

УДК 553.411.001.57 (571.65)

© Коллектив авторов, 2006

МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАТАЛКА

С.Ф.Стружков, М.В.Наталенко, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, С.Ю.Голубев, В.А.Данильченко, А.В.Обушков, М.А.Зайцева, С.Г.Кряжев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Наталка — крупнейшее в Магаданской области месторождение золота. Среди российских объектов оно входит в пятерку лидеров наряду с такими золоторудными гигантами, как Сухой Лог, Нежданинское, Майское и Олимпиада [6]. Месторождение открыто в 1942 г.; за 70 лет на нем добыто около 90 т золота. С ним непосредственно связана Омчакская россыпь, из которой добыто 105 т золота. Характерные особенности россыпного золота — пониженная пробность и преобладание тонких (<1 мм) фракций [8], являющиеся типоморфными признаками для крупнообъемных штокверковых месторождений Центрально-Колымского региона.

На протяжении 70 лет подземным способом обрабатывались сравнительно маломощные золото-кварцевые жильно-прожилковые зоны. Средняя мощность рудных тел составляла около 10 м. Уровень годовой добычи в последние годы не превышал 1 т. Начиная с 2004 г., после приобретения месторождения золоторудной компанией «Полус», рудником им. А.Матросова под руководством М.П.Казиминова и С.А.Григорова проводится интенсивная подготовка объекта к освоению по методике открытой крупнообъемной добычи [11]. Следствием новой концепции обработки месторождения является изменение взгляда на морфологию рудных тел. По результатам больших объемов горных и буровых работ (более 30 тыс. погонных метров) было установлено, что при среднем содержании Au 1–2 г/т весь пучок сближенных рудных зон и межжильное пространство могут рассматриваться как единая рудная залежь протяженностью около 4500 м, средней мощностью 400 м и прослеженной протяженностью по падению примерно 1000 м (рис. 1). Прогнозные ресурсы при этом превышают 1500 т золота (С.А.Григоров, 2006 г.).

В принципе такой ход событий аналогичен истории обработки многих крупнообъемных месторождений США (Раунд Маунтин, Голдфилд и др.), где вначале обрабатывались рудные столбы подземным способом, а затем закладывались гигантские карьеры.

В настоящее время Центрально-Колымский регион находится на пороге периода обработки крупнообъемных месторождений [10]. Наталка — эталонный, наиболее изученный объект этого класса. Успешная его доразведка позволит в будущем не только рационально обработать эталонный объект, но также выявить и разведать большое количество месторождений-аналогов, таких как золото-кварцевые месторождения Павлик, Омчак, Дегдекан, Токчан, Верхний Ат-Юрх, Чай-Юрья, Бурхалинское, Верхний Хакчан и др.

Геологическое строение и вещественный состав руд верхней части (250 м) Наталкинского месторождения в разные годы изучались на отдельных участках Е.П.Машко, В.Д.Володиным, Н.И.Карпенко, В.В.Гаштольд, С.В.Межовым, С.А.Григоровым, П.И.Скорняковым, В.П.Плутешко, А.И.Калининым, С.В.Яблоковой, В.И.Гончаровым, С.В.Ворошиным, Р.А.Ереминым, Б.О.Иванюком, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, В.И.Лобачем, В.А.Сидоровым и др. Нижняя часть (600 м), вовлеченная в текущий проект, ранее не изучалась. Учитывая неравномерную изученность, возникла необходимость продолжить научно-исследовательские работы на месторождении в целях создания многофакторной модели с использованием новых данных по глубоким горизонтам.

Создание модели базируется на анализе следующих основных элементов: литолого-стратиграфических, магматических, структурных, морфологии рудных тел и распределения золота, метаморфических, метасоматических, минералогических и генетических. Оно проводилось по четырем горно-буровым разрезам, охватывающим различные части месторождения — северную (–70), центральную (+20, +50) и южную (+90), а также данным предыдущих исследователей.

Методика исследований включала документацию канав, подземных выработок и керн скважин (более 10 000 м), изучение 500 шлифов, 100 аншлифов, протоочных проб, выполнение различных видов анализов.



Рис. 1. Геологическая схема центральной части Наталкинского месторождения, с использованием данных А.И.Калинина, 1992 и ОАО «Рудник им. А.Матросова», 2006 г.:

1 — неручинская свита ($P_2 nr$): верхняя подсвита — переслаивающиеся алевролиты и песчаники, в основании — горизонт песчаников, нижняя подсвита — алевролиты с прослоями песчаников и редкими прослоями диамиктитов; 2 — атканская свита ($P_2 at$) — диамиктиты (туфогенные сланцы) с прослоями песчаников, алевролитов и гравелитов; 3 — тасская свита ($P_{1-2} ts$): верхняя подсвита — аргиллиты, алевролиты, мелкозернистые песчаники, средняя подсвита — аргиллиты, алевролиты; 4 — позднеюрские дайки спессартитов, диорит-порфиров, микродиоритов; 5 — разрывные нарушения: а — главные (1 — Главный, 2 — Северо-Восточный), б — второстепенные; 6 — известные рудные тела (бортовое содержание Au 1,5 г/т); 7 — контуры рудной залежи (бортовое содержание Au 0,4 г/т)

Литолого-стратиграфические элементы модели. Наталкинское рудное поле сложено (снизу вверх) согласно залегающими верхнепермскими породами свит: тасской (алевролиты), атканской (галльковые туфогенные сланцы или диамиктиты) и нерючинской (песчаники, алевролиты). Литолого-стратиграфический фактор влияет на размещение рудной залежи. Максимальные ее мощности отмечаются в атканской свите. В нерючинские и тасские породы минерализация распространяется вдоль зон крупных разрывов на расстояние до 200 м от контакта с атканской свитой. Для последней характерно максимальное развитие хрупких деформаций.

В пределах рудного поля нами детально изучены атканские отложения. В каждой точке наблюдения проводились замеры преобладающего размера галек и их относительного количества. Установлено, что атканская свита между основными рудоконтролирующими разломами характеризуется отсутствием крупнообломочного материала. Таким образом, область будущего рудоотложения уже в период осадконакопления отличалась от окружающей территории наличием линейного поднятия, предположительно связанного с долгоживущими разломами.

Магматические элементы модели. На флангах рудной залежи развиты пояса даек спессартинов и диоритовых порфиринов. Минерализованные отрезки даек в контуре рудоносной блок-пластины можно рассматривать в качестве составной части рудной залежи (около 5% от общего объема рудного тела). За пределами рудной залежи золотоносность даек значительно снижается, необходимым условием рудоносности является наложение на дайки рудоподводящих разломов или оперяющих их трещин. Таким образом, магматические элементы рудолокализации заключаются в благоприятных петрофизических свойствах дорудных даек.

Структурные элементы модели. Вмещающие породы смяты в линейные складки [9]. Наталкинская синклиналь, к западному крылу которой приурочена рудная залежь, представляет собой складку простиранием $310\text{--}320^\circ$, длиной 4,5 км, шириной 2,5 км. Западное ее крыло более крутое (до $70\text{--}80^\circ$), что связано с наложением рудоконтролирующих разломов северо-западной ориентировки, восточное — пологое ($35\text{--}50^\circ$).

Ведущие структурные факторы контроля локализации рудной залежи представлены разнонаправленными трещинными и разрывными нарушениями, развитыми в минерализованной блок-пластине между двумя рудоконтролирующими разломами северо-западного простирания [2], — Главным и Северо-Восточным (рис. 2). К доминирующим рудовмещающим структурам относятся последовательно развитые системы: кливажных субпарал-

лельных трещин; сбросо-сдвигов северо-западного простирания и северо-восточного падения, параллельных основным рудоконтролирующим разломам; густая сеть тонких разноориентированных трещин.

Элементы морфологии рудных тел и распределения золота. Рудная залежь, оконтуренная по бортовому содержанию Au 0,4 г/т, представляет собой минерализованную блок-пластину генерального северо-восточного падения, пронизанную сетью кварцевых жил, участков брекчирования, разноориентированных кварцевых прожилков.

Фронтальная и центральная части залежи приурочены к тектоническому блоку между двумя рудоконтролирующими разломами, нижняя — конформна пологому контакту атканской и тасской свит и контролируется западным крылом Наталкинской синклинали.

Распределение золота внутри рудной залежи носит сравнительно равномерный характер, определяющий устойчивым каркасом макро- и микропрожилков золото-арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевого состава. Значительные объемы проанализированного фактического материала свидетельствуют об устойчивой корреляции повышенных содержаний золота с наличием жильных и прожилковых образований. Сульфидная вкрапленность при отсутствии жил или микро- и макропрожилков в промышленном масштабе не золотоносна.

Внутри рудной залежи выделяются устойчивые протяженные области повышенных содержаний Au (>2 г/т). Обилие таких областей на глубоких горизонтах позволяет утверждать, что нижняя (ранее не отрабатываемая) часть месторождения сопоставима по своему богатству с верхней.

Установлена отчетливая вертикальная морфологическая зональность рудной залежи: в верхней части месторождения зоны прожилковой минерализации содержат мощные (до 1–2 м) стволые жилы существенно кварцевого состава, тогда как, начиная с горизонта 600 м и глубже, залежь практически нацело представлена штокверком тонких, в том числе микроскопических, сульфидно-кварцевых прожилков.

Метаморфические элементы модели наиболее информативны в объеме рудного поля. Вкрест простирания рудного поля откартированы три метаморфические зоны: внешняя биотит-пирротиновая связана с продуктами прогрессивного этапа; к центру ее сменяет регрессивная хлорит-марказитовая, в пределах которой происходит псевдоморфная хлоритизация биотита и дисульфидизация пирротина с превращением его в марказит; мусковит-пиритовая, непосредственно переходящая в ореол околорудных изменений, представлена полосой развития частичных или полных

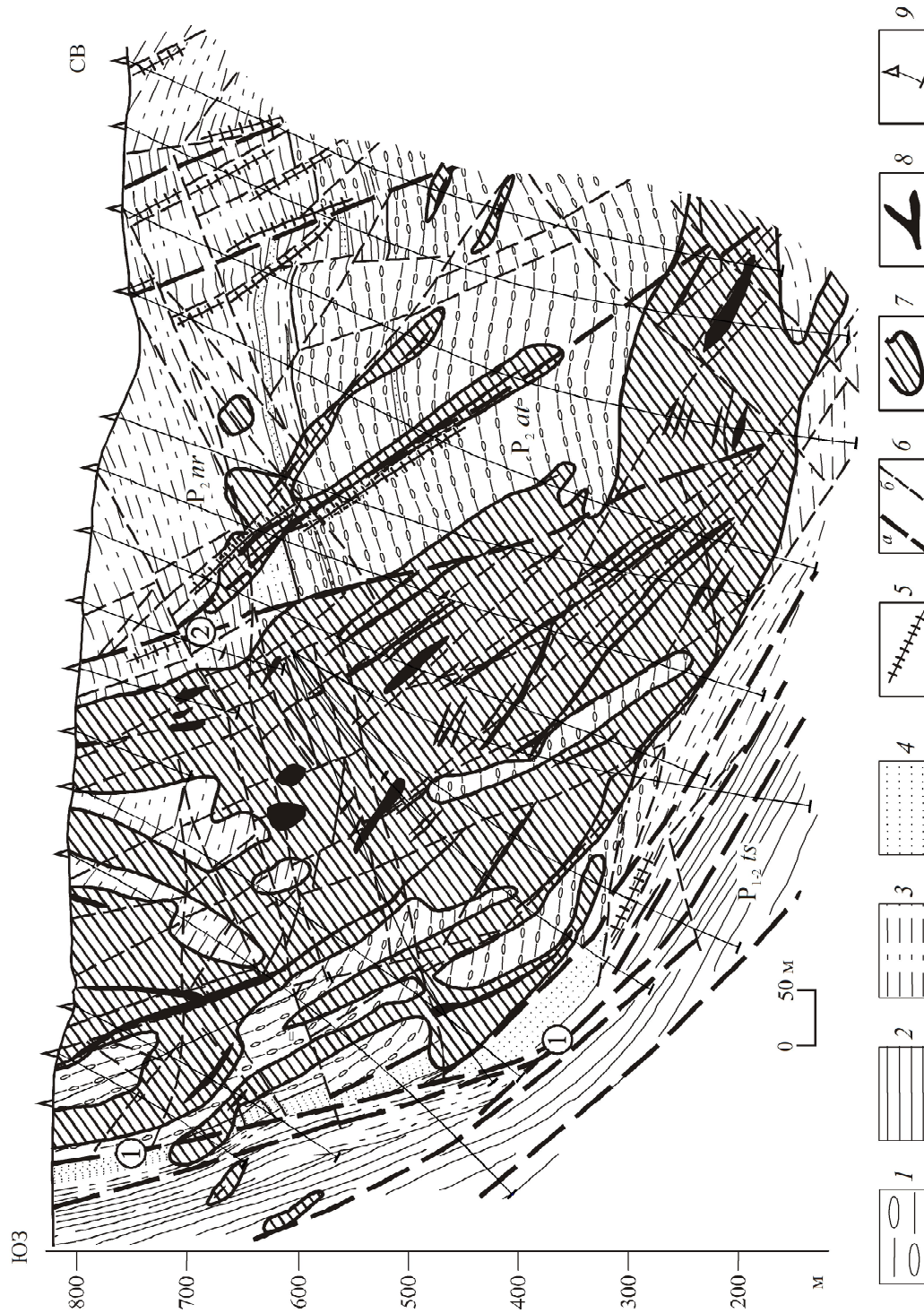


Рис. 2. Геологический разрез по профилю +50, с использованием данных ОАО «Рудник им. А.Матросова», 2006 г.:

1 — диамиктиты (туфогенные сланцы); 2 — аргиллиты; 3 — алвеолиты; 4 — песчаники; 5 — позднепорфирные дайки сплессаритов, диорит-порфиритов, микродиоритов; 6 — разрывные нарушения: а — главные (1 — Г. главный, 2 — Северо-Восточный), б — второстепенные; 7 — второстепенные; 7 — контуры рудной залежи (бортовое содержание Au > 0,4 г/т); 8 — области повышенных содержания Au (> 2,0 г/т); 9 — буровые скважины

псевдоморфоз мусковита по хлориту в сопровождении новообразованного пирита по марказиту (рис. 3).

ная морфология и прожилковые формы выделения. Взаимоотношения золота с минералами различных

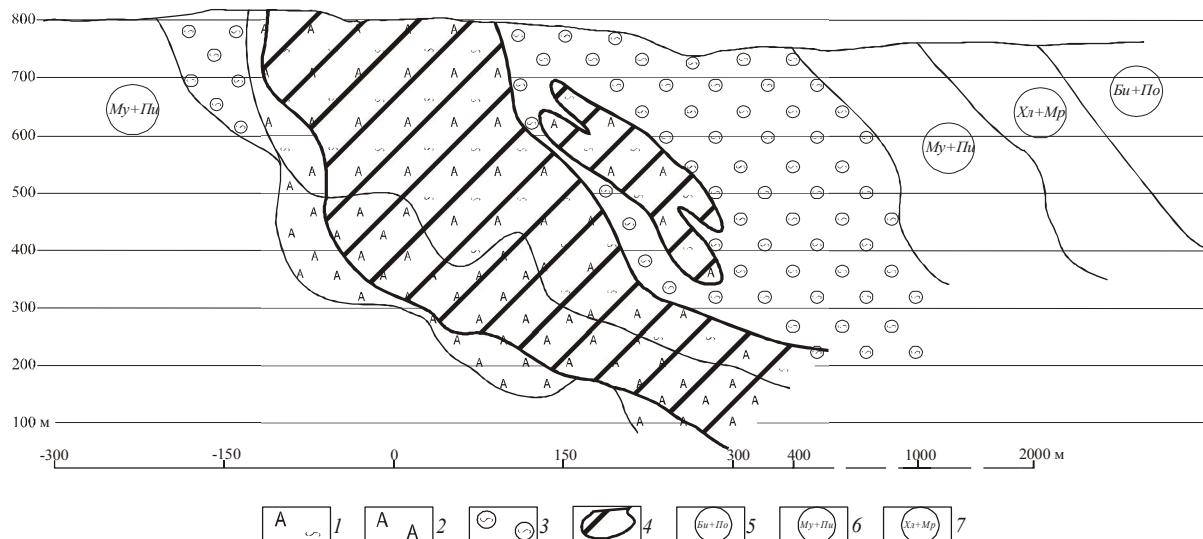


Рис. 3. Модель метасоматической и метаморфической зональностей Наталкинского рудного поля:

околорудные метасоматические ореолы: 1 — зона совмещения концентрированных серицитовых и альбит-карбонат-кварцевых метасоматитов, 2 — зона существенно альбит-карбонат-кварцевых метасоматитов, 3 — малоинтенсивная пятнисто-рассеянная серицитизация, 4 — рудная залежь; метаморфические зоны: 5 — биотит-пирротиновая, 6 — мусковит-пиритовая, 7 — хлорит-марказитовая

Метасоматические элементы модели имеют наиболее важное значение в объеме рудной залежи. В ходе документации горных выработок и изучения прозрачных шлифов была намечена зональность околорудных метасоматических изменений, которые можно картировать в полевых условиях (рис. 4). Выделены три зоны изменений, частично совпадающие с рудными телами и формирующие вокруг них чехольные ореолы: серицит-кварцевая (верхне- и среднерудный уровни), альбит-кварцевая (верхне-, средне- и нижнерудный уровни) и кварц-кальцитовая (над- и подрудный уровни).

Минералогические элементы модели. В схеме минералообразования (табл. 1) выделены два метаморфических этапа — прогрессивный и регрессивный и только одна продуктивная стадия — золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая, несущая сульфиды полиметаллов. Ранняя пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая стадия, выделяемая предшествующими исследователями в качестве ранней продуктивной [5], по нашим данным, благоприятна лишь для локализации позднего золота. В пользу существования только одной генерации золота говорят особенности его локализации. Золото зачастую приурочено к поздним трещинкам в призальбандовых частях прожилков, местами накладывается на вмещающие породы. Характерны интерстициаль-

стадий указывают на его наложенный характер. Лишь с сульфидами полиметаллов золото формирует тесные парагенетические ассоциации. Полученные нами данные микрозондового анализа (Camebax SX-50, аналитик И.А.Брызгалов) по пробности золота иллюстрируют отчетливое одномодальное его распределение (вариации от 741 до 819 при среднем значении 781), что также указывает на наличие единой продуктивной стадии.

Изучение аншлифов, различные аналитические исследования и документация горных выработок позволяют наметить следующие элементы рудной зональности (рис. 5). Для месторождения типична неконтрастная, растянутая зональность, что весьма характерно для сверхкрупных объектов. Отмечена зональность в распределении основных сульфидов (пирита и арсенопирита): для верхнерудных горизонтов характерна ассоциация золота с крупнозернистым арсенопиритом, часто в гнездовых сростаниях с пиритом, на глубине (глубже отметки 600 м) пирит исчезает. Фиксируется зональность в распределении полиметаллической минерализации: галенит преобладает на верхних горизонтах, а сфалерит и халькопирит — на нижних. Крупность и пробность золота с глубиной возрастают. Золото-серебряное отношение (>1) по данным атомно-абсорбционного анализа хорошо оконтуривает рудную за-

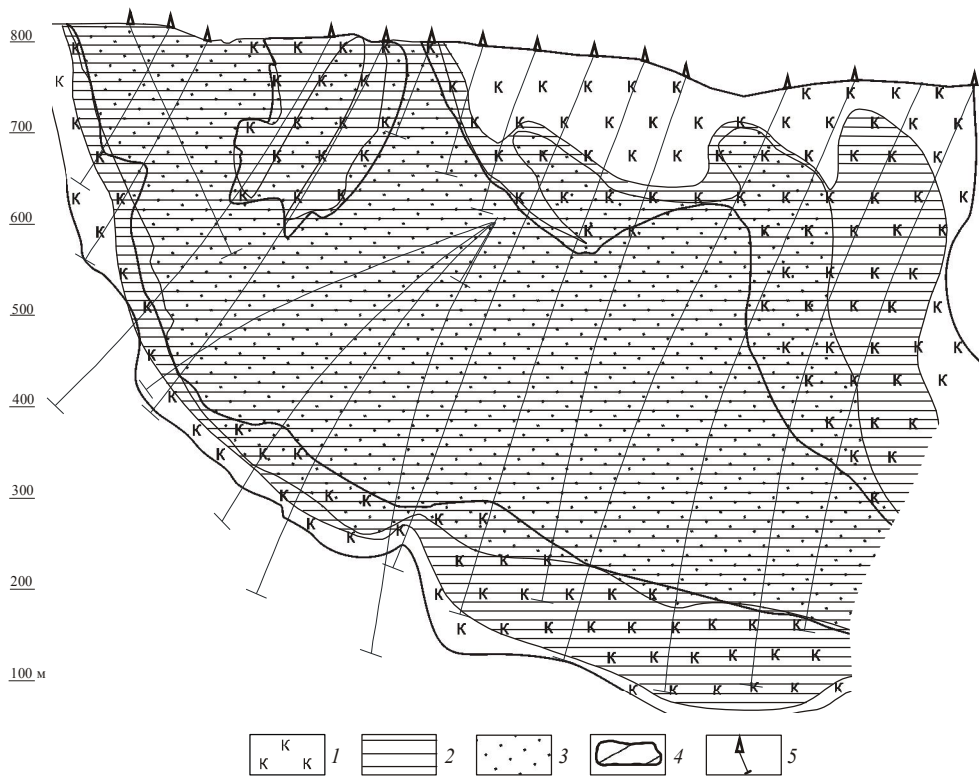


Рис. 4. Схема метасоматической зональности Наталкинского месторождения (профиль +50):

новообразованные минеральные ассоциации: 1 — кварц-кальцитовая, 2 — альбит-кварцевая, 3 — серицит-кварцевая; 4 — рудная залежь (содержания Au >0,4 г/т); 5 — буровые скважины

1. Схема последовательности минералообразования

Минералы	Прогрессивно-метаморфический этап	Регрессивно-метаморфический этап			
		Стадии			
		хлорит-мусковит-серицитовая	пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая	золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая-(с сульфидами полиметаллов)	пирит-кальцитовая
Биотит	_____				
Хлорит		_____			
Мусковит		_____			
Серицит		_____			
Кварц			_____	_____	
Альбит			_____		
Адуляр			_____		
Анкерит			_____	_____	
Рутил			_____		
Кальцит			_____	_____	
Fe-кальцит			_____	_____	
Пирротин			_____		
Пирит		I _____ II	III _____		IV _____
Марказит		_____			
Арсенопирит			I _____	II _____	
Со-арсениды			_____		
Сфалерит				_____	
Галенит				_____	
Блеклая руда				_____	
Халькопирит				_____	
Золото				_____	
T, °C			385–300	300–250	250–170
P, бар			800–500	500–300	<300

лежь, что также связано с минералогической зональностью: залежь отличается преимущественным развитием золото-арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевой ассоциации, для которой характерен диапазон содержаний Au 1–200 г/т и Ag 1–20 г/т, а в надрудных, подрудных и фланговых участках проявлена кварц-кальцитовая ассоциация, отличающаяся низкими содержаниями Au (0,01–0,001 г/т) и повышенными Ag (0,1–20 г/т).

поздней золотой минерализации. Локализация золотой минерализации была обусловлена сочетанием структурных и литологических элементов с путями движения рудоносных растворов, длительностью их воздействия и т.д. Таким образом, прогнозно-поисковая модель месторождения имеет комплексный, многофакторный характер.

Генетические элементы модели. Источники рудообразующих растворов и параметры физико-хи-

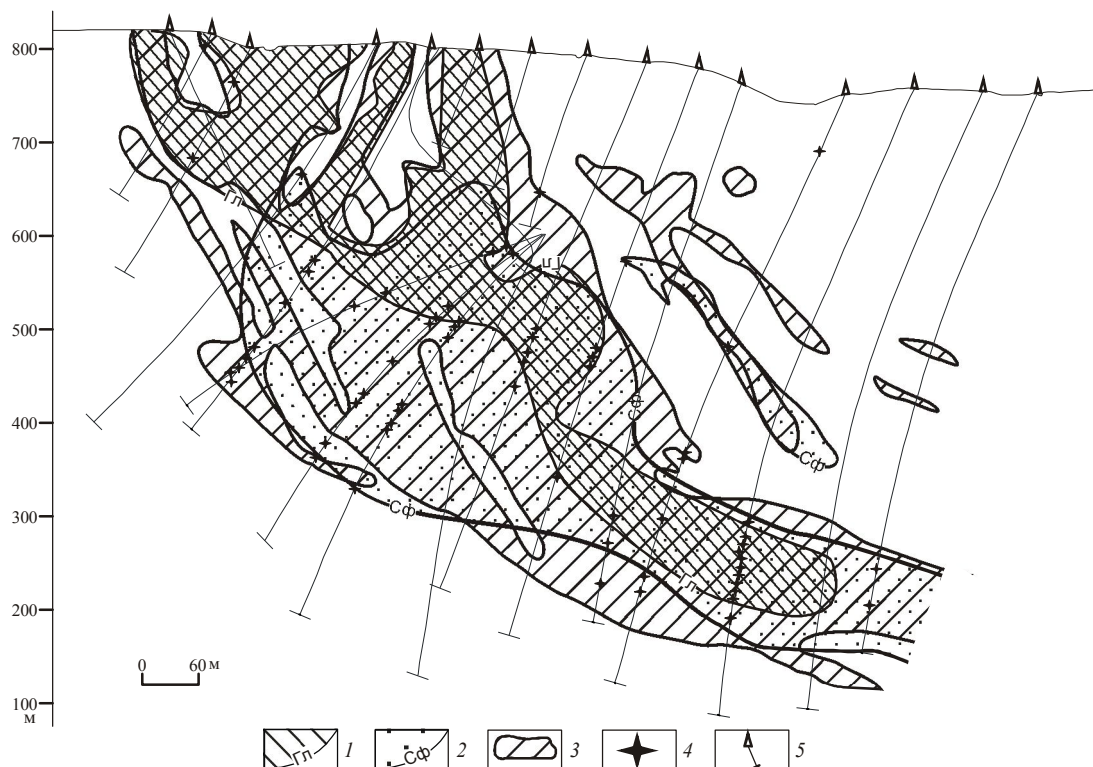


Рис. 5. Рудная зональность (профиль +50):

области распространения: 1 — галенита, 2 — сфалерита; 3 — рудная залежь (содержания Au >0,4 г/т); 4 — точки с видимым золотом; 5 — буровые скважины

Анализ полученных данных позволяет ранжировать рудоконтролирующие факторы в объеме рудной залежи в порядке убывания значимости: 1) минералогические элементы — развитие продуктивной минерализации и рудная зональность; 2) штокерк ранних кварцевых жил и прожилков; 3) метасоматическая зональность; 4) парные сколовые нарушения северо-северо-западного простирания; 5) элементы складчатой структуры; 6) литолого-стратиграфический контроль; 7) магматические элементы. Как уже говорилось, ни один из этих факторов не может рассматриваться в качестве всеобъемлющего, поскольку все они развиты в различной степени в разных частях месторождения и отражают лишь различные виды ловушек для более

мического режима минералообразования определены по комплексу термобарогеохимических и изотопных данных.

Флюидные включения в кварце (табл. 2) содержат водно-солевой раствор с низким содержанием хлор-иона (температура эвтектики –8...–6°C) и углекислоту с незначительной примесью метана (табл. 3). Последовательно сформированные генерации включений, соответствующие выделенным стадиям минералообразования, отличаются температурами гомогенизации и содержанием углекислотной фазы.

Высокотемпературные включения (температура гомогенизации 385–300°C), отвечающие предрудной стадии, содержат плотную (0,7 г/см³) углекис-

2. Состав и свойства флюидных включений в кварце по данным гомогенизации и криометрии

Образцы	Тип газово-жидких включений	Температуры фазовых переходов, °С					Число включений	Параметры флюида			
		эвтектики	плавления льда	плавления газогидрата	тройной точки CO ₂	гомогенизации CO ₂		полной гомогенизации в жидкую фазу	NaCl экв. % массы	T _{ср.} , °С	CO ₂ , мол. %
1	Вторичные	-6	-3,0	н	-	-	10	5	200	<1	-
	Первично-вторичные	-7	-5,0	н	-	-	5	8	260	<1	-
2	Вторичные	-6	-3,0	н	-	-	6	7	200	<1	-
	Первично-вторичные	-8	-4,0	+8	-56,7	+20 Г	20	4-6	250	2	300
4	То же	н	н	+5	-58	+23 Ж	3	9	285	7	600
	«	-	-	-	-58	+19 Ж	15	-	285	100	>500
5	Первичные	н	-3,5	+7...+8	-58	+26 Ж	5	6	330	8-10	450-800
	Первично-вторичные	н	н	+7...+8	н	н	5	6	275	5	500
	То же	-	-	-	-58	+24 Ж	10	-	275	100	<1000
6	Первичные	-7	-6	н	-	-	7	9	305	<1	-
	Вторичные	-7,5	-4,5	н	-	-	20	7	240	<1	-

П р и м е ч а н и е. н — фазовый переход отсутствует или неясно выражен. Фазы: Г — газовая, Ж — жидкая.

лоту в количестве 8–10 мол.%. Давление консервации включений оценивается в 500–800 бар. Включения, характеризующие продуктивную стадию, имеют температуру гомогенизации 300–250°C и содержат углекислоту более низкой плотности (0,4 г/см³) в количестве от 7 до 2 мол.%. В ассоциации с ними наблюдаются существенно углекислотные включения. Оценки флюидного давления варьируют от 500 до 300 бар. Во включениях растворов пострудной стадии с температурой гомогенизации 130–225°C углекислота не фиксируется. Для определения температуры их образования введена поправка, обусловленная давлением (+40°C). Рассмотренный ряд включений отражает процесс вскипания минералообразующих растворов — выделение углекислотной фазы вследствие снижения температуры и главным образом давления. Глубинность этого процесса можно оценить в 2–3 км (давление 300–800 бар).

Распределение температур гомогенизации в пределах изученных буровых разрезов позволяет предполагать циркуляционный характер движения рудоносных растворов.

Полученные авторами совместно с В.И.Устиновым (ГЕОХИ РАН) вариации изотопного состава кислорода водной фазы флюида (+0,3...+5,2‰ для неразделенных предпродуктивной и продуктивной стадий; -5,6–0‰ для постпродуктивной стадии) можно оценить как свидетельство увеличения доли метеорной воды в ходе минералообразования (табл. 4).

Таким образом, особенности флюидного режима минералообразования показывают, что рудоотложение протекало на фоне снижения температуры от 385–300°C (предрудная стадия) до 250–170°C (пострудная стадия) и давления от 800 до 300 бар соответственно. Золото отлагалось преимущественно при 300–250°C. Основным фактором рудоотложения, по-видимому, было значительное повышение щелочности флюида вследствие его вскипания и удаления CO₂ в условиях сброса давления. Рудообразующие растворы имели гидрокарбонатно-натриевый состав при весьма низком содержании хлор-иона и тяжелого изотопа кислорода ($\delta^{18}\text{O}$ менее +5‰). Эти признаки свидетельствуют об амагматогенной природе флюидов.

Совокупность проведенных наблюдений с учетом данных предыдущих исследователей [1, 3, 4, 7, 12, 13] позволила разработать предварительную метаморфогенно-гидротермальную модель формирования месторождения. Осадконакопление осуществлялось в пермский период в условиях континентального склона. Формирование туфогенных сланцев (диамиктитов) связывается с размытием вулкани-

3. Результаты газохроматографических анализов кварца, аналитик Ю.В.Васюта (ЦНИГРИ)

Номера образцов	Содержание газов, мл/кг кварца			Отношения компонентов	
	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /CH ₄
C-2/50-44	2123	64	3,39	0,03	18,9
C-9/50-480	807	80	0,76	0,10	104,8
C-13/50-606	939	66	1,14	0,07	58,0
C-20/6-154	831	44	4,24	0,05	10,4
C-20/2-270	1537	25	7,55	0,02	3,3
C-20/6-446	2599	122	2,72	0,05	44,9
C-20/2-502	1004	72	1,82	0,07	39,6
C-20/2-541	647	57	1,65	0,09	34,5
C-20/2-570	753	85	2,23	0,11	38,2
K-70/3-60	1640	65	8,95	0,04	7,3
K-70/3-9	944	54	1,31	0,06	41,3
K-70/3-203	715	66	1,30	0,09	50,9
C-70/9-83	753	51	0,88	0,07	58,0
C-70/5-544	1017	48	0,90	0,05	53,3
C-70/6-325	877	6	0,66	0,01	9,1

4. Изотопный состав кислорода кварца месторождения Наталка, аналитик В.И.Устинов (ГЕОХИ РАН)

Стадии минералообразования	Характеристика пробы	Номера проб	Тобр, °С по данным флюидных включений	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) кварца, ‰	$\delta^{18}\text{O}$ воды, ‰	Au, г/т
Неразделенные предпродуктивная пирит-арсенопирит-альбит-кварцевая + продуктивная золото-арсенопирит-кварц-анкеритовая (с сульфидами полиметаллов)	Кварцевые прожилки с сульфидами в диамиктите	K-10-050/1	220–300*	+12,2	+1,7...+5,2	2,53
	То же	K-11-030/1	260–300	+9,1	+0,5...+2,1	0,34
	Кварцевая жила брекчиевой текстуры с сульфидами и видимым золотом в диамиктите	K-11-041,5	250–300	+9,3	+0,3...+2,3	29,14
	Арсенопирит-кварцевый прожилок с видимым золотом в диамиктите	C-18-33	250–300	+9,7	+0,7...+2,4	0,013
	Анкерит-кварцевый прожилок с сульфидами в диамиктите	K-11-020	215–250	+11,2	+0,7...+2,2	5,52
Постпродуктивная пирит-кальцитовая	Арсенопирит-пирит-кальцит-кварцевый прожилок брекчиевой текстуры в глинистом алевролите	K-7-бис-253	185	+8,9	-5,6	0,25
	Пирит-кварцевый прожилок	C-101-129	230	+9,8	0,0	0,044

*Минимальная-максимальная.

тов Охотского массива. Рудоконтролирующие разломы заложены в конседиментационный период, на что указывает распределение галек в атканских отложениях. Источником золота могли служить металлоносные подводные гидротермы (аналоги современных «курильщиков»), приуроченные к рифтогенным структурам северо-западной ориентировки. Вместе с осадками происходило захоронение седиментогенной сульфидной вкрапленности с рассеянным золотом.

Мобилизация золота, флюидов (в основном воды и углекислоты), а также жильных и рудных компонентов из вмещающих пород была связана с позднеюрским региональным метаморфизмом, проявившимся одновременно со складкообразованием. Учитывая отсутствие в рудообразующих растворах хлор-иона, перенос золота, вероятно, происходил в тиосульфатных комплексах.

Образование разломной структуры следовало за складкообразованием. Наиболее глубоко проникающие рудоконтролирующие разломы вскрывали зону формирования рудоносных растворов на глубине и способствовали их перемещению вверх. В ходе начальных стадий рудоотложения зарождались метасоматическая зональность, жильно-прожилковый каркас и морфология будущей рудной залежи. Сравнительно резкая смена прожилков мощными ствольными жилами выше горизонта 600 м маркирует переход снизу вверх по разрезу от литостатического режима давления к гидростатическому. Об открытости системы свидетельствуют результаты изотопных анализов (примесь метеорных вод), а также зональность распределения основных сульфидов (пирита и арсенопирита). Исчезновение пирита на глубине объясняется снижением фугитивности кислорода, характерным для открытой системы.

Золотоносные растворы перемещались вдоль основных рудоконтролирующих разломов (Главного и Северо-Восточного), приуроченных к контакту тасской и атканской свит. На это указывает рудная зональность: преобладание на верхне- и среднерудном уровнях галенита и его смена на средне-нижнерудном уровнях сфалеритом и халькопиритом. Кроме того, золотоносные растворы предположительно двигались по системе межформационных разломов (вдоль контакта тасской и атканской свит), а также по системе послонного кливажа в атканской свите. Вместе с тем, разнонаправленные температурные градиенты (по данным изучения флюидных включений) указывают на более сложный, возможно, конвекционный характер циркуляции растворов в пределах рудной залежи.

Далее отложение золота происходило в ходе единственной продуктивной стадии. Рудоотложе-

ние протекало в сравнительно узком температурном интервале от 300 до 250°C в условиях снижения давления от 800 до 300 бар на глубинах 2–3 км. Ведущим механизмом рудоотложения было повышение щелочности рудоносных растворов вследствие вскипания водно-углекислотного флюида и удаления углекислоты, что привело к осаждению золота. Не исключено, что падение давления и температуры связано с общим подъемом и эрозией территории, предшествующими образованию гранитных массивов. В роли основного геохимического барьера выступали ранее сформированные арсенопирит-анкерит-серицит-альбит-кварцевые жилы, а также микро- и макропрожилки. Локальными геохимическими барьерами служили ранние сульфиды и просечки углистого вещества в жилах и прожилках. Увеличение крупности золота на глубоких горизонтах в центральной части месторождения и появление сравнительно обильного видимого золота, очевидно, обусловлены более длительной циркуляцией растворов, тогда как на приповерхностных уровнях рудоотложение протекало быстрее при сохранении уровня золотоносности.

«Отработанные» растворы двигались в стороны от минерализованной блок-пластины, формируя вокруг рудной залежи ореолы слабозолотоносных кальцит-кварцевых прожилков, отличающихся повышенным содержанием серебра.

Сходные геолого-генетические особенности рудообразования отмечены нами в Дегдеканском, Токчанском и Верхне-Ат-Юряхском рудных полях, что позволяет распространять предложенную модель на другие крупнообъемные золото-кварцевые месторождения Центрально-Колымского региона.

Авторы благодарят М.М.Константинова и С.А.Григорова за всестороннюю поддержку и полезные консультации, Б.К.Михайлова — за содействие при постановке исследований, М.П.Казимирова — за создание оптимальных условий для полевых работ, Н.П.Ягубова, В.И.Чичева, В.Д.Ворожбенко, С.В.Кузина, П.И.Кушнарева, А.П.Кушнарева, Н.Ф.Давыденко — за помощь при сборе материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология и оруденение Ат-Юрях-Штурмовского золоторудного узла (Магаданская область)* / С.В.Ворошин, Е.Э.Тюкова, В.Г.Шахтыров и др. — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.
2. *Гаитольд В.В.* Геолого-структурные особенности локализации золотого оруденения наталкинского типа и его геолого-экономическая оценка на примере месторождений Омчакского рудного узла (Магаданская область): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — Магадан, 2005.
3. *Гельман М.Л.* Геолого-петрологические аспекты связи золотого оруденения и магматизма в гранитоидных

- провинциях: Северо-Восток Азии в сравнении с Кордильерами Северной Америки, Западной Австралией // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северо-Восточной Пацифики. Магадан, 2000. Т. 2. С. 5–79.
4. *Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А.* Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002.
 5. *Калинин А.И.* Месторождение Наталка // Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России. М., 1992. С. 5–11.
 6. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф.* Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
 7. *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.
 8. *Литвиненко И.С.* Россыпные месторождения золота Омчакского узла. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002.
 9. *Межов С.В.* Геологическое строение Наталкинского золоторудного месторождения // Колымские вести. 2000. № 9. С. 8–17.
 10. *Михайлов Б.К., Прусс Ю.В., Волков С.В., Стружков С.Ф.* Крупнообъемные золоторудные месторождения Центральной Колымы — объекты XXI века. Золотодобывающая промышленность России. Проблемы и перспективы. – М., 2001. С. 23–28.
 11. *Рудаков В.В., Казимиров М.П., Григоров С.А.* О новом экономическом классе коренных месторождений золота в России // Драгоценные металлы. 2004. Июль. С. 49–51.
 12. *Фирсов Л.В.* Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. – Новосибирск: Наука, 1985.
 13. *Geology and genesis of the Nataika gold deposit, Northeast Russia / R.A.Eremin., S.V.Voroshin, V.A.Sidorov et al. // International Geology Review. 1994. Vol. 36. P. 1113–1138.*