

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХНИЙ ХАКЧАН, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ

М.В.Наталенко, М.А.Имамендинова, В.А.Данильченко, М.В.Данилин, А.Н.Гудин (ФГУП

«ЦНИГРИ»), Н.В.Цымбалюк (ООО «Станнолит»)

Определено положение Верхне-Хакчанского золоторудного месторождения в региональных структурах, приведены данные о его геологическом строении, морфологии рудных зон, минеральном составе руд и метасоматитов. Определены параметры физико-химического режима минералообразования. Рассмотрены перспективы дальнейшего освоения объекта.

Ключевые слова: Магаданская область, золоторудное месторождение, рудная зона, прожил- ково-вкрапленная минерализация.

Наталенко Мария Владимировна, international@tsnigri.ru, Имамендинова Мария Александровна, imamendi-nova@gmail.com, Данильченко Виктор Александрович, Данилин Максим Владимирович, Гудин Александр Николаевич, Цымбалюк Николай Владимирович

THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF GOLD DEPOSIT VERKHNIY KHAKCHAN, MAGADAN REGION

M.V.Natalenko, M.A.Imamendinova, V.A.Danilchenko, M.V.Danilin, A.N.Gudin, N.V.Tsybmal'uk

The position of Verkhniy-Khakchan gold deposit in the regional structures, data about its geological structure, morphology of ore zones, mineral composition of ores and metasomatites are defined. The parameters of the physico-chemical regime of mineral formation are determined. The prospects of the further development of the object are also discussed.

Key words: Magadan region, gold deposit, ore zone, vein-impregnation mineralization.

Верхне-Хакчанское месторождение обнаружено и частично разведано с поверхности в 1948 г. Б.А.Федоровым. В дальнейшем работы на нем продолжались с перерывами в течение ряда лет (К.А.Осокина, 1950 г., А.В.Лядин, 1955 г., Н.А.Лопаткин, 1967–1968 гг.). Перспектива выявления промышленно значимого месторождения авторами геологических отчетов связывалась с оценкой рудной зоны Основная. Данная рудная зона отнесена ими к разряду средних по запасам месторождений, не удовлетворяющих требования промышленности по действовавшим в то время районным кондициям. По результатам более поздних работ (ОАО «Сусуман-золото» 1996–1998 гг.) с оценкой главных рудных тел месторождения установлено, что при снижении оценочных параметров для руд до 2,0 г/т рудная зона Основная пригодна для отработки. В ходе поисково-оценочных работ ООО «Станнолит» в 2007–2009 гг. центральная часть рудной зоны Основная была разбурена по нескольким профилям. В результате подтверждены перспективы выявления крупнотоннажного месторождения — апробированные прогнозные ресурсы категории Р₁ составили 36,0 т Au со средними содержаниями 1,77 г/т. Новые данные, полученные авторами в 2005–2012 гг., позволяют дополнить и существенно уточнить геологическое строение и особенности вещественного состава рудных тел месторождения.

Региональная позиция. Верхне-Хакчанское месторождение расположено на северо-западе Магаданской области вблизи границы с Республикой Саха (Якутия). Хакчанский рудный узел приурочен к северо-западному замыканию Аян-Юряхского антиклинория и локализован в зоне динамического влияния одной из ветвей регионального рудоконтролирующего Чай-Юрьинского разлома. Площадь рудного узла размером 15×20 км² совпадает с крупной антиклинальной складкой первого порядка. В его пределах на расстоянии 10 км друг от друга найдены два рудных поля — Средне- и Верхне-Хакчанское, а также многочисленные рудопроявления и точки золоторудной минерализации. По данным вторичных потоков рассеяния территории рудного узла оконтуривается комплексными геохимическими аномалиями Au, Ag, As, Pb, Zn.

Геологическое строение рудного поля. Верхне-Хакчанское рудное поле площадью 5×6 км² совпадает с антиклинальной складкой второго порядка, погружающейся на запад и восток. Границы его проведены по северо-западным, субмеридиональным и субширотным разломам с учетом распределения прямых признаков рудной минерализации. По потокам рассеяния в пределах рудного поля выявлены аномалии Au, а по литогеохимическим данным — Au и As. По результатам комплексной аэрогеофизической АГС-съемки месторождение отчетливо фиксируется как участок повышенной концентрации К.

В пределах рудного поля известны три россыпи (по ручьям Верхний Хакчан, Бургагы и Адыгалах).

Рис. 1. Схема геологического строения месторождения Верхний Хакчан, с использованием данных ООО «Стан-нолит», Я.Н.Николаевой, Н.Н.Кузнецова (1979 г.), В.Р.Артюхова (1999 г.):

1 — четвертичные отложения; 2–6 — верхнепермские отложения: 2 — кулинская свита, нижняя пачка, песчано-глинистые и глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, линзы конгломератов; нерючинская свита: 3 — верхняя пачка, массивные алевролиты с прослоями алевролитов и мелкозернистых песчаников, в основании — мелкозернистые песчаники, песчанистые алевролиты, 4 — средняя пачка, массивные алевролиты с прослоями песчанистых алевролитов и алевропесчаников, 5 — нижняя пачка, песчанистые алевролиты, массивные алевролиты, мелко- и среднезернистые песчаники, прослои гравелитов, алевропесчаников, диамиктитов; 6 — атканская свита, диамиктиты с прослоями алевролитов; 7 — пласты песчаников; 8 — позднеюрский (нера-бохапчинский) интрузивный комплекс, дайки диабазовых порфиров; 9 — разрывные нарушения (*а* — главные, *б* — второстепенные, *в* — под четвертичными отложениями); 10 — минерализованные зоны дробления (рудные зоны); 11 — зоны тонкого кварцевого прожилкования; 12 — элементы залегания (*а* — пластов осадочных пород, *б* — рудных зон); 13 — отработанные промышленные россыпи золота; 14 — буровые скважины и их номера; 15 — линии разрезов

Для россыпей характерна пониженная крупность золота (<1 мм), что указывает, по данным С.Ф.Стружкова [3], на преимущественное развитие золоторудной минерализации наталкинского золото-кварцевого типа коренных источников. В шлихах присутствуют минералы полиметаллической ассоциации. Среди зерен самородного золота преобладают золотины рудного облика различной морфологии — кристаллы, дендриты, пластинки и др.

На площади рудного поля развиты комплекс верхнепермских терригенных пород и четвертичные отложения. Верхнепермские породы представлены (снизу вверх по разрезу) отложениями атканской, нерючинской и кулинской свит. Атканская свита сложена диамиктитами с редкими маломощными прослоями массивных алевролитов. В разрезе нерючинской свиты отмечаются алевролиты, мелкозернистые песчаники с прослоями и линзами гравелитов и мелкогалечных диамиктитов. Кулинская свита сложена песчано-глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками и линзами конгломератов. Характер взаимоотношений отложений атканской свиты и подстилающих пород не установлен. Породы нерючинской и атканской свит залегают в целом согласно, в западной части рудного поля граница между ними тектоническая.

Для локализации оруденения наиболее благоприятна нижняя подсвита нерючинской свиты

Рис. 2. Геологический разрез через западную часть месторождения Верхний Хакчан:

1 — дайки позднеюрских диоритовых порфиритов; 2 — крупные разрывные нарушения (зоны милонитизации и крупнообломочного дробления); 3 — второстепенные разрывные нарушения, тектонические трещины; 4 — алевролиты с туфогенной примесью; 5 — алевролиты; 6 — песчанистые алевролиты; 7 — алевропесчаники; 8 — песчаники; 9 — гравелиты; 10 — диамиктиты; 11 — буровые скважины; 12 — рудное тело (рудная зона Основная); остальные усл. обозн. см. рис. 1

крыльев складки >1 км, углы падения крыльев $30-40^\circ$. Верхне-Хакчанская антиклиналь осложнена приразломными складками более высоких порядков (размах крыльев первые метры, углы падения до 75°), которые вмещают отдельные зоны прожилково-вкрапленной минерализации.

Среди разрывных нарушений развиты две системы — рудовмещающий Верхне-Хакчанский сбросо-сдвиг северо-западного простирания (оперяющая ветвь Чай-Юрьинского регионального разлома) и крупные субмеридиональные сбросы.

Геолого-структурные особенности месторождения и морфология рудных тел. Верхне-Хакчанское месторождение локализовано в пределах отрезка одноименного сбросо-сдвига протяженностью 2,5 км. Между северо-восточным и юго-западным швами сбросо-сдвига широко развиты субширотные разломы, являю-

приятна нижняя подсвита нерючинской свиты

изменчивого литологического состава. Так, в западной части месторождения увеличиваются песчанистая и туфогенная составляющие нижней подсвиты, с чем предположительно связан раздув мощности Основной рудной зоны (>30 м).

Интрузивные образования рудного поля представлены дайками верхнеюрских диабазовых порфиритов, диоритов, диоритовых порфиритов, кварцевых диоритовых порфиритов, спессартитов (не-ра-бохапчинский комплекс) и верхнемеловых сие-нит-порфиров (билириканский). Протяженность даек от сотен метров до первых километров, мощность достигает 30 м, простирание в основном субширотное, реже северо-западное, падение крутое и вертикальное. Повышенные содержания золота в дайках не отмечались. Связь золотого оруденения с магматическими образованиями не установлена.

В структурном плане месторождение тяготеет к ядерной части асимметричной Верхне-Хакчанской антиклинальной складки второго порядка. Размах

циклической динамопары сдвига северо-западного простирания. В них сосредоточен основной объем золоторудной минерализации. Рудовмещающие крутопадающие субширотные сбросо-сдвиги вы-полаживаются на глубоких горизонтах. Часть рудовмещающих нарушений субширотной системы можно

относится к листрическим разломам, весьма сходным по морфологии с разрывами, ограничивающими рудное тело Наталкинского месторождения.

На площади месторождения выявлены линейные вторичные геохимические ореолы $Au > 0,3$ мг/т протяженностью до 2 км, шириной до 1 км, а также практически совпадающие с ними линейные вторичные ореолы $As > 0,1$ мг/т. В центральной части месторождения размер ореолов увеличивается.

По геофизическим данным выделяются три потенциально золотоносные аномальные зоны — Основная, Южная и Северная (рис. 1). Наиболее перспективны Основная и Южная зоны. Они прослеживаются по простиранию на 4500–5000 м и располага-

Рис. 3. Фрагмент строения рудоносного штотверка (рудная зона Основная):

а — алевропесчаник, пронизанный разноориентированными серицит-КПШ-карбонат-кварцевыми прожилками, составляющими 100 шт. на 1 пм; керн скв. 242, интервал 380,4 м (содержания Au 4,14 г/т на 36 м); *б* — то же, с вкраплениями сфалерита, галенита, арсенопирита, пирита (до 1–2%) и видимого золота (в кружках); обр. С235/254 (содержания Au 5,55 г/т на 7,7 м)

колеблются от 33 до 75°. Крутые углы падения сместителя, установленные на поверхности (65–75°), вниз по падению выполаживаются и на глубине 200 м составляют 35–40°. В пределах рудной зоны наблюдаются многочисленные пропеллерообразные изгибы сместителя.

Прожилки и жилы различной ориентировки в зоне дробления как секущие слюистость пород, так и согласные послойные (рис. 3). Послойные прожилки и жилы (20–30 см) часто имеют пологчатую текстуру, обусловленную наличием пластинчатых реликтов вмещающих пород ориентированных вдоль контактов. Основные рудовмещающие зоны субширотного простирания оперяются зонами прожилкового окварцевания терригенных пород мощностью до 20 м.

В проекции рудной зоны на вертикальную плоскость выделяются две области высокой продуктивности (20–90 мг/т), склоняются в участках повышенных электрических сопротивлений шириной от 400–500 м в восточной, 700–800 м в центральной и ~1000 м в западной частях.

Наиболее детально изучена рудная зона Основная. Она прослежена поверхностными горными выработками на протяжении 5 км и вскрыта скважинами колонкового бурения до глубины 400 м. В составе рудной зоны выделяется рудное тело (среднее содержание Au 2,2 г/т) мощностью 10–30 м в западной части и 1–10 м — в восточной.

Золоторудная минерализация приурочена к от- дельным взбросо-сдвиговым тектоническим нару- шениям (рис. 2) в зоне Верхне-Хакчанского сбросо- сдвига. В блоках интенсивно трещиноватых текто- нически нарушенных терригенных пород многочис- ленны прожилки и жилы золото-буланжерит-ар- сенопирит-пирит-серицит-анкерит-альбит-кварце- вого состава. Висячем боку зоны прослеживается мощная (от 3 до 10–15 м) полоса вязкой глины чер- ного цвета с обломками кварца размером от 1 мм до 2–3 см. Углы падения тектонических нарушений

щаются на запад (рис. 4). Первый рудный столб имеет размер 500×200 м, второй — >1000×200 м. Последний выходит на дневную поверхность лишь в центральной части месторождения, его основная часть скрыта. Столбы развиты в нижнелеринской подлите, отличающейся повышенной песчанисто- стью и наличием туфогенной примеси. В восточной части месторождения рудные столбы не выявлены.

Южная потенциально золоторудная зона пред- ставлена линейным штокверком субширотного про- стиранья. Эрозионный срез рудного тела по геофи- зическим данным минимальный. Об этом свидетель- ствуют высокоомные аномалии электрического сопротивления, плотность и интенсивность которых возрастают с глубиной. Рудоносный штокверк имеет сложную морфологию. В субвертикальной осевой его части развита прожилково-вкрапленная кварц- сульфидная минерализация. От осевой части шток- верка ответвляются субпластовые жильно-прожил- ковые и прожилково-вкрапленные залежи. С севера штокверковая система ограничена рудной зоной Ос-

новная, с юга — дуговыми разломами. Южная зона вскрыта скважинами, пробуренными ООО «Станнолит». Ввиду низких средних содержаний Au буровые работы не были продолжены. Возможно, перспективы Южной зоны связаны с более глубокими горизонтами, а низкий уровень золотоносности объясняется надрудным уровнем эрозионного среза. *Геохимическая характеристика рудных зон.*

Проанализированы десять типоморфных для золото-рудных проявлений Центрально-Колымского региона химических элементов — Au, Ag, As, W, Pb, Zn, Cu, Sb, Bi, Hg. В рудных зонах, помимо Au, повышены содержания As (100–1000), Ag (10–25), W (3–25), Bi (2,5–15), Sb (8–10), Hg (1,5–4), Pb (1,5–2,5), Cu и Zn (1,5). В скобках приведены концентрации элементов по отношению к их кларкам. В отличие от подобных объектов Центральной Колымы на Верхне-Хакчанском месторождении зафиксированы высокие содержания Sb и Bi, а в некоторых скважинах также и Ag (>100 г/т).

Рис. 4. Продольный геологический разрез рудной зоны Основная и распределение рудных столбов:

точки — буровые скважины; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Распределение химических элементов в рудных зонах достаточно устойчивое, однако по простиранию отмечается тенденция к обогащению висмутом восточного фланга, а ртутью — западного. Показатель геохимической зональности Hg/Bi монотонно возрастает от восточного фланга в сторону западного, принимая значения соответственно от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10$, т.е. увеличиваясь в 1000 раз. Такое направленное изменение геохимического показателя свидетельствует о западном склонении рудных зон с продолжением золоторудной минерализации на глубину и перспективах увеличения прогнозных ресурсов на западном фланге месторождения.

Метаморфические и метасоматические изменения вмещающих пород. В региональном плане породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации [2]. С приближением к рудным зонам по вмещающим породам развивается мусковит — конечный продукт регрессивных преобразований, непосредственно переходящих в околорудные метасоматические ореолы. Ореол метасоматических изменений охватывает всю площадь рудного поля и выходит за контуры развития золоторудной минерализации (рис. 5). Наиболее интенсивно породы преобразованы в центральной части рудного поля, где они образуют ореол $1,0 \times 1,5$ км. Аналогичный по интенсивности изменений ореол, не оконтуренный в юго-восточном направлении, установлен в северо-западной части рудного поля. По составу выделены три зоны метасоматических изменений: от внешней кальцитовой к внутренним альбит-кварцевой и серицит-кварцевой, с которыми пространственно совпадают рудные тела (рис. 6).

По сравнению с зональными метасоматическими

Рис. 5. Схема метасоматической зональности месторождения Верхний Хакчан:

1 — слабо измененные породы; 2 — кварц-альбитовые метасоматиты; 3 — серицитовые метасоматиты; 4 — контур интенсивной анкеритизации; 5 — контур штокверка метасоматического кварца; 6 — минерализованные зоны дробления (рудные зоны)

ми ореолами Наталкинского месторождения на Верхне-Хакчанском менее распространены серицитизированные породы и более широко — альбит-кварцевые (с карбонатом или без него). Альбит-кварцевые метасоматиты подразделяются на средне-крупнозернистые и тонко-мелкозернистые разновидности. На поверхности преобладают тонко-мелкозернистые альбит-кварцевые метасоматиты, занимающие отчетливо надрудную позицию [1].

Тонко-мелкозернистые метасоматиты отнесены нами к начальным продуктам метасоматического преобразования вмещающих пород и перекристаллизации ряда слагающих их минералов. Для начальных «незрелых» форм этих образований характерно развитие тонкозернистых пятнистых выделений кварца, отдельных агрегатов мелких зерен кварца и альбита, которые затем разрастаются и сливаются в более крупные выделения. Одновременно происходит «отгонка» углеродистого вещества на периферию таких новообразований с перераспределением его в виде ветвящихся прожилков. В целом породы осветляются.

Средне-крупнозернистые альбит-кварцевые метасоматиты сопровождают жильно-прожилковые выделения кварца, развиваясь в их зальбандах, а также в околожильном пространстве вмещающих пород. Ореол средне-крупнозернистых альбит-кварцевых метасоматитов образует «раздув» в центральной и северо-западных частях рудного поля. Тонко- и мелкозернистые разности формируют их обрамление. Такого рода образования развиты на Наталкинском месторождении над слепыми рудными телами и служат их индикаторами. Аналогичные взаимоотношения намечаются и на Верхне-Хакчанском рудном поле.

Редко наблюдаются участки метасоматически измененных пород существенно серицитового или существенно карбонатного состава. Метасоматиты данного типа сопровождают золотоносные жилы и системы прожилков и сами часто содержат сульфидную вкрапленность (пирит, арсенопирит, халькопирит и др.).

Серицитизированные породы картируются на поверхности в виде мелких (обычно до 100–200 м по простиранию) маломощных (до 10–20 м) тел линзовидной формы. Количество серицита составляет до 20–25% и редко более от объема породы. Серицит образует пятнистые, линзовидные и флюидальноподобные скопления, ориентированные вдоль сланцеватости пород. С глубиной интенсивность серицитизации пород нарастает.

Карбонатизация терригенных пород проявлена эпизодически. В породах с содержанием карбоната >10% он представлен железосодержащей разностью, вследствие чего в поверхностных условиях интенсивно разрушается и замещается гидроксидом железа.

По данным документации керн скважин в пределах изученных буровых профилей в центральной части рудного поля наиболее широко распространены альбит-кварцевые изменения и сульфидизация (пирит, арсенопирит) вмещающих пород. Альбит-кварцевые изменения развиты в участках интенсивного сульфидно-кварцевого прожилкования, а также совпадают с известными рудоносными зонами. Характерна их взаимосвязь с вкрапленностью игольчатого арсенопирита. Мощность ореола альбитизации составляет от 40 до 200 м.

Ореолы серицит-кварцевых новообразований мощностью 10–20 м развиты более локально в приповерхностной области рудовмещающих нарушений. Небольшая мощность серицит-кварцевых ореолов хорошо коррелирует с мощностью известных рудоносных зон. В то же время, на глубине по

Рис. 6. Схема метасоматической зональности по разрезу I–I':

1 — окварцевание; 2 — альбитизация; 3 — ореол прожилков КППШ-серицит-альбит-карбонат-кварцевого состава; 4 — арсенопиритизация; 5 — кальцитизация; 6 — рудное тело (рудная зона Основная)

рудную, II рудную, III послерудную.

Минерализация дорудной стадии — анкерит-кварцевые жилы и прожилки — приурочена к крутопадающим зонам северо-западного простирания, согласного с региональным направлением складчатости. По нашим данным, эта минерализация не является золотоносной, образование ее, вероятно, связано с процессами складчатого динамометаморфизма.

Минерализация рудной стадии развита в секущей складчатость субширотной относительно пологой зоне дробления. В составе рудной стадии устанавливаются три подстадии — предрудная, ранняя и поздняя рудные. К предрудной подстадии отнесена альбит-кварцевая минеральная ассоциация жильно-прожилковых образований и метасоматических изменений вмещающих пород. Минеральные ассоциации второй и третьей подстадий близки по времени образования.

Данным бурения наблюдаются слепые ореолы таких новообразований, предположительно указывающие на возможность обнаружения слепых рудных тел. С глубиной мощность серицит-кварцевой зоны увеличивается до 40–60 м.

Кальцитизация фрагментарно отмечена на флангах профиля скв. 1–3 совместно с окварцеванием. В целом на месторождении развитие кальцитизации указывает на фланги рудной зоны.

Минеральный состав рудных тел и последовательность минералообразования. На месторождении нами установлено 18 минералов. Основным минералом рудных зон является кварц, который составляет 90–100% жильного выполнения, также присутствуют альбит, анкерит, калиевые полевые шпаты, серицит, реже кальцит. Рудные минералы (<1% в прожилках) — пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, сфалерит, буланжерит, блеклые руды и самородное золото.

В образовании Верхне-Хакчанского месторождения можно выделить три стадии (рис. 7) — I до-Участки их интенсивного развития соответствуют потенциальным рудным телам. Ранняя рудная подстадия количественно доминирует. В ее составе устанавливается кварц-серицит-калишпат-карбонат-пирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация с тонкодисперсным золотом. Поздняя рудная подстадия золото-кварц-полисульфидная с более крупным микроскопическим и иногда с видимым золотом — главная продуктивная. Характер минерализации обеих ассоциаций прожилково-вкрапленный.

Послерудная минерализация представлена расчлененными по всей рудной зоне маломощными и микроскопическими кварц-карбонатными и карбонатными прожилками.

Самородное золото наиболее часто встречается в кварц-арсенопиритовых прожилках, а также в виде включений в пирите, сфалерите, арсенопирите и в сростках с ними. Преобладает мелкое и тонкое золото (0,1–0,001 мм). С глубиной отмечается увеличение размеров золотинок. По данным рентгеноспект-

Рис. 7. Схема последовательности формирования минеральных парагенезисов на участке Верхний Хакчан

Рис. 8. Схема минеральной зональности в плоскости рудной зоны Основная:

1 — анкеритизация; *2* — альбитизация; *3* — калишпатизация и мусковитизация; *4* — вкрапленная рудная минерализация; *5* — область раздува мощности рудного тела (с 10 до 35 м); *6* — буровые скважины

рального микроанализа пробность золота изменяется от 804 до 910‰ (среднее 854‰). Химический состав самородного золота варьирует незначительно. Кроме Ag, в нем изредка присутствует незначительная примесь Cu (обычно не более 0,1%), а также устойчивая примесь Hg (0,1–1%, в среднем 0,5%). Распределение золота в зоне неравномерное, среднее содержание Au ~2 г/т.

В проекции рудной зоны Основная на вертикальную плоскость (рис. 8) выделяются три уровня жильно-прожилковых образований: верхний кварц-анкеритовый, средний кварц-альбит-калишпатовый и нижний кварц-мусковит-калишпатовый. Кварц-мусковит-калишпатовая зона вскрывается только на западном фланге на горизонте 840–880 м. В восточном предположительно наиболее эродированном блоке кварц-анкеритовая зона отсутствует. Рудная минеральная зональность в пределах месторождения нами не выявлена.

Параметры физико-химического режима минералообразования определены по комплексу термобарогеохимических и изотопных данных. Все установленные включения вторичны по отношению к кварцу. По составу они разделяются на газово-жидкие, существенно газовые и газовые. В последних вплоть до температуры -195°C не наблюдается образования новых фаз. Вероятно, в вакуолях находится газ низкой плотности. По нашим данным, аналогичные включения характерны для безрудного и слабо золотосодержащего кварца, развитого на месторождении Наталка в удалении от рудных зон.

Газово-жидкие включения содержат водно-солевой раствор с низким содержанием хлор-иона, температура протавания эвтектики варьирует от

-10 до -15 °C. Основными солевыми компонентами раствора, вероятно, являются гидрокарбонаты. Концентрация солей, оцененная по температуре плавления льда (от -3,5 до -4,5 °C) или температуре плавления гидрата CO₂ (от +7 до +7,5 °C), составляет 5,5–7% в NaCl-эквиваленте. Идентичные криометрические характеристики всех изученных включений свидетельствуют о единой генетической природе минералообразующего раствора. Основные параметры, по которым различаются различные группы включений, — температуры их гомогенизации и вариации содержаний углекислотной фазы. Присутствие визуально диагностируемой фазы CO₂ установлено только в образцах с повышенным содержанием Au. Углекислота практически не содержит примесей, на что указывает температура тройной точки -56,7...-57°C.

Температуры гомогенизации включений изменяются в диапазоне от 365 до 150 °C с рядом проявленных максимумов (рис. 9) на гистограмме.

Рис. 9. Температуры гомогенизации включений в кварце из 75 образцов, месторождение Верхний Хакчан

(содержание Au 2,15 г/т), в апофизах зоны Основная по категории P₂ в 25 т (содержание Au 2,15 г/т). Технологическая проба участка Верхний Хакчан относится к кварцевым малосульфидным мышьяково-углеродистым золотосодержащим рудам. Наличие в ней значимой доли крупного свободного золота обуславливает необходимость включения в схему переработки руды гравитационного метода обогащения. На основании результатов исследований по оценке обогатимости руды раз-

Температура растворов продуктивной стадии предварительно оценивается в 240–265°C. Во включениях с температурой гомогенизации <200°C углекислота не фиксируется. Для определения температуры их образования следует вводить поправку, обусловленную давлением (до 40 °C при P 500 бар и концентрации

5–15% NaCl экв.). Поэтому не исключено, что низкотемпературный пик на гистограмме связан не со снижением температуры процесса, а с полной дегазацией флюида.

В целом изученные включения по основным параметрам (солевой состав и концентрация растворов, доминирование CO_2 в составе газов, температура образования) не отличаются от включений рудообразующих растворов в кварце Наталкинского месторождения. Предварительная оценка давления, основанная на соотношении объемов фаз CO_2 и H_2O в вакуолях, составляет 300–500 бар при 250–300°C. Эта оценка позволяет предполагать менее глубокие условия минералообразования (~500 м) на месторождении Верхний Хакчан по сравнению с месторождением Наталка.

В результате проведенных исследований нами установлено, что распределение золоторудной минерализации контролируется литологическим и тектоническим факторами. Максимальные мощности рудных тел отмечаются в породах неручинской свиты с наиболее интенсивными хрупкими деформациями. Собственно рудная минерализация приурочена к зонам тектонических нарушений взбросо-сдвигового типа, представляющих собой блоки интенсивно трещиноватых терригенных пород, пронизанных сетью кварцевых жил, участкам брекчирования и разноориентированных кварцевых прожилков. По результатам работ в рамках Государственного контракта № 8ф/07 от 23.07.2007 г. прогнозные ресурсы золота месторождения Верхний Хакчан оцениваются: в зоне Основная по категории P_1 в 135 т

личными методами для ее переработки рекомендуется комбинированная технологическая схема, включающая гравитационное обогащение, флотацию хвостов гравитации с последующей переработкой объединенного золотосульфидного гравифлотоконцентрата. По рекомендуемой схеме зачетное извлечение металлов в товарный продукт — золото-серебряный сплав (сплав Доре) — составляет 90,65% Au. Таким образом, по совокупности данных месторождение Верхний Хакчан — крупный объект с высокими перспективами прироста ресурсов на глубоких горизонтах (западный фланг рудной зоны Основная), а также возможностью выявления рудных тел в пределах рудной зоны Южная, пригодных для отработки открытым способом в современных условиях.

При написании статьи авторами использованы результаты многолетних исследований С.Ф.Стружкова. Авторы благодарят М.М.Константинова, И.З.Исакович и В.Б.Чекваидзе за полезные консультации, В.Б.Абашина — за организацию посещения месторождения, В.Б.Голенева — за помощь при обработке материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исакович И.З. Ореолы нерудной прожилковой минерализации на полиметаллических и золоторудных месторождениях и их прогнозно-поисковое значение. — М.: Бородино-Е, 2009.
2. Крутоус М.П. Низкотемпературный метаморфизм рудовмещающих толщ и методика его изучения в золотоносных районах Северо-Востока СССР при геологическом картировании масштаба 1:50 000 // Метаморфические комплексы Северо-Востока СССР, их рудоносность и геологическое картирование. Магадан, 1992. С. 124–143.
3. Многофакторная модель золоторудного месторождения Наталка / С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, В.Б.Чекваидзе и др. // Руды и металлы. 2006. № 3. С. 34–44.