

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ  
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

УДК 553.21/24:553.411

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АДЫЧА-ТАРЫНСКОЙ  
МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ: ГЕОХИМИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ,  
ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ И УСЛОВИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Г.Н. Гамянин<sup>1,2</sup>, В.Ю. Фридовский<sup>2</sup>, О.В. Викентьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
119017, Москва, Старомонетный пер., 35, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, просп. Ленина, 39, Россия

Рассматривается региональная геологическая позиция Адыча-Тарынской металлогенической зоны, одной из наиболее продуктивных на благороднометалльное оруденение на северо-востоке России. Показаны сложная металлогеническая история развития зоны и длительность геодинамической активности рудовмещающих структур. Охарактеризованы различные типы благороднометалльной минерализации — гидротермально-метаморфогенная, золото-висмутовая, золото-кварцевая, золото-сурьмяная и серебро-сурьмяная.

Приводятся новые данные по изотопному составу кислорода кварца, серы сульфидов, кислорода и углерода карбонатов разных типов минерализации. Ранний метаморфогенный кварц вне рудных зон имеет величины  $\delta^{18}\text{O}$  равные  $+20.1 \pm 2\%$ . Величины  $\delta^{18}\text{O}$  кварца золото-висмутовых месторождений изменяются в узком интервале  $+12.5 \pm 0.4\%$ . Для кварца золото-кварцевой минерализации вариации значительно шире — величины  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от  $+14.2$  до  $19.5\%$ . Схожий интервал характерен для золото-сурьмяной минерализации ( $\delta^{18}\text{O} = +16.1 \dots +19.2\%$ ). Криптозернистый кварц серебро-сурьмяной минерализации обогащен легким изотопом кислорода ( $\delta^{18}\text{O} = -3.2 \dots +4.7\%$ ). Получены следующие величины  $\delta^{34}\text{S}$ : золото-висмутовая —  $-3.7 \dots -2.2\%$  (Ару),  $-6.7 \dots -6.8\%$  (Ру); золото-кварцевая —  $-2.1 \dots +2.4\%$  (Ару),  $-6.6 \dots +5.4\%$  (Ру),  $-6.1 \dots +4.2\%$  (Ант); золото-сурьмяная —  $-2.0 \dots +1.6\%$  (Ару),  $-3.5 \dots +2.1\%$  (Ру),  $-5.3 \dots +0.2\%$  (Ант),  $-5.3 \dots +0.2\%$  (Ант); серебро-сурьмяная —  $-2.0 \dots -1.9\%$  (Ару),  $-2.2 \pm 0.1\%$  (Ру),  $-5.7 \dots -5.6\%$  (Ант). Величины  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатов контрастны для изученных типов минерализации и изменяются соответственно от  $-6.9$  до  $-5.9\%$  и от  $+2.1$  до  $+5.7$  (золото-висмутовая), от  $-9.1$  до  $-6.1\%$  и от  $+12.4$  до  $+18.7\%$  (золото-кварцевая), от  $-12.1$  до  $-9.5$  и от  $+15$  до  $+16.3\%$  (золото-сурьмяная), от  $-11.6$  до  $-11.1\%$  и от  $+1.5$  до  $+4.7\%$  (серебро-сурьмяная). Метаморфогенные кальциты обогащены тяжелыми изотопами как углерода ( $-1.1 \dots -1.7\%$ ), так и кислорода ( $+20.3$  до  $+20.5\%$ ).

Микротермометрические исследования и валовой анализ флюидных включений показали различия в составе рудообразующего флюида и условиях образования разных типов минерализации. Изотопный состав О, С и S минералообразующего флюида свидетельствует о ведущей роли магматогенных флюидов при формировании золото-висмутовых и золото-сурьмяных месторождений, для золото-кварцевых месторождений возрастает роль метаморфогенных флюидов, а в формировании серебро-сурьмяных месторождений участвуют метеорные воды.

*Адыча-Тарынская металлогеническая зона, благороднометалльная минерализация, стабильные изотопы, флюидные включения, генезис месторождений.*

NOBLE-METAL MINERALIZATION OF THE ADYCHA-TARYN METALLOGENIC ZONE:  
GEOCHEMISTRY OF STABLE ISOTOPES, FLUID REGIME, AND ORE FORMATION CONDITIONS

G.N. Gamyanin, V.Yu. Fridovsky, and O.V. Vikent'eva

The regional geologic setting of the Adycha-Taryn metallogenic zone, one of the areas most productive for noble-metal mineralization in northeastern Russia, is discussed. The intricate metallogenic history of the zone and the prolonged geodynamic activity of its ore-hosting structures are documented. Different types of mineralization, such as hydrothermal-metamorphogenic, gold-bismuth, gold-quartz, gold-antimony, and silver-antimony, are described.

New data on the isotopic compositions of oxygen in quartz, sulfur in sulfides, and oxygen and carbon in carbonates from different mineralization types are presented. The early metamorphogenic quartz beyond the

ore zones has  $\delta^{18}\text{O} = +20.1 \pm 2.0$  ‰. At the gold–bismuth deposits, the  $\delta^{18}\text{O}$  values of quartz are within the narrow range of  $+12.5 \pm 0.4$  ‰. Quartz from the gold–quartz mineralization shows much wider variation in  $\delta^{18}\text{O}$  values, from  $+14.2$  to  $+19.5$  ‰. A similar range ( $\delta^{18}\text{O} = +16.5$  to  $+19.8$  ‰) is observed for the gold–antimony mineralization. Cryptocrystalline quartz from the gold–antimony mineralization is enriched in light oxygen isotopes ( $\delta^{18}\text{O} = -3.2$  to  $+4.7$  ‰). The following  $\delta^{34}\text{S}$  values have been established in sulfides of mineralization of different types (‰): gold–bismuth,  $-3.7$  to  $-2.2$  (Apy) and  $-6.7$  to  $-6.8$  (Py); gold–quartz,  $-2.1$  to  $+2.4$  (Apy),  $-6.6$  to  $+5.4$  (Py), and  $-6.1$  to  $+4.2$  (Ant); gold–antimony —  $-2.0$  to  $+1.6$  (Apy),  $-3.5$  to  $+2.1$  (Py), and  $-5.3$  to  $+0.2$  (Ant); and silver–antimony,  $-2.0$  to  $-1.9$  (Apy),  $-2.2 \pm 0.1$  (Py), and  $-5.7$  to  $-5.6$  (Ant). The  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values are contrasting in the studied types of mineralization, varying respectively from  $-6.9$  to  $-5.9$  ‰ and from  $+2.1$  to  $+5.7$  ‰, (gold–bismuth), from  $-9.1$  to  $-6.1$  ‰ and from  $+12.4$  to  $18.7$  ‰ (gold–quartz), from  $-12.1$  to  $-9.5$  ‰ and from  $+15.0$  to  $+16.3$  ‰ (gold–antimony), and from  $-11.6$  to  $-11.1$  ‰ and from  $+1.5$  to  $+4.7$  ‰ (silver–antimony). Metamorphogenic calcites are rich in both heavy C ( $-1.1$  to  $-1.7$  ‰) and heavy O ( $+20.3$  to  $+20.5$  ‰) isotopes.

Microthermometric study and crush–leach analysis of fluid inclusions have revealed differences in the composition of ore-forming fluids and formation conditions for different types of mineralization. The isotopic compositions of O, C, and S of mineral-forming fluids suggest a significant input of magmatic fluids to the formation of gold–bismuth and gold–antimony deposits, the contribution of metamorphic fluids increases at gold–quartz deposits, and meteoric water is involved in the formation of silver–antimony deposits.

*Адъча–Тарын металлогеническая зона, благородные металлы, стабильные изотопы, включения жидкостей, genesis of deposits*

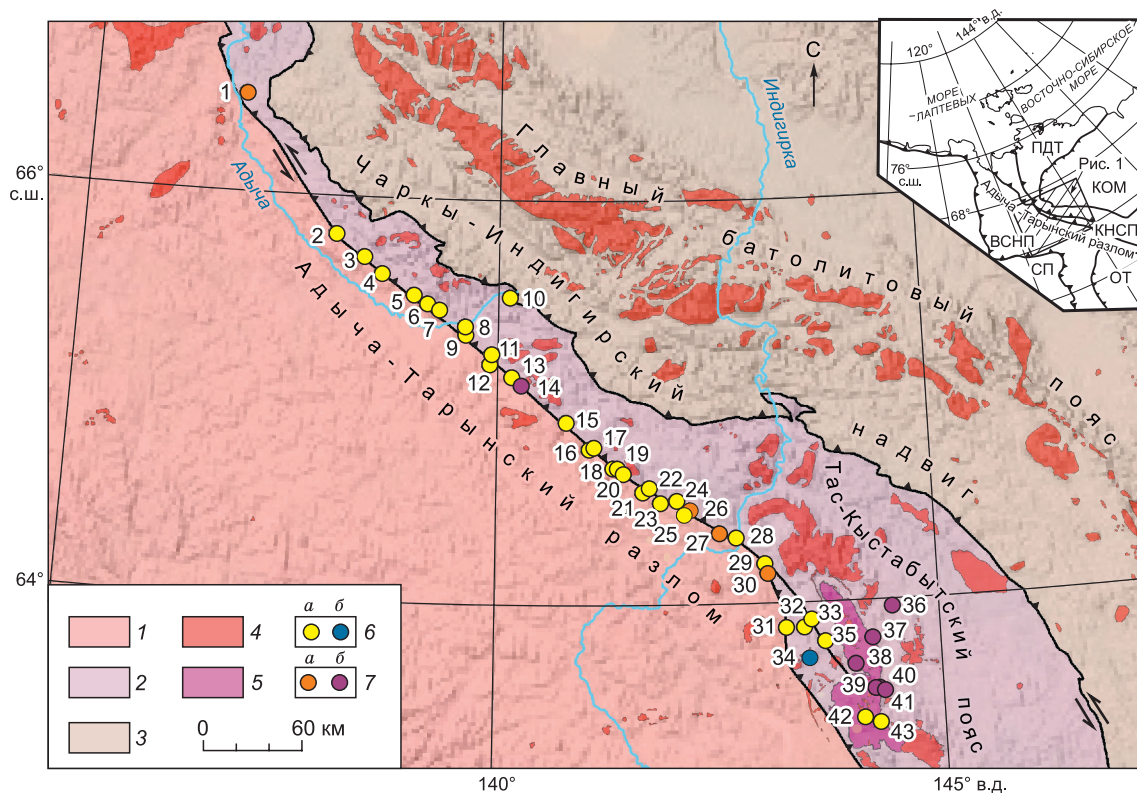
## ВВЕДЕНИЕ

Адъча–Тарынская металлогеническая зона (АТМЗ) прослеживается в северо-западном направлении от истоков р. Малый Тарын на 600 км в северо-западном направлении при ширине до 45 км. Это одна из наиболее продуктивных зон как по насыщенности, так и по многообразию благороднометаллических месторождений Яно–Колымского золотоносного пояса. Металлогеническая специализация зоны характеризуется развитием Au, Au–Sb и Ag–Sb минерализации, связанной с различными этапами тектономагматической активизации территории. Изучению месторождений данной зоны посвящено большое количество публикаций [Бергер, 1978; Индолев и др., 1980; Горячев, 1992, 2003; Амузинский и др., 2001; Гамянин и др., 2001, 2003; Тектоника..., 2001; Гамянин, 2001; Фридовский, 2002; Амузинский, 2005; Бортников и др., 2010; Фридовский и др., 2012, 2013, 2014, 2015; Fridovsky, 2017]. В пределах зоны проявлены несколько геодинамических и металлогенических событий, характерных для позднемезозойской истории геологического развития внешней зоны Тихоокеанского рудного пояса. По этой причине довольно часто в длительно развивающихся тектонических структурах разновозрастная минерализация оказывается совмещенной, что позволяет изучать ее пространственно-временные взаимоотношения, условия формирования и локализации. Учитывая также, что явления полигенности и полихронности характерны для крупных месторождений, их анализ на примере конкретных рудных объектов является важной прикладной задачей. В АТМЗ широко распространены крупные россыпи золота, в последние годы выявлены и разведуются объекты с жильной, жильно-прожилковой и прожилково-вкрапленной золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой минерализацией. На северо-востоке России к этому типу относятся месторождения Дрожное, Малотарынское, Наталкинское, Неждановское, Павлик, Дегдеканское и другие, суммарные запасы золота которых превышают 30 % всех запасов РФ [Иванов и др., 2016]. В АТМЗ расположены также крупные Au–Sb месторождения Сарылах и Сентачан с запасами — 180 и 110 тыс. т сурьмы и 40 и 20 т золота соответственно [Бортников и др., 2010].

В последние годы опубликованы данные о минералого-геохимических и геолого-структурных особенностях отдельных месторождений АТМЗ [Акимов и др., 2004; Бортников и др., 2010; Фридовский и др., 2012, 2013, 2014, 2015; Аристов и др., 2015, 2016; Фридовский и др., 2017]. В настоящей статье приводятся новые результаты изотопно-геохимических и термобарогеохимических исследований руд АТМЗ, полученные авторами в последнее время, что позволяет рассмотреть генетические особенности разновозрастной минерализации и эволюцию рудообразующих процессов, в связи с геодинамическим развитием территории.

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ АДЪЧА–ТАРЫНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

АТМЗ расположена на границе Кулар–Нерского сланцевого пояса и Верхоянского складчато-надвигового пояса. Кулар–Нерский сланцевый пояс представляет собой внешнюю зону между Колымо–Омолонским микроконтинентом (супертеррейном) и погруженной восточной окраиной Северо–Азиатского кратона (рис. 1). Он сложен преимущественно терригенными отложениями верхней перми, триаса



**Рис. 1. Позиция изученных месторождений на схеме зоны сочленения Колымо-Омолонского микроконтинента, Верхоянского складчато-надвигового и Кулар-Нерского сланцевого поясов.**

1 — Верхоянский складчато-надвиговый пояс; 2 — Кулар-Нерский сланцевый пояс; 3 — Колымо-Омолонский микроконтинент; 4 — мезозойские гранитоиды; 5 — дациты Тарынского субвулкана; 6, 7 — месторождения и рудопроявления: 6 — а — золото-кварцевые (золото-сульфидно-кварцевые), б — золото-висмутовые; 7 — а — золото-сурьмяные, б — серебро-сурьмяные. Месторождения: 1 — Сентачан, 2 — Андреевское, 3 — Кихтей, 4 — Узловое, 5 — Юхонджа, 6 — Тихое, 7 — Ган, 8 — Эль, 9 — Рудный Лазо, 10 — Имтачан, 11 — Аулочан, 12 — Мотыль, 13 — Гавриковское, 14 — Делегенья, 15 — Жданное, 16 — Туган, 17 — Тобычан, 18 — Базовское, 19 — Джетанья, 20 — Приметное, 21 — Талалах, 22 — Ниткан, 23 — Эльгинское, 24 — Августовское, 25 — Диринь, 26 — Кинясь, 27 — Сарылах, 28 — Эбир-Хая, 29 — Сана, 30 — Малтан, 31 — Малотарынское, 32 — Пиль, 33 — Дрожное; 34 — Эргелях, 35 — Курдат, 36 — Аид, 37 — Дичек, 38 — Пластовое, 39 — Сахчан, 40 — Серп, 41 — Купольное, 42 — Кляп, 43 — Седло. На врезке показано положение района работ. СП — Сибирская платформа; ВСНП — Верхоянский складчато-надвиговый пояс; ОТ — Охотский террейн; КОМ — Колымо-Омолонский микроконтинент; КНСП — Кулар-Нерский сланцевый пояс; ПДТ — Полоусно-Дебинский террейн.

и нижней юры глубоководных конусов выноса и подножия Верхоянской континентальной окраины, метаморфизованными до начальных ступеней зеленосланцевой фации метаморфизма [Парфенов, Трущелев, 1983; Парфенов, 1984]. Структура Кулар-Нерского сланцевого пояса определяется линейными складками и разломами северо-западного простирания, сформированных в несколько этапов деформаций [Парфенов, 1984; Тектоника..., 2001]. Адыча-Эльгинский антиклинорий характеризуется развитием широких открытых складок, интенсивность которых возрастает при приближении к Адыча-Тарынскому разлому.

Основной тектонической структурой, контролирующей положение АТМЗ, является Адыча-Тарынский разлом (АТР), который далее к юго-востоку до побережья Охотского моря трассируется Тенькинским разломом. В Верхнеколымском золотоносном районе последний определяет положение значительной части промышленно важных месторождений золота северо-востока России (Наталка, Павлик, Дегдекан, Родионовское др.). Общая протяженность разломов составляет около 1000 км. АТР отделяет тектонические структуры с различным строением и интенсивностью проявления магматических пород, пространственно контролирует размещение месторождений. Он влияет также на интенсивность метаморфизма, литолого-фациальные особенности пород, характеристики геофизических полей.

Установлена сложная геологическая история развития, продолжительная геодинамическая активность тектонических структур, а также их пронизанность для флюидов и магматических расплавов [Тектоника..., 2001; Фридовский, 2002; Соколов, 2010]. Отмеченное обусловлено субсинхронной позднеюрско-раннемеловой аккрецией Колымо-Омолонского микроконтинента и субдукционными процес-

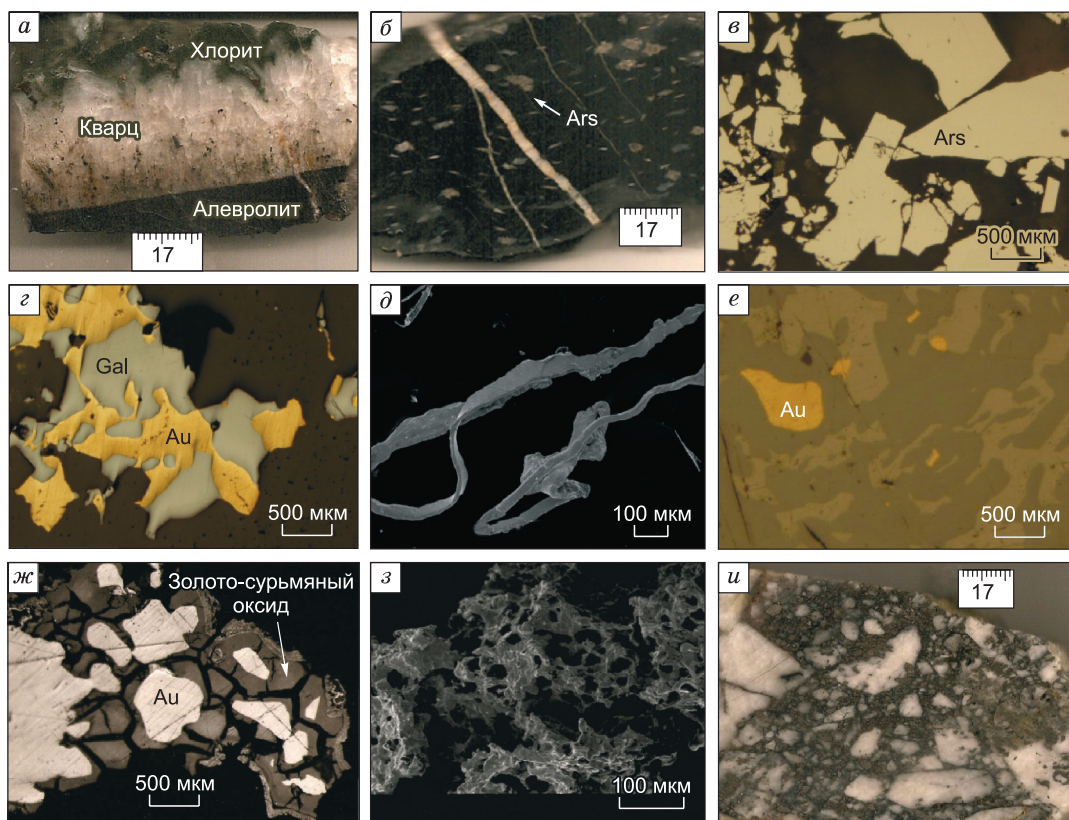
сами в Удско-Мургалской островной дуге. С этими событиями связаны разновозрастные складчато-надвиговые структуры, S- and I-типы гранитоидов Главного и Тас-Кыстабытского поясов, сформированных 137—153 млн лет назад [Акинин и др., 2009; Layer et al., 2001; Newberry et al., 2000; Goryachev, Piraino, 2014], а также орогенная Au, Au-Bi и Ag-Sn минерализация. Магматизм в пределах АТМЗ зоны развит слабо. В основном это небольшие массивы гранитоидного состава, за исключением крупного гранитоидного Нельканского и субвулканического дацитового Тарынского массивов. Помимо массивов гранитоидов отмечаются дайки диорит-порфириров, гранит-порфириров и базитов. Ориентировка даек преимущественно северо-западная, широтная и северо-восточная. В позднем неокоме изменились направления движения Колымо-Омолонского микроконтинента и субдукции Удско-Мургалской дуги [Тектоника..., 2001]. Развиваются первые левосторонние движения по Адыча-Тарынскому разлому, активизирующие ранние надвиги. Позднемеловые постаккреционные тектонические события, мелкие гранитоидные штоки и субвулканические дайки гранит-порфириров, Au-Sb, Ag-Sb минерализация связаны с позднемеловой субдукцией в Охотско-Чукотской дуге [Тектоника..., 2001; Nokleberg et al., 2005; Бортников и др., 2010]. В позднемеловое и палеогеновое время Адыча-Тарынский разлом функционирует в основном как сдвиговая структура глубокого проникновения. Вдоль структуры, в ее наиболее проработанных участках формируются близповерхностные телетермальные месторождения, которые нередко совмещаются с ранее сформированными золото- или оловорудными месторождениями, образуя сложные комплексные полигенные месторождения.

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

В Адыча-Тарынской металлогенической зоне установлена сложная геологическая история развития, продолжительная геодинамическая активность тектонических структур, а также их проницаемость для флюидов и магматических расплавов, проявление нескольких типов месторождений благородных металлов (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика благороднометалльных месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны

Характеристика месторождений	Тип месторождения			
	малосульфидный золото-кварцевый	золото-висмутовый	золото-сурьмяный	серебро-сурьмяный
Геодинамическая обстановка	Аккреционная		Постааккреционная	
Кинематика рудо-контролирующих разломов	Надвиговая	Надвиговая	Левосдвиговая	Сдвиговая
Структурный парагенезис	Зоны интенсивных складчато-разрывных деформаций СЗ простирания, концентрические складки с близгоризонтальными шарнирами, будинаж, кливаж разлома	Над- и околонинтрузивные структуры, минерализованные зоны дробления	Хрупкие разломы, концентрические и конические складки СВ простирания, в т.ч. аксоноклинали, кливаж	Хрупкие разломы, концентрические и конические складки широтного простирания, в т.ч. аксоноклинали
Вмещающие породы	Песчаники и алевролиты	Роговики, гранитоиды, песчаники, алевролиты	Песчаники и алевролиты	Дациты, песчаники и алевролиты
Морфология рудных тел	Жилы, жильно-прожилковые и прожилково-вкрапленные зоны	Жильно-прожилковые зоны, штокверки	Жилы, жильно-прожилковые зоны	Жилы, жильно-прожилковые зоны
Основные жильные минералы	Кварц, карбонаты (анкерит, сидерит, кальцит)	Кварц, турмалин, мусковит	Кварц, анкерит, серицит, диккит, парагонит, пиррофиллит	Кварц, диккит, кальцит
Рудные минералы	Пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, менегенит, буланжерит джемсонит, халькостибит	Вольфрамит, арсенопирит, леллингит, данаит, висмутин, тетрадимит, жозит А и В, верлит, теллуруровисмутит	Антимонит, пирит, арсенопирит, бертьерит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, джемсонит	Арсенопирит, пирит, сфалерит, гудмундит, халькопирит, фрейбергит, пираргирит, бертьерит, антимонит
Главная продуктивная минеральная ассоциация	Золото-халькопирит-сфалерит-галениновая	Леллингит-глаукодо-арсенопиритовая, висмутин-сульфотеллуридная	Кварц-антимонит-бертьеритовая	Фрейбергит-серебро-сурьмянистая
Геохимическая ассоциация элементов	Au, As, Sb, Ag, Cu, Zn, Pb, Li	Au, Bi, W, As, Te, Sn, In, Cd	Au, As, Sb, Ag,	Ag, Sb, As
Примеры месторождений	Базовское, Дrajное, Жданное, Малотарынское, Левобережное, Талалах	Эргелях	Малтан, Сарылах, Сентачан, Тан	Дичек, Сахчан, Серп



**Рис. 2. Взаимоотношения минералов в месторождениях Адыча-Тарьинской металлогенической зоны.**

*a* — скопления хлорита в кварце; *б* — вкрапленность метасоматического арсенопирита с кварцевой «рубашкой» в околожильно измененной породе; *в* — разрозненные зерна и кристаллы арсенопирита в кварцевой жиле; *г* — сростание золота и галенита; *д* — удлиненно-ветвистое золото из ассоциации с игольчатыми сульфантимонитами; *е* — включения мелких золотин в минералах висмутин-герадимит-жозеитового парагенезиса; *ж* — замещение самородного золота золото-сурьмяным оксидом; *з* — мелкогубчатое золото; *и* — обломки молочно-белого золотоносного кварца цементируются микрозернистым серым кварцем со Sb-арсенопиритом.

Наиболее ранней является **гидротермально-метаморфогенная минерализация**. Ее формирование связано с коллизией Колымо-Омолонского микроконтинента с восточной окраиной Северо-Азиатского кратона. Минерализация представлена редкими рассеянными по площади жилами кварц-хлоритового или кварц-хлорит-кальцитового состава (рис. 2, *a*). Мощность отдельных жил не превышает первых десятков сантиметров. Жилы по простиранию достаточно быстро выклиниваются и переходят в маломощные проводнички. Нередко такие жилы имеют послойный характер и участвуют совместно с вмещающими породами в пликативных деформациях. При этом максимальная их мощность в таких случаях наблюдается в шарнирах мелких складок. Хлорит, в виде скоплений червеобразных зерен бледно-зеленоватого цвета, имеет следующий состав (мас. %; среднее из четырех микрозондовых измерений) —  $\text{SiO}_2$  — 25.12;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 22.05;  $\text{FeO}$  — 30.68;  $\text{MnO}$  — 0.15;  $\text{MgO}$  — 10.86;  $\Sigma$  — 88.86. По рентгеноструктурным данным он относится к группе рипидолита. Изредка встречающийся в жилах марказит образует удлиненные полизернистые анизотропные пластинки, по которым иногда развивается кубический пирит. Состав марказита стехиометричен. На уровне чувствительности зонда в нем отмечаются примеси (0.01—0.02 %)  $\text{Co}$  и  $\text{Ni}$ .

**Золото-кварцевый и золото-сульфидно-кварцевый тип.** Основное промышленное золотое оруденение АТМЗ относится к орогенному золото-кварцевому и золото-сульфидно-кварцевому типам (Базовское, Талалах, Дrajное, Левобережное, Жданное, Малотарьинское и др.). Если первый тип был известен давно, то второй начал изучаться с начала 2000 г. [Акимов и др., 2004]. Месторождения неравномерно распределены в пределах АТМЗ как по ее ширине, так и по простиранию, формируя широкую и протяженную полосу. Оруденение ассоциирует с титон-валанжинскими гранитоидами ильменитовой серии *S*- и *I*-типа [Goryachev, Piraino, 2014] и дайками нера-бохапчинского комплекса. Оно фор-

мируется позже интрузии орогенных гранитоидов, что подтверждается результатами датирования жил Яно-Колымского металлогенического пояса (148—125 млн лет) [Newberry et al., 2000]. Преобладают золоторудные месторождения с возрастом 140—130 млн лет [Goryahev, Piraino, 2014]. Обычно месторождения удалены от интрузий гранитоидов на расстояние нескольких километров или имеют надвинутый характер.

Размещение золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений определяется крупноамплитудными протяженными надвигами и реже поперечными сдвигами, отделяющими блоки с различным геологическим строением и тектоническим развитием. Сдвиговые разрывные нарушения образуют закономерные динамопары с надвигами. В качестве ведущего структурно-тектонического фактора размещения оруденения установлены пересечения рампов: фронтальных и косых, фронтальных и латеральных [Фридовский, 2010; Фридовский и др., 2014, 2015]. В пределах рудных полей наблюдается нарастание интенсивности складчатых деформаций, максимальных в зонах продольных длительно развивающихся рудоконтролирующих разломов. Важно подчеркнуть, что минерализованные зоны дробления, как правило, развиваются вдоль срывов по контактам пород разной компетентности. С надвиговыми деформациями связано формирование линейных складок концентрического типа с преобладающим северо-западным простиранием и юго-западной вергентностью. В пределах рудоносных зон они образуют полосы напряженной складчатости шириной до первых сотен метров.

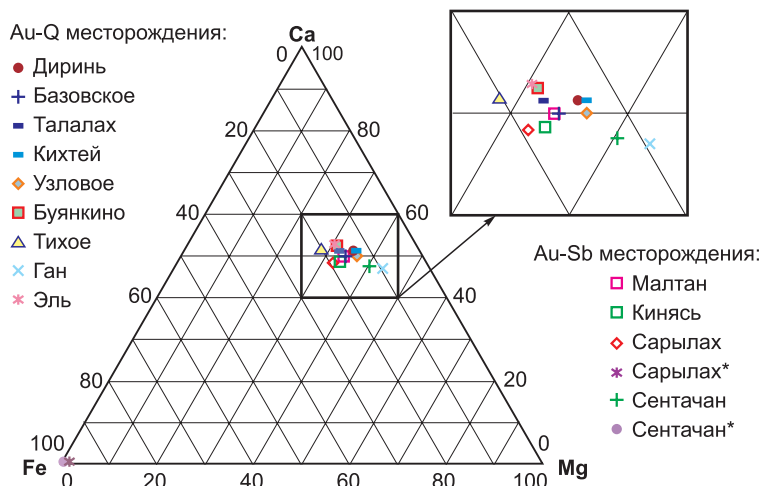
Наиболее крупные объекты представлены рудными телами типа минерализованных зон дробления (Базовское, Дражное, Малотарынское), остальные кварцево-жильными телами простой линзовидной формы (Сана, Диринь-Юрях, Имтачан) или стратифицированными жилами в полостях отслоения складок (Пиль, Талалах, Жданное). Структурно-морфологические типы рудных тел — жильный, жильно-прожилковый, прожилково-вкрапленный, минерализованные зоны смятия и дробления, развиты в различных сочетаниях и объемах. Золото-кварцевое малосульфидное оруденение широко распространено в пределах металлогенической зоны. Преобладающим морфологическим типом рудных тел являются кварцево-жильные тела. В большинстве случаев — это кососекущие, субсогласные, круто и пологозалегающие тела. Они не выдержаны ни по простиранию, ни по мощности, ветвятся, имеют раздувы и разноориентированные апофизы, смещаются поперечными разрывами. Наибольшая концентрация кварцевых тел наблюдается вблизи контактов разнокомпетентных толщ. Минерализованные зоны дробления характеризуются более выдержанными параметрами рудных тел и более равномерным содержанием золота. Золото жил более крупное, вплоть до самородков различной размерности [Самусиков, 1990]. Но в обоих случаях оно, как правило, тяготеет к скоплениям сульфидов.

Минеральный состав рудных тел малосульфидных руд золото-кварцевых месторождений довольно однообразен: кварц — 85—95 %, карбонат (анкерит) — 5—15 % рудные минералы около 1 %. Однако именно скопления сульфидов являются индикаторами наиболее богатых участков рудных тел. В составе прожилково-вкрапленных минерализованных зон преобладают  $\text{SiO}_2$  (51.43—87.4 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4.37—17.02 %),  $\text{FeO}$  (1.01—6.11 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.44—5.67), наиболее изменчивы содержания  $\text{CaO}$  (0.26—17.56 %) и  $\text{CO}_2$  (0.47—13.00 %). В рудах выделяется последовательный ряд минеральных ассоциаций: пирит-арсенопирит-серицит-кварцевая метасоматическая, пирит-арсенопирит-кварцевая жильная, золото-халькопирит-сфалерит-галенитовая и сульфосольно-карбонатная [Гамянин, 2001].

Пирит-арсенопирит-кварцевая метасоматическая ассоциация слагает призальбандовые зоны метасоматитов шириной до 50 см, при преобладающем развитии метасоматического кварца. В метасоматитах повсеместно пирит преобладает над арсенопиритом. Арсенопирит образует метакристаллы, которые оторочены кварцевой шестоватой «рубашкой» (рис. 2, б). Насыщенность пиритом может достигать 10—20 %, тогда как на долю арсенопирита приходится не более 3 %. Как правило, призматический арсенопирит тяготеет к призальбандовым участкам жил. В его составе отмечается преобладание серы (1.05—1.12 ф.е.). В направлении от зальбандов он становится малосернистым, а содержание золота в нем снижается от 800—950 до 20—40 г/т. В пиритах содержание золота составляет 0.8—12 г/т. На уровне сотых долей процента в арсенопирите присутствует  $\text{Co}$  и  $\text{Ni}$ , а  $\text{Sb}$  в количестве первых десятых процента.

Среди жильных минералов превалирует кварц, который представлен тремя разновидностями: массивным, шестоватым и друзовидным. Типоморфные признаки для всех разновидностей кварца следующие: двухпиковая термолуминесценция с большей интенсивностью низкотемпературного пика (280 °C); средняя степень кристаллического совершенства (50—60 %); низкое содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  (5—12 г/т); объем элементарной ячейки — 112.990—112.998 Å. Из рудных минералов в жилах преобладают пирит и арсенопирит (рис. 2, в). По сравнению с метасоматическими они более отвечают стехиометрическому составу.

Тесные пространственно-временные связи характерны для золота с халькопирит-сфалерит-галенитовой и сульфосольной ассоциациями, продуктивность которых обусловлена близким временем отложения с самородным золотом (см. рис 2, г). Со сфалеритом, а чаще с галенитом оно образует сростания совместно кристаллизующихся минералов с ровными границами, а иногда и сростания их кристаллов.



**Рис. 3. Состав карбонатов золото-кварцевых и золото-сурьмяных месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

\* Регенерированный карбонат.

ассоциации с галенитом, а с сульфоантимонитами — наиболее высокопробное 930—960 ‰. В сульфосольно-карбонатной ассоциации ведущим минералом является карбонат, в том или ином количестве встречаемый повсеместно. Карбонат данной ассоциации является наиболее поздним минералом. Обычно он локализуется в пустотах среди кварца и не привязан конкретно к каким-либо участкам кварцевых жил. По своему составу он отвечает группе анкерит-доломита с изменчивым соотношением железистости, устойчивым содержанием Mn, а иногда и Sr (табл. 2, рис. 3). Амузинским В.А. с соавторами [1980] в пределах рудных полей отмечается также развитие кальцита. Он связан с поздней Ag-Sb минерализацией.

**Золото-висмутовый тип.** Месторождения этого типа тесно связаны с интрузивами («intrusion-related») и локализируются непосредственно в мелких штоках гранитоидов или их роговиковом ореоле, в дайках пестрого состава (гранит-порфиры, порфириды, диабазы) [Гамянин и др., 2003]. В АТМЗ к золото-висмутовому типу относится месторождение Эргелях, приуроченное к надкупольной части гранитоидного плутона площадью около 50 км<sup>2</sup> [Гамянин и др., 2003]. Гранитоиды и прилегающие к ним биотитовые роговики рассеяны простыми линзовидными крутопадающими кварцевыми жилами мощностью до 1 м и протяженностью до 250 м, располагающимися кулисообразно в субширотной системе разломов.

Минералогия золото-висмутовых месторождений довольно хорошо изучена [Рожков и др., 1971; Гамянин и др., 1981, 2003]. В основных рудных телах развит последовательный ряд минеральных ассоциаций: мусковит-турмалин-кварцевая метасоматическая, вольфрамит-турмалин-кварцевая, пирротин-леллингит-данаит-арсенипиритовая, висмут-сульфотеллуридная [Гамянин и др., 1981]. Самородное зо-

Таблица 2. Состав карбонатов месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны

Месторождение	Тип минерализации	n	CaO	MgO	FeO	MnO	SrO
Диринь	Au-Q	2	28.5	14	9.8	0.4	—
Базовское	»	2	28.5	14	11.6	0.4	—
Талалах	»	2	28.2	12.6	12.2	0.5	—
Кихтей	»	2	30.6	15.1	10	0.6	—
Узловое	»	3	28.2	14.7	9.8	0.3	—
Буянкино	»	4	29.5	12.6	12.1	0.4	—
Тихое	»	2	28.3	11.2	14.3	0.4	—
Ган	»	4	30.5	20.1	8	—	0.6
Эль	»	2	30.4	12.5	12.5	0.4	0.3
Малган	Au-Sb	3	27.6	13.5	11.6	0.2	0.6
Киньясь	»	2	28.6	14.2	13.1	0.3	0.2
Сарылах	»	5	30.2	14.5	15.3	0.2	0
Сарылах*	»	3	—	0.5	59.1	0.1	—
Сентачан	»	4	29.1	17.7	9.6	0.3	—
Сентачан*	»	2	0.2	0.3	59.2	0.8	—

Примечание. Здесь и далее типы минерализации: Au-Q — золото-кварцевый; Au-Sb — золото-сурьмяный.

\* Регенерированный карбонат.

лото в сульфидарсенидах присутствует в виде мельчайшей вкрапленности (0.006—0.100 мм) в количестве 50—150 г/т, а с минералами висмута ассоциирует свободное мелкое золото с широким диапазоном (750—960 %) пробности (см. рис. 2, е). Вольфрамит содержит 90—95 % ферберитового минала. Ассоцирующие минералы представлены Co-Ni-леллингитом, герсдорфитом, Ni-данаитом и арсенопиритом. Они представляют собой последовательный ряд кристаллизации, начинающийся леллингитом и завершающийся сернистым арсенопиритом. Поздняя золотоносная ассоциация висмутовых минералов представлена гомологическими рядами тетрадимита, жозеита А и В, теллуросвисмутита с широкими вариациями содержания компонентов, обуславливающих нестехиометричность состава минералов.

Золото-висмутовая минерализация установлена на Малотарыньском золото-сульфидно-кварцевом месторождении [Фридовский и др., 2014]. Здесь выделяются кварц-мусковитовая-пирротин-Co-Ni-сульфидарсенидная и висмут-сульфотеллуридная минеральные ассоциации. Они не имеют широкого распространения, но свидетельствуют о неоднократной тектономагматической активизации рудовмещающих структур и вероятной связи различного типа совмещенной минерализации с промежуточными магматическими камерами, имеющими единый глубинный очаг.

**Золото-сурьмяный тип.** Au-Sb минерализация наиболее широко проявлена в осевой части Адыча-Тарыньского разлома (месторождения Сентачан, Сарылах, Малтан, Тан, Киньясь-Юрях, Эльги-Тонор) [Бергер, 1978; Индолев и др., 1980; Амузинский и др., 2001; Бортников и др., 2010]. Наличие такой минерализации отличает АТМЗ от других золотоносных зон Яно-Колымского пояса и северо-востока России. В работе [Амузинский и др., 2001] обстоятельно рассмотрены геология Сарылахского и Сентачанского месторождений, минералогия и геохимия руд, химический состав околорудных метасоматитов. Обосновывается формирование месторождений в близповерхностных условиях из глубинного восстановительного флюида. Авторы [Бортников и др., 2010] подчеркивают формирование золотого и антимонитового оруденения на разных глубинах, в связи с различными геодинамическими событиями.

Антимонитовая минерализация наложена на золото-кварцевую, что приводит к формированию комплексных полигенных золото-сурьмяных месторождений [Индолев и др., 1980; Бортников и др., 2010]. На примере месторождения Малтан было показано объемное и интенсивное воздействие минералообразующего флюида антимонитового этапа оруденения на раннюю минеральную матрицу мало-сульфидного золото-кварцевого оруденения [Фридовский и др., 2014]. При этом на одном гипсометрическом уровне в настоящий момент присутствуют однотипные минералы с разными типоморфными особенностями и новообразованные минералы, отражающие разный уровень глубинности их образования, что дает основание считать формирование месторождения Малтан двухэтапным. Для разного типа минерализации установлены различные условия локализации. Оrogenная золото-кварцевая минерализация локализуется в межслоевых продольных надвигах, оперяющих их зонах, кварцевых жилах и прожилках. С надвигами ассоциируют близширотные косые ramпы. Сурьмяное оруденение формировалось в тех же, что и золотое, но в повторно активизированных структурах, в левосдвиговом поле тектонических напряжений [Фридовский и др., 2014].

Вещественный состав золото-сурьмяных месторождений характеризуется сочетанием минеральных ассоциаций, отмечаемых для малосульфидных золото-кварцевых месторождений, наложенной бертерит-антимонитовой ассоциации и возникающими в связи с этим реакционными минералами — халькопиритом, ульманнитом, сурьмянистым пиритом, никельсодержащим арсенопиритом. Самородное золото в данных месторождениях нередко замещается аурустибитом и горчичным золотом (см. рис. 2, ж). В существенно антимонитовых рудах аурустибит неустойчив и распадается с образованием субграфического агрегата золото+антимонит [Гамянин и др., 1984]. При окислении антимонита такие агрегаты приобретают губчатую структуру, которая вошла в минералогический обиход как «губчатое» золото (см. рис. 2, з). В процессе этого наложения раннее золото дезинтегрируется, растворяется и перетлагается. По этой причине золото золото-сурьмяных месторождений мелкое (<<0.25 мм), с большой долей кристаллов. В связи с дезинтеграцией золота происходит перераспределение его концентраций и расширение контура рудных столбов с уменьшением повышенных концентраций и более равномерным (8—12 г/т) распределением в пределах рудных тел. Переотложение золота приводит к его обогащению и повышению пробности до 950—1000 %. На Au-Sb месторождениях Адыча-Тарыньской зоны типичными являются анкерит и доломит [Суплецов, Жданов, 1980], редко встречаются регенированные карбонаты, представленные сидеритом, связанным с наложением позднего антимонитового этапа минералообразования (см. табл. 2, рис. 3).

**Серебро-сурьмяный тип.** Ag-Sb минерализация была выделена ранее [Гамянин, Горячев, 1988] в самостоятельный тип и позднее детально охарактеризована [Горячев и др., 2011]. Наряду с монометалльными Ag-Sb проявлениями, известными в пределах Тарыньского субвулкана, эта минерализация широко распространена в комплексных или полиформационных олово-вольфрамовых и золоторудных месторождениях. Максимальная концентрация серебро-сурьмяных рудопроявлений Дичек, Сахчан,



Серп отмечается в пределах Тарынского субвулкана. Месторождения убогосульфидные. Концентрации серебра в рудных телах связаны с распространенностью фрейбергит-серебро-сульфоантимонитовой ассоциации, которая местами формирует богатые ( $\gg 1$  кг/т) бонанцевые руды. Этот тип оруденения накладывается на золото-кварцевые месторождения.

Поздняя эпitherмальная минерализация представлена жилами и прожилками сферолитового, криптозернистого или коллоидно-почковидного кварца с убогой сульфидной вкрапленностью. Она выявлена на многих месторождениях Тарынского рудного узла [Фридовский и др., 2013, 2014, 2015]. На месторождении Эргелях это довольно мощные (до 1 м) жилы ритмично-зонального сферолито-криптозернистого кварца, содержащего редкую вкрапленность халькопирита, сфалерита, галенита и фрейбергита. Эти жилы, имеющие северо-западную и северо-восточную ориентировку, пересекают субширотные жилы с золото-висмутовым оруденением. На месторождениях Пиль и Малотарынское зафиксированы жилы темно-серого до черного криптозернистого кварца, секущего и цементирующего продукты мало-сульфидного золото-кварцевого оруденения и насыщенного Sb-арсенопиритом (см. рис. 2, *u*). Этот кварц по своим типоморфным свойствам (содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  700—1100 г/т; низкая степень кристаллического совершенства 30—40 %) сходен с кварцем месторождений серебро-сурьмяного типа, развитого среди Тарынского субвулкана. В криптозернистом кварце из сульфидов преобладает вкрапленность, иногда интенсивная, тонкозернистого до пылевидного пирита с редкими зернами ромбовидного арсенопирита.

В составе пирита постоянно присутствует As в количестве до 0.7 %. Атомно-абсорбционным анализом в нем выявлены повышенные концентрации Au (599 г/т) и Ag (66 г/т). Арсенопирит из жил криптозернистого кварца содержит повышенные концентрации Sb (1.6—2.3 %), что является типоморфным для серебро-сурьмяного оруденения Верхояно-Колымских мезозоид [Гамянин, 2001]. Галенит из жил с серебро-сурьмяным оруденением на месторождении Эргелях характеризуется присутствием Ag 0.7—1.2 и Se 0.6—0.8 %, а блеклая руда относится к фрейбергиту с содержанием Ag до 18 %.

## ГЕОХИМИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

**Стабильные изотопы (O, C и S) в минералах.** Изучен изотопный состав кислорода в кварце, углерода и кислорода в карбонатах, серы в сульфидах из разных типов благородно-металлической минерализации Адыча-Тарынской металлогенической зоны. Измерения проводились масс-спектрометрическим методом в лаборатории стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН (аналитик Т.А. Веливецкая) по стандартным методикам. Геохимия стабильных изотопов крупных золото-сурьмяных месторождений Сарылах и Сентачан детально рассмотрена ранее [Бортников и др., 2010].

*Изотопный состав кислорода кварца* изученных месторождений представлен в табл. 3. Ранний метаморфогенный кварц вне рудных зон имеет величины  $\delta^{18}\text{O}$ , равные  $20.1 \pm 2$  ‰. Величины  $\delta^{18}\text{O}$  кварца золото-висмутовых месторождений изменяются в узком интервале  $12.5 \pm 0.4$  ‰. Для кварца золото-кварцевой минерализации вариации значительно шире — величины  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются от 14.2 до 19.5 ‰. Схожий интервал характерен для золото-сурьмяной минерализации ( $\delta^{18}\text{O} = +16.1 \dots +19.2$  ‰). Криптозернистый кварц серебро-сурьмяной минерализации обогащен легким изотопом кислорода ( $\delta^{18}\text{O} = -3.2 \dots +4.7$  ‰).

*Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов* был изучен для всех типов благородно-металлической минерализации Адыча-Тарынской зоны, а также для кальцита из ранних гидротермально-метаморфогенных прожилков (рис. 4, табл. 4). Величины  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  контрастны для изученных типов минерализации и изменяются соответственно от  $-6.9$  до  $-5.9$  ‰ и от 2.1 до 5.7 для анкерита золото-висмутовых месторождений, от  $-9.1$  до  $-6.1$  ‰ и от 12.4 до 18.7 ‰ для анкерита золото-кварцевой минерализации, от  $-12.1$  до  $-9.5$  и от 15 до 16.3 ‰ для анкерита золото-сурьмяного оруденения, от  $-11.6$  до  $-11.1$  ‰ и от 1.5 до 4.7 ‰ для кальцита серебро-сурьмяной минерализации. На рис. 4 отчетливо видно, что интервалы значений  $\delta^{18}\text{O}$  перекрываются для золото-висмутовых и серебро-сурьмяных месторождений, а также для золото-кварцевых и золото-сурьмяных. Для  $\delta^{13}\text{C}$  наблюдается частичное совпадение интервалов значений для золото-висмутовых и золото-кварцевых, а также для золото- и серебро-сурьмяных месторождений.

Метаморфогенные кальциты обогащены тяжелым изотопом углерода ( $-1.1 \dots -1.7$  ‰) и кислорода ( $+20.3$  до  $+20.5$  ‰).

*Изотопный состав серы сульфидов* был изучен для продуктивных жил разных типов месторождений (табл. 5). Проанализированы монофракции арсенопирита (Apy), пирита (Py) и антимонита (Ant), для которых получен достаточно широкий интервал значений  $\delta^{34}\text{S}$  ( $-6.8 \dots +5.4$  ‰). Для разных типов минерализации получены следующие величины  $\delta^{34}\text{S}$  (рис. 5): золото-висмутовая —  $-3.7 \dots -2.2$  ‰ (Apy),  $-6.7 \dots -6.8$  ‰ (Py); золото-кварцевая —  $-2.1 \dots +2.4$  ‰ (Apy),  $-6.6 \dots +5.4$  ‰ (Py),  $-6.1 \dots +4.2$  ‰ (Ant); золото-сурьмяная —  $-2.0 \dots +1.6$  ‰ (Apy),  $-3.5 \dots +2.1$  ‰ (Py),  $-5.3 \dots +0.2$  ‰ (Ant); серебро-сурьмяная —  $-2.0 \dots -1.9$  ‰ (Apy),  $-2.2 \pm 0.1$  ‰ (Py),  $-5.7 \dots -5.6$  ‰ (Ant).

Таблица 3. Изотопный состав кислорода кварца месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны

Месторождение	Тип кварца	Тип минерализации	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW, ‰}}$	Ассоциация
Вне месторождений	Стекловидный	Q	19.9; 20.3	Кальцит
Эргелях	Полупрозрачный	Au-Bi	12.6; 12.9	Сульфотеллуриды
Курдат	Молочно-белый	Au-Q	16.2	Сфалерит, галенит
Сана	»	»	15.4; 15.9	»
Дирина	»	»	14.2; 16.9	Тетраэдрит, галенит
Жданное	»	»	15.2; 16.8	Сфалерит, галенит
Андреевское	»	»	18.1	»
Узловое	»	»	18.5	Антимонит
Ниткан	Полупрозрачный	»	17.3	»
Рудный Лазо	»	»	18.1	Галенит
Юхонджа	Молочно-белый	»	18.7; 19.5	Тетраэдрит
Гавриковское	»	»	16.2	Сфалерит, галенит
Кляп	»	»	15.9	»
Мотыль	»	»	17.6	»
Имтачан	»	»	17.2; 18.1	Тетраэдрит
»	»	»	18.1	Сфалерит, галенит
Седло	Полупрозрачный	»	16.3	»
Аулочан	Молочно-белый	»	17.8; 18.3	Галенит, тетраэдрит
Приметное	»	»	16.3	Сфалерит, галенит
Эбир-Хая	Крупнозернистый	»	16.6	Вольфрамит, галенит
Эль	Молочно-белый	Au-Sb	19.0; 19.2	Бертьерит, антимонит
Кинясь	»	»	16.3	Сфалерит, галенит
»	Регенерированный	»	8.9	Антимонит
Малтан	Молочно-белый	»	16.1; 16.3	Сфалерит, галенит
Эбир-Хая	Криптозернистый	Ag-Sb	-2.7; 2.9	Сульфосоли Ag
Делегенях	»	»	-2.8; -3.2	»
Купольное	Мелкозернистый	»	2.9	Ag-Sb-сульфосоли
Эргелях	Зональный	»	3.1	Галенит
Эбир-Хая	Криптозернистый	»	-0.3; -2.7	Фрейбергит
Купольное	Мелкозернистый	»	0.1; 0.3	Ag-Sb-сульфосоли
Серп	Криптозернистый	»	4.7	Сульфосоли Ag
Дичек	Мелкозернистый	»	1.8; 2.4; 2.9	»
Сахчан	»	»	1.1; 2.9	»

Примечание. Здесь и далее типы минерализации: Q — гидротермально-метаморфогенный; Au-Q — золото-кварцевый; Au-Bi — золото-висмутовый; Au-Sb — золото-сурьмяный; Ag-Sb — серебро-сурьмяный.

Здесь и в табл. 4 и 5: анализы выполнены в лаборатории изотопных исследований ДВГИ ДВО РАН.

**Изотопный состав O, C и S минералообразующего флюида.** Изотопный состав кислорода во флюиде рассчитан с использованием измеренных величин  $\delta^{18}\text{O}$  для кварца и карбонатов и усредненных температур гомогенизации флюидных включений в кварце и карбонате в соответствии с уравнениями фракционирования [Zhang et al., 1989; Zheng, 1999], где  $T$  — температура Кельвина:

$$\Delta_{\text{кварц}-\text{H}_2\text{O}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{кварц}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.306 (10^6/T^2) - 2.71, \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{анкерит}-\text{H}_2\text{O}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{анкерит}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 4.12 (10^6/T^2) - 4.62 (10^3/T) + 1.71, \quad (2)$$

$$\Delta_{\text{кальцит}-\text{H}_2\text{O}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{кальцит}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 4.01 (10^6/T^2) - 4.66 (10^3/T) + 1.71. \quad (3)$$

Рассчитанные величины  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  флюида (рис. 6), участвовавшего в образовании кварца, составляют для метаморфогенного кварца  $10.5 \pm 0.2 ‰$  (250 °C); для кварца золото-висмутовых месторождений  $6.1 \pm 0.4 ‰$  (330 °C); для кварца золото-кварцевых месторождений  $+7.3 \dots +12.3 ‰$  (300 °C); для кварца золото-сурьмяных месторождений  $+4.9 \dots +8.2 ‰$  (200 °C); для кварца серебро-сурьмяных месторождений  $-13.6 \dots -7.3 ‰$  (220 °C).

Таблица 4. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов различных типов минерализации Адыча-Тарынской металлогенической зоны

Месторождение	Тип минерализации	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ , ‰
Вне рудных полей	Q	-1.7	20.5
»	»	-1.1	20.3
Эргелях	Au-Bi	-6.9	5.7
Пиль	Au-Q	-6.1	14.7
Диринь	»	-6.1	14.3
Талалах	»	-9.1	16.1
Базовское	»	-7.5	12.4
Малотарыньское	»	-7.8	18.7
Малтан	Au-Sb	-9.5	15
Киньясь	»	-10.4	16.3
Сарылах	»	-11.2	15.8
Сентачан	»	-12.1	15.8
Дичек	Ag-Sb	-11.6	2.3
Серп	»	-11.1	1.5
Сахчан	»	-11.3	4.7

Таблица 5. Изотопный состав серы сульфидов месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны

Месторождение	Тип минерализации	Арсенопирит	Пирит	Антимонит
Эргелях	Au-Bi	-2.2; -2.8; -3.7	-6.7; -6.8	—
Августовское	Au-Q	-2.1	-1.5	-2.9
Аулочан	»	-0.4	0.7; -0.6; -1.2	-1.3
Киньясь	»	1.3	—	-3.3; -3.6
Мало-Тарыньское	»	2.2; 2.4	—	-0.2; 0.4
Пиль	»	—	-1.7; -1.6; -1.2	—
Ниткан	»	0.7	—	-3.9
Эльгинское	»	-0.7	0.9	-4.4
Джетанья	»	—	1.1	4.2
Туган	»	—	1.2	-1.1
Узловое	»	0	2.2; 4.0; 5.4	0.6; -2.0
Эль	»	—	-5.7; -6.6	-0.6; -6.1
Сарылах	Au-Sb	-0.9; -1.6; -2.0	-1.7; -3.2; -3.5	-3.5; -4.3; -5.3
Сентачан	»	-0.6; -0.8; 1.0	0.4; 1.2; 2.1	0.2; -1.4; -2.7
Малтан	»	1.6	—	-2.6; -3.5; -4.1
Дичек	Ag-Sb	-1.9	-2.3	-5.6
Серп	»	-2.0	-2.1	-5.7

Изотопный состав углерода карбонатов золото-висмутовых и золото-кварцевых месторождений перекрывается с интервалом  $-5 \dots -2$  ‰, характерным для  $\text{CO}_2$  магматического происхождения [Kerrick, 1990]. Мантйный углерод и углерод гранитоидных магм имеют величины  $\delta^{13}\text{C}$ , равные  $-7 \dots -2$  и  $-6 \dots -2$  ‰ соответственно [Jia, Kerrich, 2000]. Очевидно, что изотопный состав углерода флюида, из которого отлагались карбонаты, близок к этим резервуарам. При формировании золото-сурьмяной и серебро-сурьмяной минерализации во флюиде возрастает доля легкого изотопа углерода.

Изотопный состав серы во флюиде ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ ), находящемся в равновесии с сульфидами в момент минералообразования, был рассчитан по уравнениям фракционирования [Ohmoto, Rye, 1979; Li, Liu, 2006], предполагая, что в растворах преобладал  $\text{H}_2\text{S}$ :

$$\Delta_{\text{пирит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{пирит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0.4 (10^{6/T^2}), \quad (4)$$

$$\Delta_{\text{антимонит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{антимонит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = -0.75(10^{6/T^2}). \quad (5)$$

Для флюида, равновесного с арсенопиритом, вслед за [Clayton, Spiro, 2000], использовано уравнение (4).

**Рис. 4. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

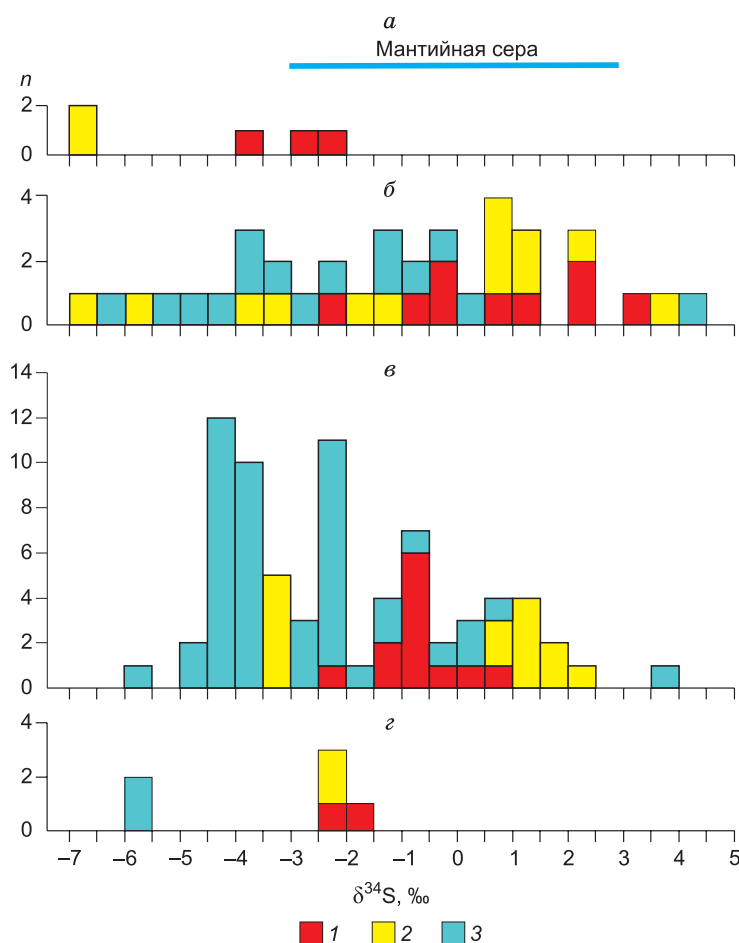
Типы минерализации: 1 — гидротермально-метаморфогенный, 2 — золото-висмутый, 3 — золото-кварцевый, 4 — золото-сурьмяный, 5 — серебро-сурьмяный.

Для золото-висмутовых месторождений величины  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  флюида, сосуществующего с арсенопиритом и пиритом при 330 °С, изменяются от -7.9 до -3.3 ‰. Рассчитанные значения  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  флюида для золото-кварцевой минерализации в равновесии с ранними сульфидными (арсенопирит, пирит) при 300 °С варьируют от -7.8 до +4.2 ‰. В образовании позднего антимонита участвовал флюид с  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = -1.1... +7.6$  ‰ (200 °С).

Величины  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  флюида, из которого отлагались при 200 °С пирит и арсенопирит золото-сурьмяной минерализации, изменяются от -5.3 до +0.3 ‰. Антимонит кристаллизовался при 180 °С из флюида, обогащенного тяжелым изотопом серы ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = -1.7... +3.9$  ‰). В образовании сульфидов серебро-сурьмяной минерализации принимал участие флюид с величинами  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ , равными -5.7...-3.5 ‰. Таким образом, большинство значений  $\delta^{34}\text{S}$  рудообразующего флюида, отлагавшего сульфидные ассоциации изученных месторождений, попадает в интервал от -3 до +3 ‰. Это свидетельствует об участии серы магматического происхождения в процессе рудообразования. Кроме того, в гидротермальную систему вовлекалась сера из вмещающих пород.

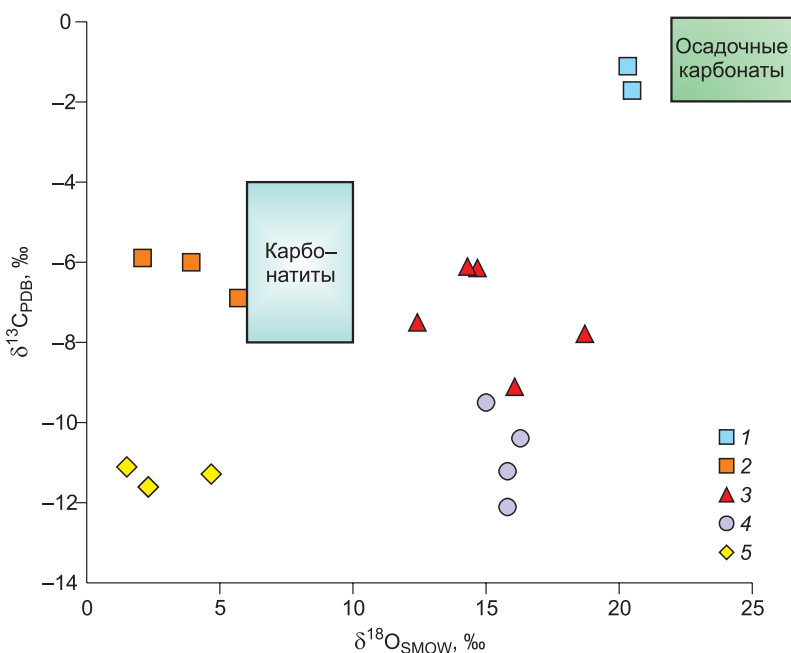
**Флюидные включения.** Термобарогеохимические исследования были выполнены для кварца золото-кварцевого малосульфидного, золото-висмутого и серебро-сурьмяного оруденения (аналитик В.Ю. Прокофьев, ИГЕМ РАН). Для ультрамелких флюидных включений в гидротермально-метаморфогенном кварце проведение таких исследований было невозможно.

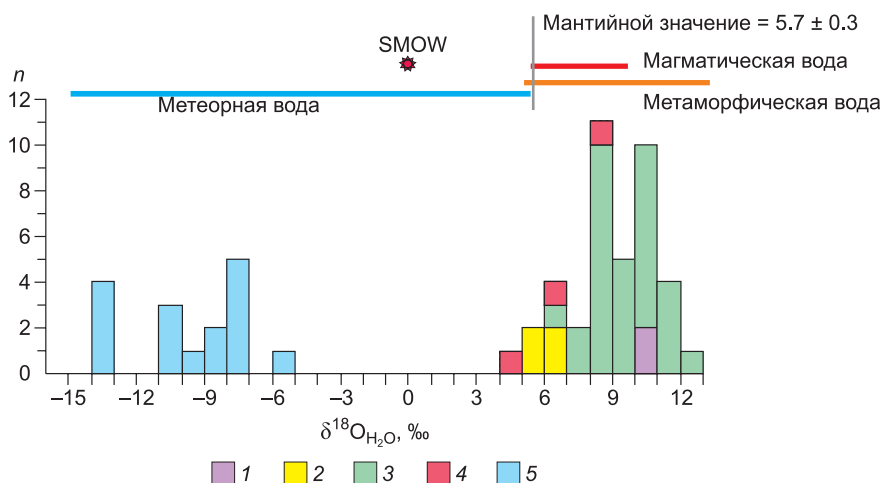
На примере месторождений Пиль и Малотарынского были изучены флюидные включения в кварце *золото-кварцевого оруденения* [Фридовский и др., 2012, 2015]. Обнаружены ассоциации



**Рис. 5. Изотопный состав серы сульфидов месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

Типы минерализации: а — золото-висмутый; б — золото-кварцевый, в — золото-сурьмяный (добавлены данные из [Бортников и др., 2010]), г — серебро-сурьмяный. Минералы: 1 — арсенопирит, 2 — пирит, 3 — антимонит.





**Рис. 6. Изотопный состав кислорода минералообразующего флюида месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

Типы минерализации: 1 — гидротермально-метаморфогенный; 2 — золото-висмутовый, 3 — золото-кварцевый, 4 — золото-сурьмяный, 5 — серебро-сурьмяный.

первичных и первично-вторичных флюидных включений двух типов: существенно углекислотных (тип 1) и углекислотно-водных (тип 2), сингенетичных друг другу, что свидетельствует о гетерогенном состоянии рудообразующего флюида. Большинство флюидных включений имеют размер 1—20 мкм и форму отрицательных кристаллов или неправильную.

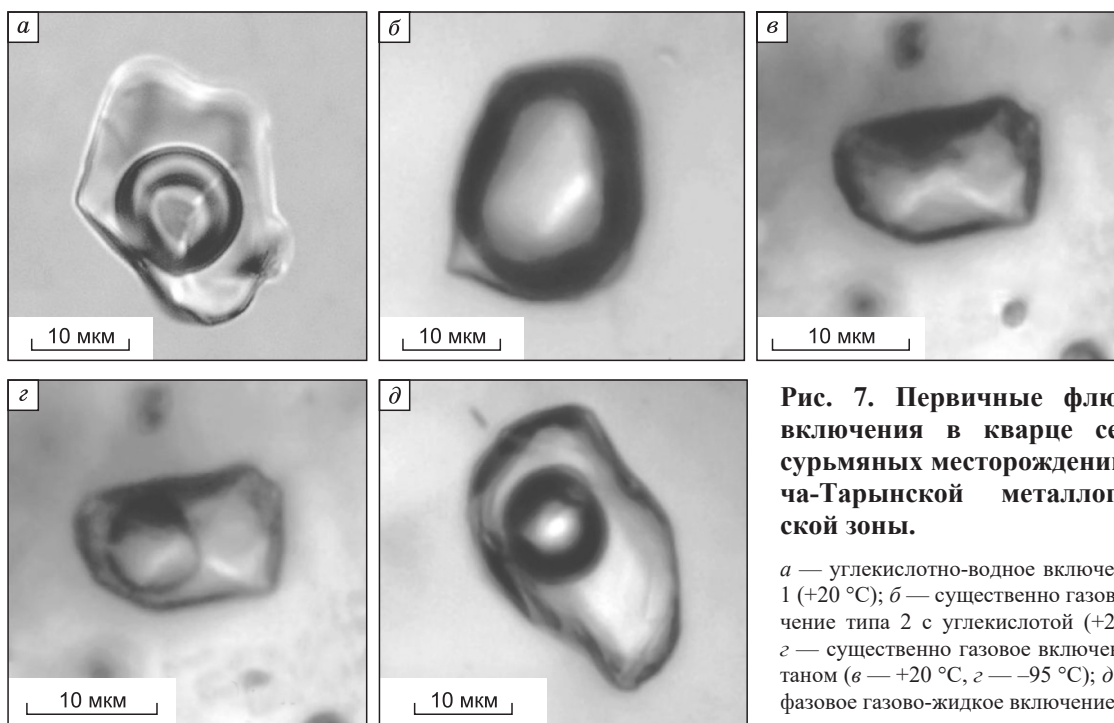
Рудообразующие флюиды месторождения Пиль захватывались в интервале температур от 362 до 233 °С и давления флюида 0.85—0.76 кбар и содержали растворенные хлориды натрия и магния (концентрация 8.7—2.3 мас. %-экв. NaCl), а также углекислоту (6.5—5.0 моль/кг раствора) и метан (1.0—0.7 моль/кг раствора).

Рудообразующие флюиды месторождения Малотарынское были захвачены во включения в интервале температур (318—253 °С), давлении 0.76 кбар и содержали растворенные хлориды натрия и магния (концентрация 5.9—2.6 мас. %-экв. NaCl), углекислоту (6.6—3.4 моль/кг раствора) и метан (1.0—0.6 моль/кг раствора). Вторичные флюидные включения содержали водный раствор с концентрацией солей 6.5—2.2 мас. %-экв. NaCl и гомогенизировались в жидкость при 230—169 °С. Следует отметить высокую плотность флюида и гомогенизацию газовых включений в жидкость. Учитывая сходство малосульфидных золото-кварцевых месторождений зоны в минералогическом и геохимическом плане, нет сомнений, что данные характеристики можно считать типовыми и для других месторождений данной зоны.

В кварце *золото-висмутового* месторождения Эргелях по фазовому составу (при комнатной температуре) выделены четыре типа флюидных включений: 1) двух- или трехфазовые углекислотно-водные; 2) существенно газовые, с жидкой CO<sub>2</sub>; 3) двухфазовые газовой-жидкие; 4) трехфазовые флюидные включения, содержащие жидкий водный раствор, газовый пузырек и изотропный кристалл кубической формы, идентифицированный как галит.

Отложение раннего кварца происходило из относительно разбавленных растворов, содержащих хлориды натрия и магния от 4.5 до 8.6 мас. %-экв. NaCl при температурах 265—305 °С и давлении 0.2 кбар [Лыхина и др., 2003]. В кварце продуктивных золотосодержащих ассоциаций обнаружены включения концентрированных хлоридных натрий-кальциевых растворов, которые имеют концентрацию солей 32.9—32.7 мас. %-экв. NaCl и гомогенизируются в жидкость при температурах 360—255 °С, и включения хлоридных Na-Mg растворов (3.7—6.9 мас. %-экв. NaCl), температуры изменяются от 360 до 190 °С, давление 0.06 кбар [Гамянин и др., 2017]. В кварце галенит-халькопирит-сфалеритовой ассоциации наблюдаются углекислотно-водные включения, содержащие хлоридные Na-Mg растворы (4.3—2.9 мас. %-экв. NaCl), температуры гомогенизации равны 285—250 °С, давление 1.1—0.9 кбар.

Флюидный режим крупных *золото-сурьмяных* месторождений Сарылах и Сентачан детально рассмотрен ранее [Бортников и др., 2010]. Установлены близкие условия формирования раннего золотосодержащего молочно-белого кварца в рудных телах с антимонитовой минерализацией месторождений Сарылах и Сентачан в интервале температур 340—230 °С, с концентрациями солей 6.8—1.6 мас. %-экв. NaCl, давлениями флюида 2.3—1.2 кбар из бикарбонатно-натриевого флюида. Интервалы величин со-



**Рис. 7. Первичные флюидные включения в кварце серебро-сурьмяных месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

*a* — углекислотно-водное включение типа 1 (+20 °С); *б* — существенно газовое включение типа 2 с углекислотой (+20 °С); *в*, *г* — существенно газовое включение с метаном (*в* — +20 °С, *г* — -95 °С); *д* — двухфазовое газовой-жидкое включение типа 3.

лености флюида обоих месторождений перекрываются. В позднем регенерированном кварце, сопровождающем антимонитовую минерализацию, флюидные включения содержали водный раствор с концентрацией солей 3.2 мас. %-экв. NaCl и гомогенизировались в жидкость при 304—189 °С. Сингенетические им существенно газовые включения содержали азот с плотностью 0.19 г/см<sup>3</sup>. Оценка давления при температуре 189 °С составляет 0.3 кбар.

В кварце из рудных жил *серебро-сурьмяных* месторождений были обнаружены многочисленные флюидные включения размером от 25 до 1 мкм, имеющие форму отрицательных кристаллов или неправильную. Включения были классифицированы как первичные (равномерно распределенные по объему минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста), первично-вторичные (приуроченные к трещинам, не выходящим за пределы кристаллов) и вторичные (приуроченные к секущим трещинам).

По фазовому составу среди обнаруженных флюидных включений выделяются три типа (рис. 7): 1) углекислотно-водные; 2) существенно газовые и 3) двухфазовые газовой-жидкие флюидные включения. Газовые включения, как правило, захватывались синхронно с включениями 1- и 3-го типов (приурочены к одним и тем же зонам или трещинам), свидетельствуя о гетерогенном состоянии рудообразующего флюида (вскипания).

В кварце рудных жил месторождения Дичек первичные газовой-жидкие (тип 3) флюидные включения содержат растворы хлорида натрия ( $T_{звт} = -37... -32$  °С) с концентрацией солей 3.6—0.8 мас. %-экв. NaCl.

Анализ химического состава флюидов включений различными методами был выполнен из навески 0.5 г фракции 0.5—0.25 мм в ЦНИГРИ (аналитик Ю.В. Васюта) по методике, опубликованной в работе [Кряжев и др., 2003]. Предварительно из той же навески определялось количество воды, необходимое для расчета концентраций элементов во флюиде. Анализировались также углекислота и метан, а после приготовления вытяжки в растворе определялись Cl, K, Na, Ca и Mg, а также методом ICP-MS широкий спектр рудных, редких и рассеянных элементов. Был изучен состав флюидных включений из ряда месторождений, который представлен в табл. 6.

Как видно из данных табл. 6 и рис. 8, наиболее насыщенная минерализация флюида во включениях отмечается для серебро-сурьмяного и золото-антимонитового типа оруденения, а минимальная для малосульфидного золото-кварцевого типа из кварца с полиметаллической ассоциацией минералов.

Анализ содержания основных компонентов в разных типах месторождений позволил установить специфику рудообразующего флюида.

*Гидротермально-метаморфогенная минерализация (Q)* — флюид имеет натрово-кальциево-сульфатный состав с высокой долей (90 %) CO<sub>2</sub> в газовой составляющей; *золото-висмутовая (Au-Bi)* — Na-Ca-Cl состав флюида с высокой долей CO<sub>2</sub> в составе газов; *малосульфидная золото-кварцевая (Au-Q)* — преимущественно кальциево-натрово-бикарбонатный флюид с 80 % долей CO<sub>2</sub> в газовой составляющей;

Таблица 6.

**Содержание главных компонентов флюида в водных вытяжках  
из кварца месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны**

Месторождение	Тип минерализации	H <sub>2</sub> O г/т	Главные компоненты, г/кг H <sub>2</sub> O								
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Ca	Mg
Дора-Пиль	Q	—	391.9	12.5	21.2	80.1	27.7	27.2	7.1	11.9	9.4
Эргелях	Au-Bi грд	1686	50	15.6	26	—	0.04	10	0.87	4.07	0.03
Малотарыньское	Au-Q	—	49.2	6.1	2.3	—	17.6	5.5	—	2.1	0.2
Сана	»	785	80.4	0.6	—	—	8.5	2	0.4	0.8	0.4
Базовское	»	241	51.4	0.8	8.1	—	—	2.3	0.19	0.4	0.36
Диринь	»	5345	95	25.6	32	—	4.50	13	1.41	7.78	0.08
Талалах	»	665	15	0.1	—	—	13	3.5	0.2	164	2.7
Ниткан	»	918	29	0.09	—	—	15	3.48	0.29	1.19	0.25
Жданное	»	1165	24	1.28	—	—	14	3.11	0.35	1.16	0.24
Имгачан	»	1187	62	0.53	—	—	30	13	0.26	0.00	0.00
Сарылах	Au-Sb	1478	100	0.64	0.35	0.7	514	0.09	0.02	165	2.6
Сентачан	»	1165	24	1.3	—	—	14	3.11	0.35	1.16	0.24
Эргелях	Ag-Sb	523	51	0.33	2.57	5.14	47	0.01	0.52	18.4	0.22
Аид	»	1252	11	0.63	0.55	4.49	384	0.32	2.9	126	0.43
Дичек	»	1856	9	0.55	0.51	2.14	576	0.14	1.13	186	1.87
Серп	»	744	15	1.02	0.71	1.43	387	0.38	3.35	3.3	2.25
Пластовое	»	1475	7	0.55	0.35	2.16	478	0.24	0.46	0.01	0.05
Купольное	»	196	178	1.18	2.87	5.75	13.2	0.77	0.07	7.6	0.05

Примечание. грд – из жил в гранодиоритах; из роговиков над гранодиоритами. Анализы выполнены в ФГУП ЦНИГРИ. Аналитик С.Г. Кряжев.

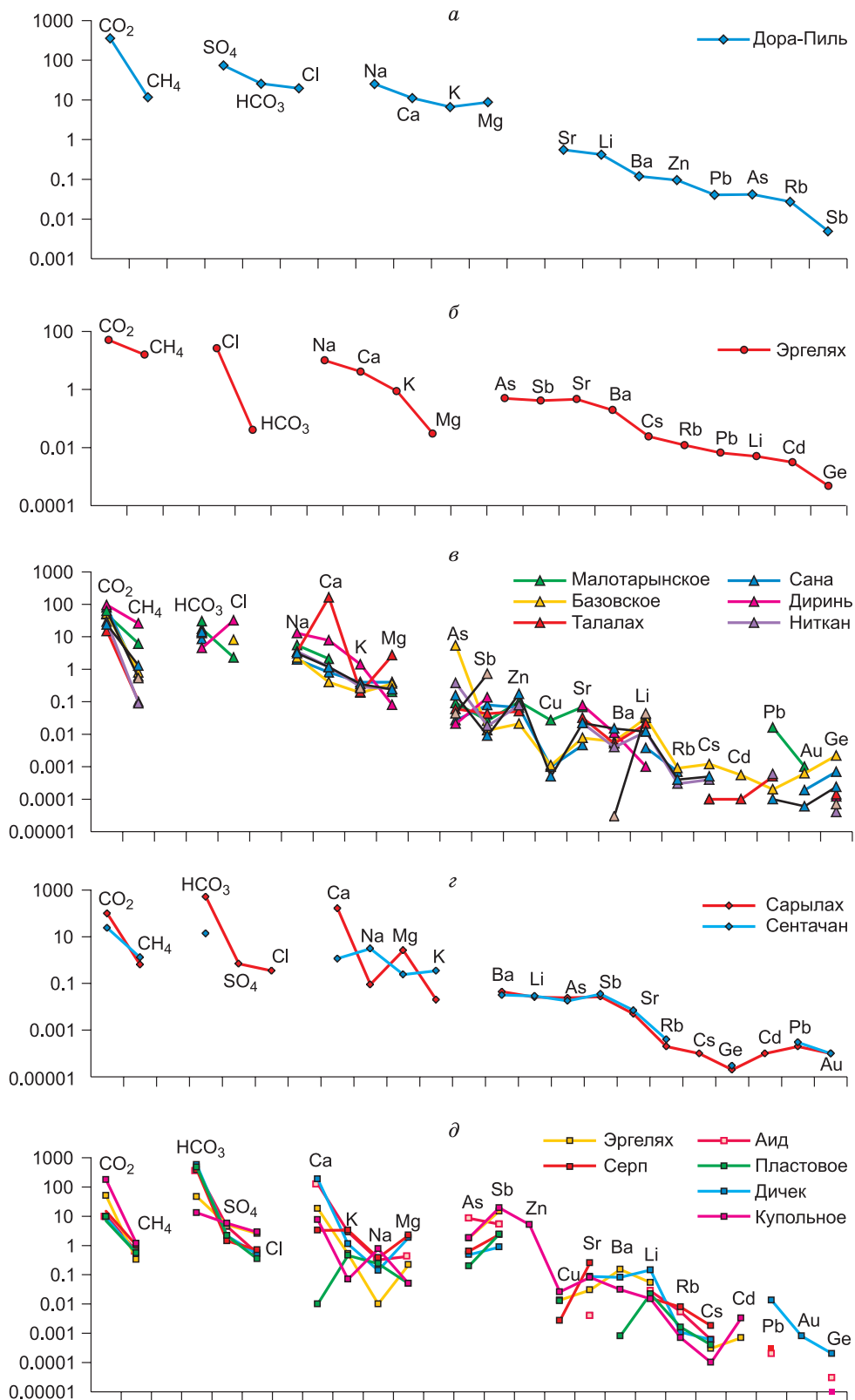
Таблица 7.

**Содержание микрокомпонентов флюида в водных вытяжках  
из кварца месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны**

Месторождение	Тип минерализации	Микроэлементы, мг/кг H <sub>2</sub> O												
		Li	Rb	Cs	Sr	Ba	As	Sb	Ge	Cu	Zn	Cd	Pb	Au
Дора-Пиль	Q	441	28	—	584	124	43	5	—	37	99	—	42	—
Эргелях	Au-Bi	5	12	24	463	194	497	414	0.47	—	—	3.1	6.6	—
Малотарыньское	Au-Q	38	—	—	69	—	91	26	—	27	101	—	16	1
Сана	»	3.8	0.7	—	4.6	—	27	79	0.7	1	66	—	—	0.19
Базовское	»	32	0.9	1.2	7.7	6.0	5414	13.2	2.2	1.1	21	0.55	0.2	0.62
Диринь	»	1	—	0.1	78	11	21	135	0.12	—	—	—	—	—
Талалах	»	21	—	0.1	32	5.2	60	43	0.14	—	51	0.1	0.5	—
Ниткан	»	12	0.3	0.4	22	4	377	18	0.04	—	78	—	0.6	—
Жданное	»	12	0.4	0.5	22	15	156	9	0.24	0.5	175	—	0.1	0.06
Имгачан	»	43	—	—	—	0.03	44	723	0.07	—	—	—	—	—
Сарылах	Au-Sb	26	0.2	0.1	5	44	24	27	0.02	—	—	0.1	0.2	0.1
Сентачан	»	29	0.4	—	7	32	18	35	0.03	—	—	—	0.3	0.1
Эргелях	Ag-Sb	54	0	0.3	30	152	1810	14890	0	13.5	—	0.7	—	—
Аид	»	28	5.4	0.6	4	—	8577	5389	0.03	—	—	—	0.2	—
Дичек	»	145	1.1	0.6	87	81	487	885	0.2	—	—	—	13.5	0.8
Серп	»	16	7.9	1.8	256	—	635	2353	—	2.7	—	—	0.3	—
Пластовое	»	22	1.6	0.4	—	0.8	200	2425	—	12.8	—	—	—	—
Купольное	»	15	0.7	0.1	81	31.1	1834	19422	0.01	25.9	5161	3.3	—	—

золото-антимонитовая (Au-Sb) — кальциево-магниевый-бикарбонатный флюид с преобладающей ролью CO<sub>2</sub> среди газов; серебро-сурьмяная (Ag-Sb) — кальций-магниевый-сульфатно-бикарбонатный флюид, практически безметановый.

Следует отметить, что, несмотря на различное содержание главных компонентов флюида в месторождениях с различными минеральными ассоциациями (арсенопиритовой и полиметаллической,



**Рис. 8. Распределение содержаний главных компонентов и микрокомпонентов флюида в водных вытяжках из кварца месторождений Адыча-Тарынской металлогенической зоны.**

Тип минерализации: *a* — гидротермально-метаморфогенный; *б* — золото-висмутовый; *в* — золото-кварцевый; *г* — золото-сурьмяный; *д* — серебро-сурьмяный.



Таблица 8.

**Особенности состава гидротермального флюида месторождений  
Адыча-Тарынской металлогенической зоны**

Тип минерализации	Концентрация, мг/кг H <sub>2</sub> O			
	>1000	100-1000	10-100	<10
Гидротермально-метаморфогенный	Fe	B, Sr, Li, Mn, Ba	Zn, As, Pb, Cu, Ni, Rb, V, Sb	Se
Золото-висмутовый	B, As, Se	Li, Sr, Fe, Zn, Cu	Cr, Ni, Mn, Ba, Sb	Pb, Rb
Золото-кварцевый	As, B	—	Zn, Li, Sr, Pb, Sb, Ni	Cr, W, Au, V
Золото-антимонитовый	—	—	Ba, Sb, Li, As	Sr, Mo, Rb, Hg, Pb, Cs, Au, Cd, Ge, Bi
Серебро-сурьмяный	Fe, Li, B, Ba, Sr	As, Sb, Rb, Cu	Pb, V, Zn, Ni, Cr	Se

бертьеритовой и антимонитовой), тип раствора и соотношения компонентов меняются незначительно. Что касается содержаний микрокомпонентов, то, как видно из табл. 7 и рис. 8, они существенно различаются по содержанию в разных типах месторождений.

В целом для каждого типа оруденения можно составить направленный ряд снижения концентраций элементов во флюиде (табл. 8).

Эти ряды концентраций прежде всего свидетельствуют о том, что зависимости высоких содержания того или иного элемента во флюиде, никоим образом не связаны с минеральным составом руд и объяснить эти концентрации «заражением» невозможно. Наиболее очевидным свидетельством этого являются высокоминерализованные флюиды гидротермально-метаморфогенных и серебро-сурьмяных типов минерализации, несущих как по визуальным, так и по микроскопическим наблюдениям минимальную сульфидную и иную минеральную нагрузку. Причину этого следует искать прежде всего в источниках компонентов. В данном случае наиболее вероятным объяснением является заимствование рудообразующими флюидами этих типов оруденения, литофильных и ряда рудных компонентов (Fe, As) на протяженном пути миграции через вмещающие породы к месту их разгрузки. Золото-висмутовое оруденение, наиболее тесно связанное с генерацией флюидов малоглубинными магматическими камерами, содержит элементы, характеризующие профильную геохимию гранитоидных пород. В то же время данные состава флюидных включений в кварцах разных типов оруденения отчетливо свидетельствуют о различии и самостоятельности рудообразующих флюидов, формирующих разнотипное оруденение, и подтверждают геологические наблюдения, указывающие на одновременность их формирования.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования, а также имеющиеся опубликованные данные [Бергер, 1978; Индолев и др., 1980; Амузинский и др., 2001; Гамянин, 2001; Тектоника..., 2001; Фридовский, 2002; Гамянин и др., 2003; Амузинский, 2005; Бортников и др., 2010; Фридовский, Гамянин, Полуфунтикова, 2012, 2013, 2014, 2015; и др.] показывают, что в пределах Адыча-Тарынской металлогенической зоны проявлены несколько типов благороднометалльной минерализации: золото-кварцевая (золото-сульфидно-кварцевая), золото-висмутовая, золото-сурьмяная и серебро-сурьмяная.

Данные по изотопному составу кислорода в кварце, углерода и кислорода в карбонатах, серы в сульфидах из разных типов благороднометалльной минерализации Адыча-Тарынской металлогенической зоны свидетельствуют о различных источниках гидротермальных флюидов, участвующих в их образовании. Для золото-висмутовых и золото-сурьмяных месторождений ведущую роль играют магматогенные флюиды, для золото-кварцевых месторождений возрастает роль метаморфогенных флюидов, а в формировании серебро-сурьмяных месторождений участвуют метеорные воды.

Последовательность образования различных типов оруденения четко связана с геодинамическим развитием региона. С началом коллизионных процессов и возрастанием в связи с этим термического градиента происходит мобилизация метаморфогенных вод, которая на верхних уровнях коры формирует гидротермально-метаморфогенную минерализацию, представленную кварц-хлорит-кальцитовыми жилами и прожилками с убогой сульфидной (пиритовой) вкрапленностью. Эта минерализация практического значения не имеет, но интенсивность ее проявления служит свидетельством геолого-тектонической активности и прерудной подготовки отдельных участков (тектонических блоков) верхней коры. Результаты исследований, приведенные в статье, показывают, что изотопный состав кислорода флюида, равновесного с метаморфогенным кварцем, отвечает метаморфогенному источнику.

С дальнейшим нарастанием коллизионных процессов возникают очаги палингенных гранитоидных расплавов, дальнейшая эволюция которых в режиме сжатия приводит к формированию золото-рудных рудно-магматических систем. С малоглубинными камерами массивов гранитоидов связаны

золото-висмутовые месторождения, а с их промежуточными очагами, которые на современном срезе фиксируются по сгущению даек диорит-порфиритов — золото-кварцевые (золото-сульфидно-кварцевые) месторождения. Во флюиде, из которого кристаллизовался кварц изученных золоторудных месторождений, ведущую роль играет магматическая вода. Об этом свидетельствуют значения  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  рудообразующего флюида (от  $-3$  до  $+3$  ‰). Установлено также участие метаморфогенных флюидов в рудообразовании. Часть серы вовлекалась в гидротермальную систему из вмещающих пород.

Формирование близповерхностного золото-антимонитового и серебро-сурьмяного оруденения связано с тектонической активизацией Адыча-Тарынской зоны разломов в позднемеловое время. Криптозернистый кварц серебро-сурьмяной минерализации кристаллизовался из растворов, обогащенных легким изотопом кислорода, что свидетельствует об участии в его образовании нагретых метеорных вод.

В целом, учитывая имеющиеся данные по геологическим особенностям крупных месторождений зарубежья и северо-востока России, которые свидетельствуют о развитии в рудных полях этих месторождений полихронного, разноформационного оруденения, можно считать, что Адыча-Тарынская металлогеническая зона еще далеко не исчерпала своего рудного потенциала.

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект № 0381-2016-0004), программе №48 Президиума РАН «Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения» и по проекту «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно-привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы на 2016-2020 годы», при частичной поддержке РФФИ – РС(Я) – р\_а (проект № 18-45-140040).

#### ЛИТЕРАТУРА

**Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А.** U-PB-SHRIMP-возраст гранитоидов главного батолитового пояса (северо-восток Азии) // ДАН, 2009, т. 426, № 2, с. 216—221.

**Акимов Г.Ю., Крючков А.В., Крылова Т.Л., Сидоров А.А.** Тарыньское месторождение жильно-вкрапленных руд — новый тип золотого оруденения в Верхнеиндигирском районе Якутии // ДАН, 2004, т. 397, № 3, с. 363—368.

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

**Амузинский В.А., Анисимова Г.С., Москвитин С.Г., Попов Д.С.** Карбонаты малосульфидной кварцевой формации Верхояно-Колымской складчатой области // Эндогенные карбонаты Якутии. Новосибирск, Наука, 1980, с. 119—149.

**Амузинский В.А., Анисимова Г.С., Жданов Ю.Я., Иванов Г.С., Кокшарский М.Н., Недосекин Ю.Д., Полянский П.М.** Сарылахское и Сентачанское золото-сурьмяные месторождения: геология, минералогия и геохимия. М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, 218 с.

**Аристов В.В., Прокофьев В.Ю., Имамендинов Б.Н., Кряжев С.Г., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А.** Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Дрожное (Восточная Якутия, Россия) // ДАН, 2015, т. 464, № 1, с. 1—6.

**Аристов В.В., Бабарина И.И., Григорьева А.В., Алексеев В.Ю., Прокофьев В.Ю., Узюнкян А.А., Заболотская О.В., Титов С.Г.** Золото-кварцевые месторождения Жданинского рудно-россыпного узла (Восточная Якутия): структурный контроль и условия образования // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 6, с. 559—594.

**Бергер В.И.** Сурьмяные месторождения. Л., Недра, 1978, 295 с.

**Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В.** Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпitherмальных антимонитовых руд // Геология рудных месторождений, 2010, т.52, № 5, с. 381—417.

**Гамянин Г.Н.** Минералого-генетические аспекты золотого оруденения верхояно-колымских мезозойд. М., ГЕОС, 2001, 221 с.

**Гамянин Г.Н., Горячев Н.А.** Близповерхностное оруденение Восточной Якутии // Тихоокеанская геология, 1988, № 2, с. 82-89.

**Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Лескова Н.В., Рябева Е.Г.** Сурьмянистая разновидность арсенопирита — первая находка // Минералогический журнал, 1981, № 1, с. 87—96.

**Гамянин Г.Н., Некрасов И.Я., Жданов Ю.Я., Лескова Н.В.** Условия нахождения и образования аурустибита // Зап. ВМО, 1984, № 4, с. 196—205.

**Гамянин Г.Н., Суплецов В.М., Фридовский В.Ю.** Адыча-Нерская металлогеническая зона: гидротермальные и метаморфогенные Au кварцевые жильные месторождения // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, с. 345—350.

**Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г., Колисниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В.** Условия зарождения и эволюции золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан, 2003, МПО СВНЦ ДВО РАН, 196 с.

**Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю.** Изотопно-геохимические особенности рудообразующего флюида золото-висмутовых месторождений Северо-Востока России // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5–7 апреля 2017 г., в 2 т. Якутск, Издательский дом СВФУ, 2017, с. 46—51.

**Горячев Н. А.** Жильный кварц золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1992, 136 с.

**Горячев Н.А.** Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2003, 143 с.

**Горячев Н. А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Веливецкая А.В., Игнатьев А.В., Лескова Н.В.** Серебро-сурьмяная минерализация Яно-Колымского пояса (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология, 2011, т.30, № 2, с. 12—26.

**Иванов А.И., Варганян С.С., Черных А.И., Волочков А.Г., Голубев Ю.К., Звездов В.С., Кузнецов В.В., Васюков В.Е., Голубев С.Ю., Конкин В.Д., Котельников Е.Е., Мансуров Р.Х., Прусакова Н.А., Столяренко В.В., Арсентьева И.В., Серавина Т.А., Корчагина Д.А., Барышев А.Н., Донец А.И., Ручкин Г.В., Чекваидзе В.Б.** Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов, золота, меди, свинца, цинка Российской Федерации (по результатам работ ФГУП ЦНИГРИ за 2012—2015 гг.) // Отечественная геология, 2016, № 5, с. 11—62.

**Индолев Л.Н., Жданов Ю.А., Суплецов В.М.** Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции // Новосибирск, Наука, 1980, 230 с.

**Кряжев С. Г., Васюта Ю. В., Харрасов М. К.** Методика валового анализа включений в кварце // Материалы XI Международной конференции по термобарогеохимии. Александров, ВНИИСИМС, 2003, с. 6—10.

**Лыхина Л.И., Прокофьев В.Ю., Гамянин Г.Н.** Условия формирования арсенидных минеральных ассоциаций золото-редкометалльных месторождений Якутии // Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин севера Пацифики. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2003, с. 109—111.

**Парфенов Л.М.** Континентальные окраины и островные дуги мезозойского северо-востока Азии. Новосибирск, Наука, 1984, 192 с.

**Парфенов Л.М., Трущелев А.М.** Позднетриасовая складчатость и олистостромы на юго-западном крыле Иньяли-Дебинского синклиория, их тектоническое положение и природа (Верхояно-Чукотская область) // Геология и геофизика, 1983 (3), с. 7—20.

**Рожков И.С., Гринберг Г.А., Гамянин Г.Н., Ипатьева И.С., Кухтинский Г.Г., Соловьев В.И.** Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Индибирского района. М., Наука, 1971, 238 с.

**Самусиков В.П.** Химический состав самородков золота и их генезис // Тихоокеанская геология, 1990, № 3, с. 114—117.

**Соколов С.Д.** Очерк тектоники северо-востока Азии // Геотектоника, 2010, № 6, с. 60—78.

**Суплецов В.М., Жданов Ю.Я.** Карбонаты золото-антимонитовой формации Верхояно-Колымской складчатой области // Эндогенные карбонаты Якутии. Новосибирск, Наука, 1980, с. 150—165.

**Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия).** М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.

**Фридовский В.Ю.** Структуры золоторудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного пояса (Восточная Якутия — территория Верхояно-Колымской коллизионной области) // Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок. Т. 1. М., ГЕОС, 2002, с. 6—241.

**Фридовский В.Ю.** Анализ деформационных структур Эльгинского рудного узла (Восточная Якутия) // Отечественная геология, 2010, № 4, с. 39—45.

**Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И.** Дора-Пильское рудное поле: строение, минералогия и геохимия среды рудообразования // Руды и металлы, 2012, № 5, с. 7—21.

- Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И.** Золото-кварцевое месторождение Сана Тарынского рудного узла // Разведка и охрана недр, 2013, № 12, с. 3—7.
- Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И.** Золото-кварцевая и сурьмяная минерализация месторождения Малтан (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология, 2014, т. 33, № 4, с. 50—62.
- Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И.** Структуры, минералогия и флюидный режим формирования руд полигенного Малотарынского золоторудного поля (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология, 2015, т. 34, № 4, с. 39—52.
- Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Горячев Н.А., Кудрин М.В.** Рудоконтролирующие надвиги золоторудного месторождения Базовское (Восточная Якутия) // ДАН, 2017, т. 474, № 4, с. 462—464.
- Clayton R.E., Spiro B.** Sulphur, carbon and oxygen isotope studies of early Variscan mineralisation and Pb-Sb vein deposits in the Cornubian Orefield: implications for the scale fluid movements during Variscan deformation // Miner. Deposita, 2000, v. 35, p. 315—331.
- Fridovsky V.Y.** Structural control of orogenic gold deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia // Ore Geol. Rev., 2017, 10.1016/j.oregeorev.2017.01.006.
- Goryachev N.A., Pirajno F.** Gold deposit and gold metallogeny of Far East Russia // J. Ore Geol. Rev., 2014, v. 59, p. 123—151.
- Jia Y., Kerrich R.** Giant quartz vein systems in accretionary orogenic belts: the evidence for a metamorphic fluid origin from  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  studies // Earth Planet. Sci. Lett., 2000, v. 184, p. 211—224.
- Kerrich R.** Mesothermal gold deposits: a critique of genetic hypotheses // Proceedings Nuna Conference on Greenstone Gold and Crustal Evolution, 1990, p. 13—31.
- Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Trunilina V., Bakharev A.** Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and trace element geochemistry // Geology, 2001, v. 29, p. 167—17
- Li Y.B., Liu J.M.** Calculation of sulphur isotope fractionation in sulphides // Geochim. Cosmochim. Acta, 2006, v. 70, p. 1789—1795.
- Newberry R.J., Layer P.W., Gans P.B., Goncharov V.I., Goryachev N.A., Voroshin S.V.** Preliminary chronology analysis of Mesozoic magmatism, tectonics and ore mineralization on North-East Russia according  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and trace elements data on igneous and ore rocks // Gold mineralization and granitoid magmatism of North Pacific. Proceedings of the All-Russia Meeting, 2000 NEISRI FEB RAS, Magadan, p. 181—205.
- Nokleberg W.J., Bundtzen T.K., Dawson K.M., Eremin R.A., Goryachev N.A., Koch R.D., Ratin V.V., Rozenblum I.S., Shpikerman V.I., Frolov Y.F., Gorodinsky M.E., Khanchuk A.I., Kovbas L.I., Melnikov V.D., Nekrasov I.Ya, Ognyanov N.V., Petrachenko E.D., Petrachenko R.I., Pozdeev A.I., Ross K.V., Sidorov A.A., Wood D.H., Grybeck D.** Significant metalliferous lode deposits and placer districts for the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 2005, 1697, 429 p.
- Ohmoto H., Rye R.O.** Isotopes of sulphur and carbon // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. J. Willy & Sons, New York, 1979, p. 509—567.
- Zhang L.-G., Liu J.-X., Zhou H.B. & Chen Z.-S.** Oxygen isotope fractionation in the quartz-water-salt system // Econ. Geol., 1989, p. 1643—1650.
- Zheng Y.F.** Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // Geochem. J., 1999, v. 33, p. 109—126.

*Поступила в редакцию 30 ноября 2017 г.,  
после доработки — 18 марта 2018 г.*