

# СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ



УДК 553.412 (571.56)

© Коллектив авторов, 2006

## КИМПИЧЕ — НОВОЕ СЕРЕБРОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ЗАПАДНОМ ВЕРХОЯНЬЕ

**В.В.Аристов, Н.В.Тихонова, Г.Ю.Орлова, К.В.Соловьев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)**

*Серебряное месторождение Кимпиче расположено на восточном склоне Верхоянского хребта. Рудное поле приурочено к ядру Имтанджинской антиклинали, сложенной раннепермской терригенной толщей верхоянского комплекса. Рудные зоны контролируются юго-восточным кулисным окончанием Собопольского разлома, представлены тетраэдрит-карбонатными жильно-прожилковыми зонами. Главный рудный минерал — самородное серебро. Месторождение принадлежит к новому для Западного Верхоянья серебро-сурьмяному минеральному типу серебро-полиметаллической формации.*

В 2002–2005 гг. сотрудниками ОАО «Янгеология» и ЦНИГРИ в Западном Верхоянье проводились работы по изучению сереброрудной провинции, имеющей значительные перспективы для новых открытий. Один из таких перспективных объектов — месторождение Кимпиче с протяженными и мощными рудными телами с высоким содержанием серебра. К настоящему моменту месторождение изучено с поверхности маршрутами и отдельными канавами; пробурены две скважины, подтвердившие протяженность рудных зон на глубину.

Для Верхоянской металлогенической провинции традиционными типами серебряных месторождений являются серебро-полиметаллический (Мангазейское, Прогноз) и олово-серебряный (Имтанджинское, Илин-Тас, Купольное).

Месторождение Кимпиче расположено в амагматической области Западного Верхоянья, на северном продолжении структур Куранахского антиклинория в 60 км к северу от Хобояту-Эчийского гранитоидного массива. В пределах рудного поля и даже всего рудного района не установлено проявлений магматической деятельности, за исключением маломощной дайки риолитов к северу от рудного поля. Однако на глубине по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий предполагается наличие гранитоидного массива.

Вмещающие породы представлены нижнепермскими алевролитами, песчанистыми алевролитами

халджинской свиты суммарной мощностью более 1450 м. Рудное поле площадью около 100 км<sup>2</sup> расположено в ядре крупной антиклинальной складки и ограничено с севера и юга северо-западными разломами, а с запада и востока — осевыми плоскостями сопряженных синклиналей. В центральной части рудного поля складка рассечена разрывным нарушением северо-западного (315–330°) простирания. Разрыв — долгоживущий, что фиксируется по развитым в его пределах глинкам трения, милолитам, брекчиям из обломков пород и жил молочно-белого кварца, сидеритовых жил и тетраэдрит-сидеритовых прожилков, многочисленным бороздам и хорошо притертым зеркалам скольжения. В зоне разлома и оперяющих его трещин сосредоточена большая часть рудной минерализации. Рудные зоны представлены крутопадающими к северо-западу и пологими (падение на северо-восток) минерализованными зонами дробления и зонами прожилкования прослеженной протяженностью 600–4500 м, мощностью 3–15 м. Содержания серебра по зонам составляют от 98 до 1386 г/т на мощность от 0,5 до 2 м, в среднем по месторождению — около 704 г/т (расчет по данным бороздowego, штуфного и кернового опробования). На западном фланге месторождения установлены повышенные содержания золота (до 1,3 г/т). По простиранию зоны не оконтурены. Существенные вариации содержания серебра по простиранию рудных зон от

первых грамм до 10–15 кг/т (данные штурфового опробования) позволяют предполагать наличие рудных столбов. В отдельных случаях отмечены минерализованные зоны, залегающие согласно со слоистостью и содержащие преимущественно вкрапленные руды.

От известных объектов месторождение отличается широким развитием метасоматических изменений пород, простым составом руд, прожилковым и вкрапленным характером распределения рудного вещества в массивном сидеритовом жильном выполнении, преимущественно самородной формой нахождения серебра в рудах. Главные рудные минералы — низкосеребристый ртутьсодержащий тетраэдрит и самородное серебро, развитие в виде мельчайшей вкрапленности в тетраэдрите и более крупных выделений в гипергенном агрегате кварца, азурита, малахита, гидротетита, гетита, халькозина, валентинита, акантита. Текстуры руд брекчиевые, массивные, прожилковые.

Данные, полученные при предварительном изучении, позволяют отнести месторождение Кимпиче к серебро-сурьмяному минеральному типу серебро-полиметаллической рудной формации (М.М.Константинов и др., 2003), слабо изученному в Верхоянье.

**Литологические особенности рудовмещающих толщ.** Площадь месторождения (рис. 1) сложена алевролитами нижней, средней и верхней (с горизонтами песчаников) подсите халджинской свиты. Раннепермский возраст пород определен по комплексу ископаемой фауны — брахиоподы, гастроподы, криноидные (В.С.Андреев, 1969). Существенно алевролитовые толщи перекрывают песчаники с редкими прослоями алевролитов сюренской свиты позднепермского возраста.

В пределах площади месторождения в разрезе халджинской свиты снизу вверх выделены:

нижняя пачка плотных, массивных темно-серых, равномерно-зернистых алевролитов с крупноплитчатой отдельностью видимой мощностью более 200 м. Предположительные условия образования — фоновое осадконакопление в глубоководных условиях (пологий континентальный склон);

пачка переслаивания алевролитов (алевропесчаников) и песчаников с крайне невыдержанной мощностью слоев песчаников и косой, линзовидной, косой срезанной слоистостью внутри их. В целом переслаивание характеризуется градиционной слоистостью с текстурами вдавливания неконсолидированных осадков, пламевидными текстурами. Песчаные прослои содержат линзочки углистоглинистого вещества. Мощность толщи около 350–360 м. Предположительные условия осадконакопления — относительно крутой континентальный склон с развитыми явлениями оползания;

алевролитовая толща с тонкими (1–3 мм) слоями песчанистого материала в мелкозернистых темно-серых алевролитах. В северо-западном и частично в северо-восточном направлениях глинистые алевролиты фациально замещаются алевролитами с повышенным содержанием слоев песчанистого материала и рассеянной песчанистой примеси. В верхней части толщи появляются линзы карбонатных песчаников иногда с текстурами «*cone in cone*», проявлены текстуры оползневых складок. Мощность толщи около 550–560 м. Условия накопления — впадина рельефа на континентальном склоне крутизной не менее 2–3°;

пачка переслаивания песчаников и алевролитов. Алевролиты существенно преобладают. В нижней части толщи в слоях песчанистого материала наблюдаются конседиментационные текстуры взламывания слабоуплотненного осадка. В качестве цемента выступают те же алевролиты с примесью глинистого материала. Песчаники среднезернистые, равномерно-зернистые, желтоватые. Алевролиты серые, часто существенно песчаные. Суммарная мощность толщи 250–260 м. Предполагаемые условия образования — верхняя часть континентального склона в области волнового влияния.

Халджинская свита по литологическому составу является гомогенной средой при образовании рудовмещающих разрывных нарушений, за исключением верхней пачки переслаивания, благоприятной для развития послойных разрывов.

Выше по разрезу согласно залегает горизонт серых, зеленовато- и желтовато-серых, среднезернистых, равномерно-зернистых песчаников. В его основании отмечены линзы карбонатных песчаников иногда с остатками фауны брахиопод и морских лилий. Этот горизонт относится к верхней подсите халджинской свиты, сложенной алевролитами с прослоями песчаников. Мощности алевролитов превышают мощности песчаников в 5–10 раз и более.

Нижнепермская халджинская свита выше по разрезу сменяется песчаниками верхнепермской сюренской свиты с редкими прослоями алевролитов. С полями развития существенно карбонатных песчаников в пределах сюренской свиты пространственно совпадают контуры комплексной геохимической аномалии (Cu, Pb, Ag, Zn). В отдельных образцах известковистых песчаников (песчаных известняков) содержание серебра достигает 26,8 г/т.

**Структура рудного поля.** *Складчатая структура.* Месторождение Кимпиче расположено в широком коробчатом своде Имтанджинской антиклинали шириной около 5 км. В ядре складки породы залегают практически горизонтально. Западное крыло складки крутое, углы падения пород 40–50° по азимуту 275°. Восточное крыло — более поло-

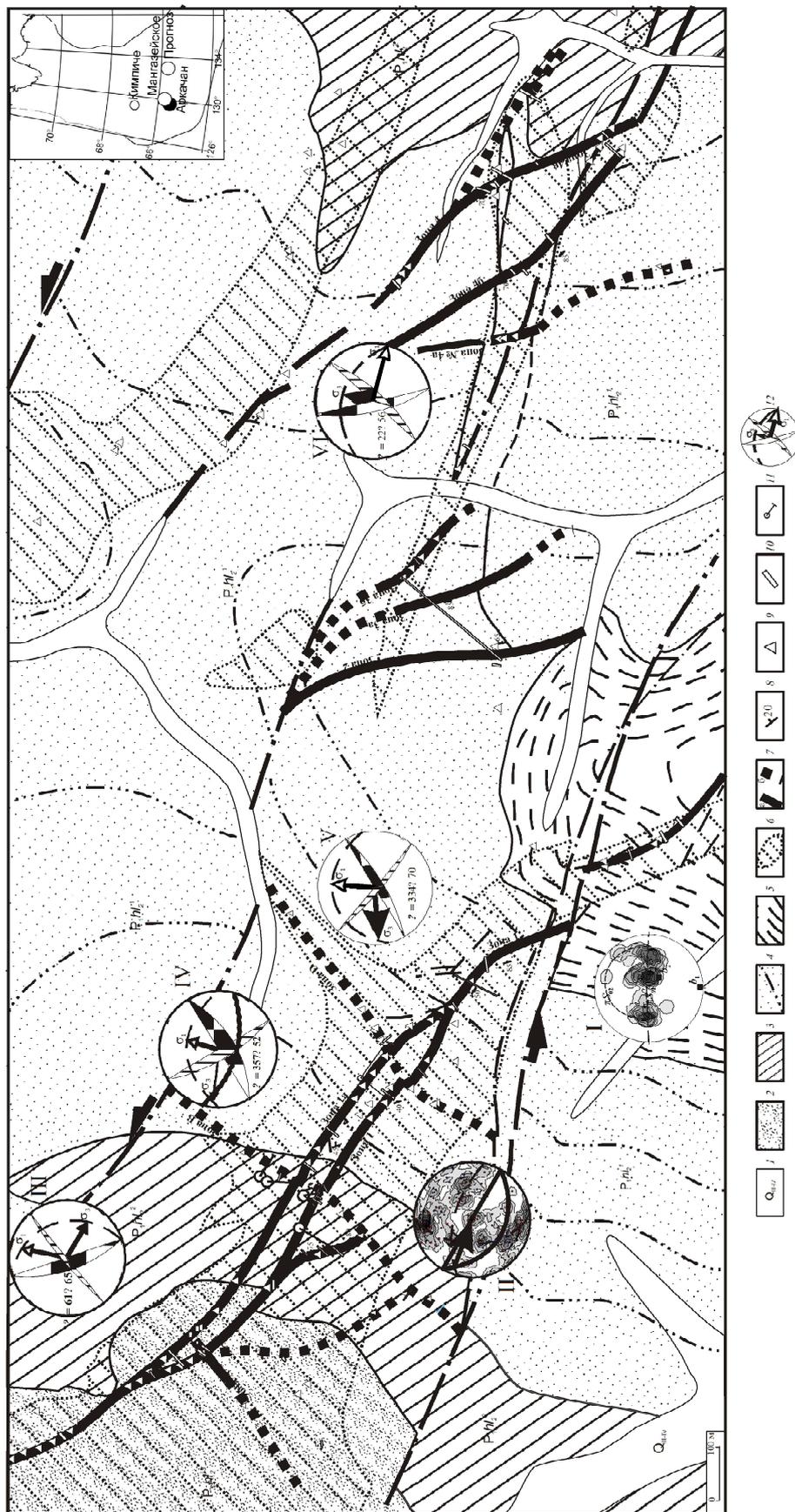


Рис. 1. Геологический план центральной части месторождения Кимличе:

1 — четвертичные отложения; халджинская свита; 2 — переслаивание песчаников и алевролитов, 3 — верхняя пачка переслаивания алевролитов и песчаников со взмученными и оползневыми текстурами, 4 — алевролитовая пачка, 5 — нижняя пачка переслаивания алевропесчаников и песчанистых алевролитов, 6 — ореолы метасоматически измененных пород; 7 — минерализованные зоны дробления и прожилкования (а — прослеженные, б — предполагаемые); 8 — элементы залегания; 9 — точки отбора штурфных проб; 10 — горные выработки; 11 — скважины; 12 — результаты реконструкции полей тектонических напряжений; пояснения к диаграммам I, II см. в тексте

гое, от 40 до 20°. Характер залегания пород указывает на горст-антиклинальное строение Имтанджинской структуры.

Геометрический анализ слоистости на этом участке месторождения позволяет выявить наличие двух этапов деформаций (см. рис. 1, диаграмма П). Складчатые формы первого этапа деформаций имеют цилиндрическую геометрию (пояс полюсов слоистости  $p S_{0-1}$ ) с горизонтальным шарниром меридионального направления и субвертикальной осевой плоскостью. Складки второго этапа деформаций отличаются конической геометрией (пояс полюсов слоистости  $p S_{0-2}$ ) с крутопадающим шарниром (70°), погружающимся в северо-западном направлении. Они рассматриваются как наложенные аксоноклинали. Образование складок второго этапа связано с левосторонними сдвиговыми перемещениями вдоль разрывов северо-западного простирания, которые пересекают свод Имтанджинской антиклинали и прослеживаются за ее пределами. Элементы залегания шарниров складок, замеренные в поле, согласуются с элементами, определенными геометрически.

**Разрывные нарушения.** Представлены разломами северо-западного, северо-восточного и субширотного направлений. Разломы северо-западного направления являются главными структурообразующими в пределах месторождения и принадлежат Собопольской разрывной системе. Они преобладают по количеству и наиболее четко прослеживаются по простиранию до 10–15 км, выходя за пределы Имтанджинской антиклинали. На поверхностях разрывов много следов левосдвиговых подвижек со сбросовой составляющей.

Разрывные нарушения северо-восточных румбов встречаются реже. Они обычно прослеживаются в пределах одного блока, ограниченного крупны-

ми разрывами северо-западного простирания, и лишь иногда — в соседних блоках, смещенных относительно первых. Данная система разрывов второго порядка северо-восточного простирания диагностируется нами как правосдвиговая, сопряженная с крупными левыми сдвигами первого порядка северо-западного простирания.

Субширотные разрывные нарушения единичны и непротяженны. По поперечному положению в разрывной системе они отнесены к раздвигам.

Таким образом, строение центральной части месторождения Кимпиче хорошо описывается моделью левосторонней сдвиговой зоны. Эта зона представляет собой серию полос шириной 500–800 м северо-западного простирания, которые ограничены четко выраженными плоскостями разломов. В промежутках между этими разломами заключены S-образные кулисы левосторонних сдвигов с меньшими амплитудами перемещений и две сопряженные системы разрывов: северо-восточные правые сдвиги и субширотные раздвиги. В левосторонней сдвиговой зоне разломы северо-западного простирания соответствуют R-сколам Риделя (синтетическим сдвигам), северо-восточные разрывы — сопряженным R'-сколам Риделя (антитетическим сдвигам), субширотные нарушения — раздвиговым структурам T (рис. 2).

Наиболее протяженной структурой является Главный разлом, который прослеживается с юго-востока на северо-запад по азимуту 300–315° и контролирует положение рудных зон 1, 1а и апофиз (зона С и др.) общим протяжением 1700 м и мощностью от 3 до 15 м. В составе рудных зон выделяются минерализованные зоны дробления, зоны прожилкования и короткие (до 40 м) линзовидные, кулисно расположенные сидеритовые жилы. Выявлены оперяющие основную зону вкрапленно-про-

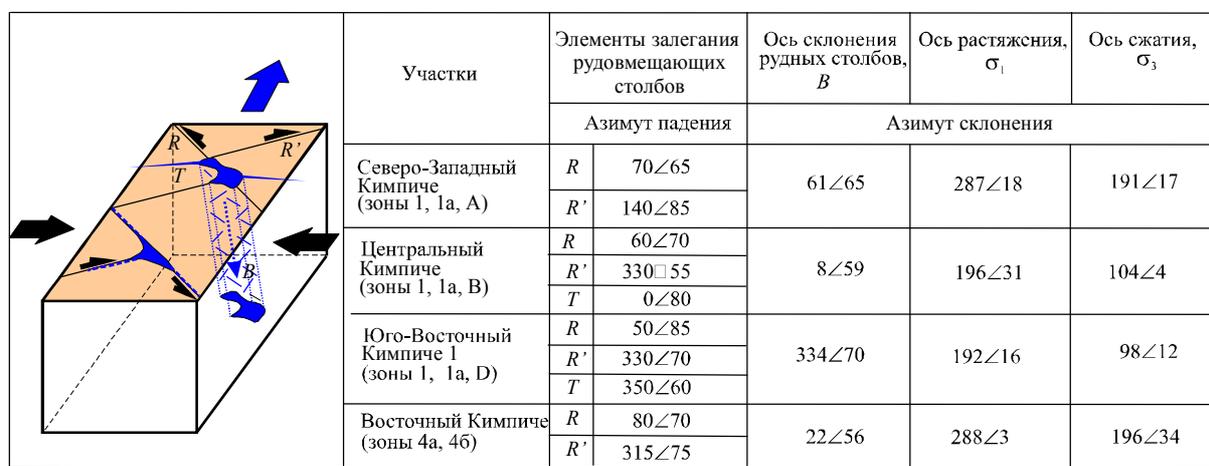


Рис. 2. Модель образования и геометрически рассчитанные склонения рудных столбов месторождения Кимпиче

жилковые зоны с тетраэдрит-сидеритовой минерализацией, субсогласные с поверхностями напластования песчаников и алевролитов. Рудные зоны развиты исключительно в юго-западном крыле разлома. Эта особенность, возможно, связана с тем, что в процессе сдвиговых перемещений вдоль Главного разлома мобильным был его юго-западный блок, в то время как северо-восточный, примыкавший к разлому, оставался слабоподвижным. В процессе оруденения мобильный блок деформировался с образованием, подновлением и раскрытием оперяющих разрывов, которые подверглись минерализации. Анализ поясового распределения трещин и зон дробления (см. рис. 1, диаграмма II), с учетом известных элементов залегания плоскости разлома (по данным бурения) и направления горизонтальных перемещений крыльев разлома, позволяет говорить о левом взбросо-сдвиге, реализуемом в зоне Главного рудовмещающего разлома.

В центральной части месторождения рудные зоны 1, 1а круто ( $55\text{--}80^\circ$ ) падают к северо-востоку по азимуту  $45^\circ$ . В северо-западном направлении зона 1а выгибается и залегает субвертикально с падением к востоку. На юго-восточном фланге зона расчленена более поздним субширотным разломом и смещена влево (к востоку) на 120–150 м.

В пределах рудной зоны выделяются обогащенные участки, приуроченные к пересечениям разноориентированных разломов. Морфологически это столбообразные зоны интенсивного прожилкования увеличенной (относительно рудных зон) мощности. Поисковыми работами выявлено расположение рудных столбов через 300–500 м при их ширине 2–5 м: Северо-Западный Кимпиче (диаграмма III), Центральный Кимпиче (диаграмма IV), Юго-Восточный Кимпиче (диаграммы II, V).

Геометрически рассчитанное склонение (ось *B*) рудных столбов обычно крутое  $50\text{--}70^\circ$  (см. рис. 2) и направлено, как правило, поперек направления перемещения крыльев разлома. Таким образом, рудные столбы представляют собой почти вертикальные обогащенные колонны, уходящие на глубину обособленными корнями. Согласно реконструкциям тектонических полей напряжений методом М.В.Гзовского, формирование рудных столбов происходило в условиях сдвиговых деформаций. Оси сжатия и растяжения ориентированы полого соответственно в субширотном и субмеридиональном направлениях.

Вторая рудная зона в северной части рудопроявления изучена слабо. Зона брекчирования и прожилкования прослеживается по обломкам сидеритовых, кварц-сидеритовых прожилков, а также милонитов и сидеритовых с сидеритовым цементом и

лимонитовых брекчий в полосе шириной 5–10 м северо-западного ( $290\text{--}320^\circ$ ) простирания. Суммарная прослеженная протяженность зоны составляет 600 м. С юго-востока к зоне прожилкования причленяется субсогласная с залеганием пород сидеритовая жила мощностью до 1 м.

Третья рудная зона вскрыта канавами на восточном фланге участка и прослежена по азимуту  $290^\circ$  на 600 м. Мощность зоны (по развалам) 5–10 м. Зона имеет прожилковое строение; мощность отдельных прожилков не превышает 0,05 м (в среднем 0,005 м) при интенсивности прожилкования до 5–10 прожилков на 0,1 м. Прожилки разноориентированные, в местах их сочленения друг с другом отмечаются раздувы мощности. Часто к местам сочленения приурочены блеклые руды.

Рудная зона состоит из серии дуплексов сжатия, имеющих в плане форму линз, вытянутых в северо-северо-западном направлении. Дуплексы образованы в области перекрытия двух субширотных левосторонних сдвигов и представляют собой серию ветвящихся и веерообразно расщепляющихся разрывов. Судя по положению *R*- и *R'*-сколов, рудовмещающие структуры зон 4, 4б, 4в образовались в условиях пологой ориентации осей субмеридионального сжатия и субширотного растяжения (см. рис. 1, диаграмма VI).

Серебряная минерализация приурочена к изгибам разрывов, которые отклоняются к северо-северо-западу и сопровождаются зонами прожилкования. Полюса кварц-карбонат-сульфидных прожилков образуют на сферической диаграмме V четко выраженный пояс вдоль дуги большого круга. Ось пояса круто погружается на северо-восток и пространственно совпадает с положением промежуточной оси  $\sigma_2$ , реконструированной на диаграмме IV. Такое совпадение осей свидетельствует о синхронном развитии процессов минерализации и раскрытия зон дробления в едином поле напряжений. При этом наиболее продуктивные участки зон дробления должны быть ориентированы перпендикулярно оси максимально растягивающих напряжений  $\sigma_1$ , полого погружающейся в субширотном направлении.

Исследования, проведенные в пределах месторождения Кимпиче, позволяют выделить основные этапы формирования его структуры (рис. 3). На ранних стадиях происходило образование брахиформной складчатости срыва в условиях субширотного сжатия и вертикального растяжения. Возникли соскладчатые взбросы и надвиги, которые ограничивают коробчатый свод Имтанджинской горст-антиклинали. На более поздних стадиях формирования складчатости, в условиях сохраняющегося суб-

широтного сжатия, происходила переориентация оси максимального растяжения в горизонтальное направление, что связано со значительной нагрузкой вышележащих пород, препятствующих деформации в поперечном сечении. Вследствие этого образовались системы диагональных сдвигов, косо ориентированных по отношению к оси Имтанджинской антиклинали — северо-западные левые и северо-восточные правые сдвиги, и одна система крутопадающих трещин отрыва, ориентированных поперек складки в субширотном направлении.

Слабоизмененные породы (алевролиты, глинистые и песчанистые алевролиты) отличаются от нижележащих не измененных пород (те же алевролиты и глинистые алевролиты) по светлomu фототону и пластовому характеру залегания.

Ширина ореолов метасоматических изменений составляет от первых метров до 250 м. Максимальная интенсивность метасоматоза приурочена к стержневым частям зон разрывных нарушений. Здесь породы приобретают коричневый цвет с поверхности и розоватый — на свежем сколе. Породы

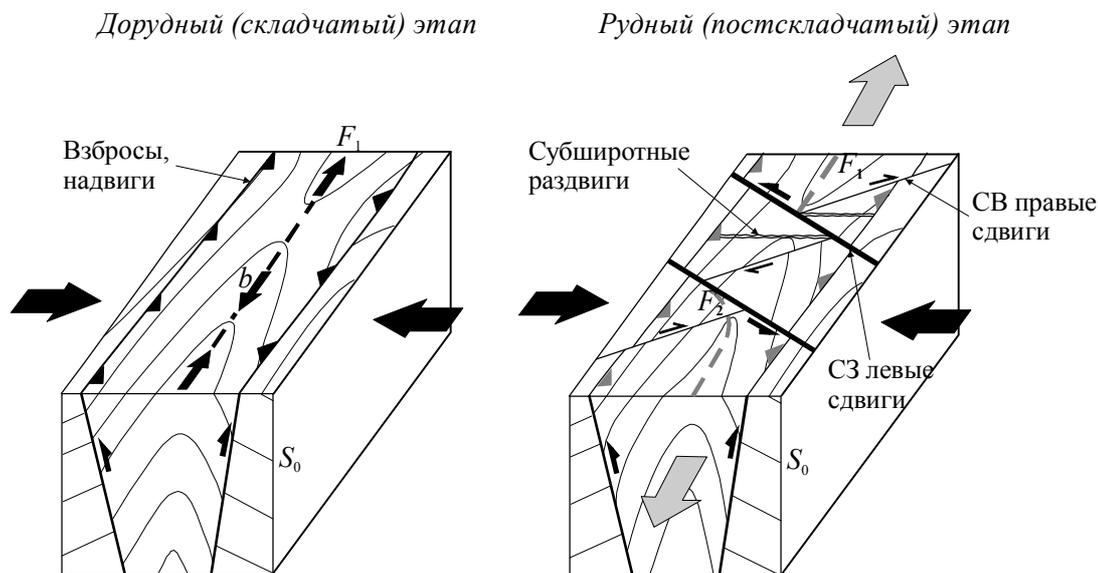


Рис. 3. Основные этапы формирования структуры месторождения Кимпиче:

$F_1$  — Имтанджинская горст-антиклиналь;  $b$  — шарнир складки (стрелками указано направление его ундуляции);  $F_2$  — присдвиговая аксоноклиналь

Выявлены две структурные обстановки деформаций, контролирующие размещение рудных тел:

узлы пересечения разноориентированных разломов, где локализуются рудные столбы с крутым склонением;

веерообразные окончания  $S$ -образных кулис, к которым приурочены линзовидные раздувы жильных тел, предположительно вытянутые по падению разрывов.

**Метасоматические изменения пород.** Специфической особенностью месторождения Кимпиче по сравнению с другими объектами Западного Верхоянья является широкое развитие в его пределах метасоматически измененных пород. Максимальной проработке подверглись породы верхней пачки переслаивания алевролитов и песчаников в составе нижней и средней подсвит халджинской свиты.

легкие, пористые. Характерны полосчатые и пятнистые текстуры, особенно отчетливо проявленные на выветрелых поверхностях пород (рис. 4). Пятна и полосы причудливой формы коричневатого цвета отчетливо выделяются на светлом желтоватом или розоватом фоне. Микроскопическое изучение показывает, что полосчатость обусловлена чередованием существенно кварц-серицитовых слоев с полосами, обогащенными ярозитом. Осветление развито вдоль прожилков сидеритового состава с тетраэдритом и без него и связано с выносом углисто-го вещества из околопрожилкового пространства. Состав метасоматитов кварц-серицитовый, текстуры массивные, реже пятнистые, структуры микрoзернистые. Исходное строение породы сохраняется в редких случаях. Ранний сидерит в контактах с серицит-кварцевыми изменениями окисляется с об-

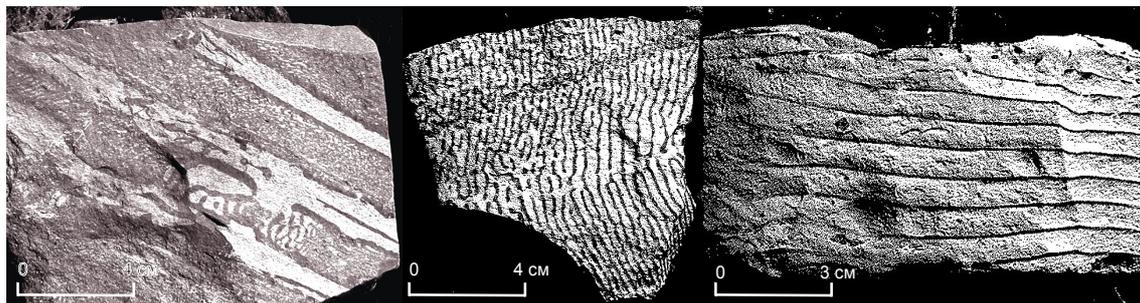


Рис. 4. Метасоматические изменения осадочных толщ:

ритмично-полосчатые («зеброидные») текстуры околорудных ярозит-кварц-серицитовых вторичных кварцитов по алевропесчаникам (светлые полосы — кварц-серицитовый агрегат, темные — то же, с ярозитом)

разованием гидроксидов железа и ярозита. Внешние зоны метасоматических изменений характеризуются незначительным развитием хлорита и слабой гидратацией слюд.

По данным рентгенофазового анализа (табл. 1) в составе метасоматитов присутствуют слабогидратированный серицит и кварц. В пределах рудной зоны отмечен каолинит. По профилю, отобранному из метасоматического ореола одной из рудных зон, отмечается уменьшение роли магнезиально-железистого хлорита от внешних зон к внутренним и увеличение роли кварца и серицита во внутренних зонах метасоматитов. Количество сидерита остается более или менее постоянным.

Для изучения особенностей химического состава метасоматитов проанализированы (силикатный анализ) породы со сходными текстурами (алевролиты со слойками песчаников), отобранные с одного стратиграфического уровня (верхняя часть средней подсвиты халджинской свиты) на различном удалении от рудной зоны. В пробы были отобраны в различной степени измененные породы (табл. 2).

*Неизмененные породы.* Черные плотные алевролиты с тонкими слойками песчаного материала. Углистые алевролиты с хлоритом, мусковитом, кварцем, альбитом в обломках и углистым веществом в основной массе породы. Отмечены конкреционные выделения (до 1 мм) карбонатного вещества. Породы равномерно-зернистые с постепенным переходом от мелкозернистых песчаников к алевролитам. Углистое вещество, пропитывающее все минералы, не позволяет определить количественные соотношения между ними. По данным рентгенофазового анализа в породе содержатся кварц, серицит, альбит, хлорит и сидерит (более 5%).

*Метасоматические изменения средней интенсивности.* Осветленные алевролиты серые, рит-

мично-полосчатые. Текстура свилеватая за счет конседиментационной деформации осадка. Суммарное количество изменений около 70%. Структура равномерно-мелкозернистая. Основная масса коричневатая из-за рассеянной вкрапленности гидроксидов железа. Состав: серицит, кварц, сидерит (полностью замещен ярозитом и гётит-гидрогётитом) и альбит. По данным рентгенофазового анализа, кроме указанных минералов, присутствует каолинит (более 10%), в качестве примеси отмечен амфибол.

*Интенсивные метасоматические изменения* в пределах рудной зоны. Рассланцованные песчанитые алевролиты, полосчатые, пропитанные оксидами марганца. Вторичные минералы представлены серицитом, кварцем, каолинитом. Гидроксиды железа развиваются за счет сидерита. Количество вторичных минералов составляет 80%. По данным рентгенофазового анализа отмечаются также хлорит, амфибол, сидерит (2–5%).

По мере приближения к рудной зоне происходит снижение количества органического углерода (от 1,72 до 1,09%), глинозема (до 17,2%), закисного железа (от 3,59 до 1,65 и 1,36%). Увеличивается количество трехвалентного железа (от 1,87 до 6,19%), калия (от 2,88 до 3,77%). В метасоматитах из рудной зоны повышено количество  $\text{CO}_2$  0,36% и  $\text{MnO}$  0,014%. Количество кремнезема и других оксидов остается практически без изменений. Высокие значения потерь при прокаливании (от 5,44 до 7,16%) при низком количестве глинистых минералов указывают на высокую пористость метасоматитов. Максимальные значения потерь при прокаливании наблюдаются вне рудной зоны.

Формационная классификация метасоматитов не может быть определена на основании имеющихся данных. С одной стороны, состав метасоматитов отвечает кварц-серицитовой и кварц-каолинитовым

**1. Минеральный состав метасоматически измененных пород участка Кимпиче по результатам рентгенофазового анализа (аналитик Э.И.Алышева, ЦНИГРИ)**

Место отбора пробы	Минералы	Характеристика минералов							
		Хлорит				Слюда			
		csin	$J_1-J_2-J_3$	Al <sub>x</sub>	Fe <sub>y</sub>	dI <sub>исх</sub>	dA	csin	$J_1/J_2$
100 м до рудного тела	Кварц, слюда, каолинит, полевой шпат, гётит (ярозит)					10,16	0,27	19,91	1,4
То же	Кварц, слюда, полевой шпат, хлорит (гётит-гематит)	14,16	26-55-19	1,3	2	10	0,02	19,98	1,8
50 м »	Кварц, слюда, полевой шпат, хлорит (сидерит, пирофиллит?, гипс?)	14,21	28-50-22	1,17	1,5	10	0,02	19,98	1,7
30 м »	Кварц, полевой шпат, слюда, (хлорит, сидерит, амфибол?)	14,16				10	0,02	19,99	1,6
10 м »	Кварц, слюда, полевой шпат, сидерит (каолинит, амфибол)					9,98	0	19,95	1,5
Рудная зона	Кварц, слюда, каолинит (полевой шпат, сидерит)					9,96	0	19,97	2
Полосчатые метасоматиты	Кварц, слюда, каолинит, полевой шпат (сидерит? кальцит? гётит?)					9,96	0,02	19,95	1,5
Полосчатый вторичный кварцит в 150 м от рудной зоны	Кварц, слюда, каолинит (полевой шпат, амфибол, сидерит?)					9,98	0,02	19,97	1,7
Вторичный кварцит из рудной зоны	Кварц, слюда, каолинит (хлорит? амфибол, сидерит?)					9,98	0	19,95	1,4
Вторичный кварцит в 20 м от рудной зоны	Слюда, кварц, полевой шпат, хлорит (каолинит, биотит?)					10	0	19,97	2
Слабоизмененный алевролит	Кварц, слюда, полевой шпат, хлорит, сидерит					9,98	0	19,97	2,2

Примечание. В скобках указаны минералы в малых количествах: сл (2-5%), ? — <2%;  $d=dI_{исх}-dI$  с глицерином.

**2. Содержание породообразующих оксидов в метасоматитах месторождения Кимпиче, мас. %\***

Описание образца	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S <sub>общ</sub>	MnO	C <sub>орг</sub>	CO <sub>2</sub>	ППП
Полосчатый вторичный кварцит в 150 м от рудной зоны	64,14	19,12	2,79	1,65	0,42	0,93	0,52	0,07	3,59	0,04	0,006	1,23	<0,01	7,16
Вторичный кварцит из рудной зоны	64,16	17,16	6,19	1,36	0,67	0,86	0,50	0,07	3,77	0,04	0,014	1,09	0,36	5,74
Слабоизмененный алевролит	63,22	18,62	1,87	3,59	0,66	1,48	0,46	2,17	2,88	0,06	0,024	1,72	<0,01	5,44

\* Силикатный анализ выполнен в лаборатории ЦНИГРИ.

зонам колонки вторичных кварцитов, с другой — по мере приближения к рудным зонам для метасоматических пород устанавливается привнос K, Fe, SiO<sub>2</sub> и вынос Mg, Na, C<sub>орг</sub>, что более характерно для березитов. Однако уже на данной стадии изучения ряд признаков (полосчатые текстуры, плащеобразное пологое залегание части метасоматических ореолов, развитие каолинита) позволяет предполагать их близповерхностный генезис. Гипергенное происхождение каолинита может быть подтверждено при бурении скважин.

**Минеральный состав руд и последовательность рудоотложения.** Дорудная минерализация, достаточно широко развитая в пределах месторождения, представлена следующими минеральными ассоциациями.

*Ранняя кварцевая ассоциация* — прожилки мощностью до 4 см серовато-белого метасоматического «книжного» кварца с просечками углисто-го вещества, а также жилы и линзы молочно-белого кварца. К этой же ассоциации относятся прожилки выполнения мощностью до 7 см, телескопирующие прожилки «книжного» кварца и сложенные прозрачными мелкими кристаллами горного хрусталя призматического габитуса. Температура гомогенизации жидкой фазы газовой-жидких включений в кварце данной ассоциации 200°C.

*Кварц-сидеритовая ассоциация* представлена кварц-сидеритовыми прожилками, пересекающими ранние кварцевые жилы, и кварц-сидеритовыми агрегатами, цементирующими обломки «книжного» кварца, алевролитов в пределах зоны Главного разрывного нарушения. К этой ассоциации относятся единичные реликтовые идиоморфные зерна пирита и арсенопирита. По пириту развиты каймы халькозина, содержащего примеси Fe, Ag (около 1%).

*Серицит-кварцевая ассоциация* слагает ореолы серицит-кварцевых и каолинит-кварцевых метасоматитов в пределах зон разрывов. Не исключено, что часть безрудных сидеритовых линз при формировании этой ассоциации была окислена с образованием гётита и гидрогётита.

Минеральный состав *продуктивной серебротетраэдрит-сидеритовой ассоциации* простой. Основные рудные минералы — самородное серебро, тетраэдрит, в незначительных количествах обнаружен халькопирит, зерна пирита и арсенопирита единичны. Жильные минералы — сидерит, в меньшей степени кварц, на нижних горизонтах присутствует хлорит. По данным предшественников, в протоlochках отмечены знаки галенита, висмутина, самородного серебра, куприт, самородная медь.

Продуктивная ассоциация представлена массивными линзами светло-коричневого (темно-коричневого при окислении) крупнокристаллического сидерита. В линзах, рассеянных поздними сидеритовыми прожилками, имеется метасоматическая вкрапленность блеклой руды (отдельные зерна размером до 5–6 мм). Реже отмечаются сингенетичные брекчии, в которых отдельные обломки кристаллов сидерита и прожилков тетраэдрита сцементированы мелкозернистым сидеритом. Для зон прожилкования характерны прожилки крупнокристаллического выщелоченного сидерита с «яичниковой» структурой, образованной кристаллами гётита, с наложенными метасоматическими гнездами тетраэдрита. Менее характерны и отмечены только в рудных зонах, согласных со слоистостью, пористые легкие метаморфозы гётита-гидрогётита по мелкозернистому сидериту с вкрапленностью окисленных зерен (до 3–5 мм) блеклой руды. Текстуры руд прожилковые, брекчиевые, реже массивные.

Блеклая руда (тетраэдрит) часто образует округлые, реже угловатые с сохранением прожилковидной формы выделения в сидеритовом или лимонитовом цементе. Тетраэдрит встречается в гнездах размером до 1 см и прожилках размером до 1,5 см в поперечнике. На месторождении выявлены две разновидности тетраэдрита (табл. 3). По результатам рентгеноспектрального микроанализа они различаются по содержанию ртути. Микроскопически ртутьсодержащий (до 2,3%) тетраэдрит отличается более высокими отражением и рельефом. Содержание серебра в тетраэдритах составляет 2,72–4,91%, однако, возможно, что эти данные завышены за счет захвата выделений самородного серебра. В сравнении с блеклыми рудами других месторождений Западного Верхоянья тетраэдриты месторождения Кимпиче отличаются существенно пониженными содержаниями серебра (табл. 4).

Самородное серебро образует мельчайшую вкрапленность в тетраэдрите и более крупные выделения среди продуктов его изменения. Вкрапленность серебра в тетраэдрите удалось обнаружить благодаря образованию дендритов акантита в результате окисления вкрапленников серебра (<1 мкм) после распиливания образцов (в течение двух дней после распиловки). Выделения самородного серебра видны в центре крупных дендритов акантита в виде ярких точек.

Более крупные пластинчатые выделения серебра (до 2 мм) находятся в сростании с кварцем, малахитом и азурином. Состав этого серебра исследован рентгеноспектральным микроанализом (CAMEBAX SX-50). Полученные результаты (см. табл. 3) показывают, что серебро содержит приме-

3. Рентгеноспектральный микроанализ минералов участка Кимпиче, вес.% (аналитик И.А.Брызгалов, МГУ)

Номера образцов	Минералы	As	Se	S	Ag	Sb	Cd	Sn	Te	Pb	Bi	Zn	Cu	Fe	Mn	Hg	Сумма
ГО-03-32	Тетраэдрит	3,15	0,04	24,92	4,80	25,56	0,00	0,16	0,07	0,00	0,43	1,09	34,88	5,89	0,00	0,00	100,97
	Акантит-халькозин-гидрогётитовая кайма по тетраэдриту	4,02	0,04	21,49	6,73	21,58	0,00	0,18	0,05	0,00	0,40	0,95	35,90	5,51	0,00	0,00	96,85
	Гётит-гидрогётит	2,45	0,01	1,02	4,66	29,79	0,00	0,15	0,00	0,00	0,43	0,24	15,69	6,16	0,00	1,22	61,81
	То же	4,83	0,04	0,39	1,60	18,66	0,00	0,09	0,00	0,00	0,84	0,12	29,72	5,74	0,04	0,00	62,06
А-701	Серебро (мелкое выделение)	2,39	0,02	16,33	28,86	16,66	0,06	0,12	0,00	0,00	0,11	0,49	24,59	4,14	0,00	0,06	93,82
	То же	2,42	0,01	16,03	23,89	19,12	0,14	0,11	0,07	0,00	0,13	0,73	27,35	4,91	0,04	0,06	94,97
	Тетраэдрит	4,29	0,00	25,13	4,07	24,46	0,04	0,16	0,00	0,00	0,30	0,86	36,72	5,75	0,00	1,13	102,90
	То же	3,58	0,06	24,50	4,81	25,15	0,08	0,13	0,00	0,00	0,40	0,81	36,19	5,66	0,00	1,07	102,44
А-740/3	Серебро (мелкое выделение)	1,35	0,02	10,71	69,46	2,63	0,39	0,00	0,05	0,00	0,61	0,14	2,02	5,99	0,09	0,22	93,68
	Гётит-гидрогётит (10×10 мкм)	0,95	0,04	6,25	46,00	0,94	0,25	0,00	0,05	0,00	0,27	0,10	19,22	3,30	0,02	1,76	79,14
	Тетраэдрит	3,73	0,06	24,59	3,82	24,99	0,00	0,08	0,00	0,00	0,37	1,09	37,31	5,59	0,07	0,00	101,69
	То же	3,62	0,01	24,44	4,98	24,61	0,00	0,13	0,15	0,00	0,50	1,14	35,38	5,65	0,02	2,30	102,92
А-711	Гётит-гидрогётит	5,73	0,06	0,18	0,06	32,00	0,03	0,18	0,00	0,13	0,50	0,51	11,23	15,86	0,00	0,00	66,49
	Серебро	0,00	0,06	0,03	97,91	0,00	0,39	0,00	0,21	0,00	0,07	0,12	3,70	0,05	0,00	1,07	103,60
	То же	0,00	0,05	0,21	98,46	0,00	0,54	0,00	0,24	0,07	0,11	0,37	1,68	0,12	0,01	0,36	102,21
	Тетраэдрит	5,76	0,06	25,19	4,53	21,43	0,06	0,07	0,02	0,00	0,08	2,12	36,54	4,85	0,00	0,00	100,71
А-711	Акантит-халькозин-гидрогётитовая кайма по тетраэдриту	5,86	0,06	3,33	4,80	25,28	0,02	0,16	0,00	0,00	0,07	0,31	19,39	10,94	0,01	0,00	70,21
	Тетраэдрит	5,35	0,02	25,68	2,70	22,46	0,00	0,13	0,07	0,00	0,16	1,91	38,52	4,90	0,05	0,00	101,94
	То же	5,43	0,07	25,44	2,73	22,36	0,00	0,12	0,00	0,00	0,16	2,42	37,59	4,55	0,00	0,42	101,25
	Куприт	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	86,67	2,53	0,00	0,00	89,33
ГО-03-57	Серебро	0,00	0,00	0,14	98,82	0,03	0,29	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05	0,40	4,49	0,01	0,51	104,83
	Пирит	0,00	0,10	52,90	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,26	0,00	0,09	47,86	0,00	0,00	101,30
	Халькозин	0,00	0,19	20,58	1,14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,14	0,10	77,60	2,08	0,03	0,00	101,88
	Халькоширит	0,00	0,01	33,79	0,00	0,00	0,03	0,02	0,07	0,00	0,15	0,00	34,63	30,43	0,02	0,00	99,14

4. Химический состав блеклых руд месторождений Западного Верхоянья, %  
по А.В.Костину, 2001, для Кимпиче — данные авторов

Число анализов	S	Ag	As	Fe	Pb	Sb	Se	Cu	Bi	Te	Zn	Hg	Sn	Сумма
<b>Мангазейское рудное поле</b>														
Рудная зона Кузьминская														
17	21,75	26,36	0,19	1,25	0,10	26,16	0,07	18,74	0,11	0,12	5,12	0,11	0,21	100,12
Рудная зона Васильевская														
34	20,82	29,99	0,37	1,57	0,07	24,80	0,07	17,14	0,05	0,10	4,62	0,06	0,22	99,86
Рудная зона Михайловская														
13	23,02	22,20	0,14	1,90	0,36	25,96	0,09	21,26	0,11	0,09	5,02	0,08	0,36	100,53
Участок Стержевое														
16	23,16	13,88	0,08	2,35	0,05	27,96	—	29,29	0,09	0,03	3,03	0,12	0,08	99,35
Месторождение Нижнеэндыбальское														
7	22,89	23,73	0,11	4,64	0,08	26,04	—	20,43	0,15	0,07	2,23	0,20	0,08	100,23
Месторождение Безымянное														
10	22,33	22,62	0,07	3,82	0,03	26,46	0,01	21,60	0,03	0,03	2,01	0,01	0,08	99,09
<b>Нюектаминское рудное поле</b>														
Чочимбальское месторождение														
45	23,83	17,20	0,81	3,07	0,11	25,28	0,01	25,91	0,04	0,07	3,43	0,22	0,09	100,07
Кысылтасское месторождение														
10	23,22	9,07	1,51	2,90	0,17	25,67	0,01	30,82	0,08	0,10	5,80	0,08	—	99,43
Месторождение Раннее														
12	20,77	17,93	0,05	3,29	0,05	26,92	0,03	24,98	0,12	0,11	5,24	0,03	—	99,53
<b>Хобяту-Эчийское рудное поле</b>														
Имтанджинское месторождение														
14	21,65	30,58	0,10	5,21	0,04	25,66	—	15,83	0,02	0,04	0,52	0,02	0,10	99,76
<b>Кимпиче-Берелехское рудное поле</b>														
Месторождение Кимпиче														
4	25,10	3,96	4,50	5,31	0,00	23,61	0,05	36,81	0,26	0,04	1,55	0,00	0,11	101,28
4	24,88	4,15	4,23	5,40	0,00	24,14	0,04	36,47	0,34	0,04	1,31	1,23	0,13	102,34

си Cu, Hg, Fe, S и в отличие от месторождений Мангазейского рудного поля не содержит Sb.

Халькопирит распространен преимущественно в узлах пересечения северо-западных и субмеридиональных рудоносных структур, образует вкрапленность, гнезда, мелкие прожилки, пересекающие выделения тетраэдрита.

Для изучения геохимических особенностей руд из наиболее характерных их разновидностей были отобраны пять проб массой около 1 кг. Все пробы первоначально проанализированы гамма-активационным и пробирным анализами в лаборатории ГУГПП «Янгеология», а затем методом ICP MS на 70 элементов в лаборатории ЦНИГРИ. По результатам анализов рассчитаны средние содержания элементов.

Содержание Cu в рудах месторождения Кимпиче составляет до 4,16%, что определяется присутствием основного рудного минерала — тетраэдрита. В этом случае медь может рассматривать-

ся как попутный компонент при добыче серебра. В рудах установлены максимальные среди серебряных месторождений Западного Верхоянья содержания Sb 2,11%, что обусловлено наличием сурьмяной блеклой руды — тетраэдрита, Bi 334,59 г/т, Ba 102,6 г/т, Hg 311,59 г/т.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить связи серебра с другими элементами. Положительные корреляции серебра установлены с In (0,987), V (0,843), Bi (0,757), Au (0,737), Re (0,647), Ba (0,619), наиболее сильные отрицательные — с Li (–0,952), Ti (–0,843), Th (–0,826), Cr (–0,795), B (–0,773), Sc (–0,747), Cd (–0,708), Ge (–0,701), а также с Zn (–0,529), Pb (–0,606).

Ассоциация элементов, характерная для месторождения Кимпиче (подчеркнуты элементы, образующие собственные минеральные фазы), выглядит следующим образом:

+ In, V, Bi, Au, Re, Ba  
– Pb, Zn, Li, Ti, Th, Cr, B, Sc

Рудные прожилки и сидеритовые линзы пересечены или телескопированы прожилками кварц-карбонатного состава с прозрачным кварцем и лепестковидными кристаллами сидерита, которые, в свою очередь, пересечены кальцитовыми прожилками (*пострудные ассоциации*).

На месторождении широко развиты процессы гипергенеза. Вторичные минералы представлены различными оксидами и гидроксидами железа, малахитом, азуритом, халькозином, ковеллином, смитсонитом, церусситом, купритом, самородной медью и серебром. Большая часть первоначально массивных сульфидных или сидеритовых брекчий, жил полностью окислена с образованием пористых, «сухарных» лимонитовых прожилков. Достаточно часто отмечаются малахит, азурит, церуссит, на восточном фланге — лепестковидные агрегаты смитсонита. Наиболее окислены руды в пределах верхней пачки переслаивания, наименее — в нижней пачке переслаивания алевропесчаников и песчаных алевролитов. Несмотря на активное окисление сидерита, блеклые руды окислены относительно слабо, однако и они часто замещаются зеленовато-желтым вторичным минералом (валентинит?), малахитом и азуритом.

В акантит-халькозин-гидрогётитовых каймах по тетраэдриту содержания серебра часто выше, чем в тетраэдрите и достигают 6,73%. Анализ неоднородного по плотности гётит-гидрогётитового выделе-

ния при размере электронного пучка 10x10 мкм показывает наличие в нем 46% Ag.

**Данные по гомогенизации флюидных включений в кварце, изотопному составу серы, углерода и кислорода.** Изучение газовой-жидких включений в кварце продуктивной ассоциации (аналитик С.Г.Кряжев) показывает, что температуры гомогенизации соответствуют  $210 \pm 10^\circ\text{C}$  для первичных включений в кварце кварц-сидеритовой до-рудной ассоциации и несколько ниже ( $185^\circ\text{C}$ ) для вторичных. Соленость флюида оценивалась по данным криометрии и составила  $12 \text{ NaCl}_{\text{экв.}} \text{ мас.}\%$  для первичных включений. В некоторых более мелких (вероятно, вторичных) включениях обнаружены кристаллики галита, по которым соленость оценена в  $31 \text{ NaCl}_{\text{экв.}} \text{ мас.}\%$ . Давление, оцененное для этой же группы включений, составило не менее 100 бар.

Для оценки источников рудообразующих растворов проведены анализы составов сульфидной серы тетраэдрита, кислорода и углерода неокисленного сидерита рудных зон. Результаты анализов сведены в таблицы 5–7 и сравнивались с результатами, полученными по месторождениям Западного Верхоянья. Незначительное количество проб позволяет сделать лишь предварительные выводы о характере источников растворов. Изотопный состав серы тетраэдрита варьирует от  $-3,40$  до  $0,80\%$ , занимая практически весь интер-

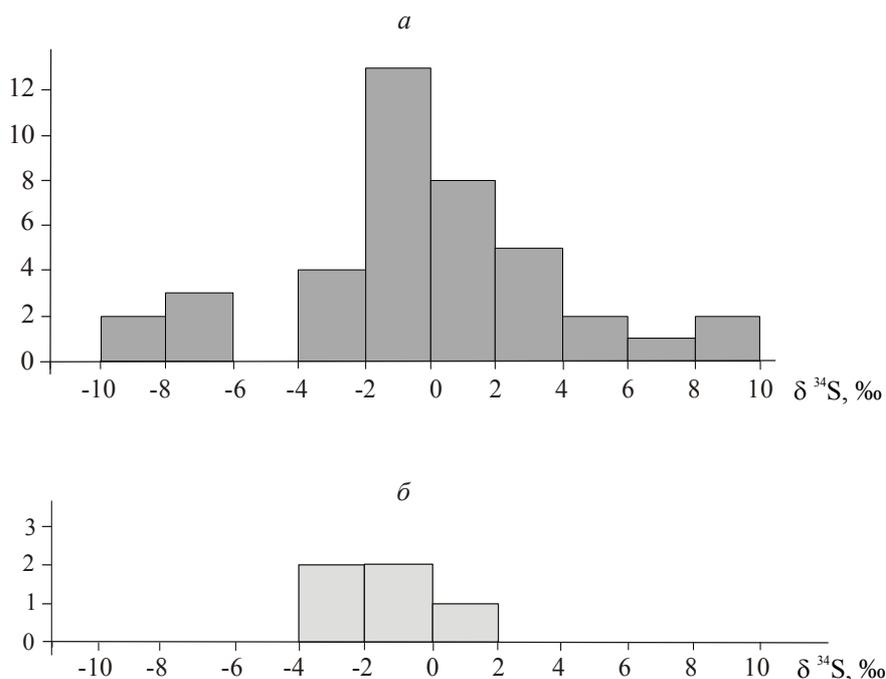


Рис. 5. Гистограммы частот изотопного состава серы сульфидов из месторождений Западного Верхоянья (а) и серы тетраэдрита из месторождения Кимпиче (б)

### 5. Изотопный состав серы тетраэдрита месторождения Кимпиче

Номера проб	Минералы	$\delta^{34}\text{S}$ , ‰	Минеральная ассоциация
ГО-03-32	Тетраэдрит	-3,4	Серебро-блеклорудно-сидеритовая
A-707	То же	-2,2	То же
A-712/1	»	-1,9	»
КС-114	»	-0,8	»
T-5/2	»	0,8	»

### 6. Изотопный состав кислорода и углерода сидерита и кислорода кварца, месторождение Кимпиче

Номера проб	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ , ‰	$T_{\text{гом}}$ , °C	Минеральная ассоциация
ГО-03-272 (к2)	-1,00	21,7	7,8	185	Серебро-блеклорудно-сидеритовая
T-7/2		13,1	2,1	210	Кварц-сидеритовая
ГО-03-30/2		13,9	2,9	210	То же
T-4/3		13,8	2,8	210	»

### 7. Параметры минералообразующих растворов (по данным анализа состава флюидных включений в кварце)

Номера проб	Стадия	Преобладающие компоненты	Концентрация, мас. % $\text{NaCl}_{\text{экв}}$	$T$ , °C*	$P$ , бар	Минеральная ассоциация
ГО-03-30/2	2	Ca (Na) Cl	31,0	185	>100	Серебро-блеклорудно-сидеритовая
ГО-03-30/2	1	Na (Ca) Cl	12,0	210±10		Кварц-сидеритовая

\* Оценена по 10–20 замерам.

вал значений, характерных для серебро-полиметаллических месторождений Западного Верхоянья (рис. 5). Изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}=1\text{‰}$ ) и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})=21,7\text{‰}$ ) карбоната отвечает изотопному составу карбоната месторождений Ньюектаминского рудного узла и попадает в поле состава карбонатов с предполагаемым осадочно-гидротермальным генезисом. Изотопный состав кислорода в гидротермальном флюиде оценен на основе предположения о близости температур флюида при образовании сидерита и температур гомогенизации вторичных газовой-жидких включений в кварце.

Изотопный состав кислорода флюида, рассчитанный по кварцу ( $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})=2,1-2,8\text{‰}$ ), существенно отличается от изотопного состава кислорода флюида, рассчитанного по карбонату ( $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})=7,8\text{‰}$ ), что подтверждает предположение о формировании кварца и массивного сидерита на различных стадиях гидротермального процесса. Полученные данные не противоречат гипотезе о присутствии магматогенной составляющей в составе гидротермальных растворов.

Продолженное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

Рудное поле Кимпиче контролируется региональной Имтанджинской антиклинальной складкой (длина более 300 км) и предполагаемой погребенной рифтогенной структурой — продолжением Собольского грабена северо-западного простирания. Вмещающие породы относятся к глубоководной песчанисто-алевролитовой турбидитной формации. На небольшом удалении по простиранию рудных зон (в том числе согласных) в песчаных горизонтах развиты линзы известковистых песчаников (часто с ископаемой фауной брахиопод и с текстурами «cone in cone»). Геохимические аномалии, сходные по комплексу элементов с рудными, пространственно связаны с полями распространения именно этих карбонатных песчаников.

В пределах рудного поля и даже всего рудного района не установлено проявлений магматической деятельности, однако на глубине по данным анализа гравитационных и магнитных аномалий предполагается наличие гранитоидного массива.

В структуре рудных зон сочетаются субпластовые жильно-прожилковые и секущие прожилковые зоны и минерализованные зоны дробления, что определяет столбообразный характер распределения богатой рудной минерализации.

В пределах рудного поля развиты линейные и площадные ореолы серицит-кварцевых и каолинит-кварцевых метасоматитов.

Продуктивная минерализация сформирована в один этап и отличается от других серебрянорудных месторождений Западного Верхоянья преимущественно самородной формой серебра, повышенным количеством ртути и пониженным свинца и цинка в составе руд. Данные изотопии и температур гомогенизации флюидных включений указывают на значительный диапазон физико-химических условий формирования рудной минерализации.

Такие особенности месторождения, как отсутствие проявлений магматизма, интенсивное развитие специфических метасоматических изменений, простой состав руд, низкое содержание серебра в тетраэдрите, преимущественно самородная форма нахождения серебра в рудах, отрицательные корреляции серебра с цинком, свинцом, позволяют выде-

лить новый — серебро-сурьмяный — тип серебро-полиметаллических месторождений в Западном Верхоянье.

Перспективы месторождения определяются протяженностью и высокой степенью тектонической переработки разрывных структур, устойчивостью минерального состава руд на всем протяжении зон, незначительным срезом рудных зон и, наконец, принадлежностью месторождения к серебро-сурьмяному минеральному типу серебро-полиметаллической формации, характерным примером которого являются месторождение Асхатин (>12 000 т Ag) в Монголии и часть рудных зон месторождения Кер д'Ален (>30 000 т Ag) в США.

Авторы благодарят М.М.Константинова, Л.А.Остапенко, О.Б.Рыжова, С.Ф.Стружкова за помощь и консультации на всех этапах работы, а также Д.Н.Задорожного, принимавшего непосредственное участие в структурных исследованиях.