

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 553.41

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТА НАНГ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ
ТОЛЩАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА

Чан Туан Ань¹, И.В. Гаськов^{2,3}, Чан Чонг Хоа¹, А.С. Борисенко^{2,3},
А.Э. Изох^{2,3}, Фам Тхи Зунг¹, Ву Хоанг Ли¹, Нгуен Тхи Май¹

¹*Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology,
84 Chua Lang, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

²*Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

³*Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул.Пирогова, 2, Россия*

Золоторудное месторождение Та Нанг локализуется в черносланцевых толщах среднеюрского возраста. Рудная зона представлена серией субпослойных зон дробления и гидротермального изменения пород до 10 м мощностью и более 2 км протяженностью. Она сложена кварц-сульфидными жилами, сульфидизированными черными сланцами и гидротермально-измененными их разностями. Сульфидная минерализация представлена двумя минеральными ассоциациями – ранней пирит-арсенопиритовой и поздней халькопирит-сфалерит-галенитовой. Пирит-арсенопиритовая ассоциация сложена разными морфогенетическими разновидностями. Наиболее широко развиты крупнокристаллические агрегаты и разноориентированные метакристаллы арсенопирита и пирита размером от 0.1 мм до 10 мм. Халькопирит-сфалерит-галенитовая ассоциация имеет более ограниченное развитие. Кроме главных рудных минералов в этой ассоциации установлены более редкие минералы: пирротин, сульфосоли свинца (тцугаруит), золото, которые либо пространственно ассоциируют с основными минералами, либо образуют в них небольшие включения.

Золото образует в основном тонкую вкрапленность по трещинам в пирите, арсенопирите, халькопирите и кварце. Содержания Au в углеродистых сульфидизированных сланцах не превышает десятые доли г/т и в среднем составляет 0.38 г/т. В кварцевых жилах его концентрации значительно выше и в среднем равны 3.92 г/т. Содержания серебра в сланцах и кварцевых жилах близки и составляют соответственно 2.68 и 5.30 г/т. Также в сульфидизированных породах и жилах установлены повышенные содержания Fe, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, основная часть которых (Fe, As, Pb, Zn, Cu) составляет сульфидные минералы, а другие образуют в них элементы-примеси. Возраст формирования кварц-сульфидных жил, по данным ³⁹Ag/⁴⁰Ag датирования серицита из этих жил, составляет 129.3±5.6 млн лет, что сближено по времени со становлением меловых интрузивных гранитных образований комплекса Део Ка (Део Са). Формирование этих жил происходило из умеренно концентрированных растворов (11.7—6.4 мас. % в экв. NaCl) с метан-азот-углекислотной газовой фазой (CO₂ + N₂ + CH₄) при T = 340—130 °C. При образовании рудных сульфидных ассоциаций, по данным изотопного состава серы (δ³⁴S 1.6—4.3 ‰), участвовала преимущественно глубинная эндогенная сера. Золото, как показывает анализ особенностей его распределения, отлагалось в более позднюю стадию совместно с сульфидными минералами (галенит, сфалерит халькопирит).

Золото, месторождение, рудные формации, гранитоидный магматизм, Центральный Вьетнам

THE TA NANG GOLD DEPOSIT IN THE BLACK SHALES OF CENTRAL VIETNAM

Tran Tuan Anh, I.V. Gaskov, Tran Trong Hoa, A.S. Borisenko, A.E. Izokh,
Pham Thi Dung, Vu Hoang Ly, and Nguyen Thi Mai

The Ta Nang gold deposit is localized in Middle Jurassic black shales. The ore zone is a series of layer-by-layer crush zones and zones of hydrothermal rock alteration, ≤10 m in thickness and >2 km in length. It consists of quartz-sulfide veins, sulfidized black shales, and their hydrothermally altered varieties. Sulfide mineralization occurs as two assemblages: early pyrite-arsenopyrite and late chalcopyrite-sphalerite-galenite.

The pyrite–arsenopyrite assemblage is composed of different morphogenetic varieties. Coarse-crystalline arsenopyrite and pyrite aggregates and metacrystals of different orientations, 0.1 to 10 mm in size, are the most widespread. The chalcopyrite–sphalerite–galena assemblage is scarcer. Along with the main ore minerals, it includes more rare minerals: pyrrhotite, lead sulfosalts (tsugaruite), and gold, which form a spatial assemblage with the main minerals or small inclusions in them.

Gold occurs mainly as fine dissemination in cracks in pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, and quartz. Gold content in sulfidized carbonaceous shales is no more than tenths of ppm, averaging 0.38 ppm. This content in the quartz veins is considerably higher, averaging 3.92 ppm. Silver contents in the shales and quartz veins are similar and equal to 2.68 and 5.30 ppm, respectively. Also, the sulfidized rocks and veins have elevated contents of Fe, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, and Co; most of these elements (Fe, As, Pb, Zn, and Cu) make up their own sulfide minerals, and the others are trace elements. According to $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating of sericite from the quartz–sulfide veins, their age is 129.3 ± 5.6 Ma, which is close to the age of the Cretaceous granite intrusions of the Deo Ca complex. These veins formed from moderately strong solutions (11.7–6.4 wt.% NaCl equiv.) with the $\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{CO}_2$ gas phase at 340–130 °C. Judging from the S isotope composition ($\delta^{34}\text{S} = 1.6\text{--}4.3\text{‰}$), predominantly deep-seated endogenic sulfur participated in the formation of ore sulfide associations. Analysis of the distribution of gold shows that it was deposited together with sulfide minerals (galena, sphalerite, and chalcopyrite) at a later stage.

Gold, deposit, ore associations, granitoid magmatism, Central Vietnam

ВВЕДЕНИЕ

Эндогенные месторождения золота широко распространены в Центральном Вьетнаме и являются основным источником его добычи. Изучение и анализ установленных в этом регионе проявлений золота показывает большое их разнообразие и достаточно широкое распространение в разных рудных узлах — Кхам-Дук, Бонг-Миё, Кончоро, Дак-То и Та Нанг (рис. 1). Существующие классификации месторождений Au, основанные на различных критериях и подходах у разных авторов начиная еще с первой половины прошлого века [Lindgren, 1933; Петровская, 1973; Ивенсен, Левин, 1975; Некрасов, 1991; Сафонов, 1997; Константинов и др., 1997; Спиридонов, 2010; Горячев и др., 2010] включают огромное количество золоторудных формаций, нередко взаимоперекрывающихся и трудных для восприятия. Поэтому все выявленные золоторудные объекты Центрального Вьетнама мы попытаемся разделить на основании их минерального состава, геохимических особенностей, типа околорудных метасоматитов, связи с магматизмом, глубинности и температуры образования. В целом в этом регионе можно выделить следующие золоторудные и золотосодержащие формации: золото-сульфидно-кварцевая; золото-кварцевая малосульфидная; золото-серебряная и золотосодержащая Cu-Mo (Au) — порфировая.

Наиболее широкое развитие в Центральном Вьетнаме имеют месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации, развитой во всех выделенных рудных узлах. Для них характерна связь с гранитоидным магматизмом, преимущественно жильная (Бай Го, Бай Кан, Дакрипен, Та Нанг, Конг Фан и др.) и жильно-штокверковая (Та Нунг, Нуи Кем, Бай Гио) форма рудных тел, интенсивное развитие березитового типа околорудных метасоматитов, умеренно глубинные (2—5 км) условия формирования. Различия в минеральном составе руд и их геохимические особенности позволяют выделить несколько минеральных типов: золото-галенит-сфалеритовый, золото-пирротин-халькопиритовый, золото-пиритовый и золото-арсенопиритовый.

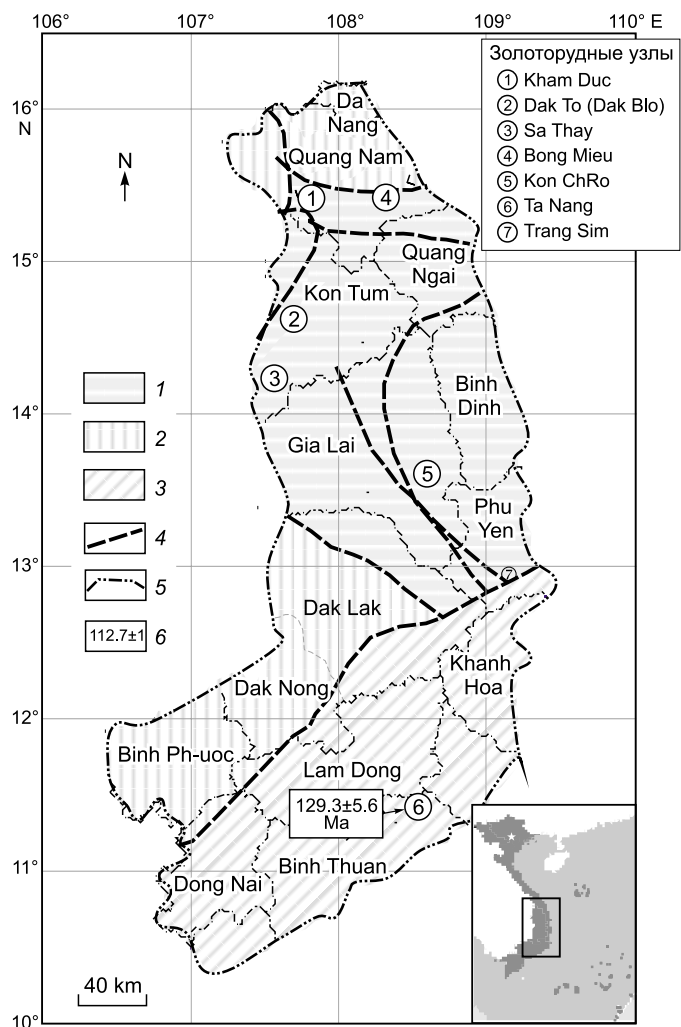
Более ограниченно проявлено оруденение золото-кварцевой малосульфидной формации, небольшие проявления которой установлены в рудном узле Кончоро (То Пе, Конг Зян) и достаточно мощные кварцево-жильные образования в рудном узле Кхам Дук. Этот тип оруденения характеризуется низким содержанием сульфидов (<5 %, обычно 1—2 %), слабо проявленными околорудными метасоматитами и относительно крупными (до 0.6 мм) выделениями золота с высокой пробностью.

Оруденение золото-серебряной формации установлено лишь в южной части Центрального Вьетнама. Для этого типа характерны близповерхностные обстановки рудоотложения, связь с вулканоплутоническими комплексами, своеобразный низкотемпературный набор околорудных изменений: аргиллизация, окварцевание, адуляризация, пропилитизация, серицитизация. Особенности минерального состава руд являются широкое развитие халцедоновидного, мелкозернистого или сахаровидного кварца, колломорфных структур в рудах, низкая пробность золота (обычно 650—750‰), низкое Au/Ag отношение 1:10 - 1:100. К этому типу можно отнести месторождение Чанг Сим и ряд рудопоявлений.

На площади Ша Тай установлены зоны минерализации, относящиеся к золотосодержащему Cu-Mo (Au) — порфировому типу. Это оруденение еще слабо изучено, однако имеет перспективы в этом регионе и особенно в его западной части и требует постановки специализированных поисковых работ. Критериями выделения этого типа оруденения на площади Ша Тай являются: масштабность зоны гидро-

Рис. 1. Схема развития золотого оруденения в Центральном Вьетнаме.

1 — Контумский блок докембрийского возраста; 2 — позднепалеозойский-раннемезозойский орогенный пояс Чуонг Сон; 3 — Далатская позднемезозойская активная окраина; 4 — разломы; 5 — граница района исследования; 6 — возраст золотой минерализации. Подписи на карте — провинции Центрального Вьетнама. На врезке — местоположение района исследований.



термального изменения и пиритизации пород; развитие серицитизации и калишпатизации в зонах метасоматоза; присутствие даек гранит-порфиров; присутствие в рудах халькопирита, молибденита, золота.

Перспективность Центрального Вьетнама в отношении золотого оруденения в целом и отдельных его рудных формаций определяется особенностями его геологического строения. Широкое развитие разновозрастных терригенных толщ, обогащенных углистым веществом, многократное проявление мантийно-корового магматизма, а также наличие крупного древнего блока (Контумский блок), неоднократно переработанного метаморфическими и магматическими процессами ($P-T$, J_3-K_1), показывают значительные перспективы развития золотого оруденения. Наибольший интерес вызывает золото-сульфидно-кварцевая формация, которая представлена в этом регионе различными минеральными типами: золото-пирит-арсенопиритовый (Та Нанг), золото-пиритовый (Хо Ганг), золото-пирротин-халькопиритовый (Кхе Рин, Бай Гио, Дак-рипен, Дак Ронг), золото-галенит-сфалеритовый (Конг Фан, Конг Зян, Та Нунг, Бай Дат, Бай Го, Нуи Кем). Оруденение этой формации образует в основном минерализованные зоны дробления и расщеливания с вкрапленностью золотоносных сульфидов в углеродистых вулканогенно-терригенных и терригенных породах.

Во многих регионах мира месторождения, приуроченные к «черносланцевым» толщам терригенных комплексов, относят к золоторудным месторождениям «черносланцевого» типа. Среди месторождений этого типа наиболее известные – Сухой лог, Олимпиада, Нежданское, Наталкинское, Майское, Советское в России; Мурунтау, Кокпатас, Зармитан, Даугызтау, Амантайтау в Узбекистане; Бакырчик в Казахстане; Чоре в Таджикистане; Кумтор в Киргизстане; Мазер Лод в США; Бендиго, Олимпик Дэм в Австралии, многие из которых характеризуются уникальными запасами золота [Boyle, 1979; Константинов и др., 2000; Нарсеев и др., 1977; Новожилов, Гаврилов, 1996; Сафонов, 1997; Некрасов, 1991; Буряк и др., 2002, Сорокин и др., 2013].

В Центральном Вьетнаме к наиболее ярким представителям черносланцевого типа относится золото-пирит-арсенопиритовое месторождение Та Нанг, расположенное в одноименном рудном узле среди мезозойских черносланцевых толщ, образующих мощные ареалы развития в этом регионе.

РУДНЫЙ УЗЕЛ ТА НАНГ

Рудный узел Та Нанг, расположенный в южной части провинции Лам Донг (Lam Dong) Центрального Вьетнама в 40 км к югу от г. Далат, включает одноименное месторождение Та Нанг и ряд мелких рудопроявлений и точек минерализации. В геологическом строении рудного узла принимают участие терригенно-осадочные отложения формации Ла нга (La nga) среднеюрского возраста (J_2In_{1-2}), верхнемеловые вулканогенные породы формации Дон Донг (Don Duong) (K_2dd) и меловые гранитоидные образования комплекса Део Ка (Đeo Ca) (Kdc) (рис. 2). Терригенно-осадочная толща общей мощностью бо-

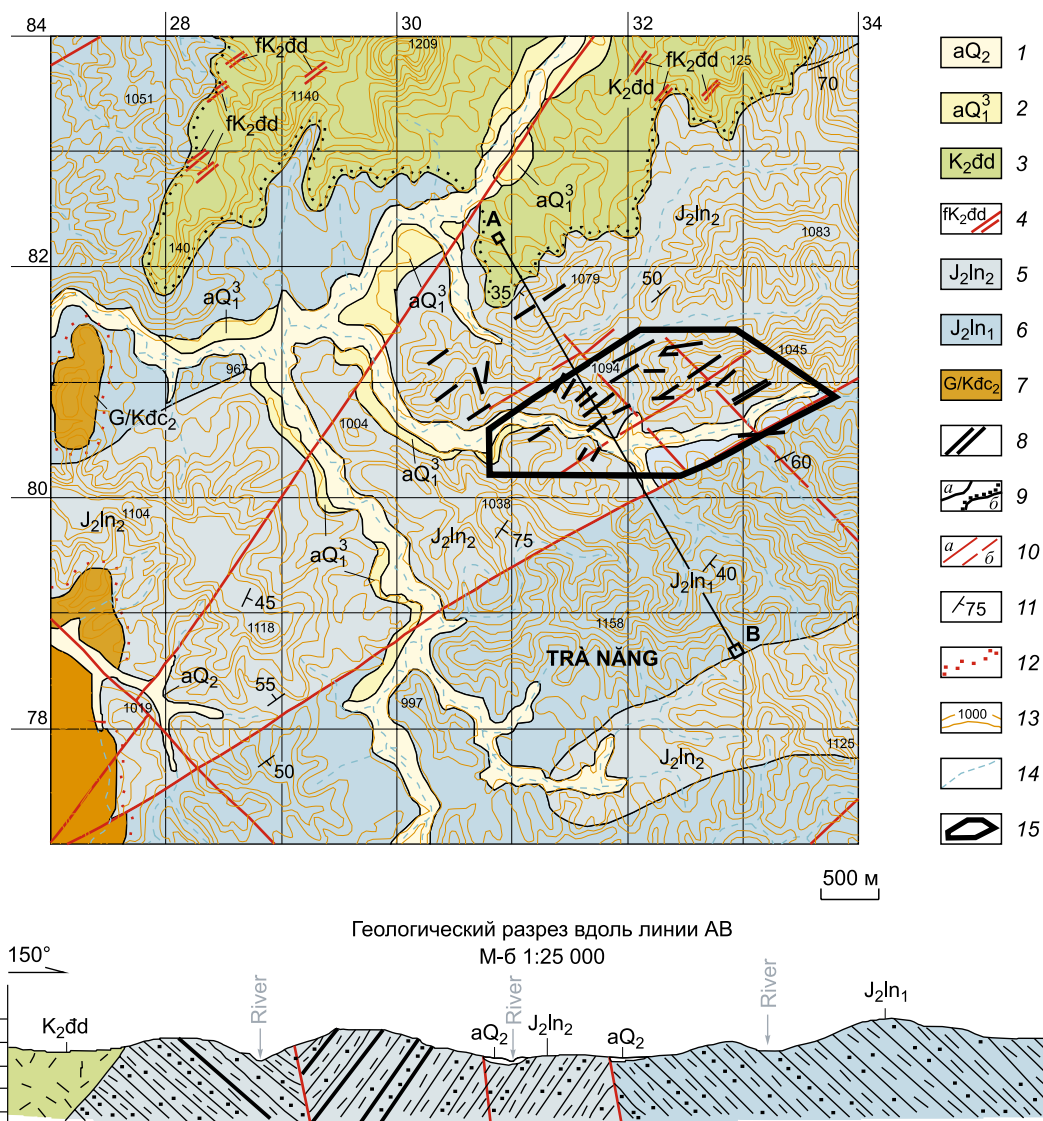


Рис. 2. Геологическая карта рудного узла Та Нанг провинции Лам Донг.

1, 2 — четвертичная система: 1 — голоцен, пролювиально-аллювиальные песчано-галечные и глинистые отложения; 2 — верхний плейстоцен; аллювиальные песчано-галечные отложения, серые и серо-коричневые илестые глины; 3 — верхнемеловые вулканогенные породы формации Дон Донг (K_2dd): лавы и туфы фельзитов, риолитов и риолит-дацитов; 4 — дайки фельзит-порфиров формации Дон Донг; 5, 6 — среднеюрские (J_2ln_{1-2}) тирригенно-осадочные отложения формации Ла нга: 5 — верхняя пачка формации Ла нга (J_2ln_2), алевролиты, аргиллиты и их сланцы с прослоями песчаников, мощность ~1.5 км; 6 — нижняя пачка формации Ла нга (J_2ln_1), алевролиты и аргиллиты, мощность ~2 км; 7 — меловые интрузивные образования комплекса Део Ка (Kdc): биотитовые граниты, граносиениты и сиениты; 8 — золото-кварц-сульфидные жилы; 9 — геологические границы: согласные (a); несогласные (б); 10 — зоны разломов: установленные (a); предполагаемые (б); 11 — углы падения пород; 12 — ороговикованные породы зоны контактов с гранитными телами; 13 — изолинии высот (м); 14 — реки и ручьи; 15 — участок месторождения Та Нанг.

лее 3.5 км составляет основную площадь района. В ее строении выделяются две пачки: нижняя (J_2ln_1) мощностью около 2 км сложена преимущественно алевролитами и аргиллитами с горизонтами песчаников и верхняя (J_2ln_2) мощностью около 1.5 км представлена большей частью песчаниками, алевролитами в сочетании с аргиллитами и рассланцованными их аналогами. Породы смяты в складки, разбиты серией разломов северо-восточного и северо-западного простирания. На контакте с гранитными интрузиями они метаморфизованы и превращены в роговики. На севере района эти отложения со стратиграфическим несогласием перекрыты вулканогенными породами формации Дон Донг (K_2dd). Стратифицированные образования этой формации представлены лавами, туфами и игнибритами риолитового и риолит-дацитового состава, а субвулканические дайковые тела сложены риолит-порфирами.

Интрузивные образования в пределах района месторождения проявлены в его западной части и представлены небольшими телами комплекса Део Ка (Део Са) мелового возраста (Kdc). Эти породы прорывают среднеюрские (J_2ln_{1-2}) терригенно-осадочные отложения формации Ла нга с образованием зон ороговикования. В отдельных местах они перекрыты верхнемеловыми вулканогенными породами риолитового и риолит-дацитового состава формации Дон Донг [Geology..., 2011]. В составе интрузивных тел установлены две фазы: ранняя, сложенная биотитовыми гранитами, и поздняя, представленная биотит-роговообманковыми гранитами, биотитовыми граносиенитами и сиенитами. Минеральная ассоциация этих пород включает в себя плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц, биотит, роговую обманку, сфен, ортит, апатит, циркон и магнетит. Породы относятся к известково-щелочным разностям с различными соотношениями K_2O/Na_2O . Среди этих пород выделяют высококалиевые, высоконатриевые и калинатровые разности [Tran Trong Hoa et al., 2005].

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТА НАНГ

Месторождение Та Нанг расположено в высокогорной части района в долине р. Сю Нганг и приурочено к участку дислоцированных терригенно-осадочных пород верхней пачки формации Ла нга (см. рис. 2). В геологическом строении месторождения принимают участие серые и темно-серые песчаники, алевролиты и аргиллиты юрского возраста, часто рассланцованные и обогащенные углистым веществом. Породы имеют северо-восточное простирание (аз.пр. 75°) и юго-восточное падение под углом $60-65^\circ$. Рудная зона представлена серией субпослойных зон дробления и гидротермального изменения пород протяженностью более 2 км (рис. 3). Золоторудная минерализация тесно связана с сульфидизированными кварцевыми, кварц-карбонатными жилами, с сульфидизированными рассланцованными вмещающими породами и в подчиненном количестве — с гидротермально-измененными их разностями (рис. 4). Видимая сульфидная минерализация представлена в основном вкрапленностью арсенопирита и пирита. Мощность наиболее крупной зоны оруденения достигает 10 м, а протяженность до нескольких сот метров. Кроме того, широко развиты маломощные (до 1—2 м) зоны дробления с рудной минерализацией, протягивающиеся на несколько десятков метров. Изменение вмещающих углеродистых пород

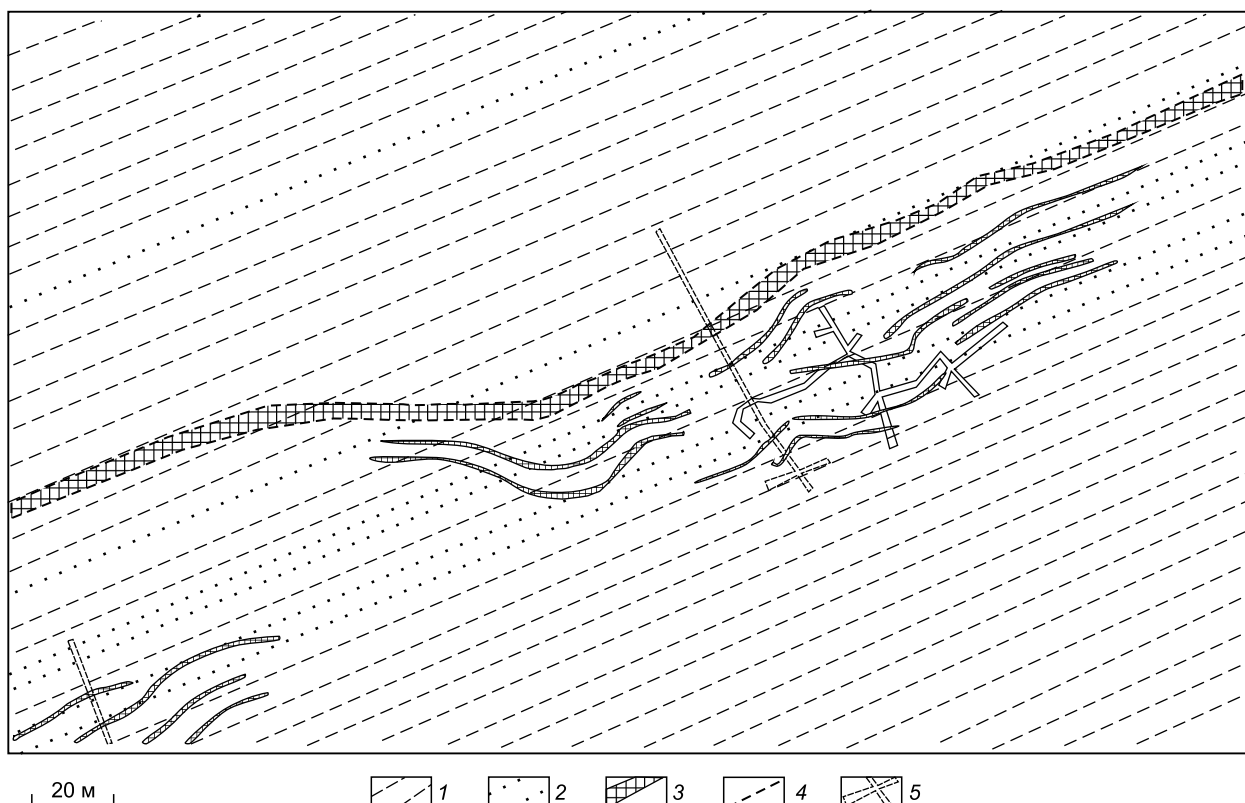


Рис. 3. Схема геологического строения месторождения Та Нанг.

1, 2 — терригенно-осадочные отложения верхней пачки формации Ла нга (J_2ln_2): 1 — серые и темно-серые алевролиты и сланцы; 2 — серые и темно-серые песчаники. 3 — рудная зона: брекчированные гидротермально-измененные сульфидизированные песчаники и сланцы; золото-кварц-сульфидные жилы; 4 — зоны разломов; 5 — горные выработки.



Рис. 4. Внутреннее строение рудной зоны: золото-кварц-сульфидные жилы в подробленных и гидротермально-измененных углистых сланцах (снимок в штольне).

носит локальный характер и часто проявлено на контакте кварцевых жил в виде оторочек до 2—3 см, а также вдоль отдельных трещин во вмещающих породах, которые иногда трассируются мелкими кристалликами арсенопирита. Оно выражается в осветлении (деуглефикации) углеродистых сланцев, появлении новообразованного серицита, замещающего полевые шпаты в песчаниках, и незначительного количества хлорита, карбонатов (анкерит, кальцит) и небольших гнезд антракосолита. В целом минеральный состав этих метасоматитов можно представить в таком виде: серицит — 60 %, кварц — 30 %, карбонаты — до 5 %, пирит, арсенопирит — 5 %, что отвечает в целом составу березитов. В центральных частях зон дробления располагаются разноориентированные кварц-сульфидные жилы мощностью от первых сантиметров до 0.5 м. В составе кварцевых жил установлена незначительная примесь серицита. Сульфидная минерализация во вмещающих породах и кварцевых жилах близка по составу и представлена двумя минеральными ассоциациями — ранней пирит-арсенопиритовой и поздней халькопирит-сфалерит-галенитовой, относимых Н.В. Петровской [1973] к собственным устойчивым минеральным ассоциациям золоторудных месторождений.

Пирит-арсенопиритовая ассоциация образует разные морфогенетические выделения (рис. 5, I-III). Наиболее широко развиты крупнокристаллические агрегаты и разноориентированные метакристаллы арсенопирита и пирита размером от 0.1 мм до 10 мм. По форме кристаллы пирита в аншлифе представлены фрагментами кубических образований (таблички, ромбики, треугольники), а арсенопирит — большей частью короткопризматическими кристаллами. Кроме того, арсенопирит образует мелкокристаллические агрегаты (~0.1 мм), цементирующие обломки крупных кристаллов пирита и арсенопирита и выделяется в виде вкрапленности среди углистых сланцев, а пирит слагает тонкие глобулярные образования (<0.1 мм) в углистых сланцах (см. рис. 5, III). В смешанных пирит-арсенопиритовых агрегатах отмечается более позднее развитие арсенопирита, который часто развивается по пириту, замещая его.

Халькопирит-сфалерит-галенитовая ассоциация в целом имеет более ограниченное развитие. Главные минералы этой ассоциации пространственно тесно ассоциируют с другими редкими минералами: пирротин, сульфосоли свинца (тцугауит), которые иногда также образуют мелкие включения в главных минералах (сфалерите и халькопирите). Наиболее широкое распространение из минералов этой

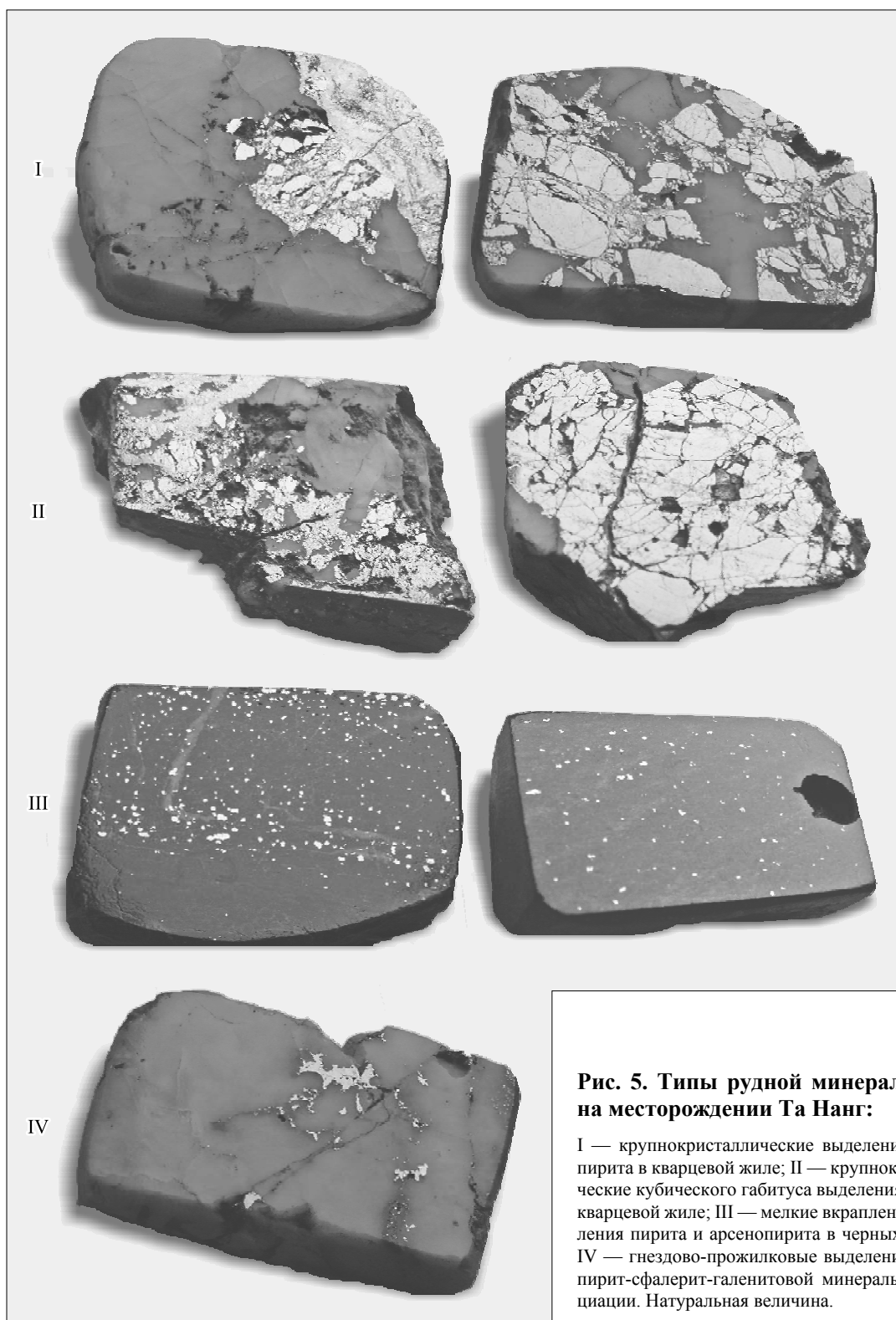


Рис. 5. Типы рудной минерализации на месторождении Та Нанг:

I — крупнокристаллические выделения арсенопирита в кварцевой жиле; II — крупнокристаллические кубического габитуса выделения пирита в кварцевой жиле; III — мелкие вкрапленные выделения пирита и арсенопирита в черных сланцах; IV — гнездово-прожилковые выделения халькопирит-сфалерит-галенитовой минеральной ассоциации. Натуральная величина.

ассоциации имеет галенит. Он часто вместе со сфалеритом слагает мелкокристаллические агрегаты, также образует небольшие прожилки размером 0.1×15 мм (см. рис. 5, IV), выделяется в виде округлых включений в пирите и разлапистых обособлений вокруг пирита размером до 1.5 мм. Внутри выделений галенита нередко отмечаются захваченные метакристаллы пирита и арсенопирита. Сфалерит имеет более ограниченное распространение, образует небольшие самостоятельные обособления (до 1—2 мм) и совместные агрегаты с галенитом, развивается по трещинам в пирите и арсенопирите. Практически все выделения сфалерита содержат неравномерную эмульсионную вкрапленность халькопирита. Халькопи-

рит на месторождении имеет подчиненное развитие и помимо эмульсионной вкрапленности в сфалерите образует небольшие (0.01 мм — 0.1 мм) бесформенные включения в арсенопирите, пирите и самостоятельные обособления в кварцевых жилах размером до 0.5 мм. Все отмеченные редкие минералы образуют единичные микроскопические зерна в жильном кварце либо в главных рудных минералах и фиксируются в основном с помощью микроскопа и сканирующего электронного микроскопа (рис. 6).

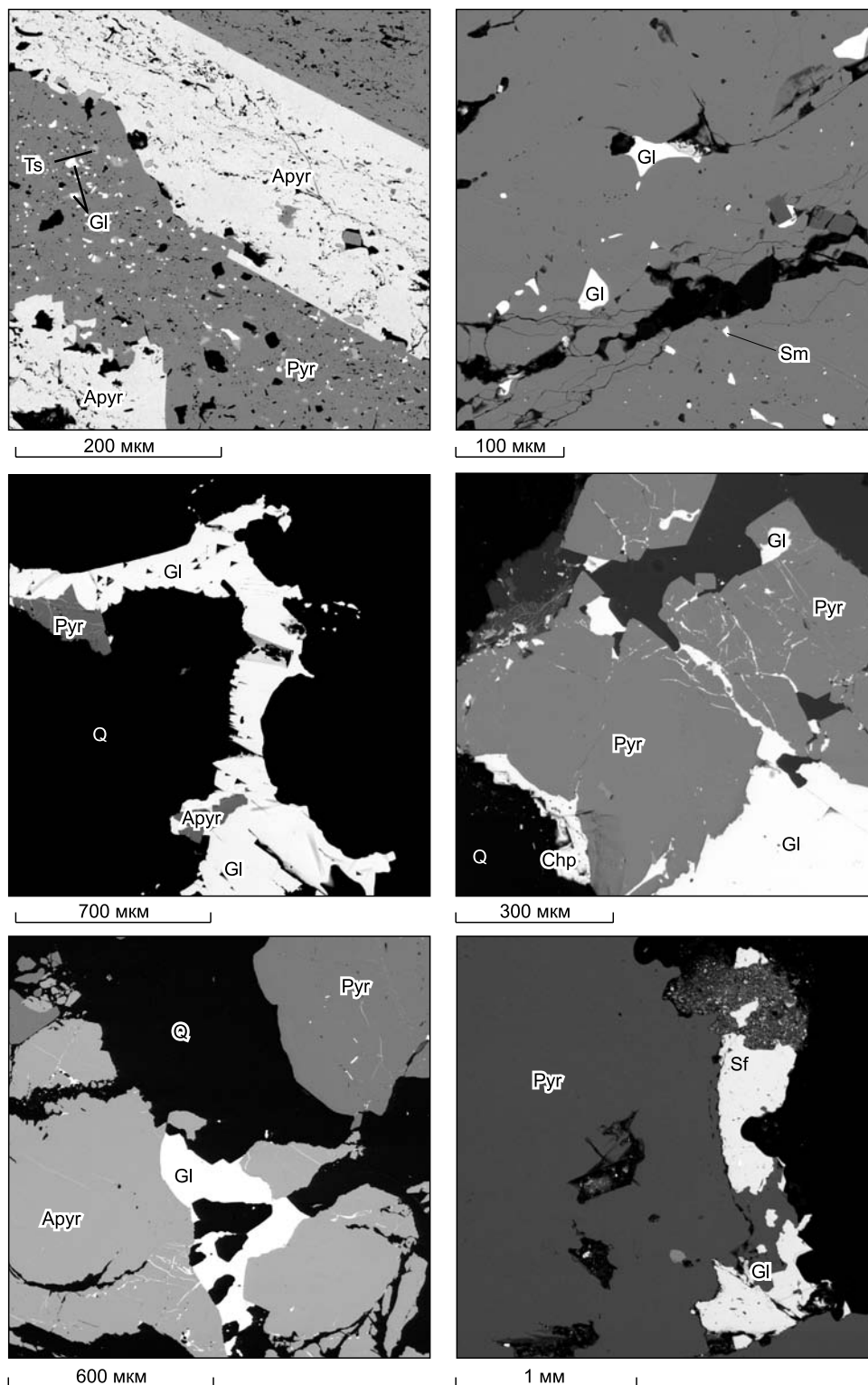


Рис. 6. Выделения рудных и редких минералов под электронным микроскопом.

Пур – пирит; Апур – арсенопирит; Чп – халькопирит; Гл – галенит; Sf – сфалерит; См – смайтит; Ts – тцугаурит; Q – кварц.

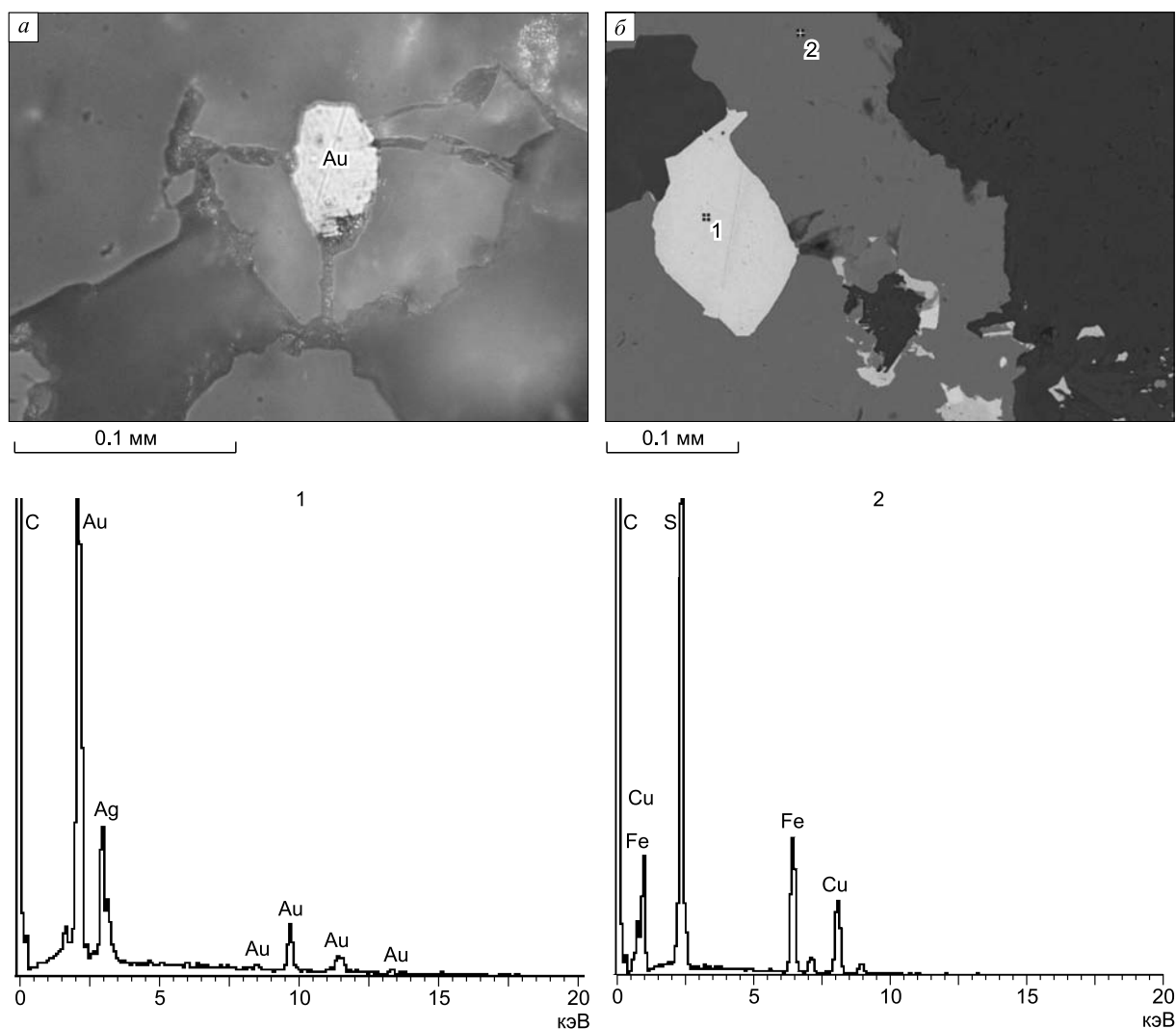


Рис. 7. Выделения тонкого золота в кварце (а) и в халькопирите в ассоциации с галенитом (б).

Составы минеральных фаз приведены на диаграммах. 1 — золото, 2 — халькопирит.

Золото — главный промышленный компонент месторождения — образует в основном тонкую вкрапленность, невидимую невооруженным глазом. В аншлифах нами установлены мелкие (0.01—0.05 мм) включения золота в пирите, арсенопирите, халькопирите и кварце (рис. 7). С помощью атомно-абсорбционного анализа (Институт геологии и минералогии СО РАН) и методом ICP MS в лаборатории LTD (Онтарио, Канада) были изучены содержания золота и серебра во вмещающих сульфидизированных породах (углеродистых сланцах), в кварц-сульфидных жилах и в главных рудных минералах — пирите и арсенопирите. Результаты анализов этих двух методов практически полностью совпадают. Содержания Au в сланцах не превышает десятые доли г/т и в среднем составляет 0.38 г/т, а в кварцевых жилах его концентрации значительно выше и в среднем равны 3.92 г/т (табл. 1). Содержания серебра в сланцах и жилах близки и в среднем составляют соответственно 2.68 и 5.30 г/т. Как показано во многих публикациях [Старова, Бочаров, 1977; Генкин, 1998; Ashley et al., 2000; Генкин и др., 2002; Vos et al., 2005; Волков и др., 2006; Гаськов и др., 2006; Тюкова, Ворошин, 2007; Ковалев и др., 2011; Вилор и др., 2014], арсенопирит-пиритовый парагенезис на золото-сульфидных месторождениях, локализованных в черносланцевых толщах, является наиболее распространенным. Однако золото концентрируется преимущественно в арсенопирите. По данным этих исследователей, наиболее золотоносным является ранний тонкоиглочатый арсенопирит, который по химическому составу нестехиометричен и характеризуется дефицитом As с отношениями S/As 1.16—1.21. На месторождении Та Нанг, как было показано выше, наиболее широко развит крупнопризматический арсенопирит, который образует крупные кри-

Таблица 1. Содержание Au, Ag и сопутствующих элементов в рудах месторождения Та Нанг

№ пробы	Порода, руда	Au	Ag	Au/Ag	Cu	Cd	Mo	Mn	Sr	Pb	Ni	Zn	Ba	Bi	Co	As	Fe
		г/т		г/т	г/т											%	
T05-H12/1	Черные сульфидизированные сланцы	0.49	2.46	0.20	55.8	0.3	3.5	637	259	339	37.9	93.6	133	5.25	13	1.43	5.5
T05-H13/1		0.37	4.17	0.09	72.6	0.2	1.7	517	144	55.9	64.9	624	117	1.39	29	1.19	5.9
T05-H13/2		0.28	4.32	0.06	74.9	0.4	6.7	729	174	73.4	59.2	163	309	0.95	16	0.03	5.9
T05-H13/4		0.57	1.28	0.44	14.2	3.9	0.6	314	68.2	511	7.5	776	56	0.78	2	0.62	1.6
T05-H15/2		0.17	1.21	0.14	5.1	<0.1	0.1	61	5.6	7.8	2.2	5.6	59	0.1	<1	0.18	0.7
Среднее		0.38	2.68	0.14	44.5	1.2	3.1	451.6	130.2	197.4	34.3	332.44	134.8	1.6	15	0.70	3.9
T05-H12/2	Кварц-сульфидные жилы	0.80	2.87	0.28	48.5	2.3	1.1	228	31.2	1120	17.3	118	105	2.38	<1	1.89	4.2
T05-H13/5		9.63	6.78	1.42	505	1.8	0.5	140	14.1	1670	50.8	352	77	1.94	17	2.55	6.8
T05-H13/6		3.98	3.16	1.25	30.9	<0.1	0.5	185	5.8	1280	4.2	29.8	9	0.8	1	8.68	8.6
T05-H14/1		4.20	5.17	0.81	146	<0.1	12.6	42	20.2	162	54.4	30.8	19	1.49	34	7.48	12
T05-H14/2		0.94	1.1	0.85	32.5	<0.1	1.4	171	12.1	46.1	47.3	35.9	82	0.66	16	2.71	7.3
T05-H15/1		6.96	20.3	0.34	149	60.3	0.3	50	4.7	320	9.4	10800	49	0.27	3	0.10	7.1
T05-H15/2		1.46	2.44	0.60	28.1	8.5	0.6	48	1.9	485	3.7	1580	3	0.38	3	0.12	1.1
T05-H16/2		3.39	0.6	5.65	7.2	<0.1	1.9	55	1.9	30	7.2	3	4	0.41	6	>10	9.4
Среднее		3.92	5.30	0.74	118.4	18.23	2.4	114.9	11.5	639.1	24.3	1618.7	43.5	1.04	11.4	3.36	7.1
T05-H17/2	Концентрат	5.05	8.14	0.62	40.4	7.6	0.7	181	14.7	3370	6.9	936	144	1.75	5	1.40	2.8

Таблица 2. Содержание золота в пирите и арсенопирите месторождения Та Нанг

№ пробы	Минерал	Au	Ag	Au/Ag
T05-H12/1	Пирит	5.6	6.9	0.81
T05-H12/2	Арсенопирит	7.6	18.0	0.42
T05-H13/1	Пирит	1.0	5.9	0.16
T05-H13/1	Арсенопирит	6.2	12.0	0.51
T05-H13/5	Пирит	17.0	12.0	1.42
T05-H13/5	Арсенопирит	10.0	3.5	2.86
T05-H13/6	Пирит	4.7	5.2	0.90
T05-H13/6	Арсенопирит	11.0	2.9	3.80
T05-H14/1	Пирит	1.3	1.1	1.18
T05-H15/2-1	Арсенопирит	5.0	0.57	8.77

Таблица 3. Состав самородного золота на месторождении Та Нанг

№ пробы	Число зерен	Cu	Au	Hg	Ag	Сумма
DL-3067-K	5	0	52.73	0.02	46.05	98.80
DL-3067-C	3	0	53.41	0.04	45.97	99.41
DL-3138 DK	1	0	58.34	0	41.59	99.93
DL-3078-C	4	0	59.71	0.28	38.99	98.98
DL-3138 CC	1	0	59.78	0	40.23	100.01
DL-3138 CK	1	0	60.96	0	39.35	100.31
DL-3138 DC	1	0	62.66	0	37.02	99.68
DL-3138 BC	1	0	64.50	0	35.34	99.84
DL-3137 BC	3	0	65.96	0	31.88	97.84
DL-3138 AC	1	0	72.52	0	27.38	99.9
DL-3137 CC	1	0	80.20	0	19.71	99.91
DL-3070-K	1	0	93.41	0.17	5.11	98.7
DL-3070	1	0	93.43	0.21	5.21	98.85
DL-3137 AC	3	0	96.39	0	2.97	99.36
DL-3138 AK	1	0	96.99	0.02	2.22	99.24
DL-3137 BK	2	0	98.88	0.05	0.78	99.71
DL-3137 CK	1	0	99.23	0	0	99.23
DL-3138 BK	1	0	99.67	0.02	0.49	100.19

Таблица 4. Корреляция элементов в золоторудной минерализации месторождения Та Нанг

	Au	Ag	Cu	Cd	Mo	Mn	Pb	Ni	Zn	As	Ba	Bi	Co	Fe
Au	1.00													
Ag	0.63	1.00												
Cu	0.77	0.37	1.00											
Cd	0.43	0.91	0.12	1.00										
Mo	-0.07	-0.06	0.06	-0.22	1.00									
Mn	-0.48	-0.19	-0.11	-0.28	0.19	1.00								
Pb	0.49	0.22	0.24	-0.01	-0.29	-0.15	1.00							
Ni	-0.04	-0.05	0.42	-0.28	0.56	0.54	-0.27	1.00						
Zn	0.41	0.90	0.13	0.95	-0.22	-0.25	-0.06	-0.24	1.00					
As	0.26	-0.24	-0.03	-0.29	0.30	-0.34	-0.03	-0.06	-0.30	1.00				
Ba	-0.28	0.03	0.02	-0.14	0.20	0.81	0.08	0.50	-0.14	-0.49	1.00			
Bi	-0.07	-0.10	0.16	-0.24	0.18	0.53	0.20	0.32	-0.25	-0.09	0.30	1.00		
Co	0.04	-0.03	0.35	-0.27	0.71	0.28	-0.26	0.90	-0.23	0.15	0.20	0.22	1.00	
Fe	0.39	0.17	0.28	0.02	0.51	-0.09	-0.20	0.45	0.03	0.74	-0.16	0.06	0.56	1.00

Примечание. В выборке при $n = 14$ значимый коэффициент корреляции (r) > 0.54 .

таллы (до 1.5 см) и гнездовые скопления в кварцевых жилах и в сульфидизированных углеродистых породах. Мелкозернистые агрегаты арсенопирита характеризуются также короткопризматическим габитусом и имеют резко подчиненное распространение. Они образуют иногда тонкую послойную вкрапленность в углеродистых сланцах и развиваются по трещинам крупнокристаллического арсенопирита. Отношения S/As в арсенопирите не превышают 1.12. Пирит образует в основном метакристаллы и рассеянную вкрапленность в измененной породе и в кварцевых жилах и редко тонкую сыпь глобулярного пирита в углистых сланцах. Анализ монофракций выделений арсенопирита и пирита показал близкие в них концентрации Au и Ag (табл. 2), которые в целом коррелируют с уровнем их содержаний в пробах, из которых они извлечены. Отношения Au/Ag в проанализированных пробах и минералах характеризуются широкими вариациями (см. табл. 1, 2). Минимальный диапазон изменения этих отношений установлен в сульфидизированных углеродистых сланцах (0.06—0.44), а максимальный в арсенопирите (0.42—8.77).

Микроскопические исследования показывают, что золото в этих минералах, так же как и в кварцевых жилах, развивается по трещинам и связано с его более поздним отложением. Состав золота, изученный в основном по самородным зернам из россыпных образований, развитых в аллювиальных отложениях р. Сю Нганг на участке месторождения, изменяется в широких пределах (табл. 3). Все проанализированные пробы образуют ряд, в котором можно выделить две дискретные группы: 1 – с пробностью 527.3—802.0 ‰ и 2 — 941.3—996.7 ‰, первая группа отвечает эндогенному золоту, 2-я, по-видимому, золоту, преобразованному в экзогенных условиях. Основной примесью эндогенного золота является Ag до 46.05 %, и в отдельных пробах отмечается Hg до 0.28 %. В преобразованном золоте количество Ag резко падает.

Анализ штучных золотоносных проб (руд) на элементы Ag, Cu, Cd, Mn, Pb, Ni, Zn, As, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Ga, Ge, In, Li, Mg, Na, Nb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Tl, U, V, W, Y, Zr, K, включая редкоземельные элементы La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Tb, Ho, Hg, Er, проведенный методом ICP MS в лаборатории LTD (Онтарио, Канада), показал невысокие их концентрации, близкие к кларковым значениям. Повышенные содержания в сульфидизированных породах и жилах имеют Fe, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, основная часть из которых (Fe, As, Pb, Zn, Cu) образует собственные сульфидные минералы, а другие входят в их состав в качестве элементов-примесей (см. табл. 1). Уровень же концентраций этих элементов в углистых сульфидизированных сланцах значительно ниже по сравнению с кварц-сульфидными жилами, что связано, очевидно, с меньшим количеством в них сульфидов. Дополнительно в сланцах фиксируются повышенные содержания Mn, Ba, Sr (см. табл. 1). Также в отдельных пробах с высоким содержанием Zn, Pb, Cu отмечаются повышенные содержания Cd, а в пробах, где преобладает Fe и As, увеличиваются концентрации Co, Ni, Mo. Расчет парных коэффициентов корреляции показывает прямую положительную корреляцию Au с Ag и Cu, а Ag с Zn и Cd, также установлена положительная прямая корреляция Co с Fe и Ni; Fe с As; Mn с Ba (табл. 4).

Анализ состава главных рудных минералов, проведенный в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (Россия) на микроанализаторе Camebax micro, показывает следующие

Таблица 5.

Состав рудных минералов месторождения Та Нанг

№ пробы	Число определений	Fe	Cu	Zn	Pb	S	As	Sb	Bi	Ag	Cd	Mn	Co	Ni	Сумма
T05-H13/1	Арсенопирит														
	1	33.24	—	—	0	20.60	42.79	0	—	—	—	—	0.02	0.60	97.21
	2	34.03	—	—	0.01	20.30	43.97	0	—	—	—	—	0.03	0.02	98.36
	3	34.04	—	—	0	20.73	43.10	0.03	—	—	—	—	0.01	0.03	97.93
T05-H13/2	4	34.25	—	—	0	20.94	42.76	0	—	—	—	—	0.03	0.26	98.25
	1	33.95	—	—	0	20.23	43.93	0	—	—	—	—	0.10	0.05	98.26
T05-H13/4	2	33.95	—	—	0.04	21.14	42.85	0	—	—	—	—	0.05	0.03	98.06
	1	35.16	—	—	0	21.69	42.53	0	—	—	—	—	0.05	0.01	99.43
T05-H13/5	1	34.76	—	—	0	20.86	43.21	0.02	—	—	—	—	0.04	0	98.89
	2	34.95	—	—	0	21.33	42.93	0.01	—	—	—	—	0.05	0.01	99.27
	3	35.32	—	—	0.01	21.85	42.59	0	—	—	—	—	0.05	0.01	99.82
T05-H13/6	1	34.12	—	—	0.02	20.40	43.36	0.03	—	—	—	—	0.05	0.03	98.01
	2	34.63	—	—	0.05	21.38	42.56	0	—	—	—	—	0.03	0.02	98.67
	3	34.87	—	—	0	21.33	43.41	0	—	—	—	—	0.04	0	99.65
T05-H13/4	Пирит														
	1	45.45	—	—	0.04	50.81	0	—	0.02	0	—	—	0.04	0.05	96.41
	2	45.24	—	—	0.13	51.89	0	—	0.03	0	—	—	0.05	0	97.34
T05-H13/5	3	45.98	—	—	0.08	52.65	0	—	0.02	0	—	—	0.06	0.04	98.83
	1	46.84	—	—	0.05	53.28	0	—	0.00	0	—	—	0.05	0	99.22
T05-H13/6	1	45.92	—	—	0	52.88	0	—	0.01	0	—	—	0.04	0	98.84
	2	45.25	—	—	0	52.84	0	—	0.01	0	—	—	0.04	0	98.14
	3	45.18	—	—	0.02	51.66	0	—	0	0	—	—	0.03	0.05	99.39
T05-H15/2	1	45.94	—	—	0	52.92	0	—	0.03	0	—	—	0.05	0	98.94
	2	46.03	—	—	0.01	52.06	0	—	0	0	—	—	0.03	0	98.13
	3	45.84	—	—	0.05	52.32	0	—	0	0	—	—	0.05	0.02	98.27
	4	47.24	—	—	0	52.98	0	—	0	0.03	—	—	0.05	0	100.39
	5	45.77	—	—	0.03	52.85	0	—	0	0.01	—	—	0.03	0	98.68
	6	46.44	—	—	0.06	52.36	0	—	0	0.04	—	—	0.05	0.02	98.99
T05-H13/4	1	43.66	—	—	0	52.52	0.05	—	0	0	—	—	0	1.97	98.2
	2	45.8	—	—	0	53.01	0.27	—	0	0	—	—	0	0.47	99.73
T05-H12/3	1	45.18	—	—	0.02	51.66	2.44	—	0	0	—	—	0.03	0.05	99.39
T05-H13/2	Пирротин														
	1	59.99	—	—	—	38.7	0.13	—	—	—	—	—	—	—	98.83
T05-H13/1	2	60.78	—	—	—	38.69	0.16	—	—	—	—	—	—	—	99.63
	Халькопирит														
T05-H13/1	1	28.96	34.17	1.41	—	35.26	—	—	—	0.17	0.02	—	—	—	99.99
	2	28.93	34.06	1.58	—	35.26	—	—	—	0.01	0	—	—	—	99.84
T05-H13/5	Галенит														
	1	—	—	—	85.91	13.65	—	—	0.07	0.03	0.21	—	—	0	99.97
	2	—	—	—	86.24	13.16	—	—	0.01	0.1	0	—	—	0	99.53
	3	—	—	—	86.20	13.18	—	—	0.06	0.01	0	—	—	0	99.45
T05-H13/5	4	—	—	—	87.08	13.28	—	—	0.06	0.07	0	—	—	0	100.57

№ пробы	Число определений	Fe	Cu	Zn	Pb	S	As	Sb	Bi	Ag	Cd	Mn	Co	Ni	Сумма
Галенит															
T05-H13/6	1	—	—	—	87.13	13.3	—	—	0.1	0	0	—	—	0	100.53
	2	—	—	—	87.63	13.14	—	—	0.03	0	0	—	—	0.01	100.81
	3	—	—	—	86.24	13.14	—	—	0	0	0	—	—	0.04	99.42
	4	—	—	—	86.74	13.04	—	—	0.04	0	0	—	—	0.02	99.84
	5	—	—	—	87.29	13.08	—	—	0.03	0	0	—	—	0.01	100.41
T05-H15/2	1	—	—	—	87.47	13.03	—	—	0.07	0.1	0	—	—	0	100.67
Сфалерит															
T05-H13/1	1	4.7	0.06	62.39	—	33.72	—	—	—	0.02	0.44	0.01	—	—	101.33
	2	6.66	0.93	58.88	—	34.00	—	—	—	0.03	0.42	0.01	—	—	100.93
	3	4.76	0.71	58.36	—	33.96	—	—	—	0.02	0.43	0.00	—	—	98.24
	4	4.44	0.18	61.46	—	34.15	—	—	—	0.01	0.43	0.02	—	—	100.7
	5	4.95	0.05	60.65	—	33.98	—	—	—	0.01	0.40	0.02	—	—	100.15
T05-H15/2	1	4.54	0.02	61.26	—	33.49	—	—	—	0.01	0.38	0	—	—	99.78
	2	3.46	0.02	63.27	—	33.74	—	—	—	0.02	0.37	0.02	—	—	100.95
Тцугарунит															
T05-H13/4	1	0.26	—	—	73.75	15.48	10.9	—	—	—	—	—	—	—	100.39

Примечание: Прочерк — значения ниже порога чувствительности анализа (<0.01%).

их особенности. Арсенопирит на месторождении характеризуется устойчивым химическим составом с близкими величинами атомных отношений S/As, изменяющимися в пределах 1.08—1.12. Из элементов-примесей в арсенопирите установлены Ni до 0.6 % и в отдельных пробах Sb и Pb на уровне чувствительности рентгеноспектрального микроанализа (табл. 5). Пирит по составу отвечает стехиометрии. Из элементов-примесей в нем в отдельных пробах также отмечаются повышенные содержания Ni до 1.97 %, As до 2.44 % и небольшие количества Co, Bi и Ag. Более широкий спектр элементов-примесей имеют минералы поздней ассоциации. Так, в сфалерите на уровне первых процентов постоянно фиксируется примесь железа, а на уровне десятых долей процента Cu и Cd. Кроме того, в нем отмечаются следы Ag и Mn (см. табл. 5). Галенит содержит повышенную примесь Ag и Bi (до 0.1 %), а в халькопирите отмечается повышенное содержание Zn и незначительная примесь Ag и Cd.

Из сульфосолой выявлены лишь отдельные микроскопические включения тцугарунита, в составе которого в качестве основного катиона установлен Pb (см. табл. 5).

ГЕНЕЗИС МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТА НАНГ

Как уже отмечалось, месторождение Та Нанг локализуется среди терригенно-осадочных отложений среднеюрского возраста (J_2ln_{1-2}), обогащенных углистым веществом (формация Ла нга). Оно приурочено к субпослойной зоне дробления и гидротермального изменения и представлено развитием кварц-сульфидных жил и сульфидной минерализации во вмещающих породах. Определение времени формирования серицита из кварц-сульфидных жил методом $Ar^{39}-Ar^{40}$ датирования показывает, что возраст образования этих жил совместно с сульфидной минерализацией составляет 129.3 ± 5.6 млн лет. Это свидетельствует, что формирование руд месторождения Та Нанг сближено по времени со становлением меловых интрузивных гранитных образований комплекса Део Ка (145—99.6 млн лет), которые прорывают верхнеюрские отложения (145 млн лет) формации Ла нга и перекрыты вулканогенными породами формации Дон Донг, относящимися к верхнемеловому возрасту (99.6 млн лет) [Vu Nhu Hung et al., 2003]. Сопоставление графиков спектрограмм РЗЭ, нормированных по хондриту [Boynnton, 1984], построенных для кварц-сульфидных жил и сульфидизированных сланцев месторождения Та Нанг, со спектрами РЗЭ гранитов комплекса Део Ка и вулканитов формации Дон Донг (K_2dd), показывает схожие конфигурации графиков для рудных образований и гранитов и резкое различие их с графиками вулканитов. На спектрограммах рудных образований и гранитов отмечается обогащение легкими лантаноидами и проявление незначительного европиевого минимума (рис. 8), что, вероятно, может косвенно свидетельствовать о связи рудообразующих гидротермальных растворов с этими гранитами.

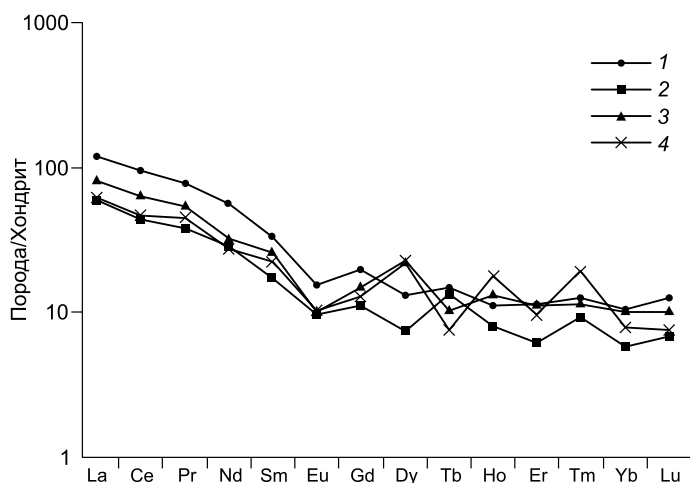


Рис. 8. Распределение редкоземельных элементов в кварц-сульфидных жилах (1); черных сульфидизированных сланцах (2) месторождения Та Нанг, гранитах комплекса Део Ка (3) и вулканитах формации Дон Донг (4).

Взаимоотношения рудных минералов и особенности развития разных морфологических их образований показывают, что в формировании месторождения Та Нанг можно выделить две стадии: раннюю кварц-пирит-арсенопиритовую и позднюю халькопирит-сфалерит-галенитовую. Минеральные ассоциации этих стадий относятся к гидро-

термальным рудным образованиям со сходным изотопным составом серы их сульфидов, изменяющиеся в пределах ($\delta^{34}\text{S}$ 1.6—4.3 ‰) (табл. 6), что указывает на единый глубинный эндогенный источник серы. Незначительное утяжеление изотопного состава серы по сравнению с метеоритным аналогом, может быть объяснено частичным заимствованием утяжеленной породной серы при формировании тонкокристаллической, преимущественно фрамбоидальной минерализации пирита и арсенопирита в углистых сланцах, в период их диагенетического преобразования. В дальнейшем при формировании зоны оруденения в областях дробления и расщепления эта рассеянная минерализация частично была мобилизована и переотложена в рудные зоны совместно с эндогенной сульфидной минерализацией. О возможности такого перераспределения свидетельствует переотложение углистого вещества вмещающих пород с образованием гнезд и вкраплений антраксолита (аморфный токопроводящий углерод) и графита в измененных породах и в кварц-сульфидных жилах. Изотопный состав углерода этих образований показывает, что отложение графита и антраксолита происходило за счет переотложения слабометаморфизованного углистого вещества вмещающих пород (табл. 7). Физико-химические условия формирования кварц-сульфидных жил, по данным изучения флюидных включений в кварце, характеризовались нешироким диапазоном температур 305—245 °С. Формирование их происходило из умеренно концентрированных растворов (11.7—6.4 мас. % в экв. NaCl) с метан-азот-углекислотной газовой фазой ($\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4$) (табл. 8).

Золото, как показывает анализ его распределения и форм выделения, имеет четкую корреляцию с сульфидами. Оно в виде тонких включений развивается по трещинам выделений пирита, арсенопирита, кварца и находится в виде включений либо в сростании с минералами поздней ассоциации (галенит, сфалерит халькопирит), что свидетельствует о его образовании в более позднюю стадию совместно с этими сульфидными минералами.

Таким образом, проведенные исследования на месторождении Та Нанг показывают, что оно относится к наложенным эндогенным гидротермальным образованиям, формирование которого происходило в меловое время (129.3 ± 5.6 млн лет) и связано с внедрением гранитоидных интрузий комплекса Део Ка. Процесс рудного минералообразования протекал в две стадии: ранняя кварц-пирит-арсенопиритовая и поздняя халькопирит-сфалерит-галенитовая, которая является продуктивной на золото. Золото характеризуется широкими вариациями пробности (527.3—802.0 ‰) и образует мелкие и тонкие выделения в кварце и сульфидах. Черносланцевая толща формации Ланга в силу своего песчано-сланцевого состава и обога-

Таблица 6. Изотопный состав серы в главных рудных минералах месторождения Та Нанг

Номер пробы	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$
DL-3067	Арсенопирит	1.6
DL-3068	»	2.0
DL-3074-5	»	4.3
DL-3074-9	»	4.1
DL-3076-5	»	4.0
DL-3075-9	Пирит	3.5
DL-3076-9	Сфалерит	3.5
DL-3076-a	Галенит	3.9
DL-3079a-9	»	1.7
DL-3077	»	2.3

та является продуктивной на золото. Золото характеризуется широкими вариациями пробности (527.3—802.0 ‰) и образует мелкие и тонкие выделения в кварце и сульфидах. Черносланцевая толща формации Ланга в силу своего песчано-сланцевого состава и обога-

Таблица 7. Изотопный состав углерода углистого вещества из руд золоторудных месторождений (в ‰).

Номер пробы	Минерал	Месторождение	$\delta^{13}\text{C}$
DL-3067	Углистое вещество	Та Нанг	-19.7
D 1-3067	Антраксолит	»	-18.5
DL-3061	Углистый сланец	»	-18.0
DL-3080	Графит	»	-21.5

Таблица 8. Результаты термобарогеохимических исследований флюидных включений в кварце месторождений Та Нанг

№ образца	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma \text{C в мас. \% NaCl - экв.}$
DL-3079	305—275	–50 ... –49	–8 ... –6	11.7—9.2
DL-3070	250—245	–22	–5 ... –4	7.8—6.4

щения углеродистым веществом являлась благоприятной средой для отложения рудных компонентов из постмагматических гидротермальных растворов. Поэтому эти толщи в областях развития гранитоидного магматизма комплекса Део Ка могут быть перспективными на обнаружение подобных месторождений.

Работа выполнена при поддержке проекта «Комплексное и рациональное использование минеральных ресурсов для экономико-социального развития региона Тай Нгуен, TN3/T05» и 105.06.76.09 (NAFOSTED).

ЛИТЕРАТУРА

Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира: генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования. Владивосток, Дальнаука, 1997, 156 с.

Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы, 2002, № 6, с. 25—36.

Вилор Н.В., Казьмин Л.А., Павлова Л.А. Формирование арсенопирит-пиритового парагенезиса на месторождениях золота (термодинамическое моделирование) // Геология и геофизика, 2014, т. 55, (7), с. 1044—1064.

Волков А.В., Генкин А.Д., Гончаров В.И. О формах нахождения золота в рудах месторождений Наталкинское и Майское (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология, 2006, т. 25, № 6, с. 18—29.

Гаськов И.И., Акимцев В.А., Ковалев К.Р., Сотников В.И. Золотосодержащие минеральные ассоциации месторождений медно-рудного профиля Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (9), с. 996—1004.

Генкин А.Д., Вагнер Ф.Е., Крылова Т.Л., Цепин А.И. Золотоносный арсенопирит и условия его образования на золоторудных месторождениях Олимпиада и Ведуга (Енисейский край, Сибирь) // Геология рудных месторождений, 2002, т. 44, № 1, с. 59—76.

Горячев Н.А., Волков А.В., Гамянин Г.Н., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Округин В.М. Au—Ag оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера, 2010, № 5, с. 36—50.

Ивенсен Ю.П., Левин В.И. Генетические типы золотого оруденения и золоторудные формации // Золотые формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М., Наука, 1975, с. 5—120.

Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Колесникова М.К., Королюк В.Н. Золотоносность арсенопирита золото-сульфидных месторождений Восточного Казахстана // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (2), с. 225—242.

Константинов М.М., Стружков С.Ф., Аристов В.В. Генетические типы золото-серебряных месторождений вулканоплутонических поясов // Изв. вузов. Геология и разведка, 1997, № 1, с. 62—66.

Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М., Научный мир, 2009, 272 с.

Нарсеев В.А., Уваров В.В. К геохимии золота терригенных пород // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Алма-Ата, ОНТИ КазИМС, 1997, вып. 7, с. 18—47.

Нгуен Ким Хоанг, Нгуен Ван Май. Минералогические характеристики и золоторудная перспективность месторождения Та Нанг, провинция Лам Донг (на вьетнамском языке), Ханой, 2009, 287с.

Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М., Наука, 1991, 302 с.

Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М. Золото-сульфидные месторождения — основной источник сырья золотодобывающей промышленности XXI века: (Докл.) Минерал. ресурсы в XXI веке: Федерал. геол. служба России. МГК-XXX, Пекин, 4—14 авг., 1996 // Отч. геология, 1996, № 4, с. 16.

Петровская Н.В. Самородное золото: общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М., Наука, 1973, 347 с.

Сафонов Ю.Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность—геолого-генетические типы—продуктивность рудообразующих систем // Геология рудных месторождений, 1997, т. 39, № 1, с. 25—40.

Сорокин А.П., Рождествина В.И., Кузьминых В.М., Жмодик С.М., Аношин Г.Н., Митькин В.Н. Закономерности формирования благородно и редкометалльного оруденения в кайнозойских угленосных отложениях юга Дальнего Востока // Геология и геофизика, 2013, т. 54, (7), с. 876—893.

Спиридонов Э.М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвященной 80-летию Кольского научного центра РАН. Апатиты, Изд-во К&М, 2010, с. 143—171.

Старова М.М., Бочаров В.Е. Роль типоморфных особенностей пиритов и арсенопиритов золоторудных месторождений в расшифровке генезиса руд // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Вып. 7, Алма-Ата, КазИМС, 1977, с. 97—100.

Тюкова Е.Э., Ворошин С.В. Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхнеколымского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций). Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2007, 107 с.

Ashley P.M., Creagh C.J., Ryan C.G. Invisible gold in ore and mineral concentrates from the Hillgrove gold-limonite deposits, NSW Australia // Miner. Deposita, 2000, v. 35, № 4, p. 285—301.

Boyle R. W. The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element). Ottawa, 1979, 585 p.

Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies // Rare earth element geochemistry / Ed. P. Henderson, Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, 1984. p. 63—114.

Geology and earth resources of Viet Nam. (General Editor Prof. Dr.Sc. Nguyen Khoa Son). Publishing House for Science and Technology, 2011, 645 p.

Lindgren W. Mineral deposits, 4th ed. New York-London, McGraw-Hill Book Company, 1933, 930 p.

Tran Trong Hoa. Hoat dong magma Permi-Triastanh tho Viet Nam va trien vong kim loi quy hiem (Pt, Au) lien quan. TT HNKH Ry nien 60 nam nganh DCVN, 2005, tr. 63—79.

Vos I.M.A., Bierlein F.P., Teale G.S. Genesis of orogenic-gold deposits in the Broken River Province, northeast Queensland // Aust. J. Earth Sci., 2005, v. 52, p. 941—958.

Vu Nhu Hung, Trinh Van Long, Huynh Thi Minh Hang. Dac diem cac thanh tao magma cung ria luc dja tich cuc Mesozoic muon doi Da Lat. DC, TN, Moi truong Nam VN, 2003, tr. 31—43.

*Рекомендована к печати 21 октября 2014 г.
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию
4 июля 2014 г.*