

О РОЛИ ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ БОГАТЫХ РУД И РУДНЫХ СТОЛБОВ В ЖИЛЬНЫХ ТЕЛАХ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОКУР (ПРИАМУРЬЕ, РОССИЯ)

Н.С. Остапенко, О.Н. Нерода

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия; e-mail: ostapenko_ns@mail.ru

Поступила в редакцию 10 сентября 2024 г.

В статье на примере малосульфидного золото-кварцевого месторождения Токур рассматривается длительно дискутируемая проблема генезиса и соотношений первичных и вторичных рудных столбов на малосульфидных золото-кварцевых месторождениях (с содержаниями сульфидов 0.5–2.5 %) как основа оценки их перспектив и выбора стратегии разведки или доразведки рудных объектов этого формационного типа. Исследованиями авторов установлено, что самородное золото из первичных и окисленных руд жильных тел этого месторождения по размерам индивидов, первичным минеральным парагенезисам, пространственному распределению золота в жильных телах и составу в нём флюидных включений идентично. То есть, богатое золото окисленных руд этого месторождения на приповерхностных уровнях тоже было сформировано на гидротермальном этапе. Экономически важные его вторичные концентрации в зоне окисления по причинам низких содержаний дисперсного золота в сульфидах первичных малосульфидных руд (в среднем, на уровне 15–35 г/т) и малых количеств сульфидов в таких рудных телах практически не возникают. Следовательно, обнаруживаемые на малосульфидных месторождениях выходы на поверхность богатых золотом окисленных руд, с большой долей вероятности, следует считать надежными индикаторами локализации в них первичных рудных столбов и, следовательно, перспективности этих жильных тел на глубину. Это важно учитывать при выборе направлений дальнейшей глубинной разведки и доразведки таких рудных объектов, ранее эксплуатировавшихся лишь на близповерхностных уровнях. По результатам проведенных исследований распределения золота в большом числе вскрытых эрозией и «слепых» жильных тел этого месторождения обоснована пространственно-генетическая связь формирования первичных золоторудных столбов с участками максимальных раскрытий полостей, каковыми являлись раздувы мощности этих тел. Раскрытие полостей приводило к резким снижениям в них давления флюида, пересыщению его золотом и изменению форм его переноса. Полагаем, что перенос золота флюидами от мест начала резких снижений давления на более высокие уровни локализации рудных столбов происходил не только в форме растворимых комплексов, но и в твердофазной форме по механизму его естественной газовой флотации, с формированием нанозарождений гидрофобного золота и их ассоциатов «Au_{кр} + пузырьки газа» на испарительных барьерах по перифериям выделявшихся и растущих газовых пузырьков при кипении, гетерогенизации, дегазации и пересыщениях флюида золотом, газами и другими компонентами. Этот механизм эффективного твердофазного переноса золота в процессе рудообразования смоделирован нами в лабораторных экспериментах.

Ключевые слова: первичные и окисленные руды, золоторудные столбы, факторы рудолокализации, формы переноса золота флюидами, ассоциаты «Au_{кр} + пузырьки газа», естественная газовая флотация золота, Приамурье.

ВВЕДЕНИЕ

Верхнеселемджинский рудный район (ВСР) Приамурья до начала 20-х годов прошлого века считался крупным золото-россыпным [3]. К этому времени в процессе активной отработки старательскими артелями россыпей на его территории в бассейнах некоторых

золотоносных водотоков в делювиальных свалах были обнаружены обломки жильного кварца с видимым золотом. На таких участках старателями были выявлены и попутно с россыпями отрабатывались первые богатые золотоносные кварцевые жилы. В последующие годы при системном проведении геологического изучения и опоскования на рудное золото этой терри-

тории были выявлены, затем разведаны и вовлекались недропользователями в отработку жильные тела Харгинского, Унгличанского, Ясенского, Сагурского, Поискового, Ворошиловского, Токурского, Иннокентьевского и Тарнахского золоторудных месторождений с окисленными рудами.

Отработки старателями богатых участков окисленных руд первых из обнаруженных золотоносных жил велись ямным способом до глубин 10–15, иногда 25 м. На этих глубинах, при обозначившихся снижениях содержания золота на глубину, разработки жил обычно прекращались. В дальнейшем у изучавших месторождения золота геологов и недропользователей, а также у некоторых исследователей возобладало мнение о повышенной золотоносности жильных тел, в основном, в нижних частях зон окисления за счет выщелачивания сульфидов и гипергенного перераспределения и обогащения первичных руд вторичным золотом. Обоснование гипергенного генезиса богатых руд в жилах многих малосульфидных месторождений золота в регионах Востока России, в том числе и в ВСР на месторождении Токур в интервале отметок 730–780 м, и настоятельные рекомендации отрабатывать в них только богатые окисленные руды приведены Н.В. Нестеровым в работах [9, 10]. Возможно и по этой причине многие из указанных месторождений, а также рудопроявлений на территории ВСР, в том числе частично отрабатывавшиеся в различные годы только с поверхности, до настоящего времени остаются неоцененными и недоразведанными на глубину.

Однако современный опыт разведок и отработок золоторудных месторождений различных регионов мира малосульфидной золото-кварцевой формации свидетельствует о следующем: 1) на более детально разведанных на глубину месторождениях высокие содержания золота присутствуют как в приповерхностных окисленных, так и в первичных типах руд до глубин 0.5–1.5 км и более; 2) для многих месторождений вполне обычным является преобладание количеств добытого золота из первичных руд над добытым из окисленных руд. Этот опыт диктует целесообразность проведения оценок перспектив и разведки месторождений золота малосульфидной формации, особенно с аномально богатыми окисленными рудами на приповерхностных горизонтах, на более значительные глубины, с обязательным учетом установленных для каждого из них геолого-структурных обстановок и факторов, благоприятствовавших рудолокализации. В последние десятилетия в Приамурье в стадиях отработки, доразведки и переоценки находились и находятся лишь некоторые золоторудные месторождения Верхнего и Среднего Приамурья, расположенные на территориях наиболее изученных золотоносных уз-

лов и рудных полей – Токурского, Харгинского, Маломирского, Пионерского, Березитового и некоторых других.

На выявленном в 1939 году в ВСР месторождении Токур по 1991 г. велась активная разведка и шахтная отработка жильных тел с окисленными и первичными малосульфидными золото-кварцевыми рудами. Многие из них, по нашим оценкам (Остапенко Н.С., 1987 г.) и позднее [11, 12, 20, 30], до настоящего времени остаются недоразведанными на глубину и фланги. Именно на основе анализа материалов отработки до относительно больших глубин (200–350 м от поверхности) лишь некоторых крупных жильных тел с малосульфидными рудами Токурского и Харгинского месторождений, а также результатов изучения зональности околорудных геохимических ореолов жильных тел [11], нами ещё в 1980-х годах были обоснованы выводы о столбовом распределении золота в жильных телах на отмеченных глубинах, о вертикальной зональности и о вероятной перспективности первичных руд на значительно большие глубины [14]. При этом было установлено, что рудные столбы выходящих на поверхность жильных тел этих месторождений погружаются по их падению на значительные глубины ниже зоны окисленных руд. Некоторые особенности генезиса богатых руд этого месторождения обсуждались в [4]. Авторами этой публикации было отмечено, что богатые руды в жильных телах месторождения Токур формировались вблизи послерудных штоков диоритов в результате их теплового воздействия, с перераспределением ранее отложенного золота. Однако, как показано нами далее, рудные столбы в жильных телах формировались и при отсутствии их пересечений штоками, например, на восточном фланге жилы Первая, в жиле Октябрьская-IV, в жиле 160; либо вдали от штока – в жиле 495. И, наоборот, многие жилы на пересечении со штоками не сопровождаются богатыми рудными столбами. Так, западный фланг жилы Первая пересечён пятью штоками диоритов. Два верхних из них размещаются вдали от рудного столба, а остальные три – на его флангах. Причём, большие размеры этого рудного столба не соответствуют размерам штоков. Очевидно, помимо отмеченных причин (контактового метаморфизма и предполагаемого [9] гипергенного обогащения руд), есть и иные причины и факторы, благоприятствовавшие формированию в жильных телах рудных столбов и бананцев.

Целями наших многолетних исследований золоторудных месторождений в Приамурье и в ВСР, в связи с неполной ясностью их генезиса, являлись изучение первичных минеральных парагенезисов и их распределение в жильных телах, в том числе и в окисленных рудах; форм нахождения золота в рудах; рас-

пределение золота в первичных и окисленных рудах, особенно наиболее разведанного на глубину месторождения Токур. На основе анализа полученных результатов исследований мы посчитали необходимым уточнить роль эндогенных и экзогенных факторов в формировании рудных столбов. Это имеет важное значение для обоснования стратегии доразведки этого и многих других рудных объектов, особенно некогда частично отработывавшихся в регионе лишь на приповерхностных уровнях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При многолетних исследованиях этого и других золоторудных месторождений ВСР нами использованы полевые методы изучения условий залегания рудных тел, вскрытых поверхностными и подземными выработками, их минералогического состава и морфологии. Проводился отбор образцов и проб из руд и вмещающих пород для макро- и микроскопического изучения состава их минеральных парагенезисов; аналитических определений спектральными и спектрохимическими методами фоновых характеристик вмещающих пород и привнесенных флюидами количеств химических элементов во вмещающие породы, метасоматиты и рудные тела, а также стадийности минералообразования. По образцам и пробам из первичных и окисленных руд во флюидных включениях в кварцах разных стадий, сульфидах и в самородном золоте изучен состав рудообразующих флюидов и его изменение в гидротермальном процессе. Образцы прошли кислотную очистку от пленок и вростков, многократную последующую промывку бидистиллятом H_2O с подогревом до 40–50 °С с активным перемешиванием. Определения компонентного состава рудоформирующих флюидов выполнены стандартными методами анализа тройных водных вытяжек солевых компонентов и хроматографического анализа содержаний воды и газовых компонентов, детально описанными в [5]. Флюидные включения в самородном золоте вскрывали термически в вакууме (использован вакуумный декрепитометр ВД-3 конструкции Ростовского университета) нагревом проб в интервале температур 150–380 °С*, с выдержкой 12 минут при максимальной температуре. Газовую фазу анализировали на хроматографе ЛХМ–8МД. Концентрации солевых компонентов в водных вытяжках определяли с использованием ионно-селективных электродов и титрования. Методом вакуумной декрепитации мине-

ралов уточнены температурные условия рудолокализации на продуктивной стадии [12, 13, 15]. Методом $^{40}Ar/^{39}Ar$ хронометрии по адуляру из продуктивного парагенезиса руд, в соавторстве с А.А. Сорокиным и другими исследователями [29], установлено время отложения в рудах парагенного с адуляром самородного золота (122 ± 2 млн лет). В дополнение к этому для изучения особенностей распределения золота и особенно богатых руд в жильных телах месторождения Токур на горизонтах вскрытия окисленных и первичных руд для девяти изучавшихся частично эродированных и «слепых» жильных тел нами были привлечены результаты пробирных анализов забойных проб, отобранных рудничными геологами на этапах их разведки и отработки. В процессе исследования генезиса богатых руд рудных столбов на золоторудных месторождениях нами была выдвинута гипотеза о переносе гидротермами золота не только в растворимых формах, но и в твердофазной форме по механизму естественной газовой флотации зарождений его наночастиц. Реальность этого механизма переноса на участках гетерогенизации и пересыщения флюида золотом смоделирована в лабораторных экспериментах [8, 21]. Появлявшиеся у авторов в процессе проведения исследований по проблеме формирования малосульфидной золото-кварцевой минерализации новые результаты по отдельным вопросам генезиса рудных объектов своевременно публиковались [11, 12, 15, 19, 20]. В данной статье на основе обобщения новых и ранее опубликованных собственных результатов исследования и материалов предшественников по указанной проблеме нами сделаны обоснованные выводы генетического характера и практического значения.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И РУДОЛОКАЛИЗАЦИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТОКУР

Месторождение Токур локализовано в северо-восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса (МОСП) (рис. 1) среди дислоцированных терригенных пород верхнего палеозоя [1, 29, 30] Тукурингро-Джагдинского террейна. Большая часть жильных тел этого месторождения (рис. 2) сконцентрирована в южном крыле широтно ориентированной крупной Челогорской антиклинали** и залегает субсогласно с напластованием пород осадочной толщи. Лишь на отдельных участках месторождения, с осложняющей мелкой складчатостью, некоторые жильные тела

*Указан температурный интервал пика газовой выделения из флюидных включений в серии образцов (навесок) самородного золота месторождения Токур по данным их предварительной вакуумной декрепитации.

**Её осевая линия на рис. 2 проходит в 400–500 м севернее субширотного рудоконтролирующего разлома Главного.

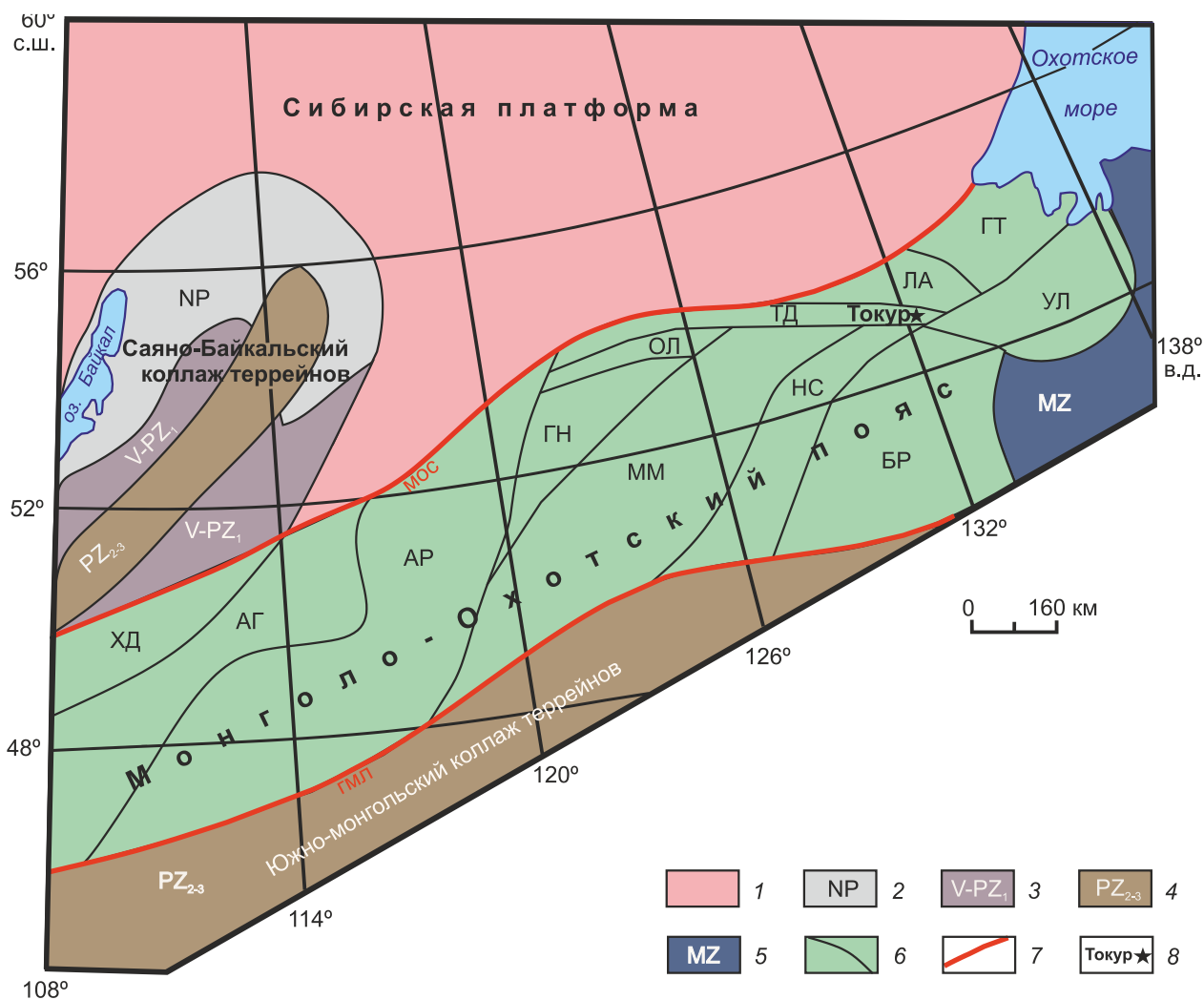


Рис. 1. Схема тектонического районирования МОСП и смежных структур южного обрамления Сибирской платформы, по И.В. Гордиенко и др. [1], с упрощениями.

1 – Сибирская платформа; 2–4 – прилегающие аккреационно-коллизонные системы: 2 – байкальские (NP); 3 – каледонские (V-PZ₁); 4 – герцинские (PZ₂₋₃); 5 – киммерийские (MZ) Сихотэ-Алиньского орогенного пояса; 6 – коллаж террейнов Монголо-Охотского пояса и их границы: АГ – Агинский, АР – Аргунский, БР – Буреинский, ГТ – Галамско-Тугурский, ЛА – Ланский, НС – Нора-Сухотинский, ОЛ – Ольдойский, ГН – Гонжинский, ММ – Мамынский, ТД – Тукурингро-Джагдинский, УЛ – Ульбанский, ХД – Хэнтэй-Даурский; 7 – крупные системы разломов: МОС – Монголо-Охотская, ГМЛ – Главный Монгольский линеймент; 8 – местоположение месторождения Токур.

(или их апофизы) секут слоистость пород под острыми углами к их падению или простиранию. Практически все выявленные экономически значимые жилы месторождения располагаются в висячем крыле продольно секущего Челогорскую антиклиналь рудоконтролирующего субширотного Главного разлома [30], проходящего вблизи (немного южнее) осевой плоскости антиклинали и погружающегося на юг под углами 30°–45°. Жильные тела месторождения размещаются в широтной серии тектонических блоков пород, составляющих южное крыло этого разлома, разграниченных субмеридиональными (поперечными) крутопадающими предрудными сбросами, и образуют не-

сколько параллельных сближенных жильных систем (рис. 2). В западном направлении жилы и жильные системы постепенно сближаются с рудоконтролирующим Главным разломом. Они залегают, в основном, в породах нижележащей токурской свиты существенно песчаникового состава с маломощными прослоями аргиллитов и алевролитов и, частично, в породах основания вышележащей мощной толщи флишоидов экимчанской свиты с отдельными крупными пластами песчаников, под экраном перекрывающей их толщи алевролитов и аргиллитов ее верхней части [30].

Золотоносные кварцевые жилы имеют мощность от 10–20 см до 1.0–1.2 м. Протяженность их по лате-

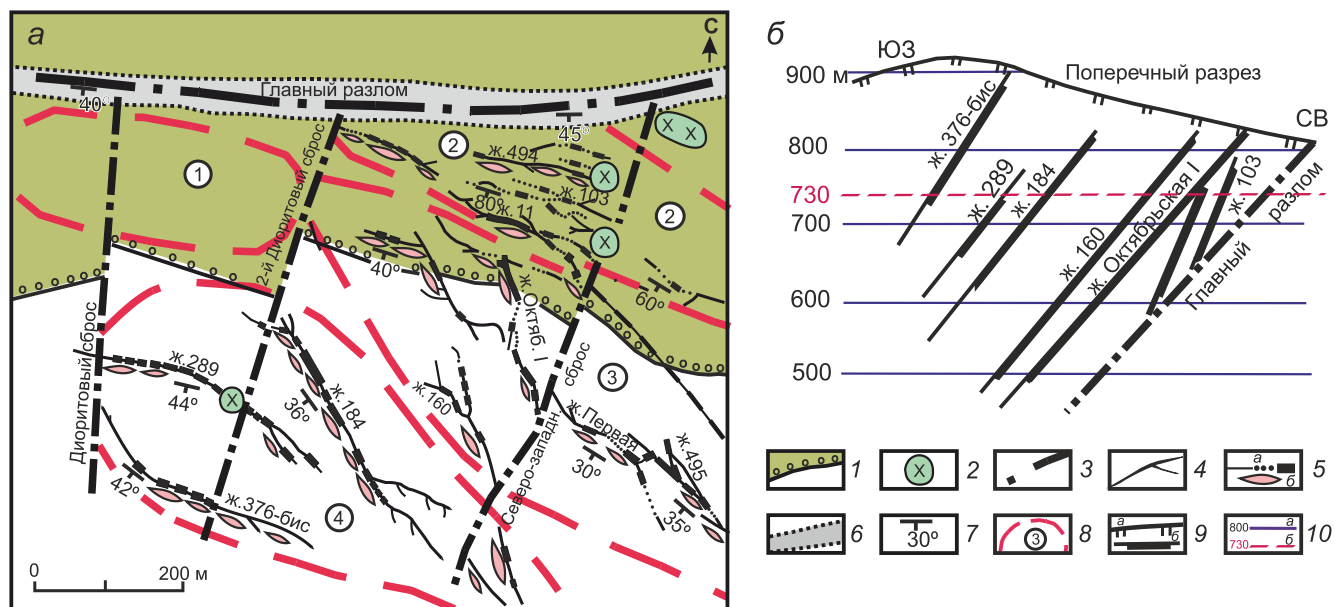


Рис. 2. Жильные системы и морфология жил центральной части месторождения Токур, гор. 700 м (а) и схематический поперечный разрез (б).

а: 1 – граница раздела толщ пород песчаниковой (севернее) и флишеидно-аргиллитовой с пластами песчаников (южнее границы) токурской и экимчанской свит, соответственно; 2 – штоки диоритов; 3 – основные разломы; 4 – кварцевые жилы; 5 – содержания золота в жилах (бедные, рядовые, богатые) (а) и раздувы мощности (более 0.3–1.0 м) (б); 6 – зона окварцевания и вкрапленной сульфидной минерализации Главного разлома; 7 – углы залегания разломов и жильных тел; 8 – группы взаимосвязанных жильных систем (цифры в кругах): 1 – жила Северная и «слепые» жилы, располагающиеся ниже горизонта 700 м; 2 – крутопадающие жилы №№ 11, 103, 494 и др.; 3 – жилы Октябрьские I–IV, №№ 160, 495 и Первая; 4 – жилы №№ 184, 289, 376-бис.

б: 9 – поверхность (а); жилы и рудные столбы (б); 10 – горизонты разведки (а) и предполагаемая Н.В. Нестеровым [9] нижняя граница горизонта вторичного обогащения жильных тел золотом (б).

рали и погружению достигает от 150 до 500 м, но выкликивание на глубине многих из них не было достигнуто. Жилы обычно имеют кулисное и четковидное строение (рис. 2). Некоторые из них сопровождаются апофизами и ветвятся на флангах или по восставанию.

Жильные тела на 80–95 % сложены кварцем нескольких генераций, карбонатами 1–5 % и обломками вмещающих пород – 5–15 %. Вкрапленность рудных минералов представлена пиритом, арсенопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, самородным золотом. Общее количество сульфидов 0.5–2.5 %. Текстуры руд чаще брекчиевые, иногда полосчатые и массивные. Наиболее богатые и крупные жилы обычно размещаются в приосевых частях широтной серии тектоноблоков центральной части месторождения. К ограничивающим тектоноблоки крутозалегающим поперечным сбросам мощности жил и содержания в них золота обычно снижаются. Фланговые тектоноблоки месторождения не разведаны.

В Токурском золотоносном узле и в рудном поле широко распространены послерудные малые интрузии, представленные дайками плагипорфиров, диабазовых и диоритовых порфиров, штоками кварцевых диори-

тов и единичными более крупными телами трахириодацитов раннемелового возраста. По геофизическим данным [26], на глубинах 1.5–2 км от поверхности располагается кровля гранитоидного батолита. По существующим представлениям, месторождение связано с гидротермальными процессами, сопровождавшими мезозойский магматизм. Особенно широко на месторождении распространены послерудные дайки порфиров, контролируемые крутозалегающими субмеридиональными сбросами. Дайки без серьезных смещений пересекают жильные тела, а штоки метаморфизируют жильное выполнение вблизи их контактов [5, 30] и образуют ореолы ороговикования вмещающих пород

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОКУР

Стадийность формирования золотоносных кварцевых жил. Жильные тела месторождения формировались длительно в условиях динамичного развития проницаемых для флюидов опоряющих нарушений, возникших при тектонических подвижках по рудоконтролирующему Главному разлому, вследствие срывов контактов пластов пород различной компетентности, а также появления сколовых трещин при

надвигах и сдвигах блоков пород преимущественно в его южном крыле. Окварцованные тектониты в таких зонах и наложенная на них последующая жильная минерализация имеют признаки неоднократного брекчирования.

Жильные тела формировались в три стадии. Последовательность формирования слагающих их минеральных парагенезиса отражена на рисунках 3–6.

В *стадию 1* происходило метасоматическое окварцевание тектонически нарушенных вмещающих пород (парагенезис I особенно четко виден на рис. 3–4). Возникшие в рудолокализирующих структурах проницаемые для флюидов ранние тектонические милониты и брекчии подверглись метасоматической серицитизации, окварцеванию, вкрапленной пиритизации и цементации (рис. 3).

В *стадию 2* формировалась основная продуктивная сульфидно-золото-кварцевая ассоциация ми-

нералов (рис. 3, 4, 5). Этот парагенезис-II отлагался после значительного дополнительного брекчирования пород и начала тектонического раскрытия крупных жильных полостей. Наряду с дальнейшим окварцеванием обломков метасоматитов стадии-1 и их цементацией, в зальбандах раскрывшихся полостей отлагался массивный мелкозернистый рисовидный кварц-2 серого цвета парагенезиса II-а (рис. 3). Совместно с ним вблизи зальбандов жил, по периметрам некоторых обломков пород и метасоматитов, отлагались вкрапленные пирит и арсенопирит, затем – адуляр и, местами в малых количествах, тонковкрапленные галенит, иногда сфалерит и обособленно индивиды свободного самородного золота крупностью 0.1–1.5 мм.

Этот же парагенезис кварца-2 с золотом местами отлагался в зальбандах жильных тел в раскрывшихся порах и трещинах среди агрегата парагенезиса I, вследствие наложения в виде редких прожилков

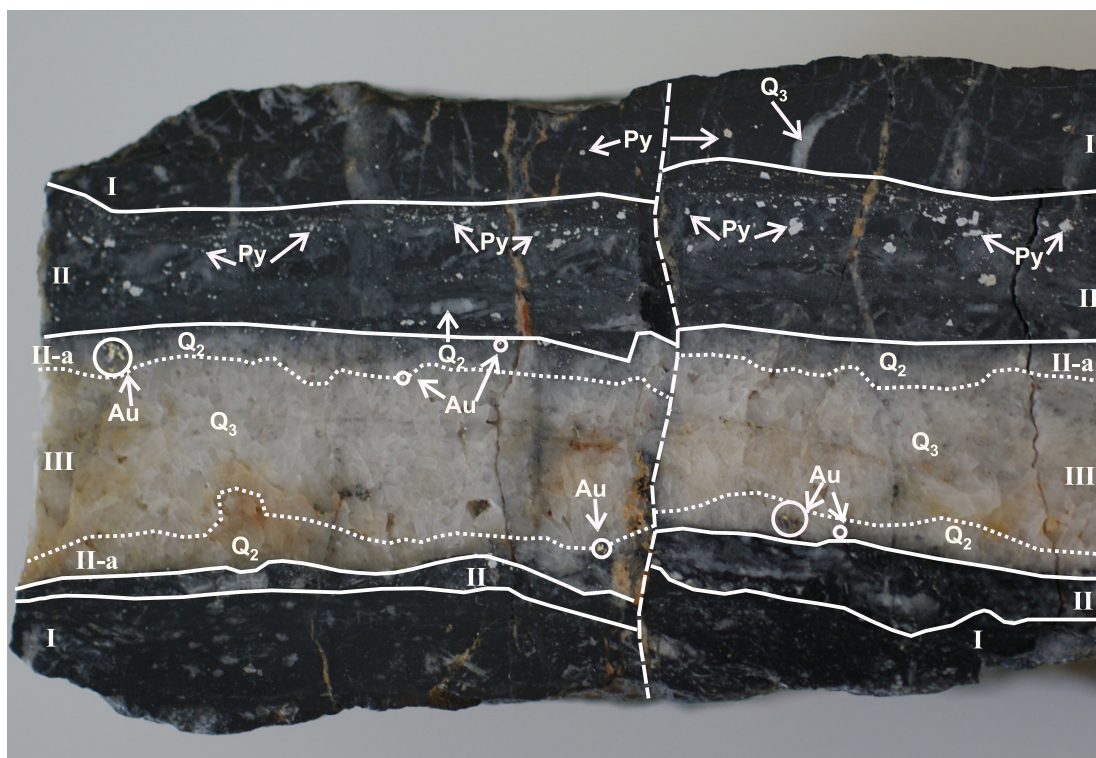


Рис. 3. Приполированный срез штуфа-1 (8 × 4.6 см): первичные руды полосчатой текстуры из маломощной апофизы жилы Первая. Горизонт 700 м.

Зоны и минеральные парагенезисы: I – вмещающая порода (аргиллит) метасоматически серицитизированная и окварцованная (кварц-1) с редкой вкрапленностью пирита и поперечными наложенными прожилками позднего кварца-3 в верхней части штуфа; II – дополнительно окварцованный милонит (тонко- и мелкообломочная теневая брекчия), замещенный и сцементированный серым мелкозернистым кварцем-2 (Q_2). На метасоматит наложена полоса густой вкрапленности мелкозернистого пирита и арсенопирита (Py); II-а – массивный мелкозернистый серый кварц-2, отложенный на метасоматите. В его контактовой части есть единичные мелкие знаки галенита. В кварце-2 содержатся вкрапления самородного золота мелкого (~0.2 мм) и крупного (до ~1.5 мм), показанные разными размерами кружков со знаком Au; III – внутренняя полость жилы, заполненная генерацией послепродуктивного гребенчатого белого кварца-3 (Q_3) нарастающей зернистости в последовательности от контактов к её центру. Она не содержит сульфидов и самородного золота.

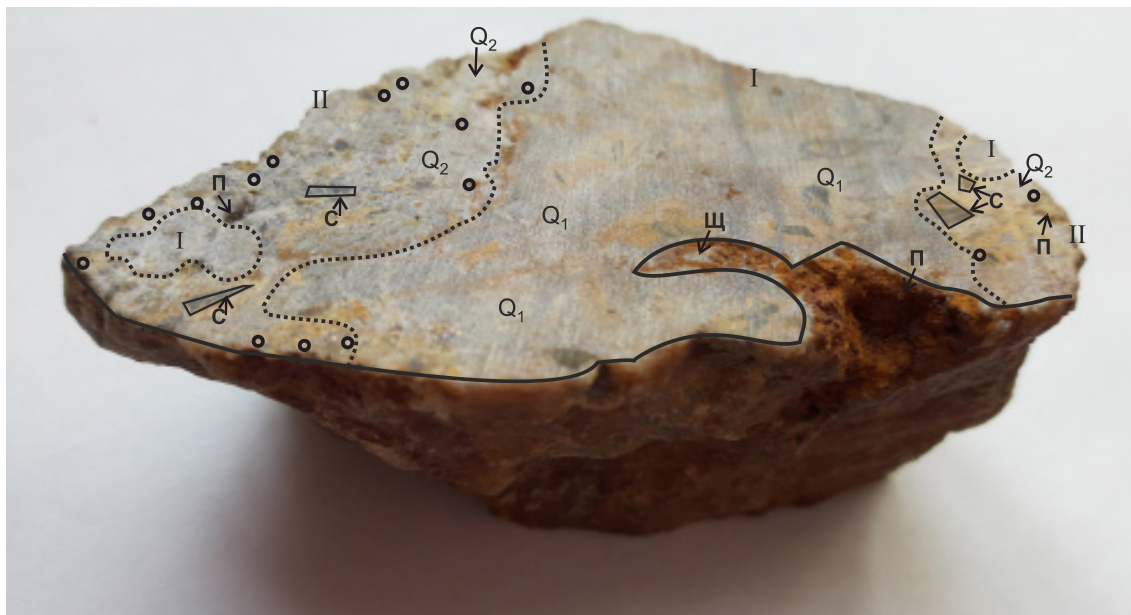


Рис. 4. Распределение золота в срезе штуфа Б окисленной руды сложно-брекчиевой текстуры размером 6.0×3.3 см. Горизонт 850 м, жила 376-бис.

Кружками отмечены положения золотин размером 0.1–1 мм. I – разной величины обломки ранней окварцованной теневой брекчии-1 с метасоматическим кварцем-1 (светло-серое), заместившим цемент и обломки пород тектонита (серое). II – золотоносная брекчия-2 с обломками окварцованной брекчии-1 и сланцев (обозначены значком «С»), сцементированными агрегатом мелкозернистого кварца-2 второй генерации (Q_2 светло-серый). Золотины в генерации кварца-2 чаще находятся вблизи контактов с обломками окварцованной брекчии-1. Стрелками со значком «П» показаны редкие пустоты выщелачивания пирита, покрытые пленкой лимонита; «Щ» – щелевидная пустота, частично заполненная желтой охрой по выщелоченному карбонату. Нижний периметр образца (тёмное) покрыт гидроксидами железа.

на метасоматит экзоконтакта жил (верхняя часть рис. 5).

В **стадию 3** происходили брекчирование минеральных парагенезисов I и II, дальнейшие тектонические и гидравлические [16, 17] дораскрытия тех же полостей, раскрытия новых трещин и дополнительные снижения давления и температуры уже обедненного металлами существенно водного флюида. Это вызвало активное отложение из пересыщенного кремнеземом смешанного водного флюида поздних генераций светлого, более зернистого кварца-3 (Q_3 парагенезиса III) – гребенчатого и друзового, но уже без сульфидов, и самородного золота. Такой кварц выполнял приосевые части полосчатых (рис. 3) и брекчиевых (рис. 5) жил, цементировал обломки парагенезиса продуктивной стадии и формировал прожилки по трещинам в прилегающих метасоматитах. В приосевых частях продуктивных жил в гребенчатом кварце-3 иногда встречаются единичные включения перемещенных в центральные части жильных полостей мелких обломков брекчированного золотоносного мелкозернистого кварца-2. Пример этого показан на рис. 6, на котором среди безрудного гребенчатого и друзового кварца-3 содержится включение окварцованной породы с квар-

цем-2, в котором присутствуют две группы золотин крупностью 1 и 1.2 мм.

Кроме этого, в жильных телах иногда встречаются послерудные просечки анкерита или кварц-карбонатных прожилков.

Формы нахождения золота в первичных рудах. В первичных рудах месторождения Токур золото присутствует в двух формах – в виде дисперсных частиц и в виде свободных более крупных выделений (от 0.1 до 1.5 мм, редко до 2.0 мм). Первые из них находятся в матрице пиритов, арсенопиритов и других сопутствующих менее распространенных сульфидных минералов. Вторая разновидность образует индивиды свободного самородного золота, отлагавшиеся позднее, в основном, в интерстициях кварца-2 продуктивной стадии. По результатам спектрохимического анализа выборок по 20 монофракций пирита и арсенопирита, отобранных из рудных тел месторождения, средние содержания в них дисперсного золота составили 15 и 25 г/т, соответственно. Следовательно, при количестве сульфидов в рудах 0.5–2.5 %, а чаще около 1 %, их вклад в общее содержание золота в рудах составляет 0.1–0.5 г/т, а в среднем не превышает 0.3 г/т. Следовательно, основной вклад в общую золо-

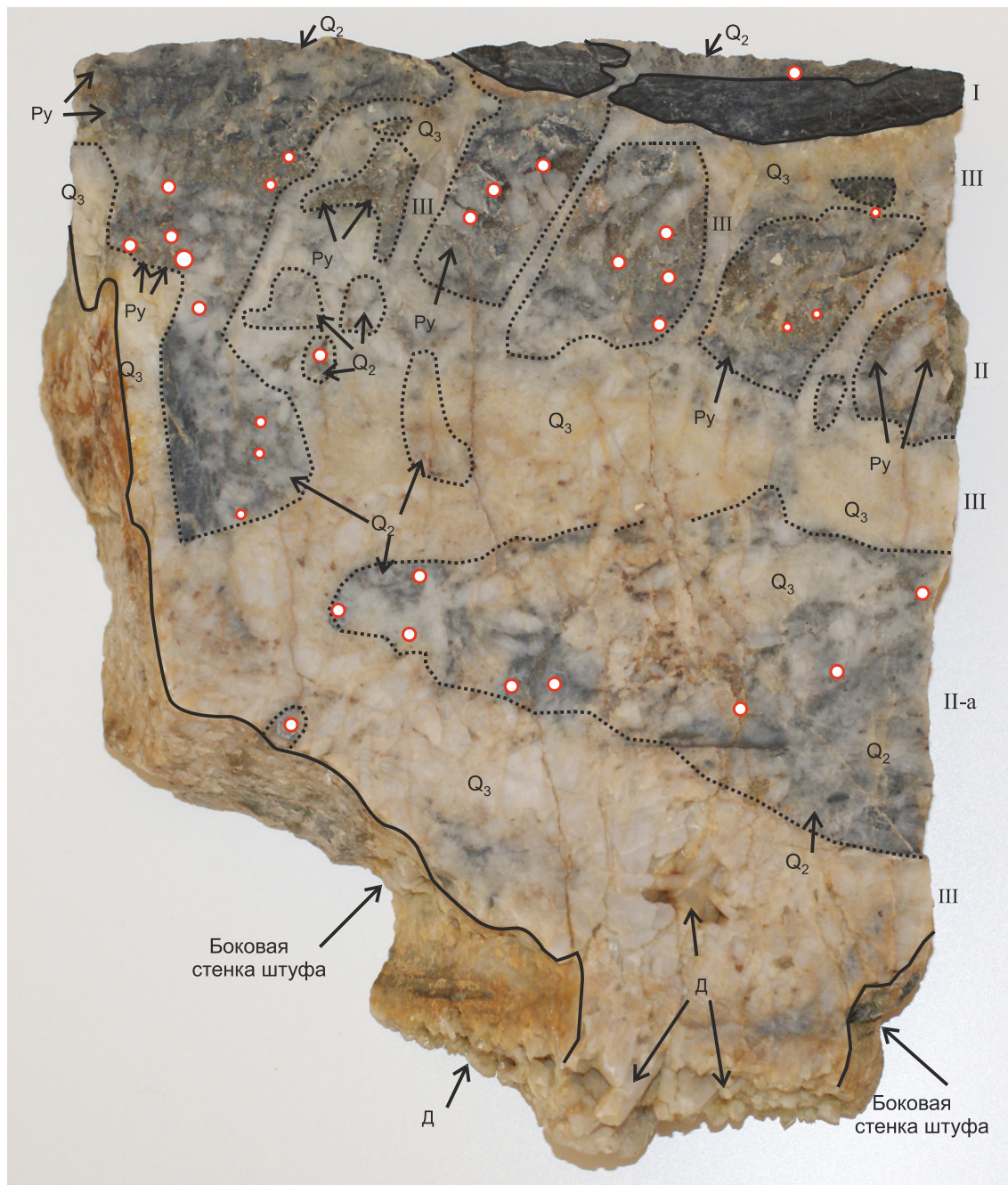


Рис. 5. Минеральные парагенезисы (I–III) и распределение золота в плоскости среза штуфа (размер 14,5 × 12 см) окисленной сложно-брекчиевой руды из приконтактовой зоны жилы Первая месторождения Токур, горизонт 780 м, штольня 1.

Парагенезисы: I – вмещающие перемятые, метасоматически серицитизированные и окварцованные (тонкозернистым кварцем-1) аргиллиты (чёрное) с зерном золота в зальбане секущего его прожилка серого мелкозернистого кварца-2 (Q_2); II – призальбандовая зона крупных пятнисто-серых обломков брекчии-2 продуктивной стадии-2. Они состоят из дополнительно окварцованных обломков брекчии-1, а также включений тонкого зернистого пирита, расположенных в пустотах неполного его выщелачивания среди цементирующего их массивного мелкозернистого кварца-2. Места размещения самородного золота (0,1–0,6 мм) в кварце-2 обозначены красными кружками; II-a – удаленный от зальбанда жилы крупный обломок брекчии-2 аналогичного сложения с включениями самородного золота в кварце-2, но без пирита и пустот от его выщелачивания; парагенезис III – послепродуктивный гребенчатый белый и друзовый («Д») кварц-3 без сульфидов и золота. Он цементирует все обломки продуктивной брекчии-2 парагенезиса-II. Кварц-3 местами присутствует также и в самих обломках брекчии-2 парагенезиса-II, где слагает мелкие гнезда более светлого и зернистого кварца-3, образовавшегося за счет перекристаллизации дробленого кварца-2. Знаком «Py» показаны остатки тонкозернистого пирита в пустотах его выщелачивания.

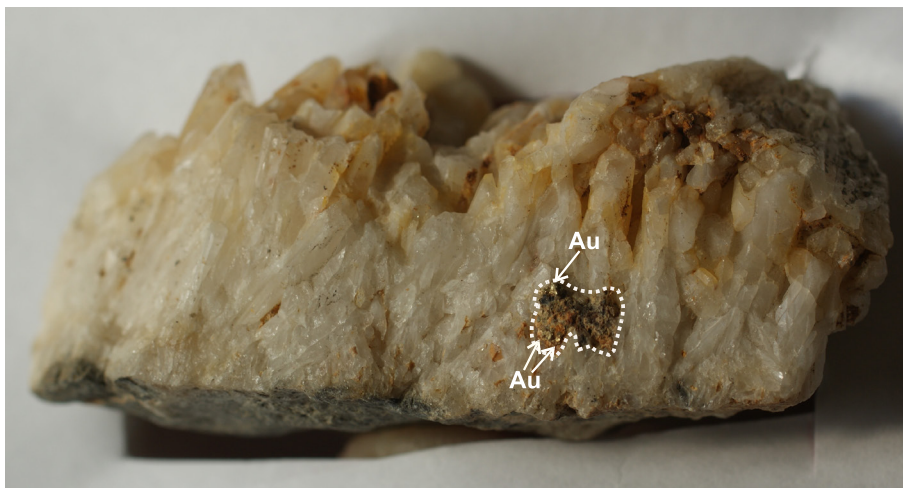


Рис. 6. Включение обломка окварцованного сланца с двумя группами крупных золотин в штуфе размером 4×2 см поздней генерации крупнозернистого гребенчатого и друзового кварца-3.

тоночность руд обеспечивается присутствием в них свободного самородного золота продуктивной стадии.

Распределение золота по мощности жильных тел. Жильные тела выполнения золотоносны неравномерно. Основное количество золота сосредоточено в краевых (призальбандовых) частях жил полосчатого и брекчиевого строения, в ассоциации с кварцем-2 продуктивного парагенезиса второй стадии. Парагенезис-I золотоносен лишь в том случае, если в процессе последующего раскрытия полостей, трещин и брекчирования пород и парагенезиса-I на стадии-2 в них проникали прожилки кварца-2 с золотом. Приосевые части жил, сложенные послепродуктивным кварцем-3, обычно не золотоносны. Но, вследствие продолжающейся внутрирудной тектонической активности с брекчированием и на этой стадии, в агрегате кварца-3 могут оказаться отторженцы продуктивного парагенезиса-II, особенно II-a, как это показано на рисунках 5 и 6.

Распределение параметров мощность и содержание золота в плоскости промышленных жильных тел. В таком плане [20] нами изучено девять жильных тел месторождения различных размеров и залегания. Жильные тела имеют плитообразную форму и характеризуются весьма невыдержанными мощностями и крайне неравномерными содержаниями золота. Это свойственно всем изученным и другим жилам месторождения. Проиллюстрируем распределение этих характеристик на примере четырех жил – Первая, Октябрьская-IV, жилы № 160 и № 495 (рис. 7–10). Все они пологого залегания. Жила № 495 является «слепой» и располагается ниже зоны окисления. Жила Первая является наиболее крупным отработанным рудным телом этого месторождения. Её

верхняя часть располагается в зоне окисления. Из её руд извлечено примерно $\frac{1}{4}$ часть золота, добытого на этом месторождении. Аналогично залегает жила Октябрьская-IV.

Мощность жильных тел варьирует от 0.1 до 1.2 м. Контакты их с вмещающими породами резкие, тектонические. От флангов к средним частям жильных тел их мощность неравномерно увеличивается. В их плоскости обычно выделяется несколько крупных участков повышенной мощности, разделенных участками промежуточных мощностей (рис. 7–9). Вытянутость полос повышенных мощностей в жилах ориентирована круто, что хорошо видно при сопоставлении с восстающими выработками на пожильных планах. В прямой зависимости от размеров жильных тел количество полос повышенной мощности (0.4–1.2 м) в них варьирует от двух-трех до четырех-пяти, а ширина каждой из них от 50 до 100–150 м.

Содержания золота в плоскости жильных тел распределены крайне неравномерно. Этот показатель по результатам рудничного опробования и пробирных анализов проб варьирует от ≤ 1 г/т до 500 г/т и более. В некоторых пробах они достигают 1 кг/т. По грациям низких, умеренных, богатых и высоких содержаний золота в жильных телах по латерали выделяются обособленные поля (рис. 7–10).

При сопоставлении мощностей и содержаний золота во всех изученных жильных телах наблюдается удовлетворительное пространственное совмещение полей богатых содержаний золота с участками повышенных и максимальных мощностей жильных тел. Для анализа причин таких совмещений важно было выяснить влияние температурных условий отложения

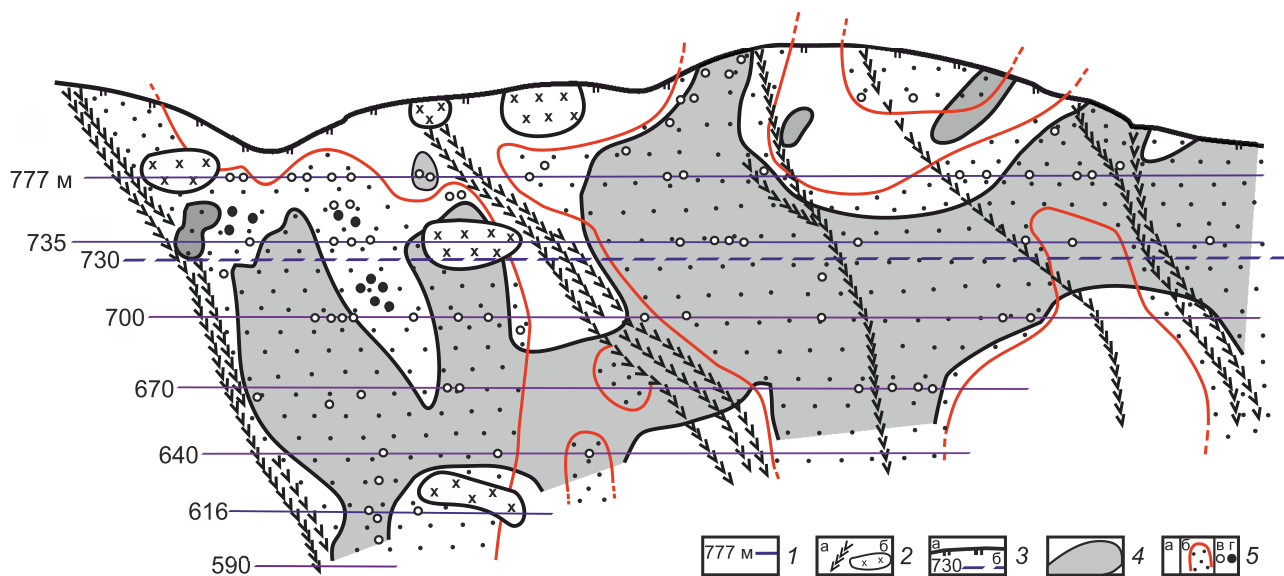


Рис. 7. Распределение содержаний золота в плоскости жилы Первая месторождения Токур относительно максимумов её мощности.

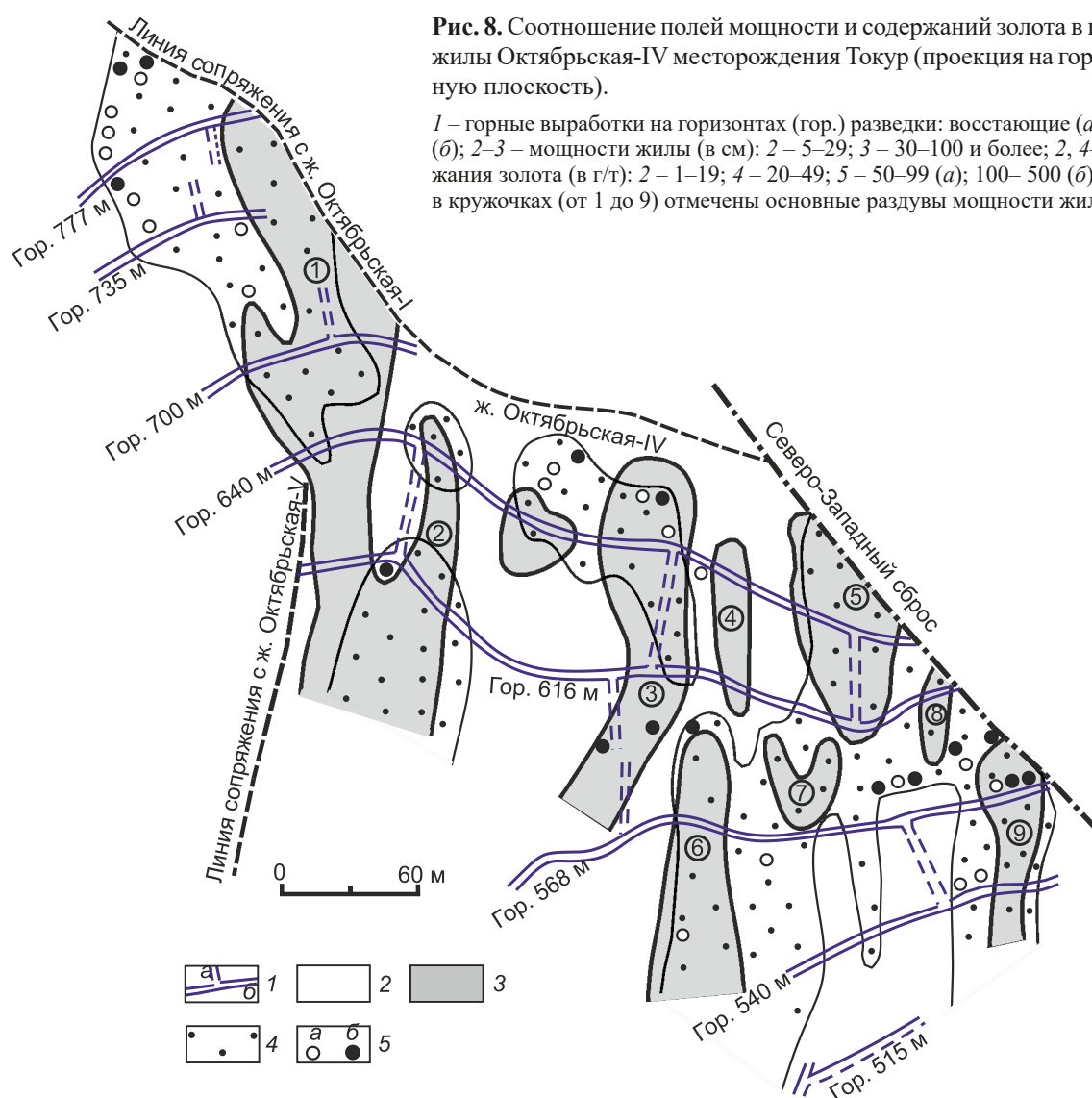
Схема размещения жил и положение в них рудных столбов: 1 – гипсометрические уровни штреков; 2 – дайки порфиритов (а), штоки диоритов (б); 3 – поверхность (а) и предполагаемая Н.В. Нестеровым [9] нижняя граница горизонта вторичного обогащения жильного тела золотом (б); 4 – участки повышенных мощностей жилы (0.5–1.0 м и более); 5 – содержания золота в жильном теле: а – низкие и рядовые (≤ 10 г/т); б – обогащенные (15–50 г/т); в – пробы, показавшие выдающиеся содержания (100–300 г/т); г – «ураганные» содержания золота в бороздковых пробах по данным разведки и отработки (301–1000 г/т и более).

минерального парагенезиса продуктивной стадии минерализации.

Структура температурного поля формирования продуктивного парагенезиса минералов изучалась нами [15] на примере типичной для месторождения Токур пологозалегающей промышленной жилы № 160. Простирается её северо-западное, падение пологое (30° – 40°) на юго-запад. Размещается она в центральной части месторождения. Жила разведана штреками на семи горизонтах в интервале абсолютных отметок 800–590 м (рис. 10). Пробы продуктивного парагенезиса из жилы отбирались нами в стенках штреков в 37 точках. Подготовленные из них и очищенные от примесей навески монофракций кварца-2 крупностью 0.25–0.5 мм были продекрепитированы на вакуумном декрепитометре ВД-3 в лаборатории АмурКНИИ ДВО РАН в едином интервале температур 25–450 °С. С декрептограмм были сняты температуры начала и конца пика газовой выделения из флюидных включений и построены картограммы (рис. 10, а, б). Газовыделение из флюидных включений в разных пробах кварца-2 началось в интервале температур нагрева 150–240 °С (рис. 10, а), а завершалось в интервале 260–400 °С (рис. 10, б). Общий интервал декрепитации или газовой выделения из продуктивного кварца-2 оказался

широким – 150–400 °С, что объясняется не только различием состава разнонаполненных водным, солевым и газовыми компонентами флюидных включений в них и эволюцией состава флюидов в период длительного минералоотложения, но и техногенным механическим воздействием на материал образцов при пробоподготовке. Полагаем, что средние температуры декрепитации и газовой выделения более близки к температурам отложения продуктивного кварца-2 [12]. По снятым с декрептограмм средним температурам начала и окончания декрепитации нами была составлена картограмма изменчивости средних температур декрепитации кварца-2 (рис. 10, в). На ней, на общем фоне высоких значений средних температур декрепитации кварца 300–360 °С, выделяются три зоны пониженных (300–240 °С) температур, круто погружающиеся на глубину. Наиболее широкая из них – центральная, а две фланговые недостаточно разведаны по латерали. Во внутренних частях этих зон выделяются поля с более низкими средними температурами декрепитации кварца-2 – 240–260 °С. Температурные поля в нижней части рудного тела не замкнуты, что свидетельствует о недоразведанности этой жилы и на глубину.

На картограмме «з» (рис. 10, з) нами показаны поля концентраций золота в этом жильном теле. При



сопоставлении картограмм «в» и «г» жилы № 160 видно полное совмещение полей повышенных содержаний золота (рис. 10, в, г) с внутренними полями пониженных средних температур (300–240 °С) декрепитации (и отложения) кварца-2. А с тремя локальными температурными минимумами совмещаются участки с более высокими содержаниями золота. Это аналогично тому, как поля повышенных и высоких содержаний золота в жилах Первая, Октябрьская-IV и 495 (рис. 7–9), а также и других, совмещаются с внутренними полями повышенных мощностей жил. Из этого можно заключить, что все золоторудные столбы в жильных телах этого месторождения формировались на участках максимальных раскрытий и дораскрытий полостей и, как следствие, резких снижений давления в основных периодически подновляемых каналах инфильтрации флюидов

(раздувах мощности). Более длительное поступление флюидов по этим тектонически подновляемым проницаемым каналам и неоднократные снижения их температуры при спадах давления стимулировали отложение в них разнотемпературных минеральных парагенезисов, в том числе, в полной мере продуктивного. Этим обеспечивались повышенные концентрации золота в рудных столбах этого и в других, упомянутых выше, жильных телах месторождения.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В ОКИСЛЕННЫХ РУДАХ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОКУР

В связи с дискуссионностью генезиса богатых золотом руд, размещающихся в зоне окисления, одновременно с изучением парагенезисов первичных руд нами проводилось целенаправленное макро- и

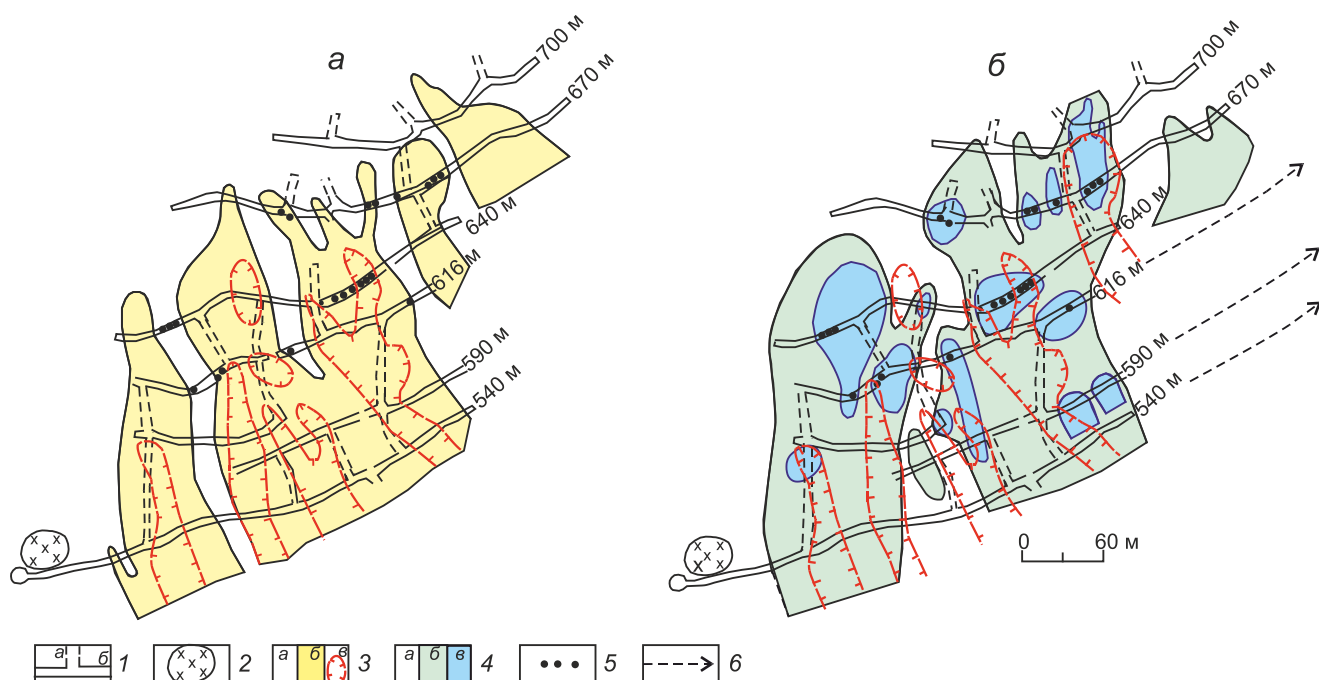


Рис. 9. Структура мощности (а) и распределения содержаний золота (б) в плоскости «слепой» жилы № 495 месторождения Токур, по данным рудничного опробования выработок (проекция на горизонтальную плоскость)

1 – выработки: восстающие (а) и штреки (б) с указанием горизонтов; 2 – шток диоритов.

На рис. а: 3 – мощности (см): а – менее 10, б – 11–30, в – 31–50 и более.

На рис. б: 4 – содержания золота (г/т): а – менее 5; б – 6–20; в – 21–100; 5 – содержания золота 100–500 г/т. На рис. б жирными с бергштрихами красными линиями продублированы расположения участков с максимальными мощностями (3-в); 6 – перспективные направления доразведки.

микроскопическое изучение большого количества образцов, отобранных в жильных телах из богатых золотом окисленных руд, вскрытых на месторождении канавами, уклонами и подземными горными выработками в интервале глубин до 50–100 м от современной поверхности этого и соседнего Иннокентьевского месторождения. В таких рудах, наряду с различными формами лимонита (переотложенного натечного и образованного псевдоморфно по окисленному пириту в пустотах), часто наблюдаются вкрапления остаточных минералов первичного парагенезиса – пирита, арсенопирита, самородного золота (рис. 4, 5) и иногда редкие мелкие зерна галенита и сфалерита, явно ассоциирующие с кварцем-2 продуктивного парагенезиса. Золотины разных размеров в окисленных рудах, как и в первичных, размещаются в приконтактных и промежуточных зонах жил в агрегатах мелкозернистого массивного кварца-2, вблизи или обособленно от пустот, возникших на месте частично или полностью выщелоченных сульфидов. Особо отметим, что в зоне окисления нами не обнаружено ни одного случая наложения явно вторичного золота на широко распро-

страненные лимонитизированные послепродуктивные гребенчатый и друзовый кварцы-3, слагающие приосевые доминирующие объемы жильных тел, особенно на участках раздувов их мощности. Золотины в образцах из первичных и явно окисленных руд имеют аналогичные характеристики – комковидную, реже уплощенную формы и крупность от 0.1 до 1.5–2 мм. Интерстициальные частицы самородного золота в кварце-2 окисленных и первичных руд, по наблюдениям в протолочках рудных проб, имеют индукционные грани с зеркальной поверхностью, а иногда с параллельной штриховкой от граней кристаллов кварца-2. Отмеченная аналогия минералогических характеристик самородного золота из первичных и окисленных типов руд, сходство пространственного размещения их выделений в минеральном парагенезисе с кварцем-2 и иногда с галенитом в жильной массе рудных тел на горизонтах окисленных и первичных руд являются свидетельствами единства генезиса самородного золота обоих типов руд. То есть, наблюдаемое видимое самородное золото в окисленных рудах тоже было отложено непосредственно в гидротермальном процессе на продук-

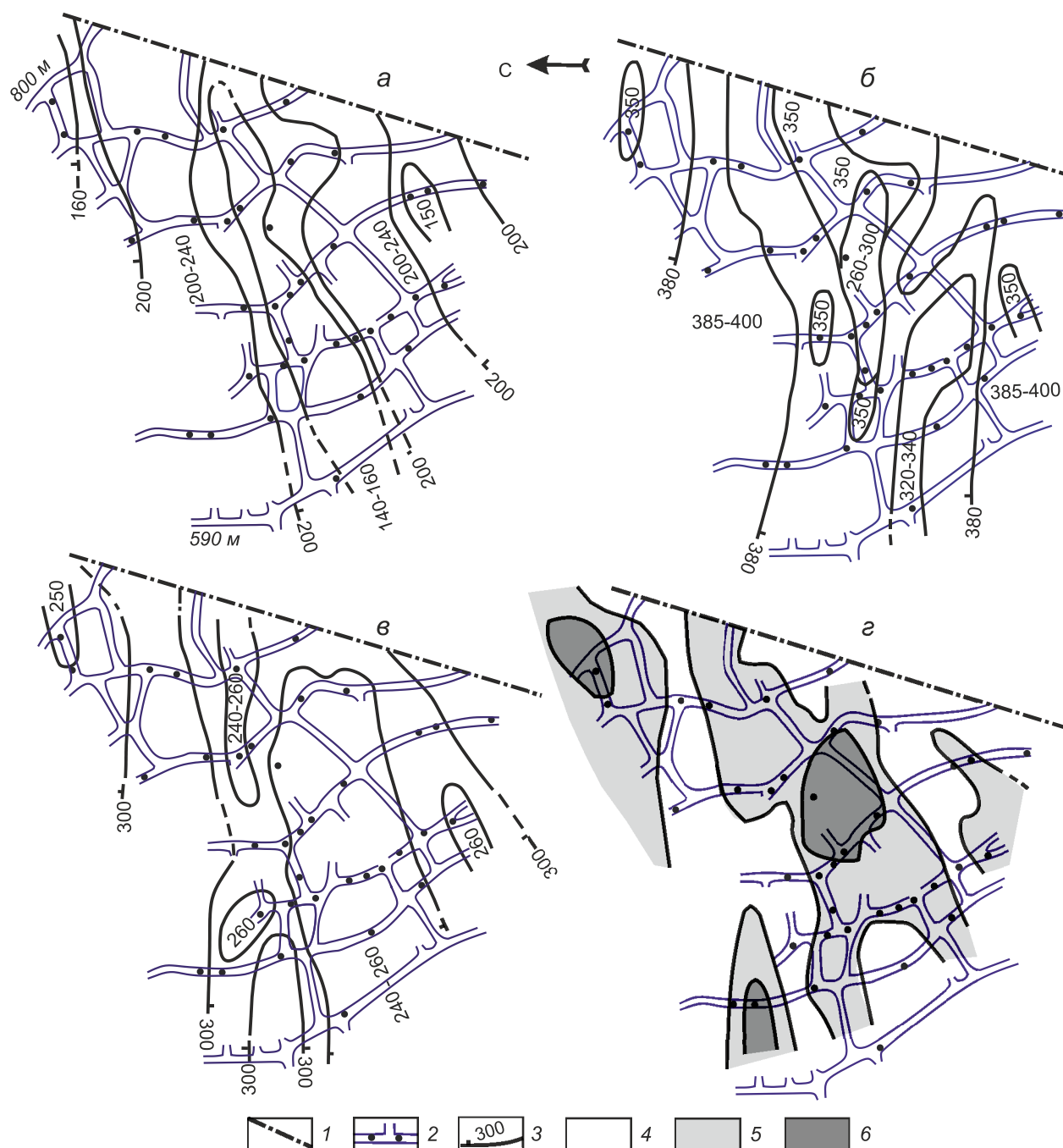


Рис. 10. Золото-кварцевая жила № 160 месторождения Токур: сопоставление полей начала (а), окончания (б) и средней (в) температур вакуумной декрепитации кварца-2 с распределением золота в её плоскости (г) в проекции на горизонтальную плоскость.

1 – предрудный сброс; 2 – штреки и восстающие выработки, точки – места отбора проб; 3 – изолинии температур °С; 4–6 – поля с различными содержаниями золота: 4 – с низкими, 5 – средними, 6 – высокими.

тивной стадии и, по сути, оно является в таких рудах первичным остаточным. Проведенный Л.В. Эйришем ещё в середине 1960-х годов при детальном геологическом изучении месторождения Токур количественный спектрохимический анализ (Центральная лаборатория

ДВТГУ) более 20 минералогических проб натечных лимонитов и его псевдоморфоз по пириту, отобранных им из окисленных руд и из аллювия размывающих их водотоков, показал в основном их низкую золотонность на уровне от следов до 10 г/т.

На основании всех изложенных выше фактов можно заключить, что частичное или полное окисление и выщелачивание низкозолотоносных сульфидов в первичных малосульфидных рудах этого месторождения, а также малые количества сульфидов в рудах, не могли способствовать существенному или заметному дообогащению переотложенным золотом первичных руд в нижнем подгоризонте зоны окисления, как это утверждается в [9]. Расчетная доля переотложенного золота в рудах не превышает 1 г/т. Дополнительными аргументами, подтверждающими эндогенный, точнее, гидротермальный генезис самородного золота богатых руд в зоне окисления этого и других малосульфидных золото-кварцевых месторождений ВСР, являются: 1) установленное минералогическими наблюдениями [11] и аналитическими методами [5] снижение его пробности от нижних горизонтов месторождения (773 ‰) к поверхности (717 ‰), включая и зону окисления; и 2) приведенный ниже результат сопоставления составов флюидов в самородном золоте из первичных и окисленных руд.

Составы рудообразующих флюидов включений в самородном золоте из первичных и окисленных руд. По результатам анализа водных вытяжек и хроматографических анализов газов из газовой-жидких включений в монофракциях самородного золота из первичных и окисленных руд и кварцев был рассчитан компонентный состав флюидов. Из приведенных в табл. 1 данных следует, что в реликтовых рудообразующих флюидах из газовой-жидких включений в самородном золоте, отобранном из первичных и окисленных руд, установлены одни и те же компоненты, что и во включениях в кварце-2 продуктивной стадии, но количественные соотношения как суммарных компонентов в водно-солевой и газовой фазах, так и соотношений в них отдельных пар компонентов несколько разнятся. Отметим наиболее характерные и важные отличия.

1. Флюиды из включений в кварце-2 продуктивной второй стадии гидротермального процесса первичных руд существенно водные. Они имеют низкие общие концентрации солевых и газовых компонентов – соответственно, на уровнях 2.2 и 2.4 вес. %. В них натрий преобладает над калием, а в составе газовой фазы сероводород отсутствует или обнаруживается в следовых количествах.

2. Флюиды же из включений в самородном золоте, отобранном из первичных и окисленных руд месторождения, в отличие от флюида, извлеченного из включений в кварце-2 продуктивного парагенезиса, имеют сходный между собой паро-газо-солевой состав (табл. 1), что подтверждает их генетическое

единство. Во флюидных включениях в самородном золоте из обоих типов руд компоненты солей значительно преобладают над водной фазой, составляя 61.1–74.1 вес. %, а суммарные количества газовых компонентов, в среднем, соизмеримы с количествами водной фазы. В таком типе флюида калий значительно преобладает над натрием, и в нем присутствуют более высокие концентрации летучих CO_2 и H_2S , ионов Cl и некоторых других компонентов, чем во флюидах из включений кварца-2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕЗИСА ЗОЛОТОРУДНЫХ СТОЛБОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОКУР

Месторождение Токур ВСР разведывалось и параллельно отрабатывалось подземным способом в периоде с 1940 г. до полной консервации рудника в 1992 году. В ходе разведки скважинами и горными выработками было подсечено множество жильных тел, из них разведывались около 70 наиболее крупных и богатых золотом жильных тел, выходящих на поверхность и «слепых». Отрабатывалось месторождение от поверхности (абсолютные отметки рельефа 800–900 м) до отметок 640–590 м на глубину шахтным способом. Из жильных тел месторождения добыто около 37 т золота. В изучении геолого-структурных условий и вопросов генезиса месторождения в разные годы принимали активное участие сотрудники институтов ДВО РАН, ДВИМСа, ЦНИГРИ. Наибольший вклад в их решение был сделан академиком В.Г. Моисеенко. Им с соратниками [4–6] были изучены состав рудообразующих флюидов, формы переноса золота флюидами, физико-химические условия рудообразования и метаморфизм руд под тепловым воздействием малых штоков диоритов раннемелового возраста.

Взгляды исследователей на генезис богатых руд месторождения Токур и формирование рудных столбов в его жильных телах не однозначны. Большая их часть высказывалась за магматогенно-гидротермальный его генезис [4–6, 20, 29, 30] и перенос золота в хлоридных комплексах [5]. Учитывая то, что реликтовые флюиды из включений в самородном золоте месторождения Токур содержат H_2S в смеси с парами воды, хлориды калия и натрия и углекислый газ, несомненно существовала возможность переноса золота и в соединениях с лигандами $(\text{HS})^-$, $(\text{OH})^-$ [2, 7 и др.] или в виде гетерополиядерных комплексов с Bi , Sb , As , S , Pb , Te [7]. В экспериментах последних лет установлено [41–43], что в высокотемпературной газовой фазе (H_2S , пары воды, хлориды калия и натрия и др.) золото даже более растворимо в составе комплексов $\text{AuS} \cdot (\text{H}_2\text{O})_n$; $\text{AuS} \cdot (\text{H}_2\text{S})_n$; $\text{AuHS} \cdot (\text{H}_2\text{S})_n$; $\text{AuClm} \cdot (\text{H}_2\text{O})_n$, нежели в сосуществующей водно-

Таблица. Состав флюидов из газово-жидких включений в самородном золоте и в продуктивном кварце месторождения Токур

Компоненты флюида	Самородное золото		Кварц-2 Т-14, первичные руды, г/кг флюида
	Проба Т-28, окисленные руды, ж. 376-бис, горизонт 840-850 м, г/кг флюида	Проба 2-а, первичные руды, ж. Голубая, горизонт 735 м, г/кг флюида	
Na ⁺	1.951	10.17	0.37
K ⁺	43.053	54.24	0.12
Mg ²⁺	80.140	5.27	0.66
Ca ²⁺	–	4.11	–
NH ₄ ⁺	11.841	5.83	0.47
Σ катионов	136.985	79.62	1.62
F [–]	4.565	21.55	4.47
Cl [–]	286.985	439.81	7.5
Br [–]	69.625	63.68	4.58
I [–]	–	–	–
HCO ₃ [–]	64.742	105.42	–
SO ₄ ^{2–}	13.597	–	0.26
NO ₃ [–]	34.658	31.23	3.92
Σ анионов	474.082	661.69	20.73
Минерализация г/кг флюида	611.067	741.31	22.35
H ₂	–	–	–
N ₂	1.265	1.4	9.39
CO	12.200	2.71	1.35
CH ₄	–	0.09	1.8
CO ₂	101.803	36.05	11.04
H ₂ S	91.235	50.95	(0.1) ¹
Σ газов	206.500	91.2	23.58
H ₂ O	182.430	167.58	954.07
Σ компонентов флюида, г	1000.0	1000.0	1000.0
Соотношения во флюидах: суммарных количеств (в вес.%) газы:соли:вода (пар)	20.7 : 61.1 : 18.2	9.1 : 74.1 : 16.8	2.4 : 2.2 : 95.4
K : Na	22.07	5.33	0.32
H ₂ S : H ₂ O	0.50	0.30	0.0001
CO ₂ : H ₂ O	0.56	0.21	0.011
H ₂ S : CO ₂	0.90	1.41	0.09
Типы флюида	Паро-газо-солевой		водный

Примечание. Прочерк – не обнаружено; ¹в скобках показан нижний предел обнаружения. В ряде проб кварца обнаруживаются следы H₂S. Сероводород в длительном процессе гетерогенизации почти полностью выкипает в автономно перемещающуюся газовую фазу. Анализы выполнены в АмурКНИИ ДВО РАН методами тройных вытяжек и газовой хроматографии воды и газа, изложенными в [5]. Исполнители И.Д. Зайкин, С.А. Шахрай.

солевой фазе гетерогенных флюидов – до $3\text{--}5 \cdot 10^{-7}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/кг такого флюида при температурах 300° и 400 °С, соответственно. Резкое снижение температуры такого флюида на 100 °С понижает растворимость комплексов золота на 2 порядка, происходит его пересыщение и массовая кристаллизация наночастиц золота.

В работах [9, 10, 31] высказана альтернативная точка зрения – богатые руды этого месторождения с укрупненным золотом формировались, в основном, в зоне гипергенеза за счет бедных первичных руд в процессе их окисления, выщелачивания и перераспределения золота из 200-метровой по мощности зоны окисления палеоцен-Q₁ возраста в подстилающий её

50-метровый пологий подгоризонт вторичного золотого обогащения (рис. 2, б, 7).

В контексте темы этой публикации и вышеизложенного фактического материала необходимо обоснованно ответить на два важных в научном (генетическом) плане и в практическом отношении вопроса: 1) всё же, как образовались богатые первичные рудные столбы этого месторождения; и 2) могут ли на месторождении малосульфидной золото-кварцевой формации в зонах окисления бедных первичных руд, как изложено в [9, 31], образоваться богатые вторичные рудные столбы?

На месторождении Токур нами установлена пространственно-генетическая связь формирования первичных золоторудных столбов в малосульфидных золото-кварцевых жилах выполнения с крупными участками развития в них повышенных мощностей жильного заполнения, имеющих крутое погружение. Возникновение тех и других очевидно было связано с тектоническими и гидравлическими [16, 17, 20] раскрытиями и дораскрытиями в плоскостях формирующихся жильных тел, трещин и крупных полостей. Вследствие этого, на таких участках, в соответствии с [40], происходили неоднократные резкие снижения давления поступающего глубинного флюида за счет приращения свободного объема в гидротермальной системе. Это вызывало кипение флюида, его гетерогенизацию, дегазацию и, как следствие, адиабатическое снижение его температуры, пересыщение металлами и другими компонентами, изменение pH, Eh и минералоотложение. Реальным признаком кипения флюида является обнаружение [5] в отложившемся кварце-2 продуктивной стадии руд семейств первичных флюидных включений с различным наполнением – от однофазных газово-жидких до многофазных рассолов с минералами-узниками и существенно газовых различной плотности.

Одновременное совместное выделение из пересыщенных золотом, солевыми компонентами и газами кипящих флюидов больших количеств нанозарождений самородного золота, характеризующихся гидрофобностью поверхности [21, 22, 25], а также кристалликов солей и газовых пузырьков способствовало сорбционному объединению их в ассоциаты. Обладая некоторой подъемной силой, такие ассоциаты флотировали в объеме флюида жильных полостей и трещин и накапливались под непроницаемыми для флюида образованиями на путях их подъема до верхних уровней раздувов и даже несколько выше, за их пределы до экранирующих поверхностей и выклинивания трещин. Аналогичный процесс естественной газовой флотации, но другого гидрофобного минера-

ла – нанозарождений самородной серы и формирования её залежей в гидротермальном процессе, описан Н.П. Юшкиным [33] на месторождении Шор-Су (Узбекистан).

Под экранирующими «ловушками» и в трещинах в скоплениях ассоциатов происходила коалесценция соседних пузырьков газа. При этом сблизившиеся наночастицы и мелкие кластеры золота могли агрегироваться [18] в более крупные индивиды и зернистые их агрегаты. Газовые пузырьки с парами воды и сорбированными кристалликами солевых фаз врастали в зернистую матрицу формирующихся индивидов и агрегатов золота, образуя в них флюидные включения.

Изложенные представления находятся в полном соответствии с составом флюидных включений в самородном золоте и их значительном отличии от состава включений в парагенном ему кварце-2 (табл. 1). Доминирующими фазами флюида в его включениях являются (в вес. %) соли (61.1–74.1) и газы (9.1–20.7). Содержание водной (паровой) фазы не превышает 16.8–18.2 %. При прохождении ассоциатов через насыщенный и пересыщенный золотом флюид происходило укрупнение флотируемых наночастиц и кластеров золота, а накопление ассоциатов в экранирующих «ловушках» способствовало агрегированию золота в более крупные индивиды. Именно механизмом естественной газовой флотации золота мы объясняем повышенные золотоносность руд верхних горизонтов жильных тел не только месторождения Токур, но и других месторождений, и крупность в них золота [19, 20], а не за счет гипергенного обогащения руд и укрупнения в них золота, как утверждается в [9, 10, 31].

Из физико-химических факторов в рудообразовании большинство исследователей обычно считают главным температурный. Изучая генезис рудных столбов месторождения Токур, мы, в силу изложенного, пришли к выводу, что главным или определяющим являлся фактор изменчивости давления. Именно неоднократные резкие снижения давления в гидротермальной системе трансформировали флюид – обуславливали волну кислотных компонентов, метасоматоз вмещающих пород, смешение глубинного флюида с трещинными и метеорными водами. Снижение в результате этого температуры флюида, его кипение, дегазация и пересыщение золотом стимулировали массовое зарождение наночастиц золота, их газовую флотацию и формирование богатых бананцев с выдающимися и «ураганными» его содержаниями и крупными рудными столбов с богатыми рудами, особенно на средних и верхних уровнях раздувов мощности жильных полостей, как это показано на рисунках 7–9.

Таким образом, концентрирование золота в рудных столбах месторождения Токур осуществлялось с

участием переноса золота как в форме растворимых комплексов с лигандами Cl^- , $(\text{OH})^-$, $(\text{HS})^-$ [2, 5, 7] на ранних этапах, так и с участием его твердофазной формы на продуктивной стадии по механизму естественной газовой флотации [19, 20, 32]. Причиной её появления являлось пересыщение флюида вследствие резких падений давления при расширении жильных полостей. Отметим, что по нашей интерпретации данных исследователей других золоторудных объектов, аналогичным образом, в пространственно-генетической связи с образованием раздувов мощностей в жильных телах и пересыщений флюида золотом на продуктивных стадиях, вероятнее всего, могли сформироваться и рудные столбы золоторудных месторождений Бестюбе (Казахстан) и Старо-Берикульское (Россия) [19 – рис. 6, 7]. Публикаций по содержанию золота во флюидных включениях в кварцах жильных золоторудных месторождений мало. В публикации [28] Н.В. Рослякова с соавторами приводят средние содержания золота в водных вытяжках из флюидных включений в допродуктивных и продуктивных кварцах трех жильных золоторудных месторождений Сибири (в мг/л, n – количество анализов): Берикульское – 161 ($n = 54$), Гавриловское – 22.5 ($n = 30$), Салаирское – 68 ($n = 12$). Авторы отмечают, что максимальные содержания золота свойственны кварцам продуктивных стадий. Это свидетельствует о высоких пересыщениях золотом флюидов на продуктивных стадиях формирования этих месторождений и о возможном сходстве механизма формирования их рудных столбов с таковым Токурского месторождения.

Механизм естественной газовой флотации мелких частиц 0.1–0.3 мм самородного золота в гидротермальном процессе смоделирован нами в лабораторных экспериментах [8]. О реальности такого механизма твердофазного переноса золота в гидротермальных процессах свидетельствует описанный Э. Рёддером (Roedder E.) [38] факт обнаружения наночастиц самородного золота в наблюдавшемся им флюидном включении в жильном кварце. Еще более интересные результаты опубликованы В.Ю. Прокофьевым с соавторами [23, 24 и др.]. Ими в разнонаполненных флюидных включениях в образцах рудного кварца из керна сверхглубокой скважины № 3, пробуренной на Кольском полуострове (Россия), в интервале глубин 9500–11 000 м обнаружены большие скопления наночастиц самородного золота, соответствующие концентрациям золота во флюидах от 1.0 до многих сотен ppm. По данным этих авторов, наночастицы размещаются в первичных флюидных включениях различного наполнения исключительно на границах раздела жидкой и газовой фаз. Авторы считают, что перенос частиц золота в гидротермальном процессе осуществ-

лялся газовыми пузырьками. В работе [32] отмечено, что исследователи наблюдали отложение мелких кристаллов золота на пробоотборнике в процессе проведения ими опробования фумарол, выходящих на поверхность вблизи вулкана Кудрявый (о-в Итуруп, Курильские о-ва, Россия). Возможность твердофазного переноса золота в гидротермальном процессе в виде коллоидных суспензий (без указания на связь его переноса с газовой фазой рудообразующего флюида) предполагается и другими исследователями [35–37, 39]. Твердофазный перенос наночастиц самородного золота в земной коре современным глубинным газовым потоком («геогаз») к поверхности Земли, но уже на этапе деструкции ранее сформированного, ещё не вскрытого эрозией золоторудного месторождения, наблюдали китайские исследователи в проведенном ими поисковом эксперименте [34].

Как было отмечено нами в предыдущем разделе, распределение индивидов свободного самородного золота в окисленных рудах месторождения Токур подчиняется тем же закономерностям, что и в первичных рудных столбах. Богатые его концентрации, на примере жил Первая и Октябрьская-IV (рис. 7, 8), сосредоточены на верхних продолжениях тех же раздувов мощности и ассоциируются в окисленных рудах только с кварцем-2 продуктивного парагенезиса первичных руд (рис. 4, 5), не накладываясь на ожелезненный послепродуктивный кварц-3. Проведенный нами расчет исходного ресурса подвижного дисперсного золота в 200-метровой зоне окисления оказался небольшим. За счет даже полного выщелачивания дисперсного золота из сульфидов в этой зоне и его полного переотложения, что маловероятно, так как остались реликты невыщелоченных сульфидов (рис. 4, 5), в предполагаемую [9] подзону вторичного золотого обогащения в интервале высотных отметок 730–780 м, первичное содержание золота в нём может повыситься не более чем на 1 г/т. Следовательно, образование богатых вторичных рудных столбов в нижней части зоны окисления за счет непромышленных малосульфидных руд нереально, особенно если жильные тела размещаются в терригенных породах, как на месторождении Токур, а не в карбонатной толще, да ещё с более высоким содержанием сульфидов в первичных рудах, как на месторождении Куранах (в Якутии). Интенсивно проявленный в зоне окисления этого месторождения процесс растворения и карстования карбонатных пород обеспечил возможность не только переноса дисперсного золота, но и просадку всего высвобожденного самородного золота различной крупности, с образованием его высоких концентраций в мощной подзоне вторичного обогащения золотом [10] над пластом переотложенных глин в основании зоны окисления.

Для малосульфидных же руд месторождения Токур, локализованных в терригенных толщах, положительное практическое значение процесса окисления руд невелико. Оно состоит лишь в некотором снижении их плотности за счет выщелачивания сульфидной вкрапленности и прожилков карбонатов и в пропорционально малом увеличении, за счет этого, содержания золота в остаточной (95–97 %) рудной массе. Свободное макроскопическое самородное золото, в связи с его устойчивостью в зоне окисления, по [7, 27] и по нашим наблюдениям [11], остается в них полностью. Выщелоченное дисперсное золото частично осаждается в них с лимонитом. Кроме этого, за счет уменьшения прочности окисленных руд золото более полно высвобождается из них при дроблении в технологических процессах обогащения. Это значительно снижает его потери в отвальных хвостах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведенными исследованиями уточнены природа, строение и условия формирования золоторудных столбов месторождения Токур и факторы, благоприятствовавшие их формированию, а также критерии оценки перспектив месторождений этого типа на глубину.

Формированию Токурского золоторудного месторождения благоприятствовали следующие факторы: 1) тектонический – обеспечивший формирование флюидоконцентрирующей и рудовмещающей Челогорской антиклинали, а также возникновение основного канала поступления глубинных металлоносных магматогенных флюидов (Главного разлома) и оперяющих его рудолокализирующих нарушений; 2) литологический – обеспечивший накопление флюида (нижняя песчаниковая толща) и их экранирование перекрывающей флюидной толщей; 3) глубинный магматический очаг, питающий поток металлоносных флюидов; 4) состав и физико-химические параметры – P , T , pH , Eh флюидов, обеспечившие перенос золота от глубинного магматического очага к рудолокализирующим структурам, минералоотложение и формирование богатых рудных столбов.

Жильные тела месторождения имеют крайне неравномерное распределение таких характеристик, как их мощность и содержание в них золота.

1. В каждом выведенном эрозией на поверхность и в «слепо» промышленном жильном теле по латерали выделяется по несколько субпараллельных полос с повышенными мощностями (от 0.4 до 0.7–1.2 м) шириной 50–150 м, круто погружающихся на разведенную глубину и, видимо, далее. Они окаймляются участками с пониженными мощностями (0.1–0.3 м) жильного выполнения.

2. В плоскости жильных тел поля с повышенными содержаниями золота от умеренных до богатых, с присутствием выдающихся и «ураганных» содержаний, особенно в их средних и верхних частях, удовлетворительно совмещаются с крутонаклонными полосами повышенных и промежуточных их мощностей (рис. 7–10).

3. Из вышеуказанных благоприятствующих факторов главным или определяющим фактором формирования промышленных руд и рудных столбов, очевидно, является переменный режим давления флюида в жильных полостях, а именно, его неоднократные резкие снижения. Индикатором таких мест в жильных телах являются полосы повышенных мощностей, то есть, максимальных «внутрирудных» раскрытий и до-раскрытий рудовмещающих полостей. Нижние участки раскрытия полостей, очевидно, являлись местами начала кипения, гетерогенизации, дегазации, ощелачивания и пересыщения глубинного или смешанного флюида кремнеземом, золотом, сопутствующими металлами, солевыми и газовыми компонентами, массового появления нанозарождений самородного золота и образования ими, по причине гидрофобности их поверхности, ассоциатов с пузырьками газовой фазы.

4. Наряду с участием растворимых комплексов золота в его переносе от глубинного источника в зону рудонакопления в гидротермальном процессе, нами обосновано появление на продуктивной стадии дополнительной твердофазной формы миграции золота. Наночастицы самородного золота в составе «золото-соле-газовых» ассоциатов по механизму естественной газовой флотации перемещались по основным каналам инфильтрации (раздувам полостей) на средние и верхние уровни жильных тел гидротермальной системы до верхнего их выклинивания и несколько далее. На этом пути продвижения ассоциаты накапливались в «ловушках» под макро- и микроэкранами и в интерстициях формирующихся агрегатов кварца-2 продуктивного парагенезиса, где в процессе их агрегации образовывались макроиндивиды самородного золота (рис. 3–6) этого месторождения. Подобные богатые скопления макрозолотин наблюдались нами также в рудах месторождения Пионер в Приамурье [21 – рис. 4–6].

5. Рудные столбы жильных тел месторождения Токур в зоне окисления являются верхними продолжениями первичных рудных столбов, так как на участках богатых золотом окисленных руд широко наблюдаются реликты первичного продуктивного парагенезиса с видимым остаточным самородным золотом в кварце-2. Это подтверждается также тем, что индивиды самородного золота из окисленных и первичных руд по всем минералогическим признакам –

по компонентному составу флюидных включений в них и соотношению в них водной, газовой и солевой составляющих – полностью идентичны.

6. Исходя из малого размера рассчитанного ресурса дисперсного золота в сульфидах малосульфидных жильных тел месторождения Токур, при их полном окислении и даже при полном переотложении этого золота из 200-метровой зоны окисления в предполагаемый [9] подстилающий её 50-метровый по высоте подгоризонт гипергенного золотого обогащения (между высотными отметками 730–780 м), общее содержание золота в нём поднимется не более, чем на 1 г/т. Следовательно: 1) в случаях обнаружения в зоне окисления богатых содержаний золота в жильных телах и реликтов в них первичного продуктивного парагенезиса (кварца-2, самородного золота и галенита), такие участки следует рассматривать как индикаторы вероятных мест выходов на поверхность первичных рудных столбов и считать их наиболее перспективными для разведки на глубину; 2) ожидать возникновения богатых вторичных концентраций золота в зонах окисления жильных тел с непромышленными малосульфидными рудами, на основании приведенного расчета ресурса дисперсного золота в них, нереально.

Наблюдаемое на месторождении Токур закономерное пространственное совмещение золоторудных столбов с раздувами мощности в «слепых» и вскрытых эрозией, частично эродированных рудных телах, как следует из рис. 7–10, однозначно свидетельствует о пространственно-генетической связи их формирования с центрами резких падений давления, кипения, гетерогенизации, дегазации и пересыщения глубинных металлоносных флюидов. Прямыми следствиями резких падений давления флюида в раскрывавшихся жильных полостях и последующих его пересыщений являются массовое появление нанозарождений золота, образование ими ассоциатов с пузырьками газовой фазы и их естественная газовая флотация на более высокие уровни гидротермальной системы с формированием бананцев и богатых рудных столбов.

При проведении в рудных районах Приамурья и в других регионах с малосульфидным золото-кварцевым типом минерализации ревизионных и поисково-оценочных работ на территориях малоизученных рудопроявлений и ранее отработанных месторождений лишь в пределах зон окисления необходимо учитывать результаты этого исследования. Участки обнаружения богатых золотом окисленных руд с реликтами первичного продуктивного минерального парагенезиса в них следует относить к числу особо перспективных на выявление и разведку первичных рудных столбов на значительные глубины.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за прочтение рукописи и сделанные конструктивные замечания, позволившие значительно улучшить изложение материала статьи при подготовке к печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордиенко И.В., Метелкин Д.В., Ветлужских Л.И. Строе-ние Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, №. 3. С. 318–341.
2. Летников Ф.А., Вилор Н.В. Золото в гидротермальном процессе. М.: Недра, 1981. 224 с.
3. Мельников А.В., Степанов В.А. Центры рудной золото-добычи Приамурской провинции: геология, металлогения, перспективы. Благовещенск: АмГУ, 2022. 146 с.
4. Моисеенко В.Г., Фатьянов И.И. Рудные столбы в некоторых месторождениях золота Приамурья // Проблемы образования рудных столбов: Материалы всесоюзного симпозиума, 1969. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1972. С. 61–70.
5. Моисеенко В.Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 304 с.
6. Моисеенко В.Г., Малахов В.В. Физико-химические условия эндогенного рудообразования. М.: Наука, 1979. 200 с.
7. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золото-рудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
8. Нерода О.Н., Остапенко Н.С. Экспериментальное воспроизведение возможности естественной флотации самородного золота в рудном процессе // Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: Шестая Всерос. науч. конф. с междунар. участием. г. Благовещенск, 4–7 окт. 2022 г. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2022. С. 58–61.
9. Нестеров Н.В. Зоны гипергенного обогащения руд золота и их значение для развития золотобывающей промышленности // Геология и геофизика. 1982. № 12. С. 55–64.
10. Нестеров Н.В. Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1985. 198 с.
11. Остапенко Н.С., Беда В.Д. К вопросу о зональности минерализации на золоторудном месторождении малосульфидной формации (Приамурье) // Новые данные по геологии рудоносности Монголо-Охотского пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 40–51.
12. Остапенко Н.С., Левицкий Ю.Т., Шахрай С.А. Оценка температур декрепитации минералов по термобарограммам // Минералообразующие флюиды и рудогенез. Киев: Наукова думка, 1988. С. 228–237.
13. Остапенко Н.С. О температурах декрепитации и составе газовой-жидких включений в самородном золоте // Геология, минералогия и геохимия благородных металлов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 69–77.
14. Остапенко Н.С. Формирование золоторудных столбов в жилах выполнения // Геология и экология бассейна р. Амур. Ч. 2. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО АН СССР, 1989. С. 126–128.
15. Остапенко Н.С., Припутнев Ю.Н. Структура палеотемпературного поля флюида на этапе формирования продук-

- тивной ассоциации минералов золото-кварцевых жил // Геология, минералогия и геохимия благородных металлов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 60–64.
16. Остапенко Н.С. Саморазвитие экранированных гидротермальных систем и гидроразрывов в структуро- и рудообразовании. (Общая модель формирования гидротермальных месторождений) // Докл. АН, 2005. Т. 400, № 6. С. 789–792.
17. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Флюидное давление и гидроразрыв пород при гидротермальном рудообразовании (на примере золоторудных месторождений) // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 3. С. 89–105.
18. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Агрегирование самородного золота в гидротермальном процессе // Наногеохимия золота. Владивосток: Дальнаука, ДВГИ ДВО РАН, 2008. С. 149–156.
19. Остапенко Н.С. О естественной флотации гидрофобных минералов в гидротермальном рудообразовании и ее следствиях (на примере месторождений золота) // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 78–86.
20. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Условия отложения и особенности распределения индивидов самородного золота в жилах мезотермального месторождения Токур (Россия) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 3. С. 239–250.
21. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Причины и факторы формирования бананцев в рудных телах зоны Бахмут штоковеркового золоторудного месторождения Пионер (Приамурье) // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 3. С. 52–71.
22. Петровская Н.В. Самородное золото: общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.: Наука, 1973. 347 с.
23. Прокофьев В.Ю., Бэнкс Д.А., Лобанов К.В. и др. Природные флюиды с наночастицами золота // Супрамолекулярные системы на поверхности раздела: VI Междунар. конф.: сб. статей. Вып. 6. М.: ИФХЭ РАН. 2019. С. 95–100.
24. Прокофьев В.Ю., Лобанов К.Ф., Пэк А.А., Чичеров М.И., Боовиков А.А. Минералообразующие флюиды золотоносного интервала Колской сверхглубокой скважины // Докл. АН. 2019. Т. 485, № 6. С. 736–740.
25. Ребиндер П.А. Физико-химия флотационных процессов. М.: Металлургиздат, 1933. 232 с.
26. Рейнлиб Э.Л., Романовский Н.П. Изучение купольно-магматических систем по геофизическим данным (на примере Верхне-Селемджинского района) // Геология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 110–115.
27. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981. 238 с.
28. Рослякова Н.В., Борисенко А.С., Осоргин Н.Ю., Радостева Н.Е., Цимбалист В.Г., Шугурова Н.А. и др. Металлы во флюидных включениях золоторудных месторождений // Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ. Новосибирск, 1989. С. 165–179.
29. Сорокин А.А., Остапенко Н.С., Пономарчук В.А., Травин А.В. Возраст адуляра из жил золоторудного месторождения Токур (Монголо-Охотский орогенный пояс, Россия) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53, № 3. С. 297–304.
30. Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г. Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44, № 1. С. 42–58.
31. Эйриш Л.В., Сорокин А.П. Коренные источники золотоносных россыпей Дальнего Востока, степень их эродированности // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 4. С. 62–75.
32. Юдовская М.А., Дистлер В.В., Чаплыгин И.В. и др. Формы нахождения золота в продуктах кристаллизации современных высокотемпературных газовых флюидов вулкана Кудрявый, Курильские острова // Докл. АН. 203. Т. 391, № 4. С. 535–539.
33. Юшкин Н.П. О роли флотации в минералообразующих процессах // Записки ВМО. 1960. Серия II. Ч. 89, вып. 6. С. 682–690.
34. Cao J., Hu R., Liang Z., Peng Z. TEM observation of geogas-carried particles from the concealed gold deposit, Guangdong Province, South China // J. of Geochemical Exploration. 2009. V. 101. P. 247–253.
35. Hannington M., Hardardottir V., Garbe-Schönberg D., Brown K.L. Gold enrichment in active geothermal system by accumulating colloidal suspensions // Nature geoscience. 2016. V. 9. P. 299–302.
36. Hannington M., Garbe-Schönberg D. Detection of gold nanoparticles in hydrothermal fluids // Economic geology. 2019. V. 114, N 2. P. 397–400.
37. Hough R.M., Noble R.R.P., Reich M. Natural gold nanoparticles // Ore Geology Reviews. 2001. V. 42. P. 55–61.
38. Roedder E. Fluid inclusion evidence bearing on the environments of gold deposition // Golg 82. Rotterdam: Geol. Soc. Zimbabwe. 1982. P. 129–164.
39. Saunders J.A. Colloidal transport of gold and silica in epithermal precious-metal systems: Evidence from the Sleeper deposit, Nevada // Geology. 1990. V. 18. P. 757–760.
40. Weatherley D.K., Henley R.W. Flash vaporization during earthquakes evidenced by gold deposits // Nature geoscience. 2013. V. 6. P. 294–298.
41. Williams-Jones A.E., Heinrich C.A. 100th anniversary special paper: Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits // Economic Geology. 2005. V. 100, N 7. P. 1287–1312.
42. Williams-Jones A.E., Bowtell R., Migdisov A. Gold in solution // Element. 2009. V. 5. P. 281–287.
43. Zevin D.Y., Migdisov A.A., Williams-Jones A.E. The solubility of gold in H_2O-H_2S vapour at elevated temperature and pressure // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. V. 75. P. 5140–5153.

Рекомендована к печати В.В. Раткиным

после доработки 10.09.2024 г.

принята к печати 20.11.2024 г.

**ON THE ROLE OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS FACTORS IN THE FORMATION
OF HIGH-GRADE ORES AND ORE SHOOTS IN VEIN BODIES OF THE TOKUR LOW-
SULFIDE GOLD DEPOSIT (PRIAMURYE, RUSSIA)**

N.S. Ostapenko, O.N. Neroda

*Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Blagoveshchensk, Russia; e-mail: ostapenko_ns@mail.ru*

Using the Tokur low-sulfide gold-quartz deposit as an example, the long-debated problem of genesis and relationships of primary and secondary ore shoots at low-sulfide gold-quartz deposits (with sulfide contents range from 0.5 to 2.5 %) is considered as the basis for assessing their potential for economic mineralization and choosing a strategy for exploration or follow-up exploration of ore targets of this mineragenic type. The study has found that native gold in primary and oxidized ores from vein bodies of the deposit is identical in size of gold particles, primary mineral parageneses, spatial distribution of gold within vein bodies, and composition of fluid inclusions in gold. That is, near-surface gold mineralization at the deposit formed at the hydrothermal stage. No economically important dispersion halos of gold practically occur in the oxidation zone, due to the low grades of gold finely disseminated in sulfides of primary low-sulfide ores (on average, at a level of 15–35 g/t) and small amounts of sulfides in such ore bodies. Consequently, outcrops of high-grade oxidized gold ores found on the surface of low-sulfide deposits should, with a high degree of probability, be considered a reliable indicator of primary ore shoots being localized in them and, consequently, the potential of these vein bodies to host mineralization at depth. This is important to take into account when choosing directions for further exploration at depth and additional in-mine exploration of the deposits which were previously mined only at near-surface levels.

Based on the results of studies on the distribution of gold in numerous eroded and «blind» vein bodies of the deposit, the formation of primary gold-ore shoots was spatially and genetically correlated with the zones of maximum cavity opening, that is, the bulging within these vein bodies. The opening of the cavities led to a sharp decrease in fluid pressure in them, its supersaturation with gold and a change in the forms of its transfer. We believe that gold was transported in fluids from the places of the onset of sharp decreases in its pressure to higher levels of localization of ore shoots not only in the form of soluble complexes, but also in a solid-phase form by a mechanism of its natural gas flotation, with the formation of nanonuclei of hydrophobic gold and their associates «Au_{cr} + gas bubbles» on evaporation barriers along the peripheries of released and growing gas bubbles during boiling, heterogenization, degassing and supersaturation of the fluid with gold, gases and other components. We modeled this mechanism of effective solid-phase gold transfer during ore formation in laboratory experiments.

Key words: primary and oxidized ores, gold-ore shoots, ore localization factors, forms of gold transport in fluids, «Au_{cr} + gas bubbles» associates, natural gas flotation of gold, Amur Region.