

## ЗАДЕРЖНИНСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ, ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ, ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ (Южное Верхоянье)

Л.А. Кондратьева, Г.С. Анисимова, А.И. Зайцев

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,  
677980, Якутск, просп. Ленина, 39, Россия*

На основе изучения региональной позиции, вещественного состава руд, флюидных включений, возрастных взаимоотношений оруденения и магматических пород предложена геолого-генетическая модель формирования золотого оруденения месторождения Задержнинское. Оруденение расположено в тектоническом узле пересечения двух региональных структур в надинтрузивной зоне скрытого гранитоидного массива среди терригенных отложений верхоянского комплекса, метаморфизованных в зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Установлено последовательное отложение трех типов оруденения — Au-кварцевого с ранней слабозолотоносной Au-As и поздней продуктивной Au-Pb-Zn минерализацией, Au-редкометалльного и Au-серебряного. Au-Bi (Te) ассоциация характеризуется присутствием самородного висмута, висмутина, хедлейита, сульфотеллуридов Bi, минералов группы густавита и вторичных минералов — оксидов и теллуридов Bi с низкопробным золотом. Индикаторными минералами Au-Ag (Sb) ассоциации являются Hg-содержащие электрум и кюстелит, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосоли, штюцит, Te-Pb-содержащий канфильдит, фрейбергит, сульфиды Au и Ag. Рудообразование происходило при температуре от 90 до 340 °C при участии низко- и умеренно концентрированных растворов с  $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$  газовой фазой. Установлено снижение температуры от Au-кварцевого оруденения (200—220 °C) к позднему эпитептермальному (160 °C) и небольшое возрастание концентрации растворов (до 10 мас. % NaCl-экв.). Месторождение сформировано в результате сложного многоэтапного геодинамического развития Южного Верхоянья. Рудообразующие процессы сопряжены с эволюцией магматических проявлений. Результаты датирования магматических пород определяют возраст диоритов — 130—137 млн лет (Rb-Sr), спессартитов —  $126 \pm 3$  млн лет (Rb-Sr), керсантитов —  $115 \pm 1.7$  млн лет (Ar/Ar). Раннее стратоидное Au-кварцевое (Au-As) оруденение месторождения сопоставимо с метаморфогенными Au-кварцевыми жилами юрско-буларского типа и возраст его формирования принимается >137 млн лет. Время образования Au-кварцевого (Au-Pb-Zn) оруденения определено в  $123.5 \pm 1.6$  млн лет (Ar/Ar) и синхронно с внедрением раннемеловых гранитоидов Южного Верхоянья. Наложенное низкотемпературное оруденение имеет, несомненно, более молодой возраст образования с последовательным отложением золоторедкометалльной минерализации на завершающей стадии формирования гранитоидных батолитов (~120 млн лет) и золотосеребряной минерализации в интервале  $100 \pm 5$  млн лет — временем формирования гранодиорит-гранитных интрузивов поздних этапов.

*Гранитоидный магматизм, метаморфизм, Au-Bi (Te), Au-Ag (Sb) оруденение, флюидные включения, Ar/Ar, Rb/Sr возраст, месторождение Задержнинское, Южное Верхоянье.*

### THE ZADERZHINSKOE GOLD DEPOSIT: MINERAL COMPOSITION, FLUID INCLUSIONS, AND AGE (South Verkhoyansk region)

L.A. Kondrat'eva, G.S. Anisimova, and A.I. Zaitsev

Based on results of study of the regional position, chemical composition of ores, fluid inclusions, and age relationships between mineralization and igneous rocks, we propose a geological and genetic model for the formation of gold mineralization of the Zaderzhinskoe deposit. Mineralization is located in the tectonic node of the intersection of two regional structures in the supraintrusive zone of a latent granitoid pluton among the terrigenous rocks of the Verkhoyansk complex, which are regionally metamorphosed to the greenschist facies. The sequential deposition of three types of mineralization — Au-quartz (including early low-gold Au-As and late productive Au-Pb-Zn types), Au-rare-metal, and Au-silver — has been established. The Au-Bi (Te) assemblage contains native bismuth, bismuthine, hedleyite, Bi sulfotellurides, gustavite group minerals, and secondary minerals — Bi oxides and Bi tellurites with low-grade gold. Hg-containing electrum and kustelite, Ag-Sb and Ag-Pb-Sb sulfosalts, stutzite, Te-Pb-containing canfieldite, freibergite, and Au and Ag sulfides are indicator minerals of the Au-Ag (Sb) assemblage. Ore formation occurred at temperatures from 90 to 340 °C, with the participation of lowly and moderately concentrated solutions with  $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$  gas phase. A decrease in temperature from Au-quartz mineralization (200—220 °C) to the late epithermal one (160 °C) and a slight increase in the concentration of solutions (up to 10 wt.% NaCl equiv.) have been established. The deposit resulted from the intricate multistage geodynamic evolution of the South Verkhoyansk region. Ore-forming processes are associated with the evolution of magmatic objects. Dating of igneous rocks yields the following ages: diorites — 130—137 Ma (Rb-Sr), spessartites —  $126 \pm 3$  Ma (Rb-Sr), and kersantites —  $115 \pm 1.7$  Ma (Ar/Ar).

Early concordant Au–quartz (Au–As) mineralization of the deposit is comparable with metamorphic-related Au–quartz veins of the Yur–Bular type, and its age is taken as  $>137$  Ma. The time of formation of Au–quartz (Au–Pb–Zn) mineralization is estimated at  $123.5 \pm 1.6$  Ma (Ar/Ar) and is coeval with the time of intrusion of the Early Cretaceous granitoids of the South Verkhoyansk region. The imposed low-temperature mineralization undoubtedly has a younger age. Its formation was followed by the successive deposition of Au–rare-metal mineralization at the final stage of formation of granitoid plutons ( $\sim 120$  Ma) and Au–Ag mineralization in the period  $100 \pm 5$  Ma, i.e., the time of formation of late-stage granodiorite–granite intrusions.

*Granitoid magmatism, metamorphism, Au–Bi (Te) and Au–Ag (Sb) mineralization, fluid inclusions, Ar/Ar and Rb–Sr ages, Zaderzhnoe deposit, South Verkhoyansk region*

## ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Задержнинское расположено в Аллаx-Юньском горно-рудном районе, одном из старейших крупных золотоносных районов Якутии, известном, прежде всего, богатыми россыпными месторождениями р. Аллаx-Юнь и ее притоков. Несмотря на длительную с 30-х годов прошлого века историю изучения золотоносности, проблема коренных источников золота остается актуальной. Традиционным для рассматриваемого района является кварцево-жильное оруденение типа Бендигго, в виде ярусно расположенных межпластовых и внутривпаховых кварцевых жил на нескольких продуктивных уровнях. Это малотоннажные месторождения Юр, Булар, Дуэт с рудами малосульфидной золотокварцевой формации [Андриянов, 1973; Зайцев и др., 1973; Силичев, Белозерцева, 1985; Константинов и др., 1988; Константинов, Косовец, 1996; Фридовский, 1998; Зайцев, Ненашев, 1999]. Крупнейшим месторождением Аллаx-Юньского горно-рудного района является полиформационное Нежданское с оруденением золотосульфидного вкрапленного Au-кварцевого и Ag-полиметаллического типов [Силичев, 1970; Горячев, 1998; Алпатов, 1998; Бортников и др., 1998; Гамянин и др., 2000; Чернышев и др., 2012; и др.]. Данные месторождения рассматриваются как эталонные при металлогеническом районировании. Выделяются две металлогенические зоны, принадлежащие различным металлогеническим поясам [Тектоника ..., 2001]: Аллаx-Юньская — метаморфогенных Au-кварцевых месторождений Яно-Колымского позднеюрско-раннеэокомового коллизионного металлогенического пояса и Южно-Верхоянская — Au-Ag-кварцевых, Au-редкометаллических и Ag-полиметаллических месторождений Восточно-Якутского апт-позднеэокомового постагрегационного металлогенического пояса.

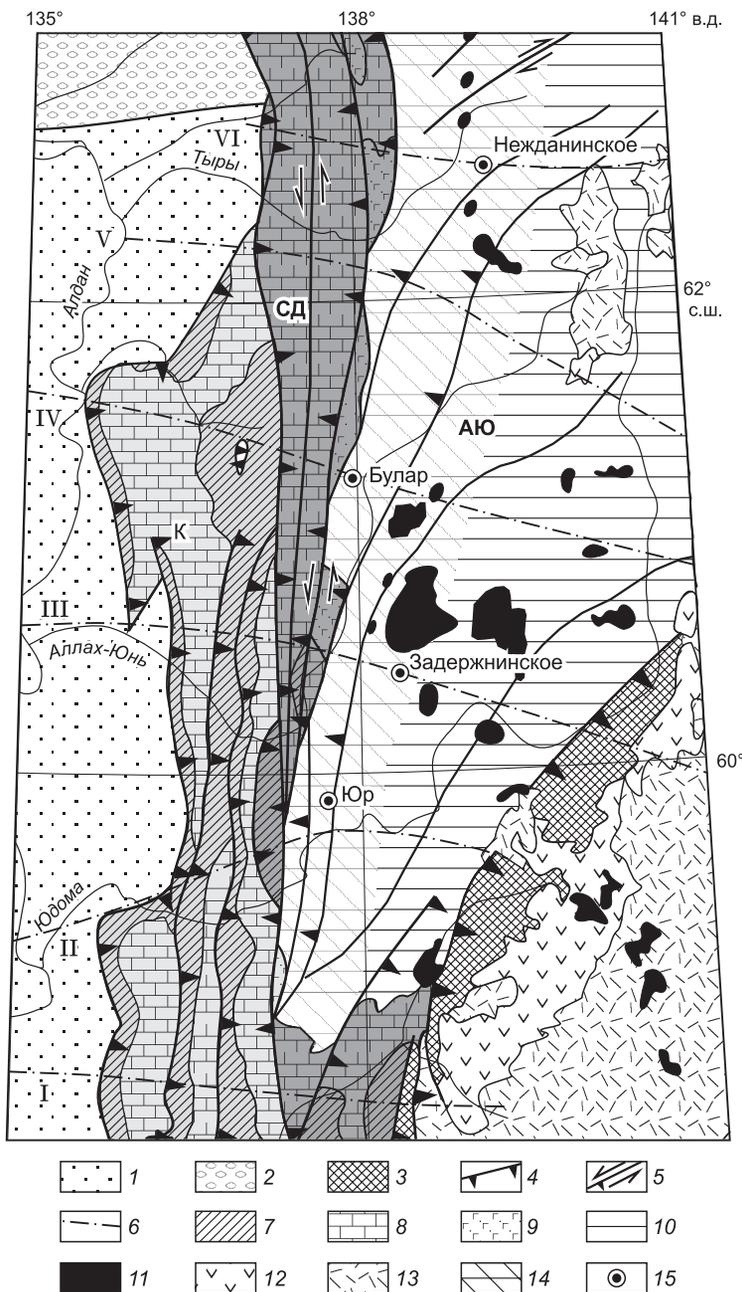
Золотое оруденение небольшого по запасам Задержнинского месторождения исследователями ранее относилось к золотокварцевой формации с убогосульфидными рудами с содержанием сульфидов не более 0.5 %, при этом отмечалось существование двух типов оруденения: слабозолотоносного доинтрузивного в мощных (до 20 м) кварцевых жилах с арсенопирит-пиритовой минерализацией и постинтрузивного в маломощных кварцево-жильных образованиях с продуктивной галенит-сфалеритовой минерализацией [Воронин, 1970].

В результате комплексных исследований Задержнинского месторождения появились новые данные по минеральному составу руд, возрасту оруденения и условиям рудообразования, позволяющие пересмотреть его минералого-геохимическую типизацию и показывающие многоэтапность формирования оруденения.

## ПОЛОЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Задержнинское месторождение расположено в Центральной структурной зоне Южно-Верхоянского синклиниория, сформировавшегося в зоне сопряжения складчато-глыбового обрамления Сибирской платформы и Охотского массива. Здесь протягивается Южно-Верхоянский метаморфический пояс с интенсивно смятыми в линейные складки терригенными отложениями раннекаменноугольного-ранне-мезозойского возраста верхоянского комплекса, преобразованными в условиях серицит-хлоритовой субфации метаморфизма фации зелёных сланцев, прорванных поздне-мезозойскими гранитоидными массивами (рис. 1).

Месторождение локализовано в тектоническом узле пересечения двух региональных структур субмеридиональной Минорской (Кидерикинской) зоны интенсивных дислокаций и субширотного Менджельского поднятия. Минорский разлом контролирует зону максимального метаморфизма осадочных пород, а также положение крупных гранитоидных плутонов южно-верхоянского комплекса. Менджельское поднятие — одна из серии выделяемых в Южном Верхоянье поперечных региональных структур, связываемых с длительно развивавшимися крупными разломами [Гринберг и др., 1970]. Месторождение приурочено к интрузивно-купольной морфоструктуре, дочерней по отношению к более крупной (диаметр 50 км), оконтуривающей Уэмляхский гранитоидный батолит. Конфигурация морфоструктуры



**Рис. 1. Положение Задержнинского рудного поля в региональных структурах Южного Верхоянья.**

Тектоническая основа, по А.В. Прокопьеву [Тектоника..., 2001] с изменениями и дополнениями.

1 — осадочный чехол Сибирской платформы; 2 — Приверхоянский краевой прогиб; 3 — раннекембрийские образования Верхнемайского выступа Охотского террейна; 4 — надвиги; 5 — сдвиги и взбрососдвиги; 6 — поперечные поднятия, по [Гринберг и др., 1970]; I — Курун-Юряхское, II — Огонекское, III — Менджельское, IV — Сегенинское, V — Халыинское, VI — Тыринское; отложения: 7 — рифейские, 8 — венд-нижнепалеозойские, 9 — среднедевонско-нижнекаменноугольные, 10 — верхнепалеозойско-мезозойские; 11 — мезозойские гранитоиды; вулканоплутонические пояса: 12 — Удской, 13 — Охотско-Чукотский, 14 — метаморфический пояс; тектонические зоны: К — Кыллахская (светло-серое), СД — Сетте-Дабанская (серое), АЮ — Аллах-Юньская (белое), 15 — месторождения.

конформна геофизическим магнитным аномалиям, которые могут свидетельствовать о присутствии скрытого на глубине не более 2 км гранитоидного массива.

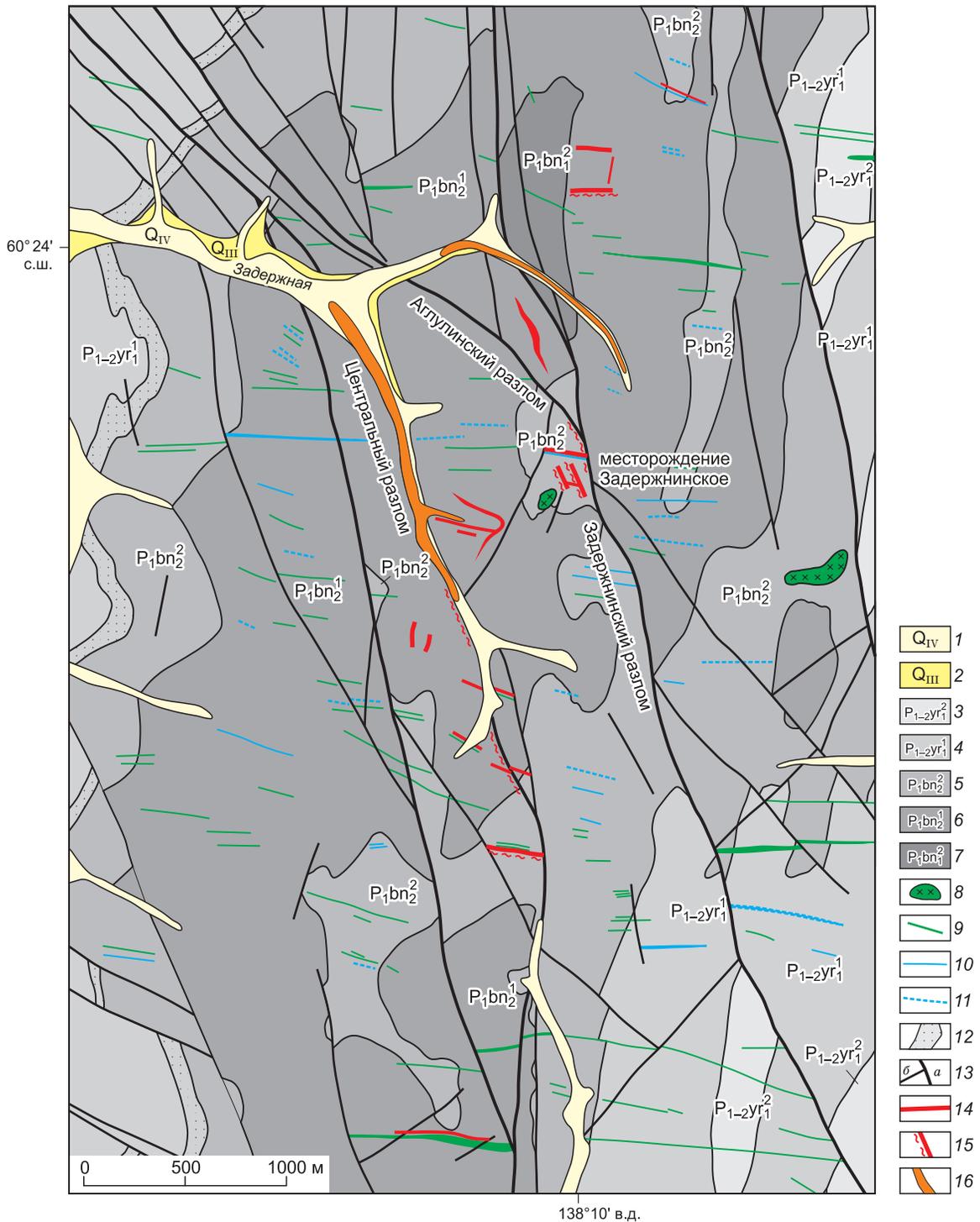
Крупные многофазные батолиты биотит-роговообманковых гранитоидов по Ar-K и Rb-Sr данным датируются 140—143 млн лет [Ненашев, Зайцев, 1980], а Ar-Ar методом — 120—123 млн лет [Парфенов, 1995]. Ближайший к месторождению (в 20 км севернее) Уэмляхский массив датируется  $120.4 \pm 0.6$  млн лет, U-Pb, по циркону [Прокопьев и др., 2006] и 121—123 млн лет, Ar-Ar,

по биотиту и роговой обманке [Layer et al., 2001]. Ar-Ar возраст небольших гранитных массивов 92—97 млн лет [Layer et al., 2001].

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Вмещающие породы.** Оруденение приурочено к нижней части разреза перми верхоянского терригенного комплекса. Рудовмещающие породы представлены переслаивающимися песчанистыми алевролитами и песчаниками бонсолчанской свиты, интенсивно кливажированными, смятыми в мелкие складки, осложняющими свод основной структуры (рис. 2). Согласно исследованиям А.В. Кокина, содержание золота по бонсолчанской свите составляет для алевролитов 6.8 мг/т, для песчаников 7.3 мг/т, т. е. близко к региональному фону золота в Южно-Верхоянском синклинии (алевролиты 7.2 мг/т, песчаники 6.0 мг/т). Продуктивные отложения халыинской и суркечанской свит имеют более высокие концентрации золота: алевролиты 12.2 мг/т, песчаники 10.0 мг/т [Кокин и др., 1999].

Терригенные породы пронизаны многочисленными трещинными телами диоритов, микродиоритов и спессартитов, реже диоритовых порфиритов и керсантитов. Дайки группируются в серии сближенных, иногда кулисообразно расположенных тел субширотной ориентировки. На флангах рудного поля закартированы несколько мелких штокообразных тел диоритов и субщелочных гранитоидов. Наи-



**Рис. 2. Геолого-структурная схема Задержнинского рудного поля.**

Четвертичные отложения: 1 — современное звено, 2 — верхнее звено; отложения ырчихской свиты: 3 — нижняя подсвита, вторая пачка, 4 — нижняя подсвита, первая пачка; отложения бонсолчанской свиты: 5 — верхняя подсвита, вторая пачка, 6 — верхняя подсвита, первая пачка, 7 — нижняя подсвита, вторая пачка; 8 — штоки диоритов; 9 — дайки диоритов, диоритовых порфиров и микродиоритов; 10 — дайки спессартитов; 11 — дайки керсантитов; 12 — маркирующие горизонты песчаников; 13 — разрывные нарушения (а — главные, б — второстепенные); 14 — кварцевые жилы; 15 — минерализованные зоны дробления; 16 — россыпи.

более крупный шток оцелоченных пород, отвечающих по составу кварцевым монцонитам, находится в южной части месторождения. Наблюдаемая площадь достигает 5000 м<sup>2</sup>. Выход интрузива имеет сложные фестончатые ограничения и неровную кровлю, полого погружающуюся в южном направлении, где в едином роговиковом поле располагается целый ряд его разрозненных выходов точечного типа. Штокообразные выходы монцодиоритов и ореолы биотит-кордиеритовых роговиков рассматриваются в качестве апикальных выступов неровной кровли крупного, погребенного интрузивного массива.

**Структура месторождения.** Оруденение приурочено к осевой части линейной Джайкангинской антиклинали север-северо-восточного простирания. Разрывные нарушения группируются в три пространственно-динамические системы: Верхоянскую субдолготную (0—340°), Сунтарскую диагональную (25—45°) и Сетаньинскую субширотную (275—285°). В ходе реализовавшихся по разрывам Верхоянской системы вертикальных подвижек в своде Джайкангинской антиклинали сформировался асимметрично-ступенчатый грабен с серией пологопадающих трещин растяжения, в которых локализируются ранние кварцевые жилы. Сетаньинская система представлена субширотными зонами трещиноватости, к которым приурочены не только дайки, но и рудные тела. Диагональные нарушения Сунтарской системы выполняют роль сопряженных диагональных сколов по отношению к разломам Верхоянской системы, ограничивая рудные интервалы зон трещиноватости Сетаньинской системы либо зон смятия субпродольной ориентировки.

### МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

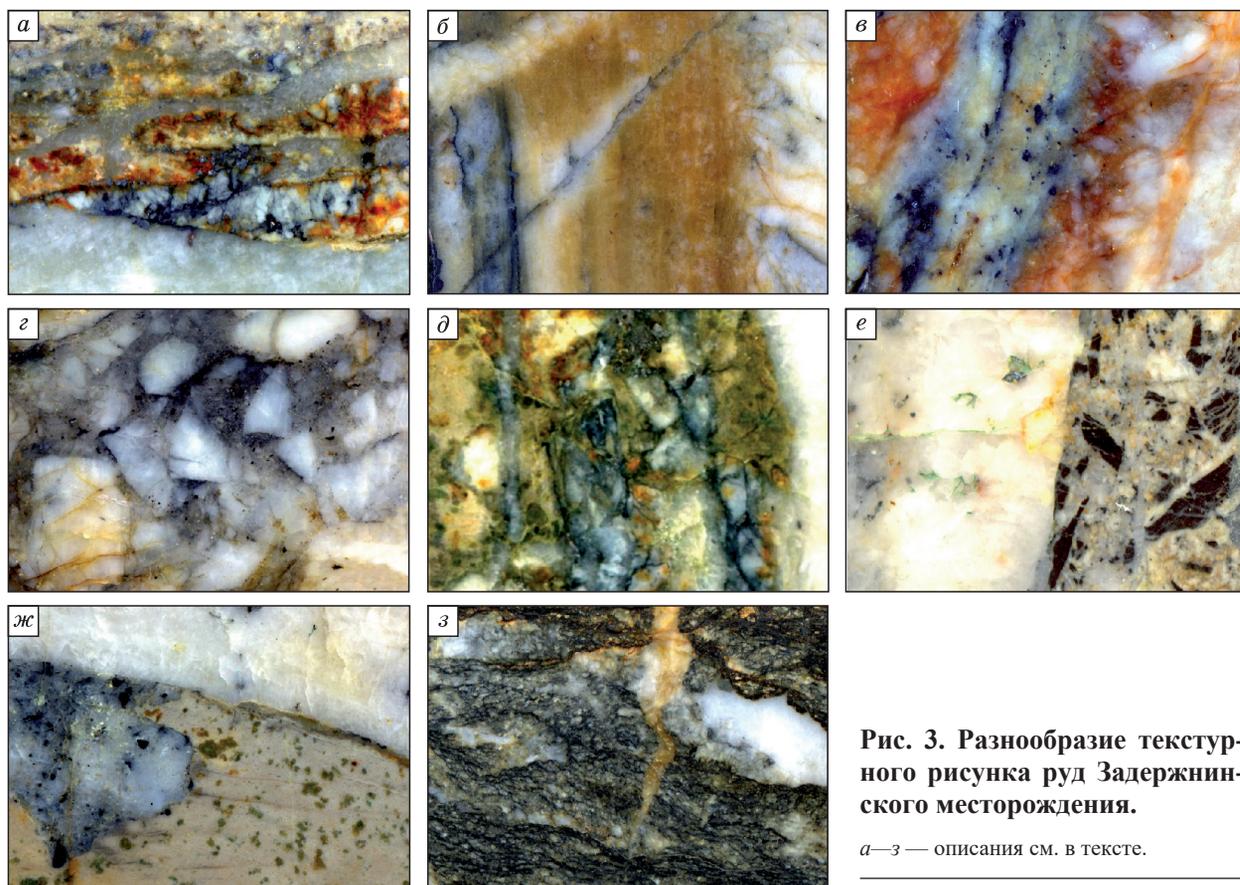
Выделяются два типа рудных тел относительно возраста даек диоритов и спессартитов: додайковые и постдайковые. Додайковые представлены кварцево-жильными образованиями стратоидного и секущего морфоструктурного типа. Дайки спессартитов пересекают ранние кварцевые жилы, проникают в них в виде апофиз по кливажным трещинам и включают их обломки, как и вмещающих терригенных пород, в виде ксенолитов.

Промышленная золотоносность связана с рудными телами секущего морфоструктурного типа постдайкового возраста: крутопадающими кварцевыми жилами с зонами прожилкования и минерализованными зонами дробления с прожилково-вкрапленными рудами. Типичными представителями являются рудные зоны 2 и 3 месторождения.

Субвертикальные кварцевые жилы приурочены к субширотным трещинам Сетаньинской системы и часто наложены на лампрофиры. Рудная зона 2 состоит из трех сближенных, кулисообразно сменяющих друг друга в субширотном направлении кварцевых жил, общей протяженностью до 170 м, при мощности 0.1—0.5 м с аз. пад. 5—30° и углами падения 60—85°. Рудные тела обычно локализируются в зальбандах даек либо пересекают их и захватывают обломки магматических пород.

Ориентировка минерализованных зон дробления зависит от их приуроченности к разрывным нарушениям Верхоянской либо Сетаньинской системы. Рудная зона 3 представлена тремя зонами тектонитов, две из них субпараллельны друг другу (аз. пад. 240—260°∠60—75), а третья выполняет соединяющую их трещину отрыва (аз. пад. 200—220°∠75). Зоны тектонитов характеризуются неравномерной раздробленностью и степенью окварцевания пород: слабосмятые алевролиты с зонами прожилкования чередуются с интенсивно смятыми окварцованными породами со стержневыми линзующимися кварцевыми жилами. Минерализованная зона дробления на пересечении с субширотными дайками содержит сцементированный кварцем брекчированный материал спессартитов, который, в свою очередь, пересекается кварцевыми жилами [Кондратьева и др., 2005].

**Текстурные особенности.** Руды ранних додайковых стратоидных и секущих жил обычно сложены однородным кварцем с вкрапленной текстурой. Постдайковые руды месторождения характеризуются разнообразием текстурного облика (рис. 3). Часто рудные тела имеют зональное строение, когда стержневые интервалы крутопадающих секущих жил и минерализованных зон дробления с полосчатыми или вкрапленными рудами сменяются к зальбандам брекчиевыми, но нередко встречается руд со сложным текстурным рисунком, обусловленным комбинацией нескольких текстур. Рисунок полосчатой текстуры обусловлен чередованием кварца и других жильных минералов (см. рис. 3, а) либо реликтовых микрослоек вмещающих пород, а также внутрижильными прослоями кварца различного текстурно-структурного облика, цветового контраста или резко обогащенного рудными минералами. Наблюдаются сменяющие друг друга прослой кварца различной зернистости от средне- до криптозернистого, халцедоновидного с тонкоритмичным строением, рассеченные более поздними прожилками (см. рис. 3, б). Часто встречается переслаивание внутрирудных брекчий «кварца в кварце» и руд с прожилково-вкрапленной текстурой (см. рис. 3, в). Внутрирудные брекчии сложены обломками первичного гипидиоморфно-зернистого или частично перекристаллизованного молочно-белого кварца, сцементированными мелкозернистым кварцем, имеющим желтую, обусловленную окислением, или темно-серую (до черной) окраску из-за насыщенности пелитовым и углистым веществом. Рудный материал обычно



**Рис. 3. Разнообразие текстурного рисунка руд Задержнинского месторождения.**

*a—z* — описания см. в тексте.

венно приурочен к межзерновому пространству (см. рис. 3, *z*). В зальбандах обычны руды, образованные в результате прокварцевания тектонических брекчий, которые содержат неправильные, многоугольные обломки вмещающих пород (как терригенных, так и магматических), сцементированные кварцем (см. рис. 3, *д, е*). Поздние жилы на контактах с дайками срезают захваченные ими включения раннего кварца с ксенолитами алевролитов (см. рис. 3, *ж*). В минерализованных зонах дробления и смятия нередко встречаются флюидално-плычатые текстуры руды, когда короткие кварцево-жильные линзы повторяют прихотливо изогнутую конфигурацию рассланцованных углисто-глинистых сланцев и алевролитов (см. рис. 3, *з*).

Сложность текстурного рисунка руд Задержнинского поля, обусловленная сочетанием разнообразных текстур, свидетельствует об изменчивых нестабильных условиях их образования, о неоднократных тектонических движениях с поступлением новых порций рудных растворов.

### МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ

К настоящему времени в рудах месторождения Задержнинское установлено около 45 минеральных видов. Основными критериями при определении последовательности минералообразования являются: наличие пересечений агрегатов ранних стадий минералообразования поздними; наличие обломков образований ранних стадий в минеральных агрегатах поздних; метасоматическое замещение ранних минералов поздними. Особенностью жильно-прожилковой минерализации, обусловившей сложность расшифровки временных взаимоотношений, является локализация разностадийных образований в одних и тех же структурах.

Первый мезотермальный золото-кварцевый этап рудообразования подразделен на додайковую и постдайковую стадии. В додайковую стадию сформировались пирит-арсенопиритовая метасоматическая и золотопирротин-пирит-арсенопирит-кварцевая жильного выполнения минеральные ассоциации. Интенсивность проявления рудоподготовительных процессов на площади месторождения слабая. Предрудные метасоматиты образуют широкие зоны пиритизации и более узкие локальные, непосредственно прилегающие к рудным телам ореолы вкрапленности арсенопирита. Кварц I генерации представлен преимущественно белым или серым крупнокристаллическим кварцем с массивной и брекчиевидной текстурой. Рудные минералы содержатся в кварце в виде крайне неравномерно распределенной редкой вкрапленности. Содержание сульфидов составляет не более 1 %. Арсенопирит I и пирит I отличаются

крупнозернистостью и невысокой золотоносностью — первые г/т (2.04—3.65 и 0.65—1.09 г/т соответственно), так же как и собственно руды.

Постдайковая рудная стадия характеризуется образованием золотополисульфидной продуктивной минеральной ассоциации. Кварц II генерации отличается массивной или брекчиевидно-полосчатой текстурой и среднекристаллической структурой. Содержание сульфидов возрастает до 3—5 %, основной комплекс рудных минералов: галенит, сфалерит, арсенопирит, пирит, халькопирит, золото. Золотоносность средне-мелкозернистых арсенопирита II и пирита II составляет десятки, редко сотни г/т (14.69—104.10 и 35.61—337.09 г/т соответственно). Высокая железистость сфалерита (до 7 %) характерна среднеглубинным и мезотермальным условиям образования [Гамянин, 2001]. С данной ассоциацией связана основная масса «видимого» золота. Самородное золото в ассоциации с галенитом по трещинкам проникает в катаклазированный пирит (рис. 4, а). Типоморфным эндогенным карбонатом Au-кварцевого оруденения является магнезиоанкерит-сидеродолмит I (12.86—33.71 FeCO<sub>3</sub>, мол. %) [Кондратьева, Емельянова, 2017].

Со вторым этапом связано золоторедкометалльное **Au-Bi (Te)** оруденение, характеризующееся присутствием самородного висмута, висмутина, хедлейита, сульфотеллуридов Bi, минералов группы густавита и вторичных минералов — оксидов и теллуридов Bi с низкопробным золотом (см. рис. 4, б; табл. 1). Редкометалльное оруденение локализуется в мелкозернистом до криптозернистом кварце, развитом на контакте с дайкой спессартитов в рудной зоне 2 месторождения, и накладывается на ранний катаклазированный арсенопирит II генерации Au-полисульфидного оруденения. Наложенность руд Au-Bi (Te) ассоциации подчеркивается также появлением примеси Bi (0.3—0.5 %) в галените данной рудной зоны, тогда как для других рудных тел месторождения она не характерна. Наблюдается нестехиометричность состава сульфотеллуридов и теллуридов висмута. Основные изоморфные элементы в минералах висмута — Pb, Sb и Ag.

Особенностью состава *висмутина* являются ощутимые концентрации Pb (3.40—5.13 %) и Sb (0.93—1.79 %). Сульфотеллуриды Bi по химическому составу наиболее близки к ингодиту (Bi<sub>2</sub>TeS), сульфоцумоиту (Bi<sub>3</sub>Te<sub>2</sub>S) и жозенту В (Bi<sub>4</sub>Te<sub>2</sub>S). В виде примеси присутствуют Pb (до 4.76 %), реже Sb и Ag до 1 %. Сульфосоли Bi, Pb и Ag отнесены к ряду густавита, различаются ширмерит (AgPb<sub>2</sub>Bi<sub>3</sub>S<sub>7</sub>), эскимоит (Ag<sub>7</sub>Pb<sub>10</sub>Bi<sub>15</sub>S<sub>36</sub>), оурэйит (Ag<sub>25</sub>Pb<sub>30</sub>Bi<sub>41</sub>S<sub>104</sub>) и викингит (Ag<sub>5</sub>Pb<sub>8</sub>Bi<sub>13</sub>S<sub>30</sub>). Оксиды и теллуриды Bi являются основными носителями данного элемента и доминируют над всей группой Bi-содержащих минералов. Все вышеприведенные теллуриды, сульфотеллуриды, сульфиды и сульфосоли Bi и Ag, самородное Au сконцентрированы в них в виде выделений и реликтов. По химическому составу теллуриды отнесены к смирниту (Bi<sub>2</sub>TeO<sub>5</sub>), а оксиды Bi — к бисмиту (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). В теллуридах фиксируются Ag, Sb и Se. Самородное золото ассоциирует со вторичными минералами Bi и Te и имеет низкопробный состав

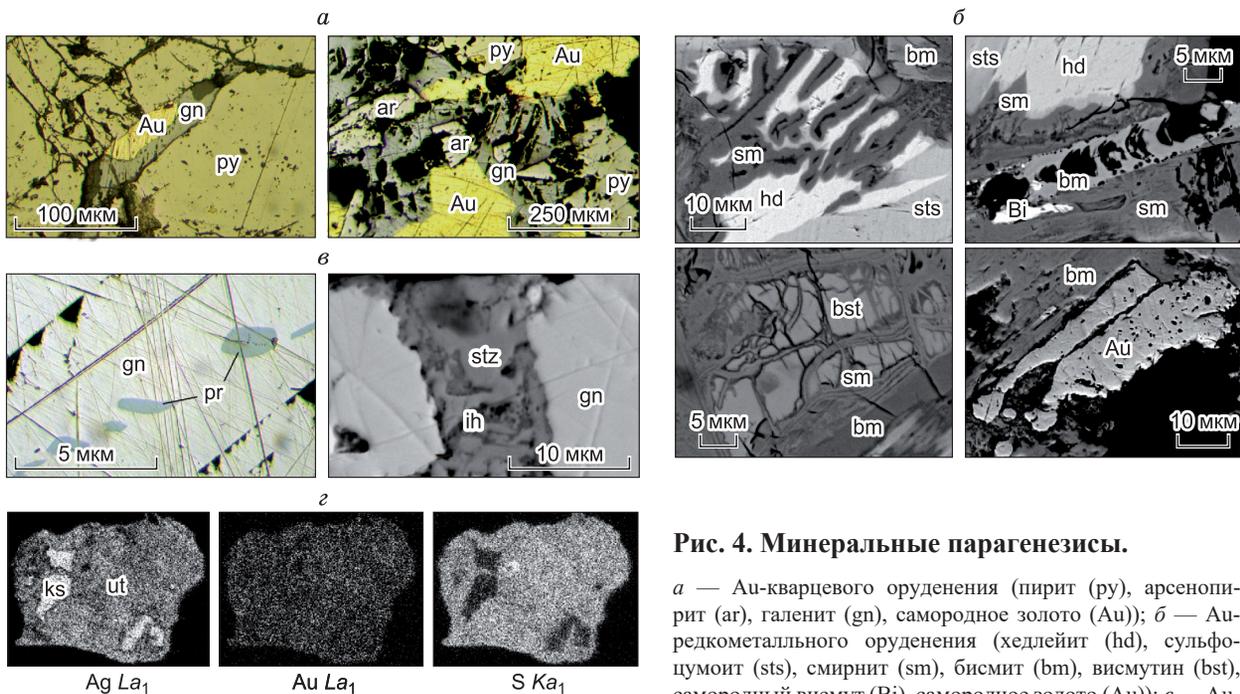


Рис. 4. Минеральные парагенезисы.

а — Au-кварцевого оруденения (пирит (py), арсенопирит (ar), галенит (gn), самородное золото (Au)); б — Au-редкометалльного оруденения (хедлейит (hd), сульфоцумоит (sts), смирнит (sm), бисмит (bm), висмутин (bst), самородный висмут (Bi), самородное золото (Au)); в — Au-серебряного оруденения (пираргирит (pr), шпютцит (stz), галенит (gn), гидроксиды железа (ih)); з — растровые картины распределения элементов в ютенбогардтите (ut) и кюстелите (ks).

Химический состав минералов висмута

Минерал	Bi	Te	Pb	Ag	Sb	S	Cu	Se	F	O
Самородный висмут (4)	98.73—101.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Висмутин (1)	80.36	—	—	—	—	17.78	—	—	—	—
Pb-висмутин (4)	75.68—77.66	—	2.85—5.73	—	—	17.96—19.22	—	—	—	—
Pb-Sb-висмутин (4)	76.28—79.28	—	3.40—5.13	—	0.93—1.79	16.62—17.74	—	—	—	—
Хедлейит (1)	78.07	21.88	—	—	—	—	—	—	—	—
Сульфофумонт (18)	60.20—70.35	21.90—28.23	0—6.31	0—1.01	—	4.74—6.38	—	—	—	—
Жозеит-В (7)	73.56—75.63	21.07—23.84	—	—	—	2.44—3.20	—	—	—	—
Лиллианит-густавитовый ряд (14)	38.57—51.20	0—4.28	24.44—39.41	5.44—8.46	0—2.25	14.26—17.23	—	—	—	—
Смирнит (10)	65.43—69.32	13.56—19.19	—	0—0.54	0—2.17	—	0—2.11	0—1.14	—	14.59—17.80
Бисмит (10)	75.39—83.21	—	—	—	—	—	—	—	0—0.81	14.93—20.62

Примечание. Анализы в табл. 1 и 2 выполнены рентгеноспектральным методом на микроанализаторе JEOL JSM-6480LV в ИГАБМ СО РАН, аналитик Н.В. Христофорова. В скобках количество анализов. Жирным шрифтом выделены главные элементы минералов.

(740—760 %). Нестехиометричность химического состава висмутовых минералов свидетельствует об их формировании в нестабильных физико-химических условиях малых глубин.

Индикаторными минералами золотосеребряного **Au-Ag (Sb)** оруденения третьего этапа рудообразования являются Hg-содержащие электрум и кюстелит, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосоли, штюцит, Te-Pb-содержащий канфильдит, фрейбергит, сульфиды Au и Ag (см. рис. 4, в, табл. 2). Кварц данной ассоциации отличается мелкотонкозернистым до халцедоновидного обликом. Среди карбонатов характерны сидеродоломит-доломит II (3.30—25.03 FeCO<sub>3</sub>, мол. %), мангансидерит (до 25.79 % MnCO<sub>3</sub>) и кальцит (до 4.9 мол. % SrCO<sub>3</sub>). В поздних парагенезисах нарастает активность Hg, примесь которой обнаруживается в пираргирите, арсенопирите, галените, кюстелите и электруме. Содержание Hg в кюстелите (261—325 %) составляет 1.41—1.70 %, в ртутистом электруме (472—507 %) — 1.58—2.13 %. Ag-Sb сульфосоли представлены пираргиритом, реже стефанитом и полибазитом. Минералы наблюдаются в виде игольчатых, квадратных, овальных и округлых выделений в галените. Отличительной особенностью пираргирита месторождения является примесь Pb и Hg. В полибазите отмечается Se (1.34 %). Среди Ag-Pb-Sb сульфосолей различаются фрейслебенит, биллингслейит и диафорит. Фрейбергит характеризуется повышенным содержанием Fe 7.96 % и отсутствием Zn, что характерно для руд золотосеребряного типа [Гамянин, 2001]. Штюцит замещает более ранние арсенопирит, халькопирит и галенит, с которым образует тесные сростания, а также ассоциирует с блеклой рудой. Сульфиды Ag, Pb, Te и Sn с примесью Se отнесены к Te-Pb-содержащему канфильдиту. Они находятся в виде округлых микрозерен среди галенита в ассоциации с пираргиритом. Сульфиды Au и Ag обнаружены в минерализованной зоне дробления в ассоциации с галенитом, электрумом и кюстелитом [Анисимова и др., 2008] (см. рис. 4, з). По химическому составу проанализированные соединения охватывают весь интервал между AgAuS и Ag<sub>3</sub>AuS<sub>2</sub> и выходят за его пределы, но доминируют разности, тяготеющие к серебряному аналогу — ютенбогаардтиту. Такая тенденция свойственна составам Ag-Au сульфидов золотосеребряных месторождений [Barton et al., 1978; Castor, Sjoberg, 1993; Самусиков и др., 2002; Савва, Пальянова, 2007; Пальянова, Савва, 2008]. Ютенбогаардит Задержнинского месторождения по сравнению со стехиометрическим составом обогащен Ag и S и обеднен Au. В составе петровскаита также наблюдается дефицит Au.

**Самородное золото** месторождения весьма разнообразно по морфологии. Наиболее широко распространено самородное золото неправильного типа: трещинные (чешуйки, прожилки), цементационные (комковидное, крючковидное) и интерстициальные виды. Идиоморфный тип представлен октаэдрами, дендритами и дендритоидами, округло-овальным,

Таблица 2.

Химический состав минералов серебра

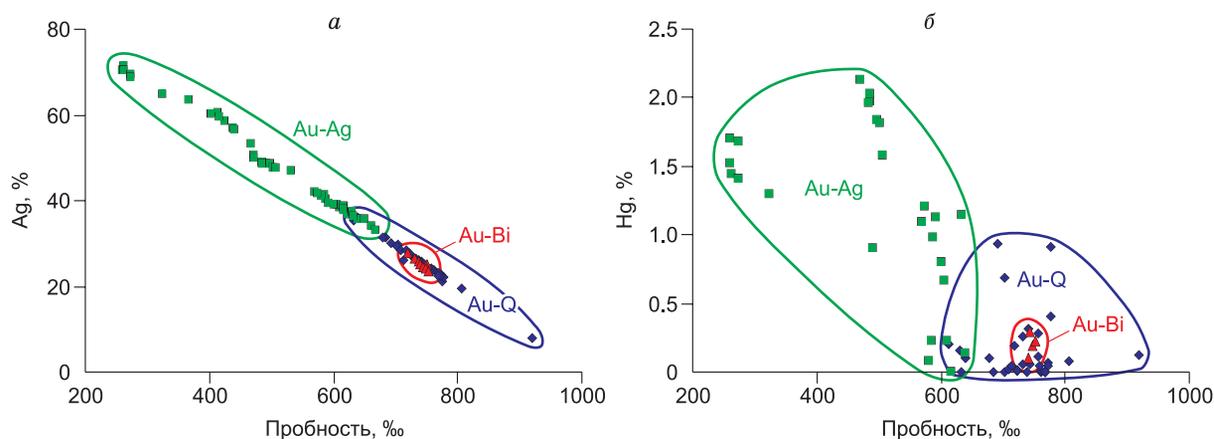
Минерал	Ag	Au	Cu	Fe	Pb	Te	Se	Sn	Sb	As	Hg	S
Фрейбергит (3)	22.20—22.35	—	20.27—20.90	7.34—7.96	—	—	—	—	24.83—26.23	—	—	22.49—23.14
Те-Рб канфильдит (2)	59.24—60.13	—	—	—	10.18—12.71	10.55—10.88	1.57—1.61	5.64—6.20	—	—	—	11.24—11.43
Полибазит (4)	68.87—74.00	—	4.49—6.28	—	—	—	0—1.34	—	2.43—9.22	0—3.52	—	13.23—15.07
Стефанит (1)	69.34	—	—	—	—	—	—	—	15.52	—	—	14.88
Пираргирит (17)	55.28—61.28	—	—	—	—	—	—	—	20.53—27.67	0—0.70	—	17.03—19.30
Диафорит (2)	25.18—29.92	—	0—0.1	—	27.04—29.06	0—0.13	—	—	21.86—25.64	—	—	18.02—19.25
Биллингсгейт (2)	74.24—79.87	—	0.77—0.80	—	0—5.84	0.11—0.19	—	—	1.45—5.22	0.30—3.73	—	14.13—14.77
Фрейслебенит (1)	32.20	—	0.03	—	36.21	—	—	—	14.24	0.06	—	15.73
Штютгит (9)	54.76—59.61	—	—	0—2.79	—	34.92—41.67	—	—	—	—	—	0—1.48
Югенбогардит (17)	42.25—70.00	13.40—44.99	—	0—3.38	0—5.55	—	—	—	—	—	0—2.00	8.31—18.26
Петровскит (3)	33.39—39.24	46.12—54.56	—	0—0.42	0—1.86	—	—	—	—	—	—	8.92—11.59
Кюстелит (5)	68.78—71.46	25.41—26.76	—	—	—	—	—	—	—	—	1.41—1.70	—

пластинчатым и проволочковидым золотом. Наблюдается также развитие золота смешанного типа в виде неполногранных форм.

**Крупность самородного золота.** По нашим наблюдениям почти 80 % всего золота составляют включения, размеры которых не превышают 0.5 мм. К тому же, как уже отмечалось выше, часть золота «связана» в сульфидах. Размеры вкраплений обычно колеблются от 0.005 до 2.5 мм. Крупное золото встречается редко и приурочено к участкам, наиболее насыщенным этим минералом. Максимальный размер золотин, встреченных в рудных телах, достигал 4 мм.

**Состав самородного золота.** По величине пробности самородное золото разделено на 5 разновидностей: 1) весьма низкопробное: <600 ‰ — 14.4 %, 2) низкопробное: 601—700 ‰ — 27.6 %, 3) относительно низкопробное: 701—800 ‰ — 55.6 %, 4) средней пробы: 801—900 ‰ — 1.2 %. 5) высокопробное: 901—950 ‰ — 1.2 %. Как видно, вариации состава изученного золота весьма широкие (261—935 ‰), но в целом основная масса золота по пробности соответствует низкопробному и относительно низкопробному, что характерно для золота малоглубинных месторождений.

Самородное золото Задержнинского рудного поля тесно ассоциирует с сульфидами. По минералам, ассоциирующим с золотом, установлено, что оно выделялось в течение всего процесса минералообразования, начиная с высокотемпературных и заканчивая низкотемпературными минеральными ассоциациями. В ранней пирит-арсенипирит-кварцевой ассоциации значительная часть золота I генерации находится в виде вкраплеников в арсенипирите, реже пирите, причем количество золотин в кварце и гидроксидах железа несколько меньше. Основная масса самородного золота (II генерация) связана с золото-полисульфидной минеральной ассоциацией. Судя по взаимоотношениям, золото выделялось наравне или позже сульфидов. Самородное золото находится в галените в виде округленных форм, иногда с захваченными кристаллами арсенипирита. Местами золото сечет галенит или в ассоциации с галенитом проникает по трещинкам в пирите (см. рис. 4, а). Некоторая часть самородного золота отмечается в кварце, реже в карбонатах и гидроксидах железа. Для золотокварцевого типа оруденения характерно самородное золото, пробность которого варьирует в широких пределах от 620 до 935 ‰, при этом преобладает относительно низкопробное (700—780 ‰), а высокопробное и среднепробное золото составляет не более 8 % (рис. 5, а). В кварце **Au-Bi (Te)** оруденения благородный металл тесно ассоциирует с оксидами висмута (см. рис. 4, б). В этом случае форма выделений благородного металла — округлая и вытянутая. Состав: Au — 74.95 %, Ag — 24.99 %, Hg — 0.41 %, сумма 100.35 %. Пробность — 747 ‰, т. е. соответствует пробности основной массы самородного золота месторождения (см. рис. 5, а). В Au-Ag (Sb) рудных комплексах появляется кюстелит, и развито преимущественно низкопробное золото и электрум. Постоянной примесью самородного золота поздних этапов, кроме Ag, является Hg. Как известно, примесь Hg в золоте имеет индикаторное значение, присутствие этого элемента свойственно «эпитермальному» золо-



**Рис. 5. Вариации состава самородного золота в различных типах руд Задержнинского месторождения.**

*a* — изменение пробности золота, *б* — соотношение содержания Hg и пробности золота. Типы руд: Au-Q — золотокварцевый, Au-Bi — золоторедкометалльный, Au-Ag — золотосеребряный.

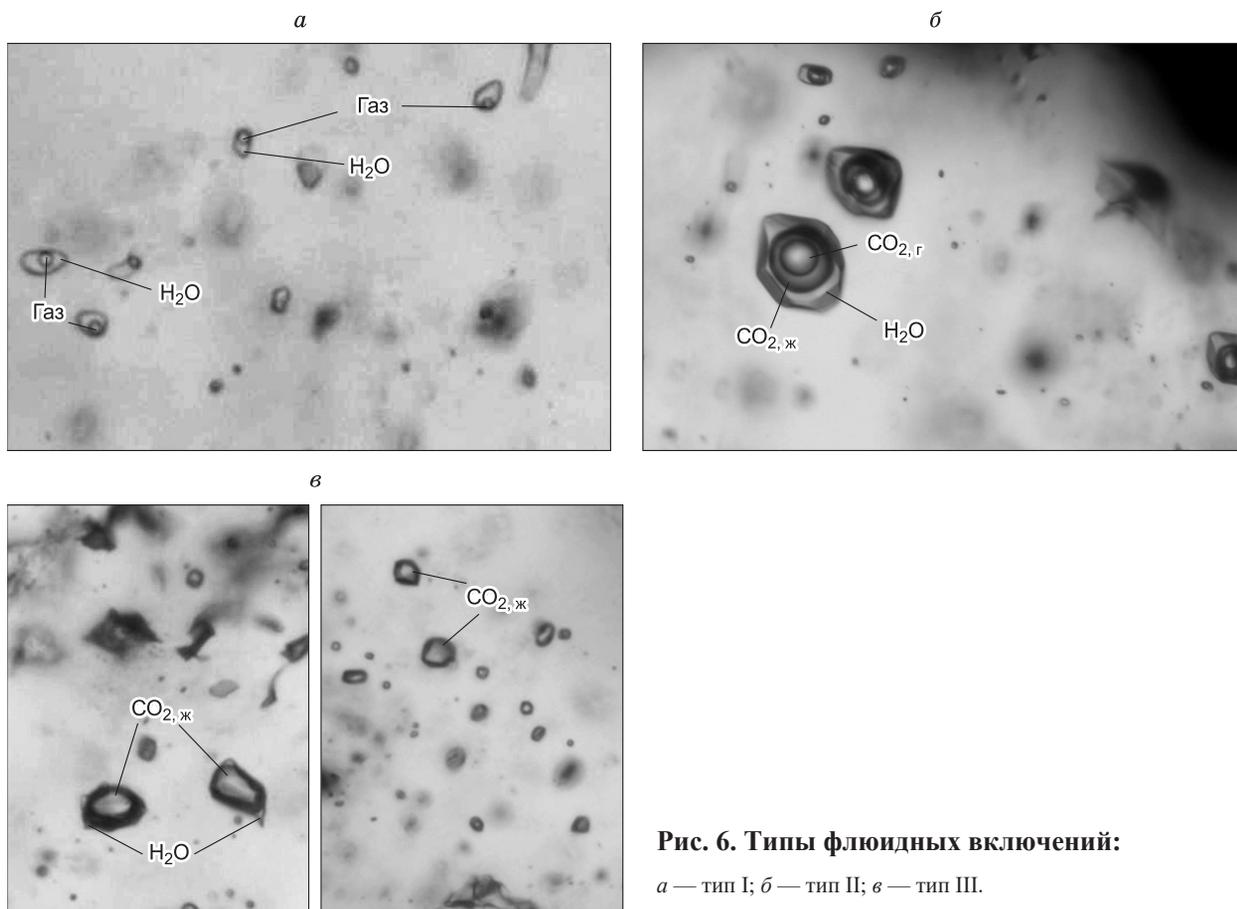
ту [Петровская, 1973]. Соотношение содержания Hg и пробности самородного золота показывает следующую закономерность: в средне- и высокопробном золоте содержание Hg не превышает 0.4 %, а в низкопробном достигает 2.13 % (см. рис. 5, б). Спорадически в золоте выявляется незначительная примесь меди.

Выявлена вариативность распределения серебра в зернах самородного золота Au-Ag (Sb) этапа рудообразования. Обнаружены неоднородные золотины; в пределах одного сечения колебания пробности достигают 350 ‰. Наблюдается тесная взаимосвязь электрума, ассоциирующего с галенитом, арсенипиритом, и более позднего кюстелита в ассоциации с апатитом. Подобная неоднородность выявлена в золоте из руд месторождений и рудопроявлений Северо-Востока России, а также Амурской области [Горячева и др., 2010]. Структура пятнистой неоднородности является характерным признаком золота из рудных тел, пространственно связанных с интрузиями, с внедрением их пострудных фаз и может рассматриваться как следствие термометаморфизма. Генетическая природа пятнистой структуры рассмотрена в работах [Моисеенко, 1977; Амосова, Васина, 1995] и интерпретируется ими как структура распада твердого раствора Au-Ag. Он происходит в результате воздействия высокой температуры на самородное золото и сопровождается гетерогенным зарождением новой фазы при относительно низкой температуре распада. Такой механизм, в отличие от гомогенного, характеризуется неравномерным распределением центров зарождения новой фазы.

#### ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И КРИОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Проведены исследования флюидных включений в кварце различных этапов рудообразования. Индивидуальные флюидные включения изучены в полированных кварцевых пластинах методами термо-, криометрии и КР-спектроскопии в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск. Микротермометрические исследования флюидных включений проводились с использованием измерительного комплекса на основе микрокамеры THMSG-600 фирмы Linkam. Для определения состава газовой фазы включений был использован метод КР-спектроскопии (спектрометр «Ramanog U-1000» фирмы Jobin Yvon). По фазовому и химическому составу флюидные включения подразделены на три типа: I — водные, двухфазовые газо-жидкие (водно-солевой раствор + газ) включения; II — водно-углекислотные включения: двухфазовые (водно-солевой раствор + жидкая углекислота) и трехфазовые (водно-солевой раствор + жидкая углекислота + газ), во включениях данного типа объем CO<sub>2</sub> изменяется от 20 до 90 %; III — существенно газовые включения содержат CO<sub>2</sub> с каймой водного раствора либо полностью заполнены плотной CO<sub>2</sub> (рис. 6). Различное соотношение фаз в водно-углекислотных включениях (рис. 7, а), а также имеющие место нередкие случаи сонахождения всех типов включений в пределах одного зерна кварца (см. рис. 7, б) свидетельствуют о гетерогенном состоянии флюида.

Микротермометрические измерения проведены для первичных и псевдодворичных флюидных включений I и II типа. Концентрация солей в водных включениях оценивалась по температуре плавления льда, в углекислотно-водных по температуре плавления газгидрата с использованием программы

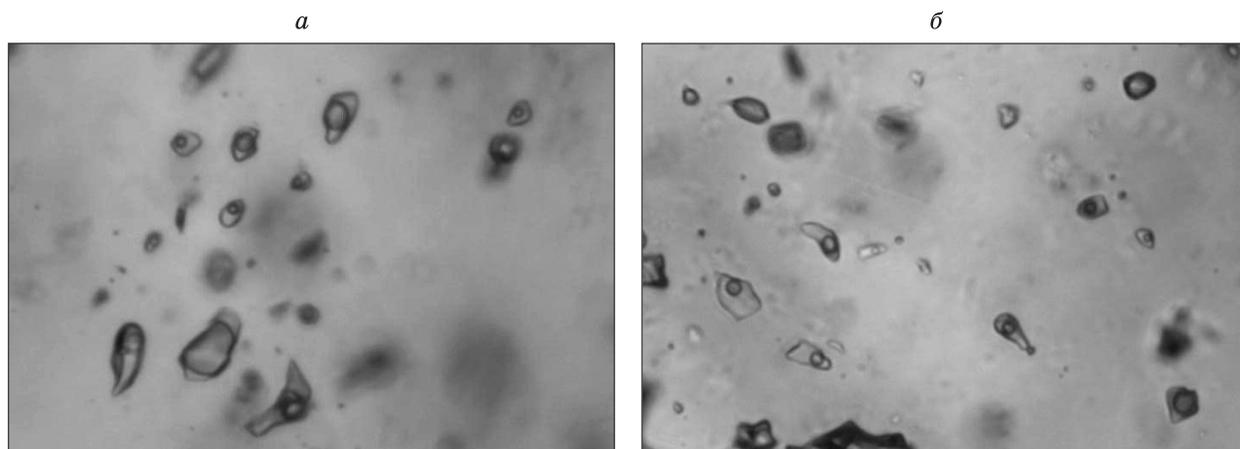


**Рис. 6. Типы флюидных включений:**

*a* — тип I; *б* — тип II; *в* — тип III.

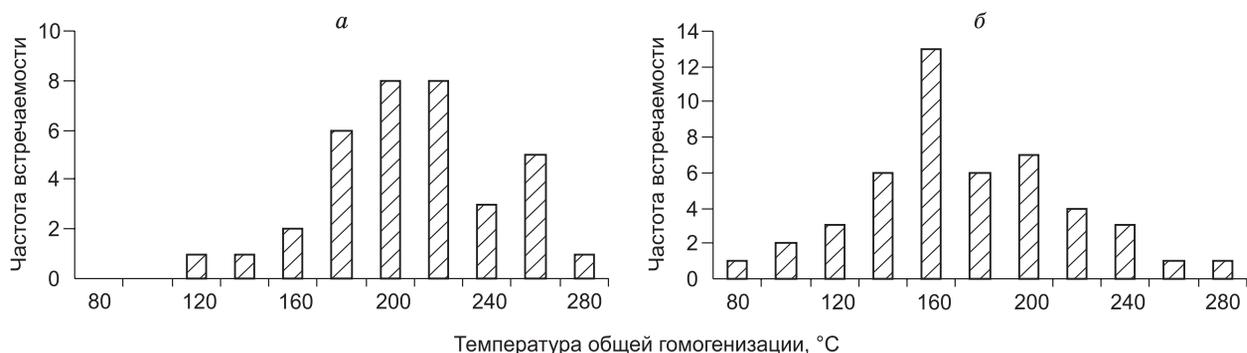
FLINCOR [Brown, 1989]. Флюидные включения изучались в крупнокристаллическом кварце I стратоидных жил, среднекристаллическом кварце II генерации основного продуктивного золото-полисульфидного оруденения и позднем мелкотонкозернистом кварце, несущем наложенную золотовисмутую и золотосеребряную минерализацию. По данным криометрии концентрация солей во флюидных включениях в кварце ранних слабозолотоносных Au-As стратоидных жил варьирует в пределах 1.23—6.67 мас. % NaCl-экв., в Au-полисульфидных — 0.33—8.10 мас. % NaCl-экв. Для флюида рудного кварца поздних этапов отмечается повышение солёности до 10.61 мас. % NaCl-экв.

Гомогенизация всех водных и водно-углекислотных включений происходит в жидкую фазу. Общий интервал температуры гомогенизации составляет 340—90 °С, при этом установлено снижение



**Рис. 7. Признаки гетерогенности флюида.**

*a* — различное соотношение фаз; *б* — сонахождение флюидных включений различного фазового состава.



**Рис. 8. Гистограммы распределения температуры общей гомогенизации водных флюидных включений.**

*а* — в кварце с Au-кварцевым типом руд, *б* — в кварце с поздним Au-Ag типом руд.

средних значений в процессе рудообразования от Au-кварцевого оруденения (200—220 °C) к позднему эпitherмальному (160 °C) (рис. 8).

Установлена пониженная температура плавления  $\text{CO}_2$ : во флюидных включениях кварца ранних стратонидных жил  $T_{\text{пл}} \text{CO}_2$  варьирует от  $-57.6$  до  $-58.1$  °C, а в кварце поздних промышленных рудных тел от  $-57$  до  $-62.2$  °C. По КР-спектроскопическим данным газовая составляющая водно-углекислотных включений кварцевых жил представлена  $\text{CO}_2$  (93—100 мол. %)  $\pm \text{CH}_4$  (до 2 мол. %)  $\pm \text{N}_2$  (до 5.9 мол. %). Намечается тенденция повышения содержания метана и азота во флюиде кварца, несущем золотовисмутное и золотосеребряное оруденение, что согласуется со значительным понижением температуры плавления  $\text{CO}_2$  (до  $-62.2$  °C).

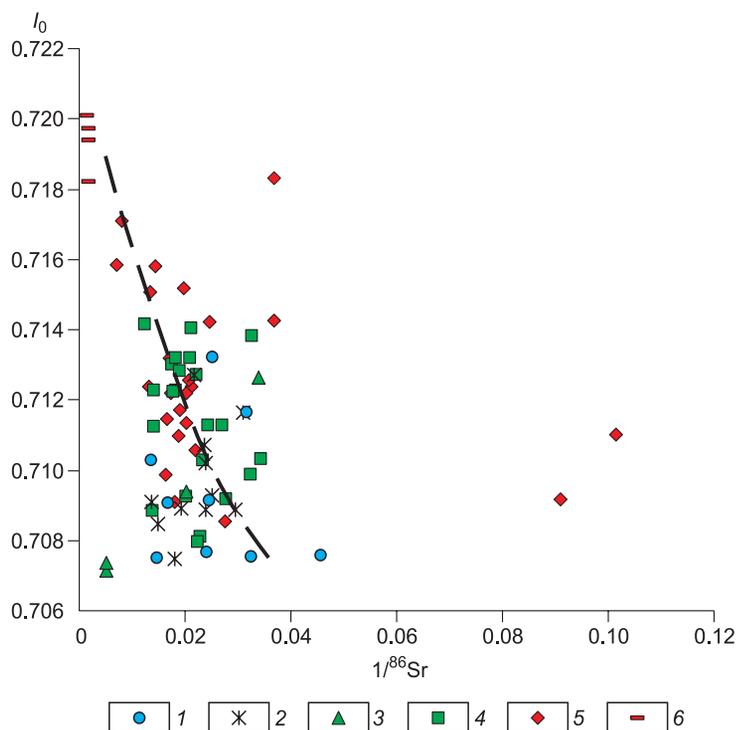
#### ВОЗРАСТ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОРУДЕНЕНИЯ

Возраст основного продуктивного золотополисульфидного оруденения определен  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом (аналитик А.В.Травин, ИГМ СО РАН) по серициту из кварца рудной зоны 20, расположенной на южном фланге месторождения. Полученная датировка  $123.5 \pm 1.6$  млн лет близка ранее установленным возрастам крупных гранитоидных плутонов Южного Верхоянья ( $123 \pm 1$  млн лет, U-Pb, циркон, Тарбаганнахский плутон [Prokoriev et al., 2009];  $120.4 \pm 0.6$  млн лет, U-Pb, циркон, Уэмляхский плутон [Прокорьев и др., 2006]; 121—123 млн лет, Ar/Ar, биотит, роговая обманка, Уэмляхский плутон [Layer et al., 2001]). Это позволяет предположить, что формирование золотополисульфидного минерального типа золотокварцевого оруденения Задержнинского месторождения происходило синхронно с внедрением крупных гранитоидных плутонов Южного Верхоянья [Кондратьева и др., 2010].

Исследования Rb-Sr изотопной систематики магматических пород и гидротермальных карбонатов месторождения показывают широкую дисперсию значений первичного изотопного состава Sr ( $I_0$ ), обусловленную значительной Sr-изотопной гетерогенностью изученных пород: для спессартитов величина  $I_0$  варьирует от 0.7079 до 0.7183, для керсантитов — от 0.7061 до 0.7126, а для диоритов — от 0.7075 до 0.7187. Величины  $I_0$  свидетельствуют о коровом источнике элемента в магматических образованиях рудного поля.

Значительная дисперсия значений  $I_0$ , вероятно, указывает, что Sr в магматических породах поступал из различных источников. Действительно, на диаграмме  $I_0-1/^{86}\text{Sr}$  (рис. 9), используемой как индикатор смешения, видно, что основная масса точек данных формирует тренд изменения изотопного состава Sr, протягивающийся от гидротермальных карбонатов с высоким содержанием Sr и повышенно радиогенным изотопным составом Sr до магматических пород с пониженным содержанием элемента и относительно низкими значениями первичного изотопного его состава.

Стронций пород представляет собой результат смешения его из трех источников: собственно магматического, заимствованного из терригенных пород и гидротермального флюида. Изотопный состав собственно магматического Sr, вероятно, был относительно низким, порядка 0.7072—0.7080. Sr, заимствованный из терригенных пород, имел более высокую радиогенную составляющую, и в основной массе его изотопный состав превышал величину 0.710. Гидротермальные карбонаты из руд месторождения характеризуются очень высоким содержанием Sr (593—736 мкг/г) и значений изотопных отношений элемента (0.7182—0.7201). Это указывает, что гидротермальный флюид имеет коровый генезис.



**Рис. 9. Зависимость  $I_0$  —  $1/^{86}\text{Sr}$  магматических пород и гидротермальных карбонатов.**

*1* — штоки диоритов, *2* — дайки диоритов, *3* — дайки керсантитов, *4* — дайки спессартитов, *5* — дайки рудных спессартитов, *6* — гидротермальные карбонаты.

Результаты датирования пород Rb-Sr методом определяют возраст спессартитов —  $126 \pm 3$  млн лет, а минимальную оценку возраста формирования диоритов —  $130 \pm 1$  —  $137 \pm 24$  млн лет [Кондратьева и др., 2011].

Наиболее молодой возраст магматических пород месторождения определен для высокослюдистого керсантита —  $115.4 \pm 1.7$  млн лет, Ar/Ar по биотиту (аналитик А.В. Травин, ИГМ СО РАН), согласующийся с данными, полученными Г.К. Шнай [1994] для лампрофиров Курун-Уряхского рудного поля ( $115 \pm 5$  млн лет, Rb-Sr;  $116$ — $119$  млн лет, K-Ar) и А.С. Борисенко с соавторами [2012] для Южного Булара ( $115 \pm 1.6$  млн лет, Ar/Ar).

#### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Детальное изучение региональной позиции, минерального состава руд, флюидных включений, возрастных взаимоотношений оруденения и магматических пород показало длительную тектоническую активность рудоносной площади и существование разновозрастного и генетически разнотипного оруденения.

Минорско-Кидерикинская зона интенсивных дислокаций является основной магмо- и рудоконтролирующей структурой Южного Верхоянья. Эта сложнопостроенная структура состоит из нескольких левосторонних взбросов. Практически все известные золоторудные месторождения расположены в зонах повышенной деформированности пород, связанных с данным разломом. Кроме того, для региона характерна локализация золоторудных объектов в местах сопряжения Минорско-Кидерикинского разлома с поперечными поднятиями, выраженными на поверхности субширотными системами повышенной трещиноватости. Такое положение в региональных структурах имеет и Задержнинское месторождение, на пересечении Минорской зоны интенсивных дислокаций и субширотного Менджельского поднятия.

Оруденение приурочено к интрузивно-купольной структуре, сформированной в надинтрузивной зоне гранитоидного массива, в которой проявлен разновозрастный магматизм. Полученные изотопно-геохронологические данные датируют время формирования диоритов в  $130$ — $137$  млн лет, спессартитов —  $126$  млн лет, керсантитов —  $115$  млн лет.

Детальные минералогические исследования руд месторождения позволили выявить широкий спектр минералов Bi и Ag. На основе изучения их химического состава, минеральных парагенезисов, последовательности минералообразования впервые на месторождении была установлена Au-Bi (Te) и Au-Ag (Sb) минерализация. Самостоятельных рудных тел оруденение не образует, являясь наложенным на золотополисульфидную минерализацию. Выявленная нестехиометричность минералов висмута и серебра, примеси Sb, Te и Se свидетельствуют об эпitherмальном близповерхностном характере поздней наложенной минерализации. Самородное золото поздних этапов также обладает рядом свойств, присущих месторождениям, сформированным на малых глубинах [Петровская, 1973]: преимущественно мелкие размеры выделений; разнообразие морфологии; высокое содержание серебра; неоднородность распределения серебра в зернах; примесь ртути. Таким образом, руды Задержнинского месторождения характеризуются комплексным полихронным оруденением: 1) золотокварцевым арсенопиритового Au-As и полисульфидного Au-Pb-Zn минеральных типов; 2) золоторедкометалльным Au-Bi (Te) и 3) золотосеребряным Au-Ag (Sb).

Проведенные термобарогеохимические исследования показали, что образование комплексного золотого оруденения происходило из различающихся по составу и термобарическим параметрам флюидов. Ранние слабозолотоносные (Au-As) стратоидные жилы сформированы низкосолёными флюидами до 6.67 мас. % NaCl-экв в интервалах температур 130—291 °С. В рудообразующем флюиде оруденения продуктивного этапа (Au-Pb-Zn + Au-Ag ± Au-Bi) концентрация растворов повышается до 10.61 мас. % NaCl-экв., в газовой составляющей появляются примеси CH<sub>4</sub> (до 2 мол. %) и N<sub>2</sub> (до 5.9 мол. %), характерен более широкий диапазон температур гомогенизации (90—340 °С) и относительное их снижение от раннего мезотермального этапа к позднему близповерхностному.

По мнению А.В. Буряка [1990], при зеленосланцевом метаморфизме образуются слабозолотоносные жилы, и только в случае наложения на них более поздних гидротермальных растворов формируются промышленные содержания золота. Многими исследователями показано, что ранние кварцевые жилы Аллах-Юньского района, как стратиформные, так и секущие, образовались на заключительных этапах регионального метаморфизма и испытали помимо зеленосланцевого метаморфизма более поздний термальный метаморфизм, обусловленный внедрением гранитоидных массивов [Андриянов, 1973; Зайцев и др., 1973; Гибшер, Томиленко, 2003; и др.].

Au-Te-Bi минерализация в Южном Верхоянье развита в рудопроявлениях золоторедкометалльного типа (Леводыбинское (Одержимое), Курумское, Тарбаганнах (Мугун) и др.), расположенных в экзоконтактах гранитоидных массивов раннепозднемелового возраста среди отложений верхоянского терригенного комплекса перми, реже триаса Центральной зоны Южно-Верхоянского синклинория. Основными рудными минералами являются арсениопирит, леллингит, самородный висмут, тетрадимит, висмутин, галеновисмутин, вольфрамит, шеелит, теллуриды золота (калаверит, сильванит, петцит), самородное золото. Предполагается генетическая [Гринберг и др., 1970; Гамянин и др., 1998] и парагенетическая [Кокин, 1994] связь оруденения с гранитоидным магматизмом, и подчеркивается независимость от его состава и возраста. Золоторедкометалльное оруденение локализуется в гранитоидах как с возрастом 120 млн лет (Дыбинский, Тарбаганнахский), так и 100 млн лет (Курумский) [Layer et al., 2001; Борисенко и др., 2012].

В.А. Амузинский [2005] месторождение Задержнинское наряду с Нежданнинским относит к золоторедкометалльным, имеющим парагенетическую связь с разновозрастными магматическими комплексами. Повышенная сереброносность Нежданнинского месторождения, находящегося в области развития вольфрам-оловополиметаллического и сереброполиметаллического оруденения (Дыбинское, БГ-Юряхское, Алтайское и др.), объясняется принадлежностью к редкометалльному комплексу оруденения. Аналогичные выводы о связи сереброносности с функционированием оловорудных магматических систем, продуцирующих сереброполиметаллическое оруденение, приводятся в работах [Борисенко и др., 2012; Гамянин, Прокопьев, 2014].

На основании пространственных взаимоотношений оруденения и магматических пород, а также полученных и известных в регионе датировок предлагается следующая схема корреляции тектономагматических событий и оруденения Задержнинского месторождения. Раннее стратоидное додайковое Au-кварцевое (Au-As) оруденение месторождения сопоставимо с метаморфогенными Au-кварцевыми жилами юрско-буларского типа, и возраст его формирования принимается >137 млн лет, K/Ar [Зайцев и др., 1973]. Результаты датирования магматических пород определяют возраст диоритов 130—137 млн лет, спессартитов 126 ± 3 млн лет. Время образования постдайкового Au-кварцевого (Au-Pb-Zn) оруденения определено в 123.5 ± 1.6 млн лет и синхронно с внедрением гранитоидов Южного Верхоянья. Наложённое низкотемпературное оруденение имеет, несомненно, более молодой возраст образования с последовательным отложением золоторедкометалльной минерализации на завершающей стадии формирования гранитоидов Южного Верхоянья (~120 млн лет) и золотосеребряной минерализации, сходной с таковой Нежданнинского месторождения, в интервале 100 ± 5 млн лет — времени формирования поздних гранодиорит-гранитных интрузивов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования закономерностей размещения золотого оруденения, последовательности и стадийности процесса минералообразования, геохимии руд, флюидных включений, а также обобщение материалов в опубликованной и фондовой литературе по геологии и металлогении Аллах-Юньского золотоносного района позволили предложить следующую геолого-генетическую модель формирования золотого оруденения месторождения Задержнинское: 1) месторождение сформировано в результате сложного многоэтапного геодинамического развития Южного Верхоянья; 2) оруденение расположено в тектоническом узле пересечения двух региональных структур в надинтрузивной зоне скрытого гранитоидного массива; 3) рудообразующие процессы сопряжены с эволюцией магматических проявлений; 4) рудообразование на месторождении происходило последовательно на протяжении трех этапов: Au-кварцевого, Au-редкометалльного и Au-серебряного.

Позиция месторождения в региональных структурах, связь с интрузивно-купольными морфоструктурами, сингранитоидный возраст продуктивного этапа, установленная полихронность и полигенность золотого оруденения позволяют отнести месторождение Задержнинское к Южно-Верхоянской металлогенической зоне Восточно-Якутского постагрегационного пояса. Месторождение Задержнинское можно рассматривать как типовой объект Южного Верхоянья при выделении полихронного комплекса золотого оруденения.

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004 и по гранту РФФИ (18-45-140045).

#### ЛИТЕРАТУРА

**Алпатов В.В.** Минералогия вкрапленного оруденения на месторождениях золото-кварцевой формации (Верхояно-Колымская складчатая область): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 1998, 24 с.

**Амосов Р.А., Васин С.Л.** Онтогенезис самородного золота России. М., ЦНИГРИ, 1995, 151с.

**Амузинский В.А.** Металлогенические эпохи и золотоносность рудных комплексов Верхоянской складчатой системы. Якутск, Изд-во Якут. ун-та, 2005, 248 с.

**Андрянов Н.Г.** О взаимоотношении процессов метаморфизма и золоторудной минерализации в Южно-Верхоянском синклинии // Докл. АН СССР, 1973, т. 211, № 2, с. 434—436.

**Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Лескова Н.В.** Сульфидные соединения золота и серебра в золоторудных месторождениях Восточной Якутии // Отечественная геология, 2008, № 5, с. 24—32.

**Борисенко А.С., Спиридонов А.М., Изох А.Э., Прокопьев А.В., Лебедев В.И., Гаськов И.В., Зорина Л.Д., Костин А.В., Наумов Е.А., Третьякова И.Г.** Высокопродуктивные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu-Ni-Pt, Co, Au и редкие металлы) // Проблемы минерации России. М., Изд-во ГЦ РАН, 2012, с. 237—252.

**Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Алпатов В.В., Наумов В.Б., Носик Л.П., Миронова О.Ф.** Минералого-геохимические особенности и условия образования Нежданнинского месторождения золота // Геология рудных месторождений, 1998, № 2, с. 137—156.

**Буряк В.А., Неменман И.С., Бердников Н.В., Кокин А.В., Демихов Ю.И.** Флюидный режим формирования и источник рудообразующих растворов золото-кварцевых жил Аллах-Юньской зоны // Тихоокеанская геология, 1990, № 3, с. 62—70.

**Воронин Ю.П.** Структура, морфология и минералогия Задержнинского золоторудного месторождения // Геология и полезные ископаемые Якутии. Якутск, Бюл. НТИ ЯФ СО АН СССР, 1970, с. 109—112.

**Гамянин Г.Н.** Минералого-генетические аспекты золотого оруденения верхояно-колымских мезозойд. М., ГЕОС, 2001, 222 с.

**Гамянин Г.Н., Прокопьев А.В.** Мезозойская металлогения Южно-Верхоянского синклинии // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток, 17—20 сентября 2014 г. Владивосток, Дальнаука, 2014, с. 304—306.

**Гамянин Г.Н., Гончаров В.И., Горячев Н.А.** Золото-редкометалльные месторождения Востока России // Тихоокеанская геология, 1998, т. 17, № 3, с. 94—103.

**Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В.** Нежданнинское золоторудное месторождение — уникальное месторождение северо-востока России. М., ГЕОС, 2000, 228 с.

**Гибшер Н.А., Томиленко А.А.** Контактный метаморфизм кварцевых жил северной части Аллах-Юньского золоторудного узла (Якутия, Россия): по данным изучения флюидных включений // Геохимия, 2003, № 3, с. 293—303.

**Горячев Н.А.** Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов северо-востока Азии. Магадан, СВНЦ ДВО РАН, 1998, 210 с.

**Горячева Е.М., Савва Н.Е., Кальченко А.Э., Никитюк Н.Е.** Типоморфизм самородного золота Агатовского месторождения // Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований», Москва, 29—31 марта 2010 г. М., ИГЕМ РАН, 2010, с. 161—163.

**Гринберг Г.А., Бахарев А.Г., Гамянин Г.Н., Кухтинский Г.Г., Недосекин Ю.Д.** Гранитоиды Южного Верхоянья. М., Наука, 1970, 216 с.

**Зайцев А.И., Ненашев Н.И.** Изотопный состав стронция из жильного материала золото-кварцевых проявлений Аллах-Юньского района // Отечественная геология, 1999, № 4, с. 62—65.

- Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Шилин А.И.** О возрасте золотоносных кварцевых жил Аллах-Юньского района (Южное Верхоянье) // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1973, № 4, с. 74—83.
- Кокин А.В.** Минеральные типы золоторудных месторождений Юго-Восточной Якутии // Отечественная геология, 1994, № 8, с. 10—17.
- Кокин А.В., Сухоруков В.И., Шишигин П.Р.** Региональная геохимия (Южное Верхоянье). Ростов-на-Дону, ООО «Ростиздат», 1999, 432 с.
- Кондратьева Л.А., Емельянова Н.Н.** Типоморфизм эндогенных карбонатов как показатель формационной принадлежности оруденения // Руды и металлы, 2017, № 2, с. 29—39.
- Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Холмогоров А.И.** Структура и минералогия Задержнинского золоторудного поля // Отечественная геология, 2005, № 5, с. 23—28.
- Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Бахарев А.Г., Травин А.В., Прокопьев А.В., Борисенко А.С.** Задержнинское золоторудное месторождение (Южное Верхоянье): геологическая позиция, вещественный состав руд и возраст оруденения // Материалы Всероссийской конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья», Улан-Уде, 10—12 ноября 2010 г. Улан-Удэ, ГИН СО РАН, 2010, с. 105—106.
- Кондратьева Л.А., Зайцев А.И., Анисимова Г.С.** Параметры Rb-Sr систем магматических пород Задержнинского золоторудного поля (Южное Верхоянье) // Отечественная геология, 2011, № 5, с. 11—19.
- Константинов М.М., Косовец Т.Н.** Золото-кварцевые месторождения в турбидитах Южной Якутии // Руды и металлы, 1996, № 3, с. 6—20.
- Константинов М.М., Косовец Т.Н., Орлова Г.Ю., Щитова В.И., Жидков С.Н., Слезко В.А.** Факторы локализации стратиформного золотокварцевого оруденения // Геология рудных месторождений, 1988, № 5, с. 59—69.
- Моисеенко В.Г.** Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. М., Наука, 1977, 304 с.
- Ненашев Н.И., Зайцев А.И.** Геохронология и проблема генезиса гранитоидов Восточной Якутии. Новосибирск, Наука, 1980, 238 с.
- Пальянова Г.А., Савва Н.Е.** Сульфиды золота и серебра: состав, минеральные ассоциации, условия образования // Химическая технология, 2008, т. 8, № 9, с. 411—421.
- Парфенов Л.М.** Террейны и история формирования мезозойских орогенных поясов Восточной Якутии // Тихоокеанская геология, 1995, № 6, с. 32—43.
- Петровская Н.В.** Самородное золото. М., Наука, 1973, 347 с.
- Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Лейер П.У., Хоуриген Дж.К., Бахарев А.Г., Зайцев А.И., Думитру Т., Джерелс Дж.Э., Уоллес В.К., Третьяков Ф.Ф., Тарабукин В.П.** Новые U-Pb, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar изотопные геохронологические и АФТ термохронологические данные по северо-востоку Якутии и их возможная тектоническая и геодинамическая интерпретации // Рудогенез и металлогения востока Азии. Якутск, ИГАБМ СО РАН, 2006, с. 145—148.
- Савва Н.Е., Пальянова Г.А.** Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (северо-восток России) // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (10), с. 1028—1042.
- Самусиков В.П., Некрасов И.Я., Лескова Н.В.** Золото-серебряный сульфоселенид (AuAg)<sub>2</sub>(S,Se) из месторождения «Якутское» // ЗВМО, 2002, № 6, с. 61—64.
- Силичев М.К.** Геологическое положение и особенности структуры Нежданинского золоторудного месторождения // Геология рудных месторождений, 1970, № 2, с. 96—104.
- Силичев М.К., Белозерцева Н.В.** Время и условия образования согласных золото-кварцевых жил Южного Верхоянья // Тихоокеанская геология, 1985, № 4, с. 52—57.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)** / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.
- Фридовский В.Ю.** Структуры раннеколлизийных золоторудных месторождений Верхоянского складчато-надвигового пояса // Тихоокеанская геология, 1998, № 6, с. 26—36.
- Чернышев И.В., Бахарев А.Г., Бортников Н.С., Гольцман Ю.В., Котов А.Б., Гамянин Г.Н., Чугаев А.В., Сальникова Е.Б., Байрова Э.Д.** Геохронология магматических пород района золоторудного месторождения Нежданинское (Якутия, Россия): U-Pb, Rb-Sr и Sm-Nd-изотопные данные // Геология рудных месторождений, 2012, т. 54, № 6, с. 543—565.
- Шнай Г.К.** Лампрофиры Южного Верхоянья // Тихоокеанская геология, 1994, № 3, с. 111—123.
- Barton M.D., Kieft C., Burke E.A., Oen I.S.** Uytnebogaardtite, a new silver-gold sulfide // Can. Miner., 1978, v. 16, № 4, p. 651—657.

**Brown P.** FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Am. Miner., 1989, v. 74, p. 1390—1393.

**Castor S.B., Sjöberg J.J.** Uytnebogaardtite, Ag<sub>3</sub>AuS<sub>2</sub>, in the Bullford mining district, Nevada // Can. Miner., 1993, v. 31, p. 89—98.

**Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L.M., Trunilina V.A., Bakharev A.G.** Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology and trace element geochemistry // Geology, 2001, v. 29, № 2, p. 167—170.

**Prokopiev A.V., Toro J., Hourigan J.K., Bakharev A.G., Miller E.L.** Middle Paleozoic-Mesozoic boundary of the North Asian craton and the Okhotsk terrane: new geochemical and geochronological data and their geodynamic interpretation // Stephan Mueller Spec. Publ. Ser., 2009, v. 4. p. 71—84.

*Поступила в редакцию 27 декабря 2017 г.,  
после доработки — 18 апреля 2018 г.*