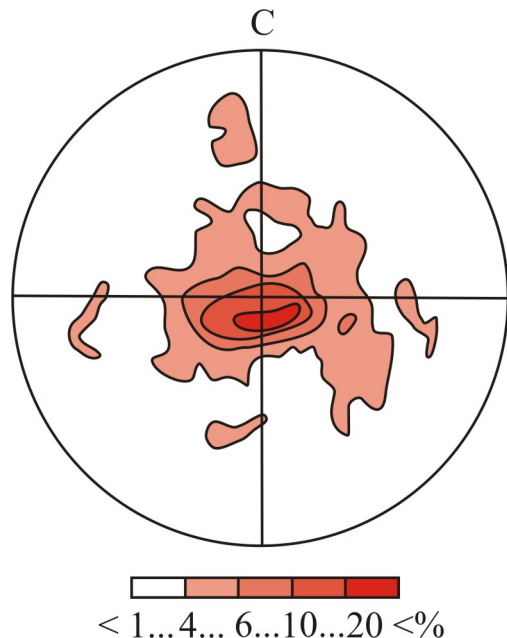


Рис. 6. Диаграмма ориентировки золото-карбонатно-сульфидно-кварцевых жил и прожилков в рудовмещающих осадочных породах, выполняющих межслоевые полости в северной части рудной залежи

Данную систему согласных слоистости поверхностей рассланцевания представляют также прожилки мощностью от долей мм до нескольких мм (рис. 7), иногда достигающие мощностей первых см, обнаруживая постепенные переходы к кварцевым жилам. Они выполняют субпараллельные мелкие трещины скола, сложены теми же карбонатно-сульфидно-кварцевыми ассоциациями, что и более крупные кварцевые жилы, но в основном — молочно-белым кварцем, или кварцем с примесью карбонатов и/или сульфидов, иногда — существенно сульфидами. Во всем объеме пород рудовмещающего блока прожилки распределены неравномерно — местами они сгущены до десятков на 1 пог. м керна, местами отсутствуют. Степень насыщения пород прожилками обычно не коррелирует с объемом кварцево-жильного заполнения пород, но иногда отмечаются обратные зависимости: прожилков много — кварцевых жил нет, и наоборот.

К обсуждаемой системе трещиноватости сколового типа относятся повсеместно распространенные в породах рудовмещающего блока микротрещины скрытого внутрислоевого рассланцевания, — недоразвитые трещины, внешне не выраженные. Они обнаруживаются лишь при раскалывании керна; получаемые при этом поверхности скола согласны слоистости, либо ориентированы к ней под острым углом. Микротрещины содержат прерывистые цепочки коротких, до 3...5 мм, прожил-

ков мощностью до 1 мм пирита, арсенопирита, либо пирротина (рис. 7). Последний, в том числе вместе с кварцем, образует в этих микротрещинах вытянутые вдоль них цепочки линзовидных включений — «глазков».

В слоях и слоях аргиллитов проявлены специфические сколовые деформации, вещественным выражением которых служат микротрещины, иногда интегралообразные, имитирующие косую слоистость, свойственную более крупнозернистым породам — алевритам и песчанникам. Микротрещины не содержат сульфидно-кварцевой минерализации, но несколько обогащены керогеном. Обычно они не ограничены объемом одного слоя, слойка, а выходят за их пределы, не изменяя ориентировки и пересекая несколько соседних слоев. Слоям аргиллитов также свойственны микроскладчатые формы, образованные вследствие пластических деформаций агрегатов ориентированных в одном направлении чешуек серицита с образованием, в частности, микрофлексур, наблюдаемых только под микроскопом. Судя по соотношениям ориентировки их и слоистости (слоистости), микротрещины относятся к системе (системам) крутопадающих и представляют начальную (зародышевую) форму проявления кливажа, не получившего в рудовмещающей толще более масштабного выражения.

На восточной окраине месторождения (рис. 3) на дорудном этапе образована крупная крутопадающая (60°) по аз. 255° разрывная структура, представленная мощной (до десятков метров) зоной тонкого рассланцевания пород (М.М. Баженов и др., 1981), фиксируемая также аномалией магнитной и ЕП и квалифицируемая как взброс с незначительной сдвиговой составляющей. По ряду признаков разлом имеет статус глубинного и, вероятно, опережает Амандраковский глубинный разлом.

Глубинный статус разлома — единственной в месторождении крупной разрывной структуры доказывается присутствием в рудовмещающей толще сланцев даек гидротермально измененных долеритов и контрастными аномалиями фемофильных элементов (P, Ti, Mg, Fe) в тыловых зонах (березитах) прилегающего к нему рудовмещающего метасоматического ореола. Те и другие служат вестниками мантийных глубин. Как установлено в ряде месторождений [8, 9], контрастные аномалии упомянутых фемофильных элементов образуются в березитах в непосредственном обрамлении глубинных разломов и исчезают по мере удаления от них. Нет оснований полагать, что месторождение представляет исключение из общего правила. Этот факт подтверждает раствороподводящую функцию разлома, а в сочетании с ним залегание минерализованной зоны — залежи вдоль разлома и постепенное выклинивание промышленной минерализации в месторождении по мере удаления от него — его рудоконтролирующую функцию.

Если образование раствороподводящего и рудоконтролирующего разлома в дорудный этап фор-

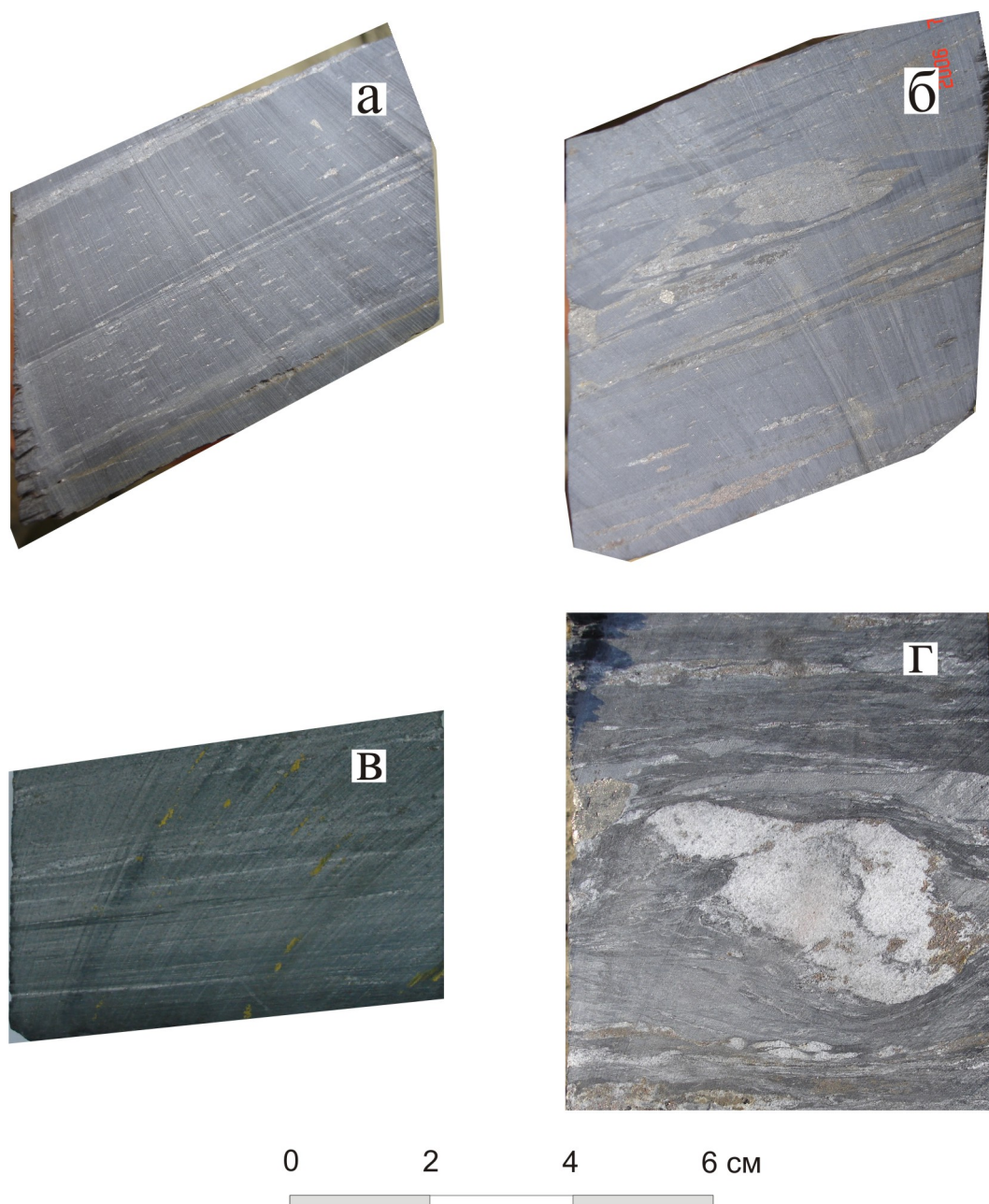


Рис. 7. Линзовидные выделения и микропрожилки золото-карбонатно-сульфидно-кварцевое, существенно сульфидного и кварцевого состава трассируют скрытые микротрещины скола, субпараллельные межслоевым швам расщепления рудовмещающей осадочной толщи

мирования структуры месторождения представляется очевидным, то нижняя возрастная граница его возникновения может быть оценена только предположительно, исходя из общего, но не без исключений, правила. Согласно последнему, каркас рудоконтролирующих, раствороподводящих, рудовмещающих структурных элементов гидротермальных рудных полей обычно формируется как реакция на тектоно-магматогенно-флюидные рудообразующие процессы, реализуемые в условиях напряженных тектонических деформаций [10]. Учитывая это, есть основания предполагать, что в нашем случае разлом образовался в рамках функцио-

нирования гидротермальной системы на раннем (предрудном) этапе, обеспечив поступление ранних и последующих порций растворов из очагов генерации в область рудообразования.

Разломно-трещинные элементы структуры рудного этапа

В совокупности золотоносных карбонатно-сульфидно-кварцевых жил и прожилков, насыщающих рудовмещающую зону, выделяются такие, которые отличаются морфологическими чертами, чрезвычайно сложной конфигурацией ограничива-

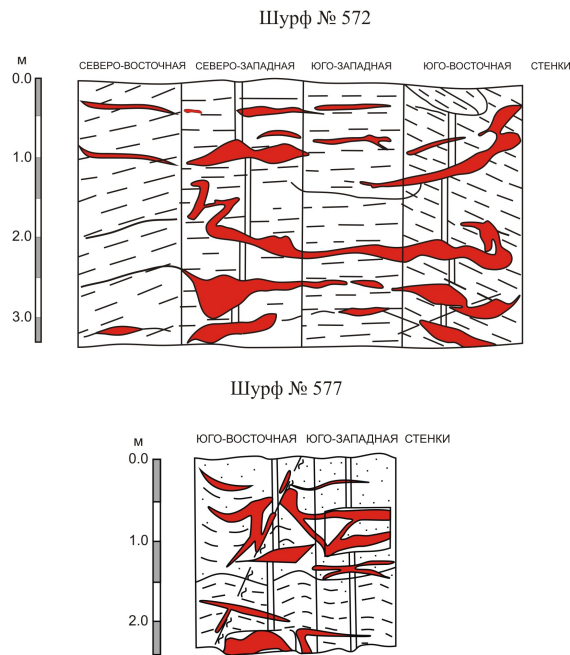


Рис. 8. Золото-карбонатно-сульфидно-кварцевые жилы, выполняющие трещины отрыва в рудовмещающей осадочной толще

ющих их поверхностей, исключая систематизацию их ориентировки в пространстве. Они представлены многочисленными сравнительно крупными телами мощностью до 4,5 м и протяженностью до многих десятков м с субгоризонтальным или пологим (до $10...15^\circ$) залеганием, меньшими по разме-

рам прожилками причудливой, даже экзотической формы (рис. 8, 10). Крупным субгоризонтальным жилам свойственна «горбообразная» форма с выпуклыми вверх контактами, подобная антиклинальной складке с пологим погружением крыльев (рис. 9). Мелкие золото-карбонатно-сульфидно-кварцевые жилки пересекаются, ветвятся, изгибаются в разных направлениях, образуют микро-складчатые формы тектонического и нетектонического происхождения, унаследовавшие в последнем случае текстуры оползания (скупивания) осадков (рис. 10). Некоторые тела могут быть названы жилами условно — они имеют гнездовую, линзовидно-гнездовую форму, и не только среди рассланцованных пород, но и среди массивных песчаников, линзовидную форму с мощными раздувами, на коротких расстояниях сменяемыми тонкими и прерывистыми «проводниками», с изгибами флангов более тонких линз, резко меняющими их ориентировку, ветвящиеся тела и образующие в локальных минерализованных зонах цепочки (рис. 8). Перечисленные признаки указывают на вмещающие кварц полости разных размеров как разломно-трещинные структуры отрыва. С возникающими крупными трещинами отрыва иногда сочетаются в едином ансамбле разломы и трещины скола (рис. 9).

Золото-карбонатно-сульфидно-кварцевые жилы и прожилки описанного морфологического типа не сопровождаются околожилными оторочками более измененных пород, — они залегают в основном среди черных сланцев в промежуточной углеродистой зоне пропилитоподобных изменений

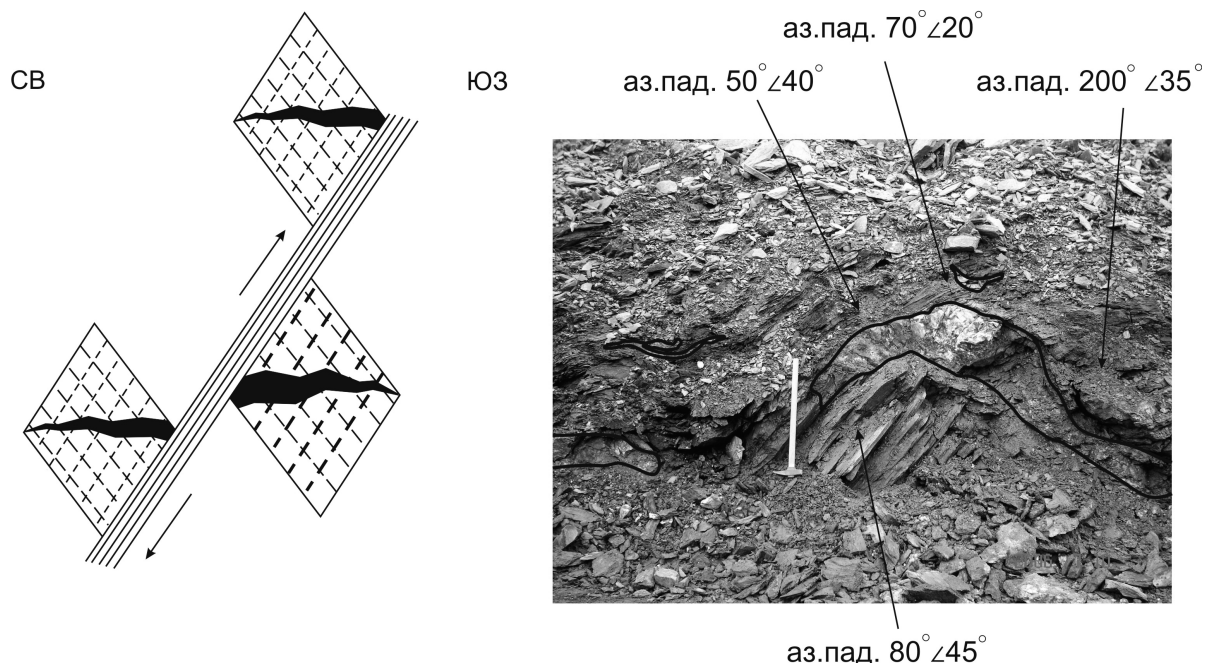


Рис. 9. Схема реконструкции структурно-динамических условий образования сопряженной системы трещин отрыва и скола в локальном объеме рудовмещающей полости разуплотненных пород месторождения Чертово Корыто. Справа реальная ситуация — юго-восточная стенка траншеи К-7 на 198,5 м, слева — интерпретация. Трещины отрыва (отслоения) образованы в висячем и лежащем боках фиксируемого тонким расланцеванием локального разлома (верхнее окончание ручки молотка) и выполнены золотоносным кварцем (жирной линией оконтурена кварцевая жила). Трещины скола представлены одной субпараллельной разлому системой (аз. пад. $80^\circ/45^\circ$); трещины скола второй возможной системы противоположного разлому падения не развиты

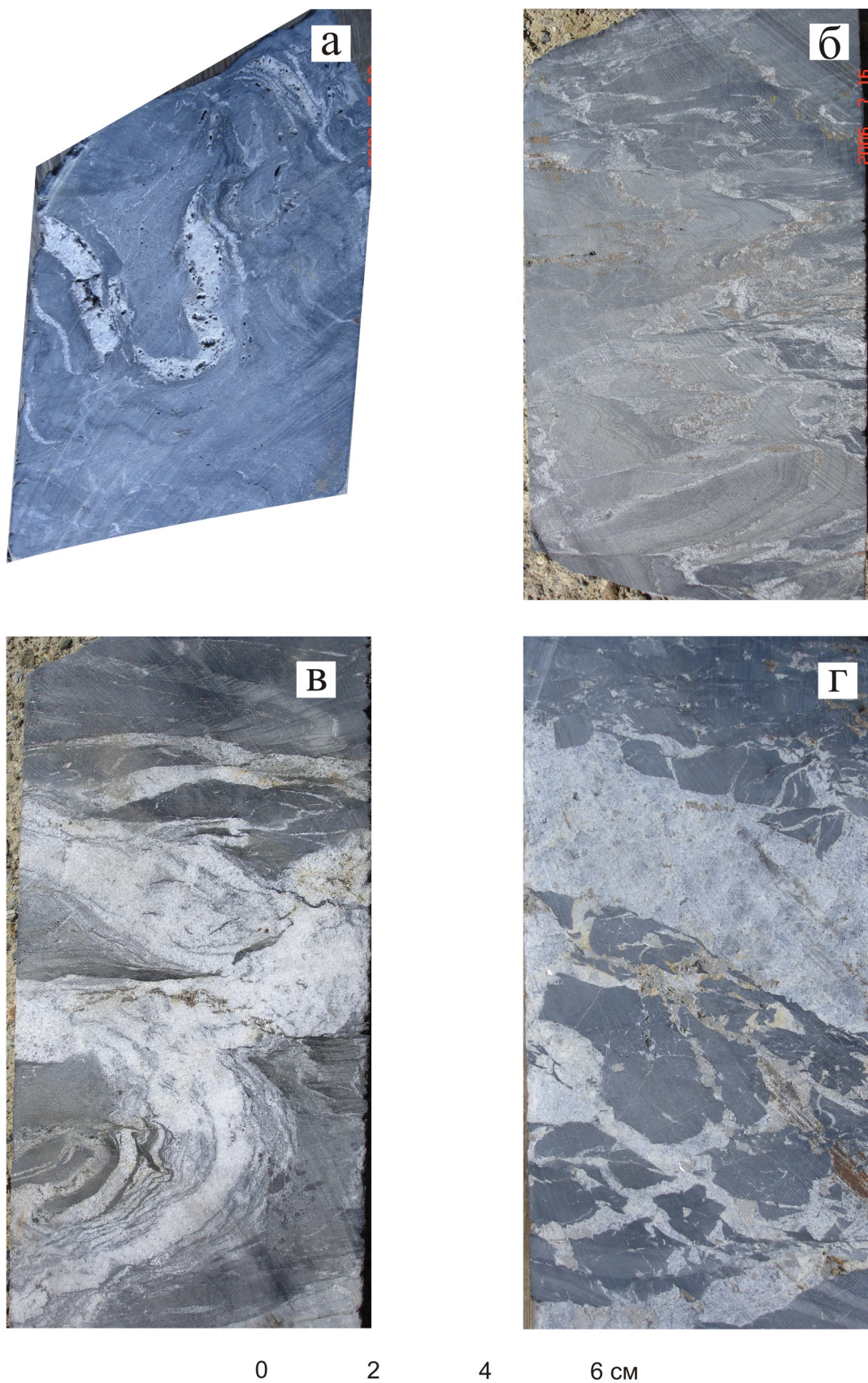


Рис. 10. Типичная для рудной залежи морфология мелких золото-карбонатно-сульфидно-кварцевых прожилков, выполняющих трещины отрыва, в том числе унаследовавших текстуры оползания осадков (а, б, в)

рудовмещающего метасоматического ореола. Напротив, осветленные березиты и березитоиды тыловых зон ореола мощностью до многих метров образованы в стенках межслоевых швов на разных стратиграфических уровнях среди метасоматически измененных, но сохранивших черный цвет пород углеродистой зоны [7]. Подобная избирательная березитизация пород может быть объяснена тем, что разломы-трещины отрыва, части которых при их всевозможной ориентировке, в том числе пологом, как и межслоевых швов, залегании ничто не мешало быть проницаемыми, к началу процесса еще не существовали.

Образованные за счет бескарбонатных существенно кварцевых пород березиты и березитоиды содержат анкерит в количестве до многих десятков процентов. Проблема пространства в данном случае могла быть решена только посредством растворения кварца исходных пород в сопоставимых объемах и перевода кремнезема, скажем, в растворимые соли кремневой кислоты. Это было возможно только в том случае, если ранние порции поступавших по раствороподводящему каналу-разлому и проникавших вдоль ранее образованных межслоевых швов растворов имели щелочную реакцию.

К началу инверсии рН-режимов растворов со щелочного на кислотный в результате импульсов трещинообразования образованы многочисленные разломы-трещины отрыва, которые вместе с ранее образованными межслоевыми и сопутствующими разломами и трещинами скола вместили выпадавший из уже кислых растворов кремнезем в форме кварца. Кислотные же растворы были не способны эффективно взаимодействовать с существенно кварцевыми (кремнистыми) породами, поэтому усиления интенсивности изменений пород не произошло.

Тектонические деформации этапа рудообразования оставили также следы, зафиксированные в деталях внутреннего строения кварцевых жил, прожилков и в образовании новых трещин отрыва, выполненных последующими за первым минеральными комплексами.

Вещественным выражением периодически возникавших импульсов деформаций служат признаки дробления кварцев разных генераций, начиная с раннего черного, и замещения, цементации обломков более поздними минеральными ассоциациями. При этом, обычно выражены явления метасоматического замещения вдоль границ обломков, в стенках трещин раннего черного кварца более поздним молочно-белым, а того и другого еще более поздним серым, светло-серым, водяно-прозрачным кварцем, составляющим основу главного продуктивного минерального комплекса.

Многочисленные новые трещины, столь же неправильные по конфигурации, сходной с описанной выше, не содержат раннего минерального выполнения, но заполнены более поздними минеральными комплексами, иногда пересекают ран-

ние прожилки и микропрожилки. Известно много жил и прожилков, в которых отсутствуют ранний черный кварц или его реликты (тени), из чего следует заключить, что вмещающие их трещины возникли после начала рудообразующего процесса и отложения раннего минерального комплекса. Следовательно, вся наблюдаемая совокупность разломов и трещин, прежде всего отрыва, образованы не одновременно вследствие и результате одного акта тектонических деформаций, а последовательно в течение нескольких импульсов напряжений с постепенным наращиванием числа нарушений, то есть постепенным насыщением кварцевыми жилами и прожилками рудовмещающего блока к завершению процесса рудообразования.

Вероятно, на рудном этапе тектонических деформаций происходило также тектоническое подновление контактов золотоносных жил, выполняющих пологие слабо волнистые трещины и межслоевые полости расщепления, что не замечается в жилах выполнения трещин отрыва, особенно мелких, вследствие известных причин — резкой изменчивости их ориентировки в пространстве.

В объеме рудовмещающего блока метасоматически измененных метаморфизованных осадочных пород с прожилково-вкрапленной и жильно-прожилковой минерализацией (рис. 3) золотоносные кварцевые жилы и прожилки эшелонированы в трех субпослойных полого погружающихся на запад-юго-запад (260°) подзонах, разделенных сульфидизированными породами с редкими кварцевыми жилами и прожилками. В субмеридиональном направлении подзоны прослежены более чем на 1800 м, по падению — до 300...500 м (до глубины в западных скважинах 200...250 м). Ширина выхода верхней подзоны на поверхность в восточной и центральной частях месторождения составляет 150...200 м.

Верхняя подзона, обладающая повышенной золотоносностью, имеет мощность от 15...20 до 40...50 м. В центральной наиболее золотоносной части подзоны доля кварца в ее объеме изменяется от 2 до 10 %, в среднем составляет около 5 %. Наиболее насыщены кварцевыми жилами мощностью до 1 м верхи подзоны в центральной и южной частях месторождения. В направлении пологого погружения на запад насыщенность пород кварцевыми жилами убывает, а жилы сменяются прожилковой минерализацией, которая далее сменяется редкими прожилками. На южном фланге подзоны насыщенность пород кварцевыми жилами достигает 10...12 %. В этом районе подзона сложена породами с серией пологих кварцевых жил мощностью от 0,1 до 3,5 м, сближенных на интервалах 4...10 м в сопровождении прожилков кварца мощностью до 10 см. Расстояния между интервалами сближенных жил — от 5...10 до 40 м. Средняя мощность кварцевых прожилков составляет 0,15...0,20 м. В направлении к северо-северо-западу мощность подзоны уменьшается до 10...30 м, а степень насыщенности кварцем здесь снижается в среднем до 3,5 %. Еще

далее к северо-северо-западу породы содержат лишь прожилки кварца с участием редких кварцевых жил мощностью до 1 м. Восточный фланг подзоны в районе ее сопряжения с разломом-взбросом уничтожен эрозией.

Средняя и нижняя подзоны кварцевой жильно-прожилковой минерализации залегает ниже верхней подзоны соответственно на 20...40 и 60...80 м. Мощность каждой подзоны составляет 20...50 м. В центральной и южной частях месторождения подзоны, полого погружаясь на запад-юго-запад, постепенно теряют свое кварцево-жильное наполнение, но окончательно выклиниваются примерно на тех же расстояниях, что и верхняя подзона. В восточном направлении обе подзоны выклиниваются, не выходя на поверхность. В целом морфология и внутреннее устройство подзон аналогично такому верхней подзоне.

В центральной части месторождения, где мощности подзон наибольшего насыщения пород кварцевыми жилами и прожилками максимальны, они объединяются (сливаются) в одну мощную (до 120...140 м) зону.

Среднее содержание золота в кварцевых прожилках и жилах центральной части месторождения составляет 9,27 г/т при частных значениях в пределах от следов до 125 г/т, на южном фланге центральной части — 2,36 г/т при вариации от следов до 14 г/т, на ее северном фланге — 2,85 г/т. На северном и южном флангах месторождения, а также в западном направлении погружения зоны промышленная золотоносность жил и прожилков кварца постепенно сменяется непромышленной и далее кварц становится слабо- или незолотоносным.

Основная промышленная золотоносность месторождения связана с теми объемами рудовмещающего блока, в которых описанные подзоны золото-карбонатно-сульфидно-кварцевой жильно-прожилковой минерализации пространственно совмещены с прожилково-вкрапленной золото-карбонат-кварцево-сульфидной (пирит-пирротин-арсенопиритовой) минерализацией метасоматически измененных вмещающих пород. Вместе с тем, известны примеры того, что бывают промышленно золотоносны сульфидно-кварцевые жилы и прожилки при отсутствии во вмещающих породах существенной сульфидной минерализации, а чаще — сульфидизированные породы, содержащие вкрапленность пирита, пирротина при участии или отсутствии арсенопирита, но без кварцевых жил и прожилков.

В описанных условиях оруденение не имеет геологических границ. В зависимости от кондиционных показателей рудное тело составляет единое целое (рис. 4) или «расщепляется» на вытянутые линзовидные, лентовидные тела согласно общей ориентировке рудовмещающей зоны. В северной половине месторождения рудная зона (залегать, залежи), занимая по простиранию (350°) горизонтальное положение, пересекает стратификацию

сланцев с юго-восточным, южным падением, в южной половине — согласна ей, — сланцы и зона полого погружаются на запад.

Послерудные разломно-трещинные элементы структуры

На послерудном этапе продолжалось подновление многочисленных поверхностей скалывания — рассланцевания. Многие кварцевые жилы, следующие последним, имеют тектонические контакты с вмещающими породами — следствие незначительного скольжения стенок с возникновением на ограничивающих кварцевые жилы поверхностях борозд скольжения разной ориентировки. Возникают трещины отслоения в крупных жилах, выполняющих трещины отрыва (рис. 9).

К числу образованных на послерудном этапе следует относить разрывные нарушения сколового типа северо-северо-западного — субмеридионального простирания с крутым (от 60° ... 70°) падением в основном на восток-северо-восток, мощностью до первых метров, выполненными тонко рассланцованными до разлистования породами, не содержащими сульфидно-кварцевой минерализации. Не обнаружено признаков влияния нарушений на размещение минерализации. В одних случаях они сопровождаются приразломными складками волочения (рис. 11), а при пересечении золотоносных кварцевых жил смещают части последних на расстояния до нескольких метров. Наиболее крупные нарушения данной совокупности известны в центральной и северной частях месторождения, где они смещают слои пород и выполняющие межслоевые полости кварцевые жилы на расстояния до 10 м.

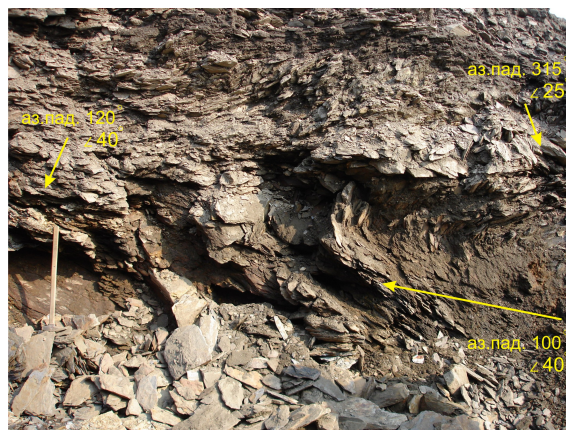


Рис. 11. Заворот субсогласных слоистости поверхностей рассланцевания пород (складка волочения) висячем боку локального взбросо-сдвига в направлении, обратном направлению перемещения висячего бока. Разлом выражен системой субпараллельных сколовых трещин интенсивного рассланцевания (в нижней части рис.) и, как обычно, теряется среди дробленных пород (верхняя часть рис.)

К наиболее крупным осложнениям складчатой структуры в рудовмещающей толще на послерудном этапе принадлежат флексуры, одна из которых вскрыта карьером опытной эксплуатации (рис. 3, 5).

На северной границе карьера слои падают на юг (аз. пад. $190^\circ \angle 10^\circ$). Вдоль западной стенки карьера длиной около 40 м в направлении с севера на юг простирается слоистость постепенно сменяется субмеридиональным с более крутым падением на запад (аз. пад. $260^\circ \angle 20^\circ$). Далее, в районе угла между западной и южной стенками слои падают на юго-запад (аз. пад. $240^\circ \angle 20^\circ$; аз. пад. $220^\circ \angle 10^\circ$), а вдоль всей южной стенки простираются в субширотном и широтном направлении (углы падения на юг $5...10^\circ$). Траншеями вскрыты также минифлексуры размером до нескольких метров, из чего можно заключить, что в главной синклинали месторождения существуют ослабляющие ее, но разномасштабные структуры подобия, что, впрочем, относится и к приразломным складкам.

К числу последних принадлежат распространенные в основном на южном фланге месторождения простые малоамплитудные минискладки с размахом крыльев до 4 м, с вертикальными или под разными углами наклоненными к востоку осевыми плоскостями, подобными приведенной на рис. 11. Распространены симметричные минискладки с ундулирующими шарнирами. Обычны также лежащие изоклинальные и асимметричные складки волочения. Известны перекрестные минискладки высоких порядков северо-северо-западного и северо-восточного простираения.

Описанные послерудные разломы и трещины сколового типа (рис. 11) образуют систему нарушений, оперяющих главный рудоконтролирующий разлом месторождения (взброс) и, подобно такому предрудному и рудному этапам (рис. 9), имеют восточное к нему падение.

Структурно-динамическая модель месторождения Чертово Корыто

В создании каркаса разломно-трещинных структурных элементов месторождения, определивших размещение оруденения, участвовали тектонические процессы разных эпох (этапов). Ранние межслоевые швы, сопровождающие их открытые и скрытые трещины расщепления созданы на раннепротерозойском этапе главной складчатости и образования Михайловской синклинали. В эпоху тектономагматической активизации в объеме месторождения и его ближайшей восточной периферии возникли и сочетаются две разломных структуры – взброс северо-северо-западного простираения, падающий (60°) в запад-юго-западном (260°) направлении, и оперяющая его висячем (западном) боку пологопадающая (менее 20°) в том же направлении рудовмещающая зона разуплотнения пород.

Разуплотнение – достижение высокой проницаемости пород обеспечивается сочетанием множества согласных слоистости древних поверхностей расщепления, сколовых трещин и разломов-трещин отрыва, возникших на предрудном и рудном этапах функционирования крутопадающе-

го разлома, выполнявшего функции рудоконтролирующего и раствороподводящего. Последнее доказывается, в частности, образованием в его непосредственном обрамлении крупнообъемного зонального околорудного (рудовмещающего) метасоматического ореола с заключенными в нем рудными телами, с постепенным, по мере удаления от разлома на запад, ослаблением околорудных изменений пород вплоть до уровня фронтальной (внешней) зоны ореола, постепенным выклиниванием рудных тел, золотоносной кварцевой жильно-прожилковой и прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации. Фиксируемые в березитах и березитоидах тыловых зон метасоматических ореолов контрастные аномалии фемофильных элементов образуются только в непосредственном (ближнем, до 1,0...1,5 км) обрамлении глубинных разломов-каналов их поступления из мантии в блоки рудообразования [8, 9].

Многочисленные крупные субпараллельные кварцевые жилы и прожилки, судя по конфигурации контактов выполняющие трещины отрыва, образованы в условиях осевого растяжения. Тот факт, что многие крупные жилы этой совокупности мощностью до нескольких...многих метров, залегают субгоризонтально, доказывает преобладающее вертикальное или близкое к нему направление растягивающих напряжений. Это направление обеспечивает разрыв сплошности пород по горизонтали, перемещение боков возникших трещин по вертикали, равно как и приоткрывание ранних синскладчатых поверхностей расщепления и образование межслоевых и внутрислоевых полостей. При этих перемещениях, как правило, отсутствует или не выражена сдвиговая составляющая.

В локальном объеме земной коры растяжение по вертикали может быть генерировано в боках разлома-взброса вследствие разложения тангенциальных сжимающих усилий на составляющие и возникновения компенсирующего сжатия растяжения вдоль разлома и по восстанию сместителя. Согласно результатам экспериментов, выполненных В. Риделем [11, 12], в обоих боках крутопадающего разлома (трещины в лабораторных образцах) при этом образуются две системы трещин скола и одна, но эшелонированная по вертикали система трещин отрыва, ориентировка которых относительно разлома (смещителя) показана на рис. 12. Все три системы трещин получают максимальное развитие вблизи сместителя разлома, в частности, – максимальное расхождение стенок трещин отрыва, и постепенно исчезают по мере удаления от него. Результатами этих экспериментов, оформленными в рамках «правила В. Риделя», была на многих природных объектах удовлетворительно объяснена наблюдаемая в боках крупных и мелких разломов ситуация. Было также установлено, что все три системы оперяющих трещин образуются редко, а чаще одна или две в разных сочетаниях. Объяснение этому отклонению от экспериментальных результатов видят в анизотропии механи-

ческих (прочностных) свойств природной среды, обусловленной участием в ее составе пород с разными механическими свойствами или предшествующей трещиноватостью, создавшей свои ослабленные направления.

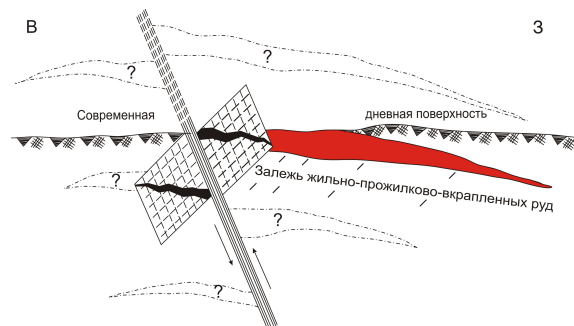


Рис. 12. Схема реконструкции структурно-динамических условий образования рудовмещающей полости разуплотненных пород месторождения Чертово Корыто. Примерный вертикальный разрез вкосте простирания рудоконтролирующего и раствороподводящего разлома и оперяющей его рудовмещающей полости — залежи жильно-прожилково-вкрапленных руд. В ромбах деформаций — типовые сопряженные системы трещин скола (две) и отрыва. Система трещин скола встречного разлому падения представлена локальными разломами и трещинами, приведенными на рис. 9

Ситуация в траншее (рис. 9) доказывает, что в нашем случае именно этот механизм задействован природой в образовании выполненной кварцем субгоризонтальной оперяющей трещины отрыва в лежащем и висячем (около полотно) боках и одной системы оперяющих трещин скола в лежащем боку нарушения, сместитель которого трассируется зоной тонкого рассланцевания пород (около верхнего окончания ручки молотка) и падает на северо-восток. Сделанный замер ориентировки сместителя в связи с некоторым смещением тонких плиток пород требует внесения поправки примерно на 10...20°, вследствие чего следует предполагать падение его более восточное, — на восток-северо-восток.

Присутствие в месторождении пологих субгоризонтальных мощных, подобных приведенной на рис. 9 кварцевых жил, выполняющих крупные трещины отрыва, которые могут создать полости посредством расхождения стенок только при условии приложения вертикальных (субвертикальных) растягивающих напряжений, дает основание полагать, что этот механизм задействован природой в образовании всей зоны разуплотненных пород в висячем боку восточного крутопадающего рудоконтролирующего взброса на предрудном и рудном этапах его активного функционирования (рис. 12). Зона разуплотнения получила максимальное развитие вдоль разлома и вблизи него в составе многочисленных новообразованных разномасштабных трещин отрыва, вместивших кварцевые жилы, прожилки, и активизированных не менее многочисленных согласных слоистости пологих поверхностей и трещин рассланцевания (скола), испытывавших в условиях вертикального растяжения раз-

двиг. По мере удаления от разлома на запад зона разуплотнения полого погружается, подобно флангам кварцевой жилы на рис. 9, вследствие ослабления растягивающих усилий уменьшается в мощности, расщепляется на описанные выше обогащенные кварцевыми жилами и прожилками подзоны и в итоге выклинивается.

Динамическая составляющая структурно-динамической модели месторождения определяется тектонической жизнью рудоконтролирующего разлома и, как следствие, — механизмами образования рудовмещающей зоны разуплотнения, выполненной интенсивно дробленными породами, сцементированными при рудообразовании кварцем. Зона формировалась как результат реакции субстрата земной коры на тангенциальные усилия сжатия, обусловившие образование (подновление?) и функционирование (активизацию) разлома, в боках которого компенсирующие сжатие субвертикальные растягивающие напряжения разряжались раздвигами толщи пород, то есть в висячем боку подъемом вверх, возможно, на нескольких гипсометрических уровнях прилегающих к разлому пластин пород. Преодолению сил тяжести вышележащей толщи в нашем случае способствовало ее строение — наличие множества субгоризонтально ориентированных ослабленных направлений — образованных на этапе предшествующей складчатости пологих межслоевых зон рассланцевания, субнормальных к направлению растягивающих усилий. Очевидно, в этой ситуации требовались меньшие напряжения для разрыва сплошности пород по сравнению с массивным субстратом. Возможно, это обстоятельство послужило одной из причин образования на нескольких гипсометрических уровнях масштабных зон массового дробления пород, чередующихся по вертикали с менее дробленными. Известная зона максимально разуплотненных и наиболее обогащенных золотоносными кварцевыми жилами, прожилками, сульфидной вкрапленностью пород, протягиваясь вдоль рудоконтролирующего разлома, занимает в соответствии с экспериментальной моделью субгоризонтальное положение с пологим погружением в поперечном направлении — на запад.

Процесс дробления пород, отрыва пластин и формирования зоны разуплотнения носил пульсирующий характер. Неодноактное последовательное образование трещин отрыва подчеркивается составом заполняющих их минеральных комплексов. Позже образованные трещины не содержат ранних комплексов, а поздние комплексы цементируют в жилах и прожилках обломки раздробленных агрегатов ранних.

Известно, что гидротермальное рудообразование осуществляется в условиях высокой тектономагматической активности в импульсном режиме [13]. На предрудном этапе структурной подготовки тектонические деформации реализуются в условиях резко преобладающего тангенциального сжа-

тия, вследствие чего образуются в основном разрывные нарушения сколового типа с умеренным, реже крутым или пологим падением. Они составляют структурную основу для формирования в будущем систем протяженных рудных жил с их рудными столбами и минерализованных зон. Трещины отрыва, как правило, локальны, несопоставимо малы сравнительно с первыми и малочисленны. Импульсы сжатия-растяжения продолжаются на этапе рудообразования, обеспечивая подновление ранее созданных нарушений с дроблением ранних минеральных комплексов и создавая пути для последующих порций металлоносных растворов, и ослабевают на послерудном этапе с преобладанием уже растягивающих напряжений.

Выше приведены факты – признаки того, что смена тектонических напряжений на предрудном – послерудном этапах формирования структуры месторождения Чертово Кoryто в общих чертах согласуется с приведенной схемой. Вместе с тем, месторождение представляет тот редкий случай, когда трещины отрыва, в том числе крупные, в начале рудного этапа в условиях тангенциального сжатия получили преобладающее сравнительно со сколовыми оформление. Концентрация усилий отрыва в соответствии с планом напряжений на определенном гипсометрическом уровне (уровнях?) в сочетании с субгоризонтальным залеганием пластин осадочных пород, многочисленных межслоевых поверхностей рассланцевания способствовала образованию пологой зоны разуплотнения пород (раздвиг), вместившей рудную минерализацию.

Обсуждение результатов и выводы

Согласно реконструкции, образование каркаса рудоконтролирующих, раствороподводящих и рудовмещающих структурных элементов в сравниваемых месторождениях Берикольском и Чертово Кoryто происходило в предрудный и рудный этапы формирования структуры обоих месторождений, то есть перед началом и в процессе образования руд, в условиях возникновения и функционирования полей тектонических напряжений одинакового плана.

Все происходившее было обязано главному механическому воздействию на горные породы – осевому тангенциальному сжатию (ось С), о силе которого можно судить по тому факту, что массивные сверхпрочные базальты Берикюля, например, раскалывались вдоль поверхностей максимальных скалывающих напряжений на множество субпараллельных разломов-взбросов, вместивших промышленные кварцевые жилы [1. Рис. 4], а в поперечных к ним разломах-взбросах перетирались до состояния пластилиноподобной тектонической глины, слагающей протяженные линзы мощностью до нескольких десятков см. Следствием усилий сжатия в месторождении Чертово Кoryто было, в частности, образование системы не заполненных минерализацией мелких сколовых трещин (рис. 9).

При тектоническом сжатии ось максимальных растягивающих напряжений А в обоих месторождениях была ориентирована в направлении минимального механического сопротивления среды, то есть вверх. Вещественным выражением преобладающих растягивающих усилий в этом направлении служат субгоризонтальные, пологопадающие тектонические зоны отрыва (раздвиг) висячих, как обычно, наиболее активных боках возникавших протяженных рудоконтролирующих разломов-взбросов. Это жила № 4 в Берикольском месторождении, мощная рудовмещающая зона в месторождении Чертово Кoryто.

Доказательством отсутствия надвиговой (горизонтальной) составляющей в пологой рудовмещающей структуре месторождения Чертово Кoryто служат, как отмечалось, ровные прямолинейные межслоевые поверхности рассланцевания в осадочной толще, во всем объеме месторождения, в том числе в восточной его части не подвергшиеся деформациям и смятию, как это бывает в случае надвига. Отмеченные (рис. 10) внутрислоевые деформации слойчатости представляют следствие оползневых явлений, распространенных в прибрежно-морских условиях седиментации [14]. Доказательства отсутствия надвиговой составляющей в пологом разломе, вмещающем жилу № 4 Берикюля, приведены в [1. Рис. 12]. Вероятно, формированию надвигов в обоих случаях препятствовали поверхности сместителей оперяемых пологими структурами рудоконтролирующих взбросов, вдоль которых висячие бока пологих структур скользили вверх.

Вместе с тем, не обнаружено следов воздействия на горные породы растягивающих усилий по оси относительного растяжения В, ориентированной, как известно, нормально к двум главным осям силового поля – С и А.

Выше также приведены признаки того, что тектонические процессы на этапах рудообразования и какое-то время по завершении их реализовались в импульсионном режиме с периодической сменой импульсов сжатия ослаблением сжимающих напряжений при сохранении планов тектонических деформаций.

Таким образом, в обоих месторождениях образованы одинаковые системы разломов-трещин скола и отрыва, занимающих вполне закономерное согласное с экспериментальными данными положение относительно ориентировки осей главных сжимающих и растягивающих напряжений. Помимо прочего, сравнивая разрезы на рис. 4 [1] и рис. 9, нетрудно убедиться в том, что второй в миниатюре повторяет первый.

Однако масштабы сопоставляемых структур в одном месторождении противоположны таковым в другом. В Берикольском месторождении крутопадающие разломы-трещины скола значительной протяженности вмещают золоторудные кварцевые жилы. В месторождении Чертово Кoryто им соответствуют притертые мелкие трещины скола, не

несущие минерализацию. Напротив, полагая структура отрыва Берикульского месторождения, выполненная жилой № 4, несопоставимо мала по мощности (до 20 м) в сравнении с аналогичной пологой рудовмещающей зоной месторождения Чертово Кори́то вблизи оперяемого рудоконтролирующего разлома мощностью до 150 м. Объяснение этому, как представляется, следует искать в составе, механических (физических) свойствах пород и структуре рудовмещающей толщи.

Все рудные тела Берикуля образованы в среде массивных сверхпрочных покровных базальтов. В этих условиях при импульсах сжатия усилий вдоль поверхностей максимальных скалывающих напряжений было достаточно для образования протяженных рудовмещающих разломов сколового типа. Растягивающие усилия при этом в сочетании с подчиненными (незначительными) субгоризонтальными напряжениями скола, не достаточными для формирования надвига, обеспечили только разрыв сплошности базальтов и подъем лишь фрагментов висячего бока возникшей пологой структуры № 4 вверх на относительно небольшие расстояния и только в активном висячем боку рудоконтролирующего разлома.

В месторождении Чертово Кори́то в толще сланцев с множеством сближенных межслоевых поверхностей рассланцевания максимальные скалывающие усилия вдоль ориентированных косо к пологой слоистости поверхностей максимальных скалывающих напряжений ослабевали (гасились) в межслоевых швах и были способны создать только систему мелких трещин скола, быстро исчезающих в соседних слоях. Напротив, созданию мощной пологой структуры отрыва (раздвиг) способствовали благоприятные литологические условия. Они заключались в том, что для отрыва субгоризонтальных пластин сланцевой толщи и подъема их вверх требовались меньшие усилия, чем для разрыва сплошности массивных пород. В этом случае на уровнях концентрации максимальных растягивающих напряжений последние расходовались не только на подъем пакета пластин рассланцованных пород, при котором синскладчатые межслоевые пологие поверхности рассланцевания (скола) вели себя как трещины отрыва, но и для образования новых крупных пологих разломов и беспорядочно ориентированных мелких трещин отрыва внутри пластин. Те и другие многочисленны в месторождении и заполнены золото-сульфидно-кварцевой минерализацией.

Обладая высокой степенью проницаемости, крупнообъемная зона разуплотнения сланцев ак-

кумулировала поднимавшиеся по рудоконтролирующему и одновременно раствороподводящему разлому металлоносные растворы. В начале процесса потоки последних заполняли межслоевые полости, а затем и разломы-трещины отрыва по мере их возникновения. Это способствовало рассредоточению растворов в возрастающих объемах проницаемой среды, но препятствовало совмещению более поздних порций наиболее металлоносных растворов с породами, измененными под воздействием растворов более ранних порций. В подобных условиях возможности для пространственного совмещения поздних генераций золота с ранними, то есть для концентрирования металла были минимальными в отличие от локальных объемов разломов-трещин в жильных месторождениях, в том числе в Берикульском. В последнем случае объемы заполняемых металлоносными растворами жильных полостей несопоставимо малы, в силу чего и благодаря многоактному дроблению минеральных агрегатов растворы более поздних порций повторяют пути растворов более ранних порций. В результате происходит «скупчивание» минеральных ассоциаций, то есть их пространственное совмещение и, как следствие, концентрирование металла в малообъемных рудных столбах, которые обычно не встречаются в крупнообъемных месторождениях «сланцевого» типа. Поскольку возможности для аккумуляции растворов при образовании месторождений жильного (трещинного) типа ограничены малыми объемами полостей, постольку, вероятно, значительные массы металлоносных растворов и с ними золота минуют блоки отложения руд, а в них — оперяющие раствороподводящие разломы-трещины, обычно вмещающие руды, и в итоге рассеиваются. Крупные массы руды с относительно низкими содержаниями золота в первом случае противопоставляются малым массам руды с более высокими его содержаниями во втором.

Естественно, приведенные соображения могут быть справедливыми для сравниваемых месторождений «сланцевого» и «несланцевого» типов, однородных по геолого-генетическим показателям, о чем речь шла выше [1]. Из анализа приведенных материалов также следует, что существенно различные промышленные параметры оруденения в тех и других месторождениях золота формируются вследствие различий во внутреннем устройстве среды при однообразных планах тектонических деформаций, которые предшествуют процессам гидротермального рудообразования, сопровождают и завершают их. Другими словами, при прочих равных условиях литологический фактор имеет определяющее значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 1. Беркульское месторождение (Кузнецкий Алатау) // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313. — № 1. — С. 11–26.
2. Буряк В.А., Гончаров В.И., Горячев Н.А. и др. О соотношении кварцево-жильной золотой и вкрапленной золото-сульфидной минерализаций с платиноидами в черносланцевых толщах // Доклады РАН. — 2005. — Т. 400. — № 1. — С. 56–59.
3. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. — Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1999. — 237 с.
4. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Спиридонов А.И. и др. Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба // Доклады РАН. — 2006. — Т. 407. — № 6. — С. 793–797.
5. Лавров Н.П., Чернышов И.В., Чугаев А.В. и др. Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады РАН. — 2007. — Т. 415. — № 2. — С. 236–241.
6. Сафонов Ю.Г., Горбунов Г.И., Пэк А.А. и др. Состояние и перспективы развития учения о структурах рудных полей и месторождений // Геология рудных месторождений. — 2007. — Т. 49. — № 5. — С. 386–420.
7. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 312. — № 1. — С. 11–20.
8. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР. — 1987. — Т. 293. — № 2. — С. 443–447.
9. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 2 // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 3. — С. 35–42.
10. Кучеренко И.В., Рубанов В.А. Тектоника золоторудных месторождений, локализованных в активизированных структурах допалеозойской складчатости (на примере одного из регионов) // Вопросы структурной геологии / Под ред. А.И. Родыгина. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. — С. 16–27.
11. Riedel W. Das Aufquellen geologischer Schnellmassen als plastischer Formänderungsvorgang // Neues Jb. für Miner., Geol. u. Paleont. — 1929. — Bd. 62. — Abt. B. — S. 151–170.
12. Riedel W. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen // Zentralbl. für Mineralogie. Abt. Geol. und Paleont. — Berlin, 1929. — S. 354–368.
13. Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. — М.: Недра, 1979. — 224 с.
14. Кучеренко И.В. Об осадочном происхождении медных руд Удокана // Новый век — новые открытия: Матер. Междунар. научно-техн. конф., посвященной 40-летию ЗабНИИ. — Чита, 2001. — С. 97–101.

Поступила 01.10.2008 г.

УДК 551.2

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕДЕНОСНОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.С. Салихов

Читинский государственный университет
E-mail: ivanealena@yandex.ru

С позиций нелинейной термодинамики сделана попытка создать модель меденосной рудно-магматической системы. Модель позволяет оценить и пересмотреть перспективы известных медно-рудных регионов с позиций поиска недостающих членов саморазвивающихся рифтогенов.

Ключевые слова:

Синергетика, рудно-магматическая система, рифтогенные зоны, нелинейная термодинамика.

В последнее время для решения широкого круга геологических и, в том числе металлогенических (минерагенических) задач активно привлекаются положения синергетики — нового научного направления в естествознании (особая роль здесь принадлежит брюссельской школе физиков под руководством И.Р. Пригожина), позволяющего использовать аппарат нелинейной термодинамики для расшифровки сложных природных процессов и систем. Последние в большинстве случаев являются неравновесными, динамичными, необратимыми и открытыми, протекающими при активной связи с

внешней средой и высоким энергопотоке. Такие системы сопровождаются образованием упорядоченных пространственно-временных и временных структур, возникающих в результате кооперативного (согласованного) поведения составных частей природных систем.

Существующие металлогенические концепции далеко не всегда в состоянии объяснить все многообразие и сложность развития рудообразующих процессов в тектоносфере, где тесно сочетаются разного рода эволюции, непрерывно-прерывистый характер ее развития в сложном взаимодействии