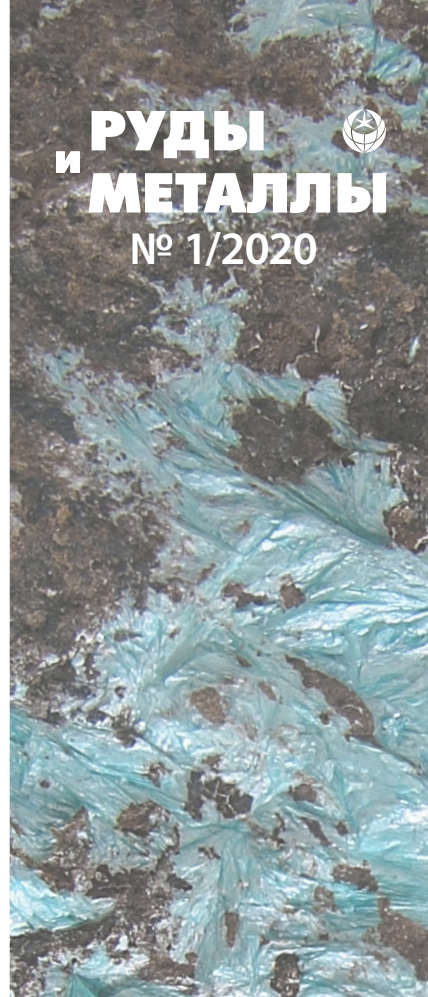


## **ТИПОМОРФИЗМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КАК ИНДИКАТОР РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ КРУПНОГО СКАРНОВО-ПОРФИРОВОГО Au-Fe-Cu МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЫСТРИНСКОЕ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ**

*Статья восполняет отсутствие публикаций по одному из главных промышленных компонентов Быстринского месторождения – золоту. Установлены особенности распределения самородного золота в рудах, частотность образования золотинок в различных минералах-матрицах, вариации состава, морфология и гранулометрический состав. Показано, что отложение самородного золота связано со всеми стадиями процесса минералообразования: апоскарновой, порфировой и полиметаллической. Наиболее информативная типоморфная характеристика самородного золота – состав: отмечена зависимость пробности от принадлежности самородного золота к той или иной части процесса минералообразования и отчасти от глубины локализации золотого оруденения. Выявлены закономерности редкого для месторождения обогащения отдельных участков руд золотом. Они приурочены к зонам трещиноватости и переработки первичных руд при наложении поздних процессов. Минеральным индикатором обогащения руд золотом является сонахождение пирит-халькопиритовых с магнетитом агрегатов предпочтительно в серпентинизированных апоскарнах с минералами, замещающими их. Среди них могут быть валлериит, халькопирит и магнетит последующих генераций (в т. ч. W-магнетит), пирит (особенно Co-пирит), сульфотеллуриды Vi, сульфиды полиметаллов, сульфосоли и др., что свидетельствует о переработке первичных концентраций Au. Геохимические маркеры обогащённых золотом руд – возрастающие в рудах содержания Mg, Cu, Co, Ag, Zn, W, Bi, Te, S, Pb, As, Sb, Hg – указывают на совмещение всех проявленных на месторождении процессов, способствующих концентрированию Au.*

*Ключевые слова: скарново-порфировое оруденение, самородное золото, типоморфизм, пробность, зональность, индикаторы обогащения руд.*

Быстринское рудное поле известно с 1830 г. Несмотря на длительный период, прошедший со времени открытия месторождения, до сих пор не было публикаций с подробными характеристиками золотой минерализации и особенностей распределения золота в различных генетических типах оруденения, что стало причиной создания этой статьи. Другим фактором, побудившим к проведению этих исследований, является полигенность Быстринского месторождения, где наряду со скарновым промышленным оруденением



**Киселёва  
Галина Дмитриевна**

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник  
kis60@rambler.ru

**Языкова  
Юлия Игоревна**

младший научный сотрудник  
yuliyazykova@yandex.ru

**Коваленкер  
Владимир Александрович**

доктор геолого-минералогических наук  
главный научный сотрудник  
vladkov2007@yandex.ru

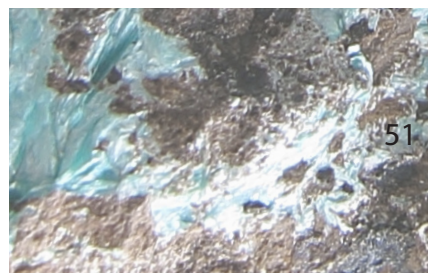
**Трубкин  
Николай Викторович**

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
tru@igem.ru

**Борисовский  
Сергей Евгеньевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
старший научный сотрудник  
dronino@yandex.ru

ФГБУН «Институт геологии рудных  
месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии  
Российской академии наук»,  
г. Москва



присутствует двухстадийная минерализация порфирового типа в виде:

- непромышленных редких кварц-Мо-W-TR-жил;
- золотоносных кварц-пирит-халькопиритовых жил с минералами вольфрама и редких земель, приуроченных к дайкам и реактивированным разломам.

Также слабо развито субэпитемальное оруденение. Всё это мотивировало использовать типоморфные характеристики минералов [13, 14] и, в частности, самородного золота, для идентификации оруденения различных генетических типов.

В последнее десятилетие по результатам проведённых геологоразведочных работ промышленное золото-халькопирит-магнетитовое оруденение в скарнах выявлено на четырёх участках: В. Ильдикане, Быстринском-2, Малом Медном Чайнике и Южно-Родственном. Совокупность этих участков образует Быстринское золото-медно-железородное месторождение.

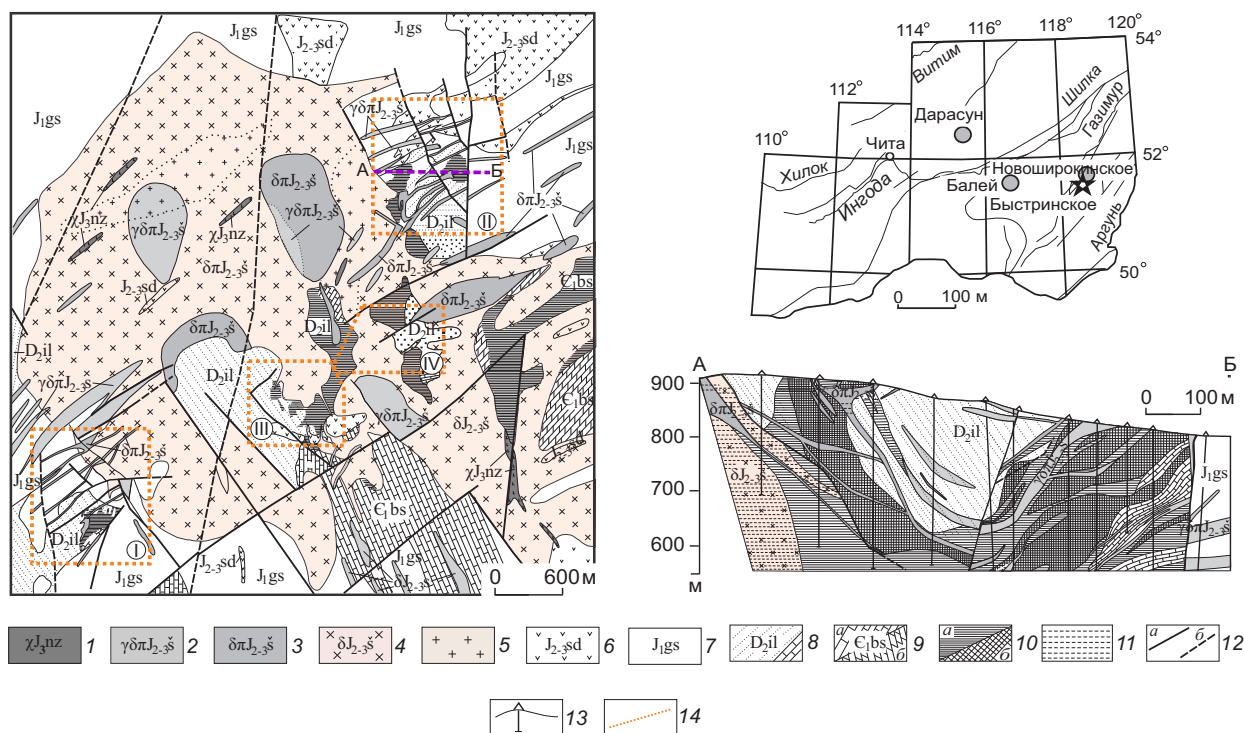
Балансовые запасы месторождения утверждены в ГКЗ по категориям В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub>: руды – 290 млн т, Cu – 2,073 млн т, Au – 236 т, Ag – 1060 т (Ag/Au ≈ 4,5), Fe (магнетитового) – 68 млн т. Содержание Cu в рудах 0,3–16 %, среднее – 1,56 %, Au – 0,1–36 г/т, среднее – 0,54 г/т [20]. Крупные запасы Cu и Au, выводящие данное месторождение в разряд одного из важнейших объектов не только в Восточном Забайкалье, но и России, делают крайне актуальным его изучение.

Данная статья является частью результатов изучения месторождения на основе коллекций, собранных в течение 2-х полевых сезонов 2007–2008 гг. Была проведена документация 5 скважин на каждом из участков с отбором керна, имеется также значительное количество образцов из поверхностных горных выработок. При изучении руд использовались аналитические возможности лабораторий ИГЕМ РАН: рентгено-спектральный микроанализатор (РСМА) – микронзонд JBX-8100FS – при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 20 нА на цилиндры Фарадея, по линиям: AuL<sub>α</sub>, AgL<sub>α</sub>, CuK<sub>α</sub>, HgH<sub>β</sub>, FeK<sub>α</sub>, время экспозиции 20 с; сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) – JSM 5610LV с энергодисперсионным спектрометром INCA с использованием ускоряющего напряжения 25 кВ. В целях повышения достоверности результатов применялись собственные эталоны – стехиометрические минералы.

Для определения содержания элементов-примесей в сульфидах, в частности Au, использовался метод масс-спектрометрического анализа с индуктивно-связанной плазмой и лазерным пробоотбором (LA ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Thermo XSeries 2 с лазерной приставкой New Wave Research 213 («ЦКП ИГЕМ-аналитика», аналитик В. Д. Абрамова). Плотность энергии лазера 4–7 Дж/см<sup>2</sup>, частота 20 Гц, анализ проводился профилями, скорость съёмки 5–7 мкм/с, диаметр участка воздействия лазера 60–70 мкм, длина волны лазера 213 нм.

Быстринское месторождение расположено в юго-восточной части Восточного Забайкалья (51°32' с. ш., 118°38' в. д.). Сведения о геотектоническом положении, геологии, магматизме, метасоматических изменениях, минералого-геохимических особенностях Быстринского месторождения ранее были достаточно подробно освещены в ряде публикаций [3, 4, 6, 7, 11, 15, 18–20, 22], поэтому здесь мы ограничимся кратким изложением наиболее существенных сведений о самом месторождении.

Месторождение Быстринское (рис. 1) слагают карбонатные породы нижнего кембрия, терригенно-карбонатные отложения девона и нижнеюрские песчаники, алевролиты и аргиллиты. Оно приурочено к Быстринской вулканокупольной структуре, центром которой является массив диоритов первой фазы шахтаминского комплекса (J<sub>2-3</sub>), площадью примерно 3×4 км. Вторая фаза магматизма шахтаминского комплекса сопровождалась внедрением штокообразных тел и даек диоритовых порфириров, гранодиорит-порфириров и др. Заключительным импульсом магматизма на территории месторождения являются дайки базальтов и лампрофириров (J<sub>3</sub>). Массив имеет сложное строение с большим количеством апофиз [19]. По данным гравиметрической съёмки, Быстринская структура по площади вписывается в подземный контур интрузии основного состава, выделяясь площадным максимумом силы тяжести. Эта структура осложнена экстремумами, отражающими выходы на поверхность габброидов ундинского комплекса (P–T<sub>1</sub>), окаймляющих с запада Быстринскую структуру, а также нескрытого в современном эрозионном срезе лополитоподобного тела основного состава, залегающего на глубине ~1500 м, с корневым аппаратом в верховьях пади Ильдикан [15].



**Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЫСТРИНСКОЕ (а) И РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А–Б ЧЕРЕЗ УЧАСТОК БЫСТРИНСКИЙ-2 (б) (по данным В. М. Козлова, 2006 г.):**

1 – дайки базальтов, андезитов, лампрофиров нерчинскозаводского комплекса; магматические породы шахтаминского комплекса: 2 – гранодиорит-порфиры, 3 – диоритовые порфиры, 4 – диориты; 5 – метасоматическая гранитизация диоритов шахтаминского комплекса; 6 – андезиты, андезит-дациты, дациты шадоронского комплекса; 7 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты государевской свиты; 8 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки ильдикинской свиты; 9 – осадочные породы быстринской свиты: известняки (а), доломиты (б); 10 – скарны и скарнированные породы (а), магнетитовые скарны (б); 11 – эндоскарны; 12 – разломы установленные (а), предполагаемые (б); 13 – скважины; 14 – границы участков с промышленным оруденением (I – В. Ильдикан, II – Быстринский-2, III – Малый Медный Чайник, IV – Южно-Родственный)

Рудные зоны всех четырёх участков приурочены к зонам скарнирования в экзоконтактах Быстринского массива диоритов (см. рис. 1). Основные из них, В. Ильдикан и Быстринский-2, включающие более 90 % запасов руды и металлов, характеризуются значительными (до 700 м по простиранию) размерами плито-плащеобразных рудных тел мощностью в десятки метров. Распространённость рудных залежей на глубину варьирует, но на двух главных участках они прослеживаются на глубине более 700–800 м. Основное влияние на локализацию рудных залежей оказала морфология контактовой части Быстринского массива и складчатые структуры в терригенно-карбонатных толщах. Участки рудных залежей с наиболее высоким содержанием рудных компонентов обычно приурочены к маг-

нетитовым экзоскарнам. Незначительная часть вкрапленной медной и молибденовой минерализации присутствует и в эндоконтактах магматических пород [4].

Главными типами изменений пород, вмещающих интрузии и оруденение, являются ороговикование, скарнирование, преобразования скарнов на стадии водных силикатов с проявлением амфиболизации, флогопитизации, серпентинизации и др., сопровождающим отложение магнетита, позже – сульфидов. С порфировым типом минерализации связаны калишпатизация, окварцевание и местами биотитизация. Скарны, апоскарны и магматические породы участками пропилитизированы с появлением эпидота, карбоната, хлорита, альбита, сфена и др., нередко сопровождающихся пиритом и халькопиритом.

Березитоподобные изменения, местами сходные с лиственитами, представленные преимущественно железистым и магнезиально-железистым карбонатом, реже – серицитом и кварцем, развиты вдоль трещин и контактов с дайками, цементируют брекчии, сопровождают кварц-пиритовые и кварц-полиметаллические прожилки. Аргиллизация, представленная в основном каолинитом и другими минералами этой группы, точнее пока не диагностированными, развита преимущественно по секущим трещинным зонам и местами совмещена с более ранними типами преобразований.

Месторождение характеризуется большим количеством новообразованных минералов. Выявлено около 100 минералов, 87 из которых является гипогенными. Часть гипогенных минералов представлена несколькими генерациями, относящимися к различным стадиям процесса. Главные рудные минералы на всех четырёх участках месторождения одинаковы: магнетит, халькопирит и пирит.

Наиболее распространённым промышленным рудным минералом на месторождении является магнетит, большая часть которого сформировалась в ходе апоскарнового процесса. Он образует гнездовые, вкрапленные и массивные текстуры. Отмечено не менее трёх его генераций, поздняя характеризуется осцилляторной зональностью, обусловленной различным содержанием примеси W. Второй по распространённости промышленный рудный минерал – халькопирит, у него также встречаются массивные текстуры с обогащением отдельных интервалов (до 50 % халькопирита), хотя преобладающим типом текстур медных руд являются гнездово-вкрапленные, вкрапленные и прожилково-вкрапленные. Халькопирит в ходе эволюции процесса минералообразования отлагается неоднократно и представлен 3–4 генерациями. Ранняя имеет характерный для высокотемпературного халькопирита типоморфный признак – наличие в нём крестовидных микровключений железистого сфалерита [5]. Следующий по распространённости из главных рудных минералов – пирит, образующий не менее пяти генераций. Второстепенные рудные минералы – марказит, пирротин (на глубине его количество иногда возрастает до разряда широко распространённого), блёклая руда, арсенопирит, молибденит, шеелит, Со-пирит, гематит.

Малораспространёнными и редкими новообразованными рудными минералами являются самородное золото, сфалерит, галенит, герсдорфит, миллерит, кобальтин, линнеит, бравоит, ульманит, бурнонит, тетрадимит, вольфрамит, аргентопентландит, Th-(Ce)-уранинит, торит, молибдошеелит, тунгстенит, киноварь, кубанит\*, цервеллеит\*, антимонит\*, галенобисмутит\*, зигенит, гессит\*, висмутин\*, тетрааурикуприд\*, людвигит\*, котоит\*, дюмортьерит\*, ссайбелиит\*, якобит\*.

Наиболее распространённые нерудные минералы – клинопироксен, актинолит, калишпат, флогопит, карбонаты, второстепенные нерудные – гранат (на участке Малый Медный Чайник он входит в разряд главных минералов), серпентин (входит в состав главных минералов на участках Южно-Родственный и Быстринский-2), тальк, серицит, альбит, мусковит, кварц, тремолит, апатит, биотит, эпидот, клиноцоизит, сфен, хлорит, рутил, лейкоксен. Малораспространённые и редкие минералы – шпинель, ортит, монацит, W-рутил, гидроксилбастнезит, ксенотим, пренит, турмалин, клиногумит, андалузит\*, кордиерит\*, скаполит\* и др.

В результате относительно слабых гипергенных преобразований появляются гётит и, в небольшом количестве, ковеллин, халькозин, повеллит, борнит, самородная медь, куприт\*, тенорит, халькантит\*, малахит, самородное серебро, англезит, церуссит, целестин, Ва-целестин, Sr-барит, гипс, эритрин, хоулиит\*, брошантит\* и др.

Последовательность минералообразования можно наметить лишь схематически, поскольку этот процесс в реальности намного сложнее в связи с полихронностью скарнирования и преобразования одновременных скарнов, наложением минерализации порфирирового семейства и пр. Стадийность процесса минералообразования к настоящему времени представляется следующей (рис. 2):

1. Ороговикование и скарнирование, связанные с внедрением интрузии диоритов.

2. Регрессивное преобразование скарнов по мере остывания скарнирующих флюидов, отложение водных силикатов, магнетита в контактах с интрузией диоритов, возможно, части шеелита, затем золотоносного высокотемпературного

\* минералы, установленные в результате предыдущих исследований [2, 8, 19]

халькопирита-I, пирротина с тонкими редкими вростками сульфидов Ni и Co, а также пирита, развивающихся по минералам скарнов и апоскарнов как псевдоморфно, так и нередко залечивая трещины в магнетите и других минералах.

3. Внедрение дайкового комплекса диоритовых порфиров-гранодиорит-порфиров с развитием двухстадийной минерализации порфирового типа, вторая стадия является золотоносной.

4. Березитизация (лиственитизация), приуроченная большей частью к тектоническим зонам, порфировым дайкам. Этот тип изменений иногда полностью преобразует вмещающие породы (скв. 139), местами является цементом обломков вмещающих пород, подробленного пирита, кварц-молибденитовых прожилков и пр. С ним сопряжены широко развитые на месторождении кварц-пиритовые и редкие золотоносные кварц-карбонат-полиметаллические прожилки и вкрапленность. В полиметаллических прожилках встречается разнообразная Ni-Co минерализация: значительное количество хорошо образованных кристаллов герсдорфита с осцилляторной зональностью за счёт вариаций содержания Co; возникают такие минералы, как ульманнит, аргентопентландит, пириты с осцилляторной зональностью за счёт обогащения отдельных зон кристаллов Co или As, корродированные выделения минералов группы линнеита с широкими колебаниями Fe и более слабыми вариациями Ni и Co. Галенит обрастает минералы Ni и Co. Золото, образованное в эту стадию, встречается в халькопирите, сфалерите и блёклых рудах на контакте с галенитом.

5. Карбонатные и кварц-карбонатные жилы и прожилки, наложение которых на рудные интервалы вызывает небольшое переотложение рудных минералов. Появляется поздняя генерация магнетита, гематит, небольшое количество галенита, халькопирита, сфалерит, очищается от примесей Fe и нередко содержит Cd (до 1,2 масс. %), что сближает эти минеральные образования с карбонатной стадией ближайшего Новоширокинского месторождения.

6. Аргиллизация.

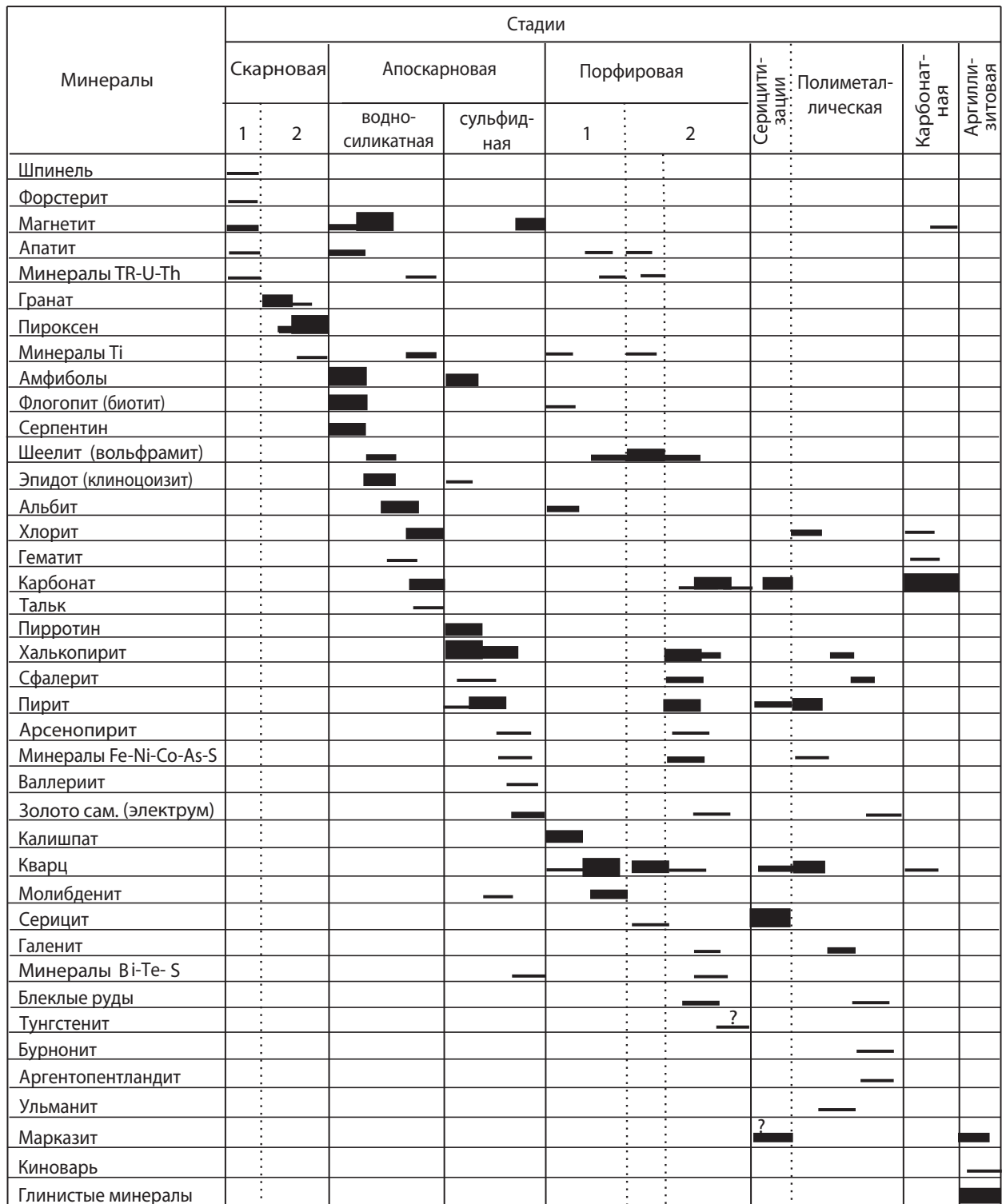
С использованием метода LA-ICP-MS получены первые результаты состава примесей сульфидов участка В. Ильди́канский. Анализировались пирит и халькопирит верхних частей скв. 107,

с глубин 19,2 и 28,4 м. Эти данные свидетельствуют о сравнительно высоком среднем (12 анализов) содержании Au в халькопирите – 0,9 ppm (при колебаниях от 0,3 до 1,86 ppm), в пирите (21 анализ) – 1,2 ppm (при вариациях от 0,01 до 5,6 ppm). В халькопирите наблюдается положительная корреляция Au и Bi ( $r = 0,54$ ), Au и Co ( $r = 0,5$ ), Au и Ag ( $r = 0,52$ ). В пирите отмечена только очень слабая прямая корреляция примеси Cu с Au ( $r = 0,33$ ), Hg и Au ( $r = 0,34$ ). Возможный механизм образования золота в сульфидах по [16] предложил В. Л. Таусон [17]: сорбция атомов и микрочастиц золота на поверхности растущих кристаллов сульфидов, прежде всего на дефектах поверхности с дальнейшей трансформацией в нанокристаллы [23].

На площади месторождения присутствует коренное и россыпное золото. Россыпи по ручьям Ильди́кан, Родственный, Токовый и р. Быстрая отработаны в прошлом веке и нами не изучались.

Коренное золото встречено на месторождении только в самородном виде. Оно распределено в пределах месторождения неравномерно. Подавляющая часть золотин приурочена к минералам сульфидных руд в скарнах, значительно меньшая – к сульфидам кварц-пирит-халькопирит-редкометалльных жил порфирового типа. Золотоносная кварц-карбонат-полиметаллическая минерализация на территории месторождения в силу незначительного распространения, видимо, не может оцениваться как промышленно значимая. Кварц-молибденитовые жилы также, как и на соседних Шахтаминском и Бугдаинском месторождениях, практически не золотоносны.

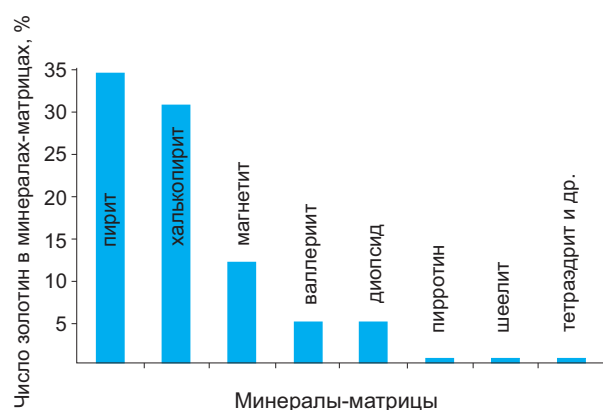
Вмещающим золото минералом в целом по участкам из 484 обнаруженных золотин (рис. 3) в 34 % случаев является пирит, 10 % золотин установлено в Co-содержащем пирите. В халькопирите встречено 30,4 % от всех найденных золотин, 3 % приурочено к контакту халькопирита с пиритом или Co-пиритом. За редким исключением наблюдается закономерное увеличение количества золотин в тех участках образцов, где больше халькопирита, тяготеющего в основном к магнетитовым экзоскарнам. В порфировом типе минерализации матрицей золотосодержащего пирита также является халькопирит, по объёму многократно превышающий спорадические включения пирита с золотом, синхрон-



Толщина линии соответствует степени относительной распространённости минералов:

- распространённые      — малораспространённые
- второстепенные      — редкие

Рис. 2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ



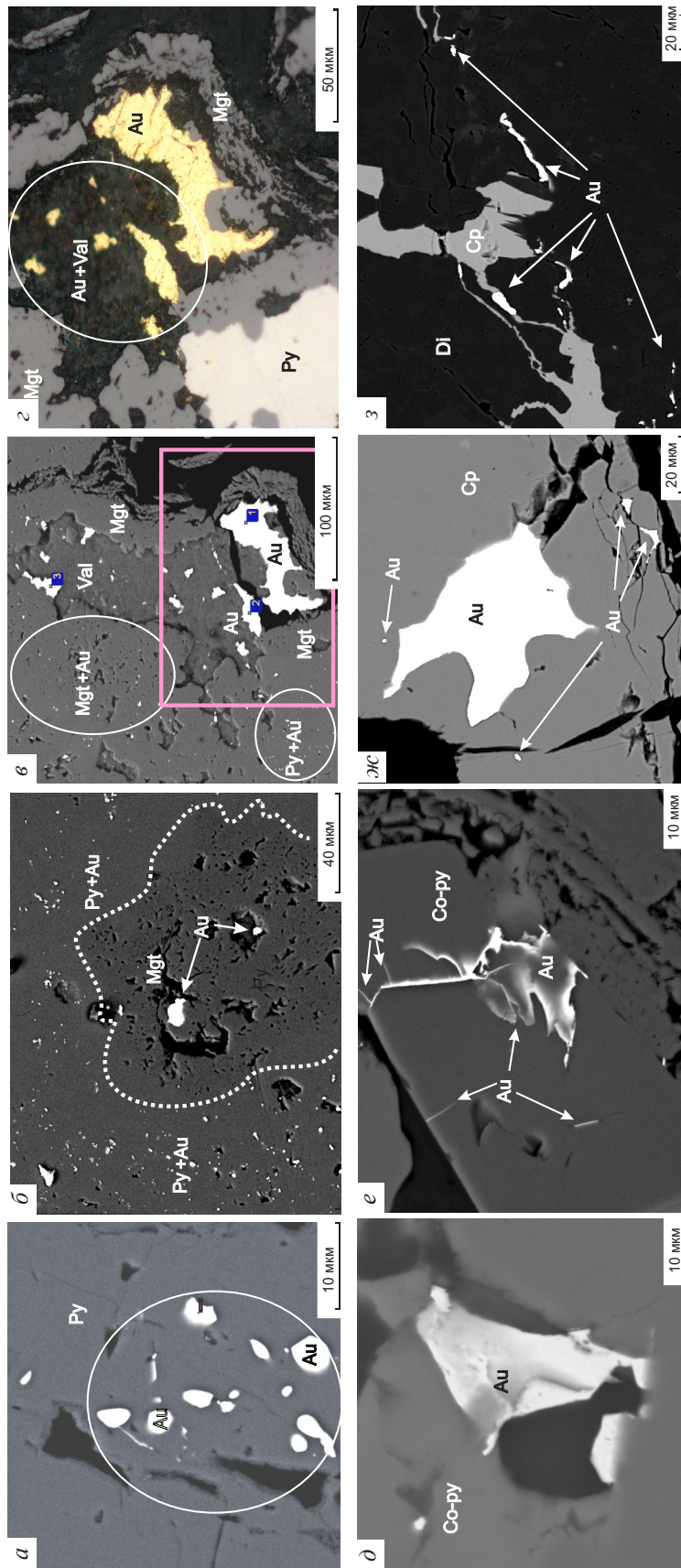
**Рис. 3. ГИСТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТИН В РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛАХ-МАТРИЦАХ**

ным с сульфотеллуридами  $Bi$ , при этом золото локализовано как в пирите, так и на контакте этих двух сульфидов. При отсутствии халькопирита руды обогащены  $Au$  довольно редко. В нашей коллекции имеется только один не содержащий халькопирита образец с многочисленными частицами самородного золота, приуроченными к пириту в серпентинизированном апоскарне. Остальное количество обнаруженных золотин рассеяно в минералах скарнов в виде единичных включений и лишь иногда даёт скопления в таких минералах, как диопсид (4,7 %), валлериит (4,7 %), магнетит (11,8 %), при этом во всех перечисленных случаях в образцах с этими минералами всегда преобладает халькопирит. Кроме того, установлено самородное золото в виде редких включений в пирротине, сфалерите, шеелите, хлорите, гётите, на контакте блёклой руды и галенита. Следует особенно подчеркнуть, что при достаточно большом количестве изученных образцов пока не было встречено золотин в кварце, что необычно для золотых месторождений Восточного Забайкалья. Можно допустить, что изучение дополнительного каменного материала привело бы к таким находкам, однако в любом случае золото, локализованное в кварце, для данного месторождения не характерно.

На месторождении преобладают изометричные формы золотин, как округлые, так и с намечающимися гранями, и лишь 12,4 % являются удлинёнными с отношением длины к ширине более 2, сюда же относятся прожилковидные золотины. Мелкие частицы значитель-

но чаще изометричны, чем крупные. Довольно редкие находки удлинённых прожилковидных золотин в ранней ассоциации (в трещинах и интерстициях рудных минералов первой генерации) могут свидетельствовать о переотложении золота в результате воздействия более поздних процессов.

В апоскарнах изометричные золотины наиболее распространены в пирите, халькопирите и магнетите. Среди изометричных золотин в раннем халькопирите скарнов отмечены формы с почти правильными квадратными, пятиугольными и треугольными сечениями, примерно такие же формы и размеры имеет и отложившийся здесь тонкий галенит. Для изометричных золотин в пирите апоскарнов свойственны как округлые формы со сглаженными гранями (рис. 4, а), так и угловатые (см. рис. 4, б, в). В валлериите, развитом по минералам апоскарнов, форма золотин чаще удлинённая с неровными, извилистыми очертаниями и заливообразными востками в промежутки между лейстами этого минерала и вмещающего валлериит магнетита (см. рис. 4, г). Золотины в валлериите местами содержат тонкие реликты кобальтина и  $Co$ -пирита. Следует отметить, что в данном случае наблюдается резкое укрупнение золотин при переходе от вмещающих валлериит магнетита и пирита, насыщенных тонкодисперсными (размером 1 мкм и менее) изометричными, преимущественно угловатыми частицами золота, к валлерииту. Очевидно, этому способствуют особенности строения валлериита, сложенного высокопроницаемыми чешуйчатыми и пластинчатыми агрегатами. В  $Co$ -пирите золото отлагается нередко по трещинам (см. рис. 4, д, е) в виде извилистых пластин, просечек и микропрожилков. Характерна также локализация как удлинённых, так и изометричных золотин по контакту  $Co$ -пирита с халькопиритом. В халькопирите, развитом в диопсиде с примесью актинолита, наряду с ультратонкими изометричными частицами самородного золота встречаются и относительно крупные, приуроченные к участкам трещиноватости (см. рис. 4, ж). В диопсиде скарнов, в промежутках между кристаллами которого развита богатая пирротин-халькопиритовая минерализация, золотины имеют преимущественно удлинённые формы и развиваются, подобно халькопириту, в интерстициях диопси-



**Рис. 4. ФОРМА, РАЗМЕРЫ И ХАРАКТЕР СРАСТАНИЙ ЗОЛОТИН С СОПУТСТВУЮЩИМИ МИНЕРАЛАМИ В АПОСКАРНАХ:**

*a* – округлые золотины в пирите; *б* – густая вкрапленность ультрамелкого, преимущественно изометричной формы самородного золота в пирите, в центре – магнетит с небольшим количеством валлериита и более крупными золотинами; *в* – магнетит с небольшим количеством пирита и тонкораспылённым золотом, при замещении валлериитом образуются более крупные частицы золота, самая крупная золотина развивается в валлериите и врастает в промежуток между кристаллами магнетита; *г* – увеличенный фотоснимок того же участка; *д*, *е* – самородное золото в Со-пирите в виде изогнутых пластин и микропросечек; *ж* – ультрамелкие вкрапленные золотины в массивных ненарушенных частях кристалла халькопирита и относительно крупные – вблизи и внутри микротрещин; *з* – вкрапленное и (в основном) прожилковидное самородное золото в диопсиде и совместные золото-халькопиритовые микропрожилки. Снимки в обратно-рассеянных электронах, кроме *г*: Mgt – магнетит; Au – самородное золото; Val – валлериит; Py – пирит; Cp – халькопирит; Co-py – Со-содержащий пирит; Di – диопсид



да (см. рис. 4, з), а также по трещинам, значительно реже в виде очень тонких изометричных включений в диопсиде и халькопирите. В пирротине установлены единичные ультратонкие (1–2 мкм) округлые включения самородного золота. В раннем железистом сфалерите скарнов были встречены тонкие золотины с прямоугольными изометричными или слабо удлинёнными очертаниями размером до 10 мкм.

В жилах порфирового типа (скв. 107, 19,2 м) встречены «запечатанные» в пирите изометричные округлые золотины, интерстициальное же золото в этих образцах в основном имеет слабоудлинённые формы (рис. 5, а), отчасти подчиняющиеся форме интерстиций.

Золото в полиметаллической ассоциации (скв. 139) в маложелезистом сфалерите и халькопирите полиметаллической ассоциации – это ультратонкие округлые изометричные золотины размером около 2 мкм. На контакте галенита с Ag-тетраэдритом в этом же типе минерализации золотины того же размера имеет шестиугольный срез. В редких прожилках сульфидов полиметаллов в пределах жил порфирового типа золото не обнаружено.

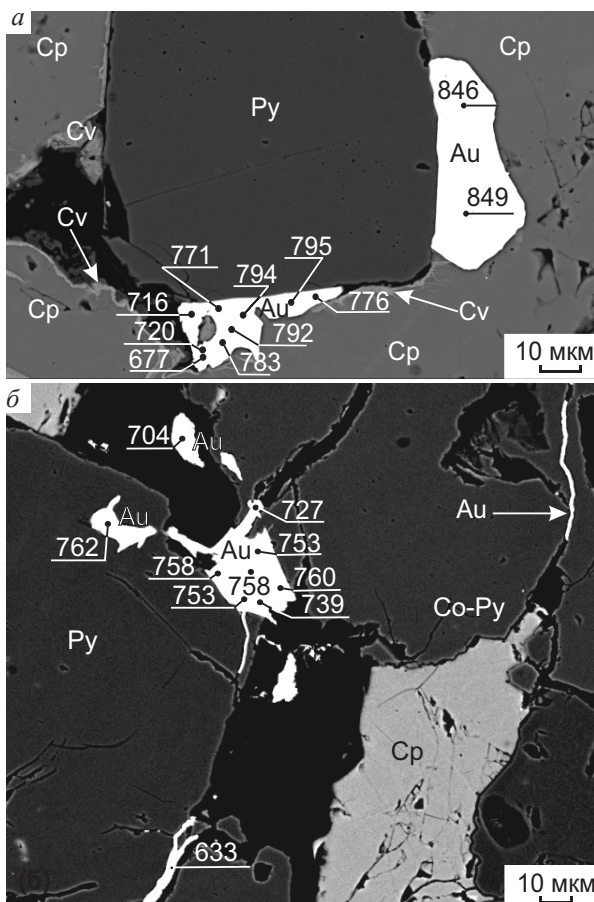
Размер частиц коренного золота, по нашим данным, колеблется от < 1 до 95 мкм, длина микропрожилков самородного золота не превышает 100 мкм. По данным предыдущих исследований, размер золотин достигает 3 мм. Статистическая обработка данных (рис. 6, а) показала, что максимальное количество золотин, 58 %, имеет размер до 2 мкм, 31 % попадает в интервал 3–10 мкм. С последующим нарастанием размера золотин отмечено резкое уменьшение их количества. Так, в разряде 11–20 мкм находится уже всего 5 % золотин, 21–30 мкм – 2,7 %, 31–40 мкм – 1,4 %. В интервале от 41 до 100 мкм встречено только 9 частиц самородного золота (по 1–3 золотины на каждый интервал – 41–50, 51–60 и т. д.), что в целом составляет менее 2 %. Наиболее крупные изометричные золотины встречены в скв. 107 (298,2 м) в апоскарнах (участок В. Ильди-кан) (см. рис. 4, ж) в халькопирите, и, как уже отмечалось, тут же встречаются и удлинённые частицы самородного золота на контактах диопсида и халькопирита (см. рис. 4, з). Кроме того, относительно крупные золотины приурочены к валлерииту апоскарнов. Укрупнение и концентрирование золотин в валлериите, кроме бла-

гоприятных физических свойств последнего, очевидно, связано с замещением им халькопирита, пирита и магнетита, содержащих тонкое золото (см. рис. 4, в, з). Сравнение гранулометрического состава золотой минерализации различных генетических типов свидетельствует, что золотины в рудах порфирового и скарнового типов иногда имеют размер более 10 мкм и все относительно крупные золотины обнаружены именно в ранних типах минерализации, тогда как поздние кварц-полиметаллические жилы содержат, по нашим немногочисленным данным, только частицы ультратонкого самородного золота размером < 10 мкм.

Содержание Au в золотилах колеблется от 60,7 до 100 масс. % (таблица). Средняя пробность по проанализированным золотилам (109 анализов) составляет 800. Пробность выше 700 имеет 86 % золотин, из них 45 % – выше 800 (см. рис. 6, б). По данным определения состава частиц самородного золота методом РСМА, среднее отношение Au/Ag  $\approx$  4. Изометричные золотины в большинстве случаев, за исключением содержащихся в минералах полиметаллической ассоциации, имеют наиболее высокую пробность.

Наблюдается разделение по пробности золотин различных стадий. Золотины двух более ранних рудных стадий скарново-порфирового оруденения в среднем отличаются значительно более высокой пробностью, чем золотины полиметаллической ассоциации, где значения пробности колеблются в интервале 647–727, что объясняется нарастанием роли серебра к поздним стадиям процесса. Самое низкое значение пробности при этом соответствует золотине, матрица которой содержит Ag в своём составе (Ag-содержащий тетраэдрит). В халькопирите полиметаллической ассоциации самородное золото имеет пробность 727, что значительно ниже средней по месторождению и существенно отличается от наиболее часто встречающейся высокой пробности золотин в халькопирите апоскарнов. Самородное золото в апоскарнах имеет высокую пробность, как правило, более 800 ‰.

Пробность самородного золота, «запечатанного» в пирите жил порфирового типа, самая высокая – 1000 ‰ (скв. 107, глуб. 19,2 м), что сближает этот тип золотоносных жил с подобным оруденением Бугдаинского месторождения [9,



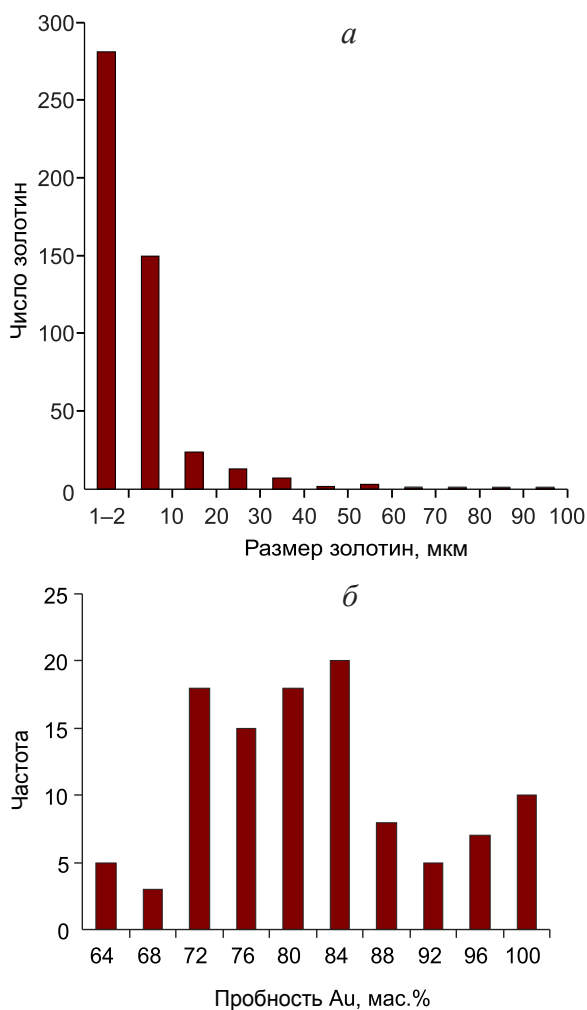
**Рис. 5. ВАРИАЦИИ СОСТАВА ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ РСМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА МИНЕРАЛИЗАЦИИ:**

*а* – порфировый; *б* – апоскарновый; в обоих случаях фиксируется снижение пробности участков внутри золотин (Au), примыкающих к кавернам и притрещинам (чёрное) с каёмками ковеллина (Cv), остальные усл. обозн. см. рис. 4

12]. Но интерстициальное самородное золото в этом же образце имеет более низкую и непостоянную пробность. При этом отчётливо заметно, что около расширенных, более пронцаемых участков интерстиций и, что важно, с присутствием ковеллина и гётита, золотины приобретают существенно более низкую пробность с нарастанием серебра и появлением микропримеси ртути (см. рис. 5; см. табл.). Соседняя золотина, локализованная в притёртом контакте того же кристалла пирита и халькопирита, имеет высокую пробность, практически однородна по составу и не содержит Hg. Подобная закономерность – приуроченность Hg-

содержащих (сотые – десятые доли масс. % Hg) золотин с более низкой пробностью к полостям и зонам микротрещиноватости, особенно в присутствии серебросодержащего ковеллина – характерна для приповерхностных участков рудных залежей любого генетического типа Быстринского месторождения. Обогащение серебром отдельных золотин, приуроченных к кавернам в приповерхностных участках месторождений, отмечается на соседнем Au-Mo(W)-порфировом Бугдаинском месторождении [9, 12] и связано с осаждением на частицах золота самородного серебра и амальгам серебра в слабо гипергенно изменённых золотых рудах. Среди других примесей в незначительном количестве местами присутствует Си, обычно сотые – десятые доли масс. %, однако в некоторых участках рудных залежей (скв. 107) к ак на верхних горизонтах, так и на глубине более 300 м (скв. 107), наряду с незначительной примесью Си в части анализов присутствует малое количество Fe, местами, очевидно, обусловленное захватом халькопирита при анализе на микрозонде.

Как было показано, на месторождении в целом преобладает рассеянное в сульфидах золото с невысокими содержаниями в рудах, тогда как участки значительных скоплений золотин в рудах редки. Макроиндикаторами процессов обогащения руд золотом могут быть заметная трещиноватость и прожилковые текстуры сульфидов (возможно, с кварцем), рассекающих первичное магнетит-халькопиритовое оруденение. Обогащённые золотом части рудных тел на микроуровне выделяются по разнообразию минерального состава, присутствию нескольких генераций халькопирита, магнетита, пирита (особенно развитого по пирротину), Co-содержащего пирита или кобальтина в халькопиритовой матрице, валлериита, наличию псевдоморфоз пирита по магнетиту, минералов Vi-Te, иногда – присутствию включений минералов полиметаллической ассоциации. Кроме того, для рудных участков с максимальным обогащением золотом характерны золотины с большими вариациями форм и размеров (от < 1 до 95 мкм, обр. М10Б), при этом они локализованы чаще всего почти во всех имеющихся минералах, а в пирите, магнетите и халькопирите – в виде скоплений одиночных изометричных ультратонких включений (см. рис. 4, б–з) с увеличением раз-



**Рис. 6. ГИСТОГРАММЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ (а) И ПРОБНОСТИ (б) ЗОЛОТИН В РУДАХ**

меров золотин в интерстициях этих минералов и участках микротрещиноватости. Можно предположить, что наиболее богатые золотом руды развиваются по апомагнезиальным скарнам, учитывая заметное обогащение золотом в наших образцах именно серпентинизированных, иногда при этом и валлериитизированных разностей с сульфидами и магнетитом нескольких генераций.

Геохимическим индикатором более высокой золотоносности является обогащённость руд такими элементами, как Mg, Cu, Ag, W, Co, Fe, Bi, Te, Zn, Pb, As, Sb и др., что указывает на совмещение всех проявленных на месторождении процессов, способствующих концентрированию Au.

Недостаточное количество наблюдений не позволяет сделать собственные обобщающие выводы о зональности месторождения. Тем не менее к элементам вертикальной зональности можно отнести участок В. Ильдикан (скв. 107) где проявлено нарастание золотоносности (и меденосности) по мере приближения к контакту экзоскарнов с вмещающими известняками (рис. 7). Можно отметить элементы вертикальной зональности в распределении пробности в доступном для наших исследований диапазоне глубин 0–333 м – преобладание в интерстициальных и прожилковых золотилах относительно более низкой пробности на верхних горизонтах [21]. Это характерно для многих Au-месторождений и связано с повышением роли Ag в: 1) поздних минеральных ассоциациях, тяготеющих чаще к верхним частям месторождений, 2) гипергенных процессах, что фиксируется появлением самородного Ag, отложением Ag в ковеллине и краевых частях золотин, примыкающих к проницаемым участкам (неплотных интерстициях, кавернах, микротрещинах). Известный на месторождении фактор вертикальной зональности – уменьшение количества пирротина на верхних горизонтах рудных залежей – может указывать на некоторое обеднение золотом на больших глубинах, где пирротина больше, поскольку в пирротине видимое под микроскопом самородное золото встречается редко. Дисульфидизация пирротина в верхних частях залежей способствует значительному концентрированию золота в пирите и магнетите-II, заместивших пирротин в близповерхностных рудах.

Присутствие россыпей на территории месторождения с более крупными золотилами по сравнению с изученными может указывать на существование ныне сэродированной верхней части месторождения, где более интенсивно могли быть проявлены наложенные процессы, способствующие укрупнению золотин. Об этом же может свидетельствовать и наличие золотоносной минерализации порфирирового типа в верхних частях скв. 107 с концентрированием W и укрупнением шеелита, а также присутствие молибденового и полиметаллического оруденения в интенсивно изменённых березитизированных породах в опущенном блоке на периферии залежи участка В. Ильдикан в скв. 139, вскрывшей кровлю диоритов под юрскими от-

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ АНАЛИЗОВ ОРУДЕНЕНИЯ  
АПОСКАРНОВОГО И ПОРФИРОВОГО ТИПОВ МЕТОДАМИ РСМА И СЭМ**

Обр. № / участок	Ассоциация	Матрица	Au	Ag	Cu	Hg	Fe	Сумма	Формула	Проб., ‰	
Малый Медный Чайник, 2/07	Апоскарн с mgt, cp, cob, py, mo, goe, cv	Контакт cob, mgt & Co-Ni-py	77,58	21,3	< п.о.	< п.о.	< п.о.	98,88	Au <sub>2</sub> Ag	785	
			77,59	21,3	< п.о.	1,05	< п.о.	99,98	Au <sub>66</sub> Ag <sub>33</sub> Hg	784	
			73,87	25,77	< п.о.	1,07	< п.о.	100,71	Au <sub>60</sub> Ag <sub>39</sub> Hg	741	
7/07	Апоскарн с cp, py, Co-py, mgt	Co-py	74,61	26,12	0,00	0,4	0,18	101,3	Au <sub>1,6</sub> Ag	741	
		Co-py/cp	75,77	23,75	0,08	0,24	0,44	100,28	Au <sub>1,7</sub> Ag	761	
		Ср	75,3	25,68	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,98	Au <sub>1,6</sub> Ag	746	
		Co-py/cp	75,3	23,68	< п.о.	< п.о.	< п.о.	98,98	Au <sub>1,8</sub> Ag	761	
		Co-py/cp	72,47	27,28	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,75	Au <sub>1,4</sub> Ag	727	
		Co-py/cp	74,17	24,45	< п.о.	< п.о.	< п.о.	98,62	Au <sub>1,6</sub> Ag	752	
M10B	Серпентинизированный скарн с mgt и ср двух генераций, py, val, Co-py, сульфотеллуридом Bi	Val	95,21	5,51	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,72	Au <sub>9</sub> Ag	945	
		Val	93,46	6,66	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,12	Au <sub>7,3</sub> Ag	933	
		Val/Co-py	86,86	13,14	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100	Au <sub>3,5</sub> Ag	869	
		Py	91,59	7,97	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,56	Au <sub>6</sub> Ag	920	
		Val	89,99	10,02	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,01	Au <sub>4</sub> Ag	899	
		Val	89,02	11	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,2	Au <sub>4,4</sub> Ag	888	
		Val/Co-py	87,82	12,17	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,99	Au <sub>4</sub> Ag	878	
		Py	90,52	5,51	< п.о.	< п.о.	< п.о.	96,04	Au <sub>9</sub> Ag	943	
107/19.2 В. Ильдикан	Qtz-she-cob-cp-py-жила (порф.) с примесью сульфотеллурида Bi, тунгстениита	Py	100,0	< п.о.	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,99	Au	1000	
			100,0	< п.о.	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,99	Au	1000	
			85,03	9,05	< п.о.	< п.о.	< п.о.	94,08	Au <sub>5,3</sub> Ag	903	
		Контакт ср & py в каверне на контакте ср & cv	85,71	11,85	< п.о.	< п.о.	< п.о.	97,56	Au <sub>4</sub> Ag	878	
			69,46	25,91	< п.о.	< п.о.	< п.о.	95,37	Au <sub>1,4</sub> Ag	728	
			66,77	29	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,77	Au <sub>1,3</sub> Ag	697	
			77,53	19,79	< п.о.	0,52	< п.о.	99,53	Au <sub>2,3</sub> Ag	796	
			84,57	15,17	0,55	< п.о.	0,52	100,82	Au <sub>3,1</sub> Ag	839	
			78,71	19,81	0,72	0,12	0,5	99,86	Au <sub>2,2</sub> Ag	788	
			69,02	26,28	2,11	0,78	1,12	98,83	Au <sub>1,4</sub> Ag	724	
107/184.5	Апоскарн с ср, py, mgt	Mgt/Co-py	87	13,76	1,81	0,52	1,2	100,77	Au <sub>3,5</sub> Ag	863	
107/294.5	Ср-руда с ро, act	Po	87,38	12,47	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,85	Au <sub>3,8</sub> Ag	875	
107/298.2	Ср-руда с ро, act, di	Ср	82,12	16,61	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,5	Au <sub>2,7</sub> Ag	832	
			83,68	15,69	< п.о.	< п.о.	< п.о.	99,4	Au <sub>3</sub> Ag	842	
			83,72	15,51	0,14	0	0,13	98,87	Au <sub>3</sub> Ag	844	
107/333	Mgt-po-cp-goe-act	Co-py	79,76	19,59	0,03	0	0,02	100,52	Au <sub>2,2</sub> Ag	803	
312-264.5 Быстринский-2	Серпентинизированный скарн с py	Py	Ср	92,12	8,4	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,52	Au <sub>6,1</sub> Ag	916
			85,05	15,28	< п.о.	< п.о.	< п.о.	100,33	Au <sub>3</sub> Ag	848	
			90,49	10,86	< п.о.	< п.о.	< п.о.	101,35	Au <sub>4,5</sub> Ag	893	
			89,74	9,24	< п.о.	< п.о.	< п.о.	98,98	Au <sub>5,3</sub> Ag	906	
			89,85	12,42	< п.о.	< п.о.	< п.о.	102,27	Au <sub>4</sub> Ag	879	

Примечание. < п.о. – ниже предела обнаружения, аст – актинолит, cob – кобальтин, cv – ковеллин, di – диопсид, goe – гётит, mgt – магнетит, qtz – кварц, py – пирит, ро – пирротин, she – шеелит, val – валлериит, порф. – оруденение порфинового типа.

ложениями, т. е. в самой верхней части месторождения. В связи с этим напрашивается вывод, что при формировании месторождения, видимо, существовала прямая зональность в распределении различных генетических типов оруденения, и не исключено появление более богатых золотых и (Mo)-W руд в опущенных менее эродированных блоках залежей, контактирующих с золотоносными апоскарнами.

Горизонтальная зональность Быстринского месторождения, установленная Таусоном и др. [18], выражается в тяготении золотоносной полиметаллической минерализации к периферическим частям рудных залежей.

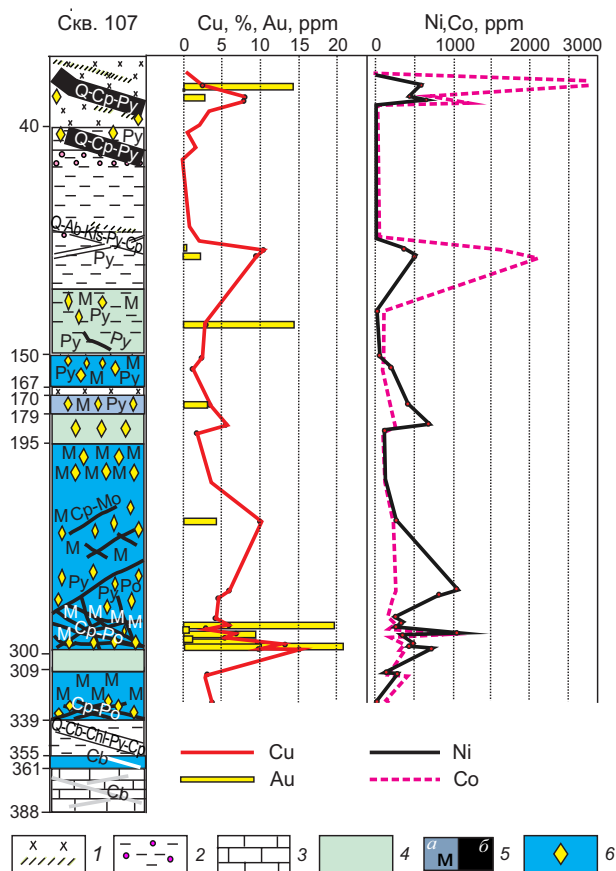
Типоморфная особенность золотой минерализации Быстринского месторождения, а именно резкое преобладание ультратонкого, рассеянного в большинстве рудных минералов в скарнах и апоскарнах самородного золота высокой пробы, приуроченного в основном к сульфидам ранних генераций и ранним минералам скарнов, свидетельствует о том, что, вероятно, основная часть золота отложилась на ранних высокотемпературных этапах процесса минералообразования, близсинхронно или несколько позже кристаллизации сульфидов первых генераций. Такой преимущественно тонкодисперсный характер распределения в основном изометричных золотин скорее всего свидетельствует о незначительном развитии на современном уровне эрозионного среза существенных поздних преобразований. Об этом же говорит факт преобладания в медных золотоносных рудах именно первой высокотемпературной генерации халькопирита с сохранившимся крестовидным сфалеритом, переотложенным лишь в редких случаях. Появление высокотемпературных же минеральных ассоциаций порфирирового типа после внедрения даек приводит к образованию ультратонких высокопробных беспримесных включений золота в пирите, однако появляются и более крупные золотины по контакту пирита и халькопирита и проч., а также прожилковое золото в участках наложенной микротрещиноватости в первичных апоскарновых рудах, что можно рассматривать как перераспределение первичного золота. Переотложение Au с укрупнением его частиц в стадии реализации порфирирового процесса не было широко проявлено, о чём свидетельствует и ста-

тистически резко преобладающее количество изометричного тонкодисперсного золота и отсутствие золотин в кварце.

Крайне бедная и, в основном, пространственно разобщённая с первичным золото-медным оруденением на уровне современного эрозионного среза золотоносная полиметаллическая минерализация также слабо повлияла на раннее золото-медное оруденение в скарнах. Отмечены лишь редкие микровключения галенита в халькопирите-I апоскарнового оруденения, что способствовало, однако, обогащению этого халькопирита золотом, и прожилки сульфидов полиметаллов в жилах порфирирового типа, не содержащие Au.

Процессы гипергенеза способствовали частичному разрушению сульфидов и сульфосолей, содержащих Ag, и его переотложению в самородной форме. Кроме того, в участках развития обогащённых медью гипергенных минералов вдоль каверн и участков трещиноватости, как было показано, пробыность золотин существенно колеблется (с диапазоном до 200 ‰), уменьшаясь по направлению к периферии золотин и участкам трещиноватости, возможно за счёт привноса дополнительного серебра, намного более подвижного в зонах гипергенеза, чем золото. Не исключено гипергенное обогащение золотом гётита и других гипергенных минералов, развивающихся по золотоносным сульфидам. Гипергенное разрушение породообразующих и рудных минералов в участках дренирования рудных тел привело к образованию россыпей. Указывается на возможность криогенного обогащения благородными металлами близповерхностных руд [1].

Особенность морфологии золотин в разностадийных ассоциациях (преобладание тонкого изометричного самородного золота) может свидетельствовать о собственной золотоносности каждой из стадий и, соответственно, как минимум о трёх разностадийных генерациях золота. Одним из выводов на основании результатов изучения особенностей распределения золотин и их морфологии является то, что образование рудных столбов, существенно обогащённых золотом, при современном эрозионном срезе на Быстринском месторождении маловероятно из-за редкой совмещённости и относительно слабой проявленности процессов, влияю-



**Рис. 7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Cu, Au, Co, Ni В ПОРОДАХ И РУДАХ, ВСКРЫТЫХ скв. 107:**

1 – диоритовые порфириды (штриховка – березито-подобные изменения); 2 – песчаники, алевролиты, аргиллиты (кружки – калишпатизация); 3 – известняки; 4 – скарноиды; 5 – скарны с вкрапленным магнетитом (а), с массивными магнетит-пирротин-халькопиритовыми рудами (б); 6 – халькопирит; Мо – молибденит, Kfs-калишпат, Chl – хлорит, Ab – альбит, Po – пирротин; остальные усл. обозн. см. рис. 4

щих на перераспределение и дальнейшее концентрирование золота.

Данное исследование позволяет довольно определённо заявить, что в дискуссии о типе процессов, приведших к возникновению крупного Au-Fe-Cu Быстринского месторождения, предпочтение следует отдать оруденению скарнового типа, о чём свидетельствует комплекс признаков:

- контроль основного Au-Cu-оруденения зонами скарнов и апоскарнов;
- в целом высокое и неравномерное содержание Cu, иногда с массивными текстурами

раннего преобладающего халькопирита-I, что не свойственно медно-порфировым рудам, преимущественно вкрапленно-прожилковым, с более низким (обычно < 1 %) и относительно более равномерным содержанием гипогенной меди;

- присутствие пирротина или псевдоморфоз по нему дисульфидов Fe, что не характерно для руд порфирового типа;
- отсутствие золота в кварце и пр.

Минерализация порфирового типа на уровне современного эрозионного среза имеет подчинённое значение, что выражается в отсутствии промышленных запасов Mo и W (учитывая расположение Быстринского месторождения в металлогенической зоне, специализированной в числе других металлов и на Mo и W), однако продукты поздней золотоносной кварц-сульфидно-редкометальной части этого процесса, по-видимому, на отдельных участках всё же существенно дополняют запасы меди и золота, приуроченные к скарнам, что, в частности, наблюдалось при вскрытии рудных тел скв. 107.

Причиной слабого проявления поздних процессов на месторождении с его разнообразным полихронным магматизмом и тектоникой и, соответственно, высоким флюидным потенциалом, возможно, является денудация Быстринского месторождения, оставившая только его средние и нижние части, о чём могут свидетельствовать существующие россыпи с укрупнённым (по сравнению с изученным нами) самородным золотом.

Слабое развитие поздних процессов, при которых появляются такие нежелательные примеси, как As, Hg и др., обусловило незначительное количество сопутствующих токсичных элементов в составе рудной массы.

Источник вещества при формировании этого месторождения, очевидно, комплексный, о чём могут свидетельствовать утяжелённые значения  $\delta S^{34}$  (в среднем  $\approx +10,5$  ‰ с незначительными вариациями) во всех сульфидах ( $n = 31$ ) [10].

**Выводы:**

1.Общей типоморфной особенностью самородного золота месторождения является преобладающий тонкорассеянный характер, преимущественно в сульфидах.

2.Наиболее информативной типоморфной характеристикой самородного золота месторождения является пробность, высокая для ранней

высокотемпературной скарново-порфировой минерализации и средняя для поздней полиметаллической.

3. Вариации пробности, проявленные в каждом из генетических типов, являются функцией нескольких факторов: а) глубины локализации самородного золота, б) степени проникновения поверхностных вод, в) состава (содержания Ag) минерала-матрицы.

Авторы благодарят Б. И. Гонгальского, А. В. Волкова и В. Ю. Прокофьева за предоставленные образцы, О. Ю. Плотинскую за успешно проведенные полевые работы и П. А. Неволько за очень полезные консультации. Выражаем признательность рецензенту, конструктивные замечания которого способствовали совершенствованию текста статьи.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проекты 18-05-00673 и 19-05-00476.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С. М. Золото в процессах эндогенного и гипергенного изменения сульфидов в магнезиальных скарнах // Геохимия. – 2007. – № 2. – С. 180–198.
2. Александров С. М., Тронева М. А. Генезис и состав боратов серии людвигита-вонсенита в магнезиальных скарнах Урала, Сибири и Дальнего Востока // Геохимия. – 2004. – № 5. – С. 525–543.
3. Берзина А. П., Берзина А. Н., Гимон В. О. [и др.]. Шахтаминская Мо-порфировая рудно-магматическая система (Восточное Забайкалье): возраст, источники, генетические особенности // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 6. – С. 764–786.
4. Бессонов Н. Н. Выделение молибден-медно-порфирового типа оруденения на территории юго-восточного Забайкалья // Вестник Читинского государственного университета. – 2009. – № 1. – С. 12–17.
5. Воробьев Ю. К. Изучение фазовых превращений в сульфидах с помощью высокотемпературного рудного микроскопа // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1986. – Вып. 2. – С. 235–240.
6. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Книга 1. – М.: Недра, 1990. – 328 с.
7. Зорин Ю. А., Беличенко В. Г., Рутштейн И. Г. [и др.]. Геодинамика западной части Монголо-Охотского складчатого пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39 (11). – С. 1578–1586.
8. Кантор М. З. Особенности скарнов Забайкалья и задачи их изучения // Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья. – М.: Недра, 1967. – С. 141–163.
9. Киселева Г. Д., Коваленкер В. А., Трубкин Н. В. Гипогенная и гипергенная золотосеребряная минерализация на Au-Mo(W)-порфировом Бугдаинском месторождении // Материалы конференции к 100-летию Н. В. Петровской. – М.: ИГЕМ РАН, 2010. – С. 246–248.
10. Коваленкер В. А., Абрамов С. С., Киселева Г. Д. [и др.]. Золотоносные порфировые и порфирово-скарновые системы Восточного Забайкалья // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 85-летию ИГЕМ РАН. – 2015. – С. 128–129.
11. Коваленкер В. А., Абрамов С. С., Киселева Г. Д. [и др.]. Крупное Cu-Au-Fe Быстринское месторождение (Восточное Забайкалье) – первый в России пример ассоциированной с адакитами скарново-порфировой рудообразующей системы // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 488, № 5. – С. 547–552.
12. Коваленкер В. А., Киселева Г. Д., Крылова Т. Л., Андреева О. В. Минералогия и условия формирования руд золотоносного W-Mo-порфирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 107–142.
13. Коваленкер В. А., Плотинская О. Ю., Киселева Г. Д. [и др.]. Шеелит скарново-порфирового Cu-Ag-Fe месторождения Быстринское (Восточное Забайкалье, Россия): генетические следствия // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 6. – С. 67–88.
14. Коваленкер В. А., Трубкин Н. В., Абрамова В. Д. [и др.]. Типоморфные характеристики молибденита Быстринского Cu-Au-скарново-порфирового месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 1. – С. 68–90.
15. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 2006. – С. 129–149.
16. Спиридонов Э. М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвященной 80-летию Кольского НЦ РАН. – Апатиты: К & М, 2010. – С. 143–171.

17. Таусон В. Л., Кравцова Р. Г., Гребенщикова В. И. Типохимизм поверхности кристаллов пирита золоторудных месторождений // Доклады академии наук. – 2004. – Т. 399. – С. 673–677.
18. Таусон Л. В., Баумштейн В. И., Зорина Л. Д. Геохимические поля Быстринского рудного узла // Геология рудных месторождений. – 1985. – № 5. – С. 34–44.
19. Фёдорова А. А., Чернышева Н. Е. Особенности формирования метасоматических образований и руд на Быстринском золото-железо-медном месторождении Восточного Забайкалья // Вестник Читинского государственного университета. – 2009. – № 1 (52). – С. 136–143.
20. Харитонов Ю. Ф., Четкин В. Е., Шевчук Г. А. и др. Минерально-сырьевые ресурсы Читинской области. – Чита, 2003. – С. 84–87.
21. Языкова Ю. И., Трубкин Н. В. О составе и ассоциациях самородного золота в рудах скарнового месторождения Быстринское (Восточное Забайкалье) // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н. В. Петровской. – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – Т. 2. – С. 321–323.
22. Ярмолюк В. В., Коваленко В. И., Кузьмин М. И. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика // Геотектоника. – 2000. – № 5. – С. 3–29.
23. Palenic C. S., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S. E., Wang L. & Ewing R. C. «Invisible» gold revealed: Direct imaging of gold nanoparticles in a Carlin-type deposit // American Mineralogist. – 2004. – V. 89. – pp. 1359–1366.

## REFERENCES

1. Aleksandrov S. M. Zoloto v protsessakh endogenno-go i gipergennogo izmeneniya sul'fidov v magnezial'nykh skarnakh [Gold in the processes of endogenous and hypergenic changes in sulfides in magnesian skarns], *Geokhimiya [Geochemistry International]*, 2007, No 2, pp. 180–198. (In Russ.).
2. Aleksandrov S. M., Troneva M. A. Genesis i sostav boratov serii lyudvigita-vonsenita v magnezial'nykh skarnakh Urala, Sibiri i Dal'nego Vostoka [Genesis and composition of borates of the ludwigite-wonsenite series in magnesian skarns of the Urals, Siberia and the Far East], *Geokhimiya [Geochemistry International]*, 2004, No 5, pp. 525–543. (In Russ.).
3. Berzina A. P., Berzina A. N., Gimon V. O., Krymskii R. Sh., Larionov A. N., Nikolaeva I. V., Serov P. A. Shakhtaminskaya Mo-porfirovaya rudno-magmaticheskaya sistema (Vostochnoe Zabaikal'e): vozrast, istochniki, geneticheskie osobennosti [Shakhtaminsk Mo-porphyry ore-magmatic system (Eastern Transbaikalia): age, sources, genetic features], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 2013, V. 54, No 6, pp. 764–786. (In Russ.).
4. Bessonov N. N. Vydelenie molibden-medno-porfirovogo tipa orudneniya na territorii yugo-vostochnogo Zabaikal'ya [Isolation of a molybdenum-copper-porphyry mineralization type in the territory of southeastern Transbaikalia], *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Chita State University]*, 2009, No 1, pp. 12–17. (In Russ.).
5. Vorob'ev Yu. K. Izuchenie fazovykh prevrashchenii v sul'fidakh s pomoshch'yu vysokotemperaturnogo rudnogo mikroskopa [The study of phase transformations in sulfides using a high-temperature ore microscope], *Zapiski vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, 1986, V. 2, pp. 235–240. (In Russ.).
6. Zonenshain L. P., Kuz'min M. I., Natapov L. M. Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. Kniga 1 [Tectonics of lithospheric plates of the USSR. Book 1], Moscow, Nedra Publ., 1990, 328 p.
7. Zorin Yu. A., Belichenko V. G., Rutshtein I. G., Zorina L. D., Spiridonov A. M. Geodinamika zapadnoi chasti Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa i tektonicheskaya pozitsiya rudnykh proyavlenii zolota v Zabaikal'e [Geodynamics of the western part of the Mongol-Okhotsk fold belt and tectonic position of gold ore occurrences in Transbaikalia], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1998, V. 39 (11), pp. 1578–1586. (In Russ.).
8. Kantor M. Z. Osobennosti skarnov Zabaikal'ya i zadachi ikh izucheniya [Features of skarns of Transbaikalia and tasks of their study], *Voprosy rudonosnosti Vostochnogo Zabaikal'ya [Ore Issues in Eastern Transbaikalia]*, Moscow, Nedra Publ., 1967, pp. 141–163.
9. Kiseleva G. D., Kovalenker V. A., Trubkin N. V. Gipogennaya i gipergennaya zolotoserebryanaya mineralizatsiya na Au-Mo(W)-porfirovom Bugdainskom mestorozhdenii [Hypogenic and hypergenic gold-silver mineralization at the Au-Mo(W)-porphyry Bugdain deposit], *Materialy konferentsii k 100-letiyu N. V. Petrovskoi [Conference proceedings on the 100th anniversary of N. V. Petrovskaya]*, Moscow, IГЕМ РАН Publ., 2010, pp. 246–248.



10. Kovalenker V. A., Abramov S. S., Kiseleva G. D., Kossova S. A., Krylova T. L., Yazykova Yu. I. Zolotonosnye porfirovye i porfirovo-skarnovye sistemy Vostochnogo Zabaikal'ya [Gold-bearing porphyry and porphyry-skarn systems of East Transbaikalia], *Materialy Vserossiiskoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu IGEM RAN [Materials of the All-Russian Conference dedicated to the 85th anniversary of IGEM RAS]*, 2015, pp. 128–129.
11. Kovalenker V. A., Abramov S. S., Kiseleva G. D., Krylova T. L., Yazykova Yu. I., Bortnikov N. S. Krupnoe Cu-Au-Fe Bystrinskoe mestorozhdenie (Vostochnoe Zabaikal'e) – pervyi v Rossii primer assotsirovannoi s adakitami skarnovo-porfirovoi rudoobrazuyushchei sistemy [The large Cu-Au-Fe Bystrinskoye deposit (East Transbaikalia) is the first Russian example of a skarn-porphyry ore-forming system associated with adakites], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2016, V. 488, No 5, pp. 547–552. (In Russ.).
12. Kovalenker V. A., Kiseleva G. D., Krylova T. L., Andreeva O. V. Mineralogiya i usloviya formirovaniya rud zolotonosnogo W-Mo-porfirovogo Bugdainskogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaikal'e, Rossiya) [Mineralogy and conditions for the formation of ores of the gold-bearing W-Mo-porphyry Bugdainsky deposit (Eastern Transbaikalia, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 2011, V. 53, No 2, pp. 107–142. (In Russ.).
13. Kovalenker V. A., Plotinskaya O. Yu., Kiseleva G. D., Minervina E. A., Borisovskii S. E., Zhilicheva O. M., Yazykova Yu. I. Sheelit skarnovo-porfirovogo Su-Ag-Fe mestorozhdeniya Bystrinskoe (Vostochnoe Zabaikal'e, Rossiya): geneticheskie sledstviya [Scheelite of the skarn-porphyry Cu-Ag-Fe deposit of Bystrinskoye (East Transbaikalia, Russia): genetic consequences], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 2019, V. 61, No 6, pp. 67–88. (In Russ.).
14. Kovalenker V. A., Trubkin N. V., Abramova V. D., Plotinskaya O. Yu., Kiseleva G. D., Borisovskii S. E., Yazykova Yu. I. Tipomorfnye kharakteristiki molibdenita Bystrinskogo Su-Au-skarnovo-porfirovogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaikal'e, Rossiya) [Typomorphic characteristics of molybdenite of the Bystrinsky Cu-Au-skarn-porphyry deposit (Eastern Transbaikalia, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 2018, V. 60, No 1, pp. 68–90. (In Russ.).
15. Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitaev N. A. Zolotonosnye rudno-magmaticheskie sistemy Zabaikal'ya [Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia], Novosibirsk, Nauka Publ., 2006, pp. 129–149.
16. Spiridonov E. M. Obzor mineralogii zolota v vedushchikh tipakh Au mineralizatsii [A review of gold mineralogy in the leading types of Au mineralization], *Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov. Trudy Vserossiiskoi (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu Kol'skogo NTs RAN [Gold of the Kola Peninsula and adjacent regions. Proceedings of the All-Russian (with international participation) scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Kola Science Center RAS]*, Apatity, K & M Publ., 2010, pp. 143–171.
17. Tauson V. L., Kravtsova R. G., Grebenshchikova V. I. Tipokhimizm poverkhnosti kristallov pirita zolotrudnykh mestorozhdenii [Typochemism of the surface of pyrite crystals of gold deposits], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2004, V. 399, pp. 673–677. (In Russ.).
18. Tauson L. V., Baumshtein V. I., Zorina L. D. Geokhimicheskie polya Bystrinskogo rudnogo uzla [Geochemical fields of the Bystrinsky ore cluster], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 1985, No 5, pp. 34–44. (In Russ.).
19. Fedorova A. A., Chernysheva N. E. Osobennosti formirovaniya metasomaticheskikh obrazovaniy i rud na Bystrinskom zoloto-zhelezo-mednom mestorozhdenii Vostochnogo Zabaikal'ya [Features of the formation of metasomatic formations and ores in the Bystrinsky gold-iron-copper deposit of East Transbaikalia], *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Chita State University]*, 2009, No 1 (52), pp. 136–143. (In Russ.).
20. Kharitonov Yu. F., Chechetkin V. E., Shevchuk G. A. i dr. Mineral'no-syr'evye resursy Chitinskoj oblasti [Mineral resources of the Chita region], Chita, 2003, pp. 84–87.
21. Yazykova Yu. I., Trubkin N. V. O sostave i assotsiatsiyakh samorodnogo zolota v rudakh skarnovogo mestorozhdeniya Bystrinskoe (Vostochnoe Zabaikal'e) [About the composition and associations of native gold in ores of the Bystrinskoye skarn deposit (East Transbaikalia)], *Materialy Vserossiiskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu N. V. Petrovskoi [Materials of the All-Russian Conference dedicated to the 100th anniversary of N. V. Petrovskaya]*, Moscow, IGEM RAN Publ., 2010, V. 2, pp. 321–323.
22. Yarmolyuk V. V., Kovalenko V. I., Kuz'min M. I. Severo-Aziatskii superplyum v fanerozoje: magmatizm i glubinnaya geodinamika [North-Asian superplume in Phanerozoic: magmatism and deep geodynamics], *Geotektonika [Geotectonics]*, 2000, No 5, pp. 3–29. (In Russ.).

23. Palenic C. S., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S. E., Wang L. & Ewing R. C. "Invisible" gold revealed: Direct ima-

ging of gold nanoparticles in a Carlin-type deposit, American Mineralogist, 2004, V. 89, pp. 1359–1366.

## NATIVE GOLD TYPOMORPHISM AS INDICATOR OF VARIOUS TYPES OF MINERALIZATION OF LARGE SCARN-PORPHYRY Au-Fe-Cu DEPOSIT BYSTRINSKOE, EASTERN TRANSBAIKALIA

Kiseleva G. D. (PhD in geology and mineralogy, researcher)

Yazykova Yu. I. (junior researcher)

Kovalenker V. A. (doctor of geological and mineralogical sciences, chief researcher)

Trubkin N. V. (PhD in geology and mineralogy, leading researcher)

Borisovsky S. E. (PhD in geology and mineralogy, senior researcher)

FSBII «Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences», Moscow

*The paper makes up for the lack of publications on one of the main industrial components of the Bystrinskoye deposit - gold. The features of the distribution of native gold in ores, the frequency of gold formation in various matrix minerals, compositional variations, morphology and particle size distribution are established. It has been shown that the deposition of native gold is associated with all stages of the process of mineral formation: aposcarnic, porphyry and pyrite. The most informative typomorphic characteristic of native gold is composition: the dependence of fineness on the belonging of native gold to one or another part of the mineral formation process and partly on the depth of localization of gold mineralization is noted. The regularities of the enrichment of certain sections of ores with gold, rare for the deposit, were revealed. They are confined to zones of fracture and processing of primary ores during the application of late processes. A mineral indicator of gold enrichment is the coexistence of pyrite-chalcopyrite and magnetite aggregates, preferably in serpentinized aposcarns with minerals replacing them. Among them there may occur valeriitis, chalcopyrite and magnetite of subsequent generations (including W-magnetite), pyrite (especially Co-pyrite), sulfotellurides Bi, sulfides, sulfosalts, etc., which indicates the processing of primary concentrations of Au. The geochemical markers of gold-enriched ores - increasing contents of Mg, Cu, Co, Ag, Zn, W, Bi, Te, S, Pb, As, Sb, Hg in the ores - indicate the combination of all the processes that appear in the deposit that contribute to the concentration of Au.*

*Keywords: skarn-porphyry mineralization, native gold, typomorphism, fineness, zonality, ore concentration indicators.*