

ШТОКВЕРКОВОЕ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РАЙГОРОДОК СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ ПРОВИНЦИИ

К.Р. Ковалев¹, С.О. Сыздыков², Ю.А. Калинин^{1,3}, Е.А. Наумов^{1,3}, В.В. Баранов²,
В.П. Сухоруков^{1,3}, А.С. Гладков⁴, Ф.И. Жимулев¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² ТОО «RG Gold», г. Щучинск, Республика Казахстан

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

⁴ Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Штокверковое золото-сульфидно-кварцевое месторождение Райгородок локализовано в эндо- и экзоконтакте монзогаббро-диоритового массива, отнесенного нами к степнякскому комплексу (442 млн лет). Выделены два этапа оруденения: ранний, с вкрапленной слабозолотоносной пирит-халькопиритовой минерализацией, обусловленной процессами скарнирования, пропилизации и калишпатизации, и поздний — продуктивный. Этап продуктивной золоторудной минерализации, сопровождаемый процессами березитизации, серицитизации и окварцевания, проявлен в виде двух стадий: 1) кварц-золото-пирит-халькопиритовой и 2) кварц-карбонат-золото-полисульфидной. Определенный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом возраст березитов и серицитов метасоматитов составляет соответственно 422.9 ± 4.3 и 416.7 ± 4.3 млн лет, что на 19—22 млн лет позднее становления интрузивного массива. Руды месторождения формировались стадийно, в температурных интервалах 112—335 °C и с соленостью флюида от 0.7 до 21.2 мас. % NaCl экв. Источником серы сульфидов скарнов, пропилитов, березитов и рудных зон мог быть глубинный магматический очаг. Одним из возможных источников золота могли служить подстилающие пиритизированные углеродистые сланцы шарыкской свиты венда. Изотопные и геохимические данные, а также результаты термобарометрии указывают на близость месторождения Райгородок к классу месторождений золота, связанных с интрузивами («intrusion related deposits»). При этом на месторождении отмечается ряд признаков порфирово-эпитермальных рудно-магматических систем.

Северо-Казахстанская золоторудная провинция, месторождение золота Райгородок, прожилково-вкрапленные руды, Au-Cu-Pb-Ag-Te-Bi-минерализация, возраст минерализации

THE RAIGORODOK STOCKWORK GOLD-SULFIDE-QUARTZ DEPOSIT IN THE NORTH KAZAKHSTAN GOLD ORE PROVINCE

K.R. Kovalev, S.O. Syzdykov, Yu.A. Kalinin, E.A. Naumov, V.V. Baranov,
V.P. Sukhorukov, A.S. Gladkov, and F.I. Zhimulev

The Raigorodok stockwork gold-sulfide-quartz deposit is located in the contact zone of a monzogabbro-diorite massif belonging to the Stepnyak complex (442 Ma). Two main ore formation stages have been established: early, with disseminated gold-bearing pyrite-chalcopyrite mineralization related to skarn, propylite, and K-feldspar formation, and late, with productive mineralization. The late stage was accompanied by the formation of beresite, sericite, and quartz and comprised two substages: (1) quartz-gold-pyrite-chalcopyrite mineralization and (2) quartz-carbonate-gold-polysulfide mineralization. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of beresites and sericites are 422.9 ± 4.3 Ma and 416.7 ± 4.3 Ma, respectively, which is 19–22 Myr younger than the age of the host intrusive massif. The deposit ores formed stepwise, at temperatures of 112–335 °C and fluid salinity of 0.7–21.2 wt.% NaCl equiv. Sulfur for skarns, propylites, beresites, and ores might have been provided by a deep magma chamber, and the carbonaceous shales of the Vendian Sharyk Formation might have been the source of gold. The isotope and geochemical data and the results of fluid inclusion study suggest that Raigorodok is an intrusion-related deposit. At the same time, the deposit has a number of signs of porphyry-epithermal ore-magmatic systems.

North Kazakhstan gold ore province, Raigorodok gold deposit, vein-disseminated gold ores, Au-Cu-Pb-Ag-Te-Bi mineralization, age of mineralization

ВВЕДЕНИЕ

Золоторудное месторождение Райгородок, открытое при геолого-съёмочных работах в период 1958—1982 гг., расположено в 80 км к юго-западу от г. Щучинск Акмолинской области Казахстана (рис. 1). В настоящее время это средний по запасам объект (> 39 т Au) с реальной перспективой увели-

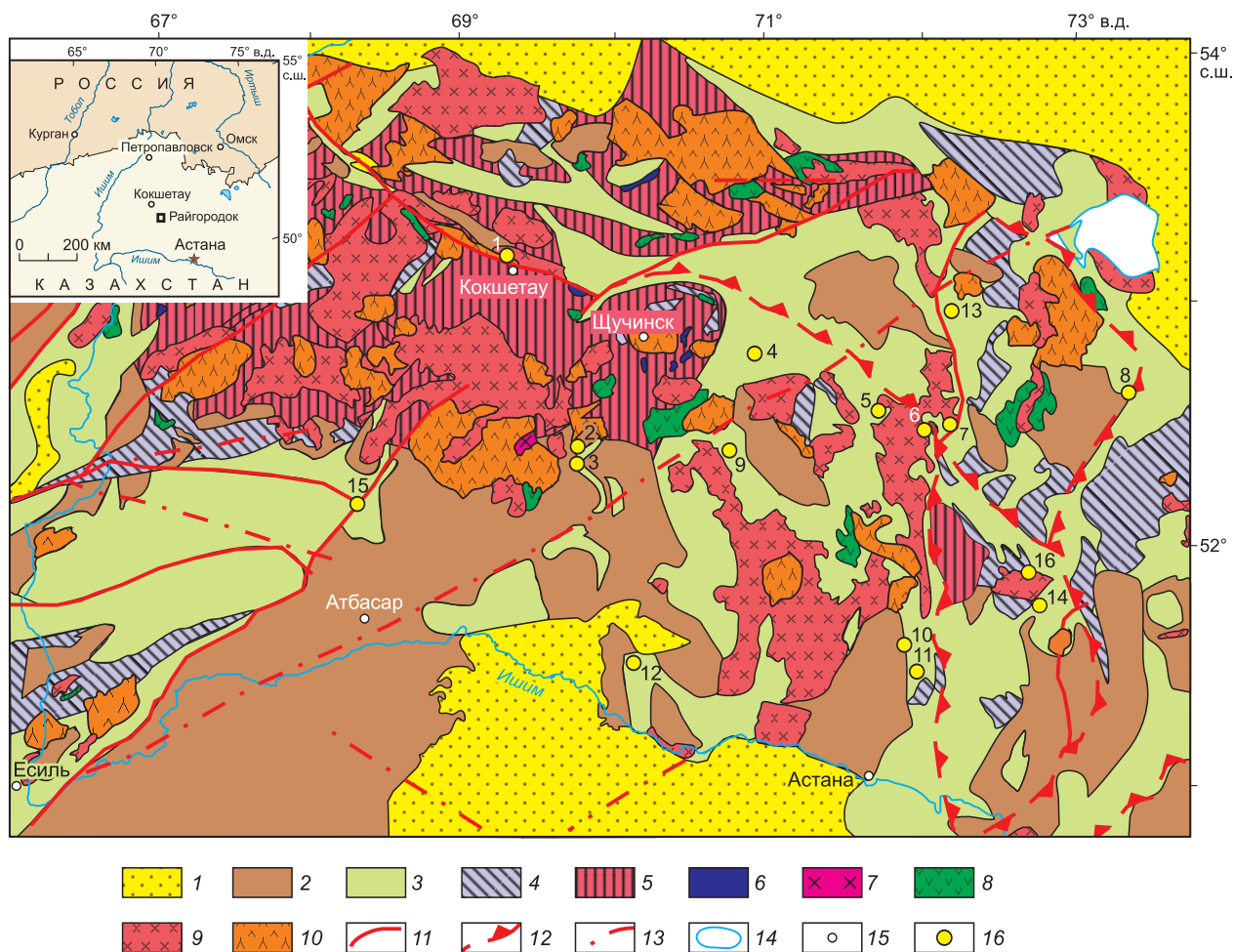


Рис. 1. Золоторудные месторождения на схематизированной геологической карте Северного Казахстана [Карта..., 1982].

1 — чехол на каледонском и герцинском фундаменте; 2 — отложения девона; 3 — отложения ордовика; 4 — каледониды; 5 — отложения протерозоя; 6 — породы офиолитовой ассоциации; 7 — гранитоиды протерозоя; 8 — габбро-диориты; 9 — граниты; 10 — сиениты-монзониты; 11 — главные разломы; 12 — крупные надвижки; 13 — разломы по геофизическим данным; 14 — водоемы; 15 — населенные пункты; 16 — золоторудные и золотосодержащие месторождения: золото-кварцевые (2 — Новоднепровское, 4 — Степняк, 5 — Жана-Тюбе, 8 — Бестюбе, 9 — Даниловка, 10 — Жолымбет, 11 — Кара-Агач; 13 — Байлюсты); золото-сульфидно-кварцевые (1 — Васильковское, 3 — Райгородок, 6 — Кварцитовые Сопки, 12 — Акбеит, 15 — Кууспек); золото-медно-скарновые (14 — Ешкиольмес); золото-молибден-медно-порфировые (16 — Кызылту).

чения запасов Au до 89 т. Геологические особенности золоторудных месторождений Северо-Казахстанской золоторудной провинции достаточно широко освещены в литературе [Золоторудные..., 1971; Металлогения..., 1980; Геология..., 1986; Рафаилович, 2009; и др.]. Сведения о геологическом строении месторождения Райгородок крайне ограничены [Рафаилович, 2009; Сухорукова, Усатюк, Калинин и др., 2014]. В предлагаемой статье по результатам геолого-разведочных и эксплуатационных работ рассматриваются вопросы его структурного положения, магматизма, последовательности минералообразования и минералого-геохимических особенностей рудной минерализации. Представлены первые изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические данные. Полученные результаты анализируются с позиции существующей геолого-генетической модели класса месторождений золота, связанных с интрузивами («in intrusion related gold deposits»). При этом на месторождении отмечается ряд признаков порфирово-эпитермальных рудно-магматических систем.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной объем аналитических работ выполнен в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Содержания петрогенных элементов определены рентгенофлюоресцентным методом на рентгеноспектральном анализаторе VRA-20R, погрешности определения не превышают 5 отн. %. Кон-

центрации редких и редкоземельных элементов установлены методом ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT (Finnigan Mat) с ультразвуковым распылителем U-5000AT+. Пределы обнаружения редкоземельных и высокозарядных элементов составляют от 0.005 до 0.1 мкг/г. Точность анализа составляла в среднем 2—7 отн. %. Породы и руды анализировались также РФА СИ и атомно-абсорбционными методами по общепринятым методикам. Состав рудных и нерудных минералов изучали на сканирующем электронном микроскопе LEO JXA-800 и рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL 01430VP. Для определения возраста магматических пород U-Pb датирование цирконов осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) по принятой методике и методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на установке LA-ICP-(SF)-MS в лаборатории геологии университета г. Ренн (Франция). Датирование Ar/Ar методом по синрудному серициту проведено согласно описанных ранее аналитических процедур [Травин, 2016]. Термобарогеохимические исследования выполнялись на установке THMSG-600 Linkam с контроллером TMS 94 на базе оптической системы Olympus BX51. Солевой состав растворов, их концентрация, плотность CO₂ в газовой фазе включений определялись методами термо- и криометрии; состав газовой фазы флюидных включений определен методом КР-спектроскопии (прибор JobinYvon LabRAM HR800). Для идентификации отдельных дочерних фаз в многофазных включениях использовалась известная база КР-спектров RRUFF.

КРАТКИЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

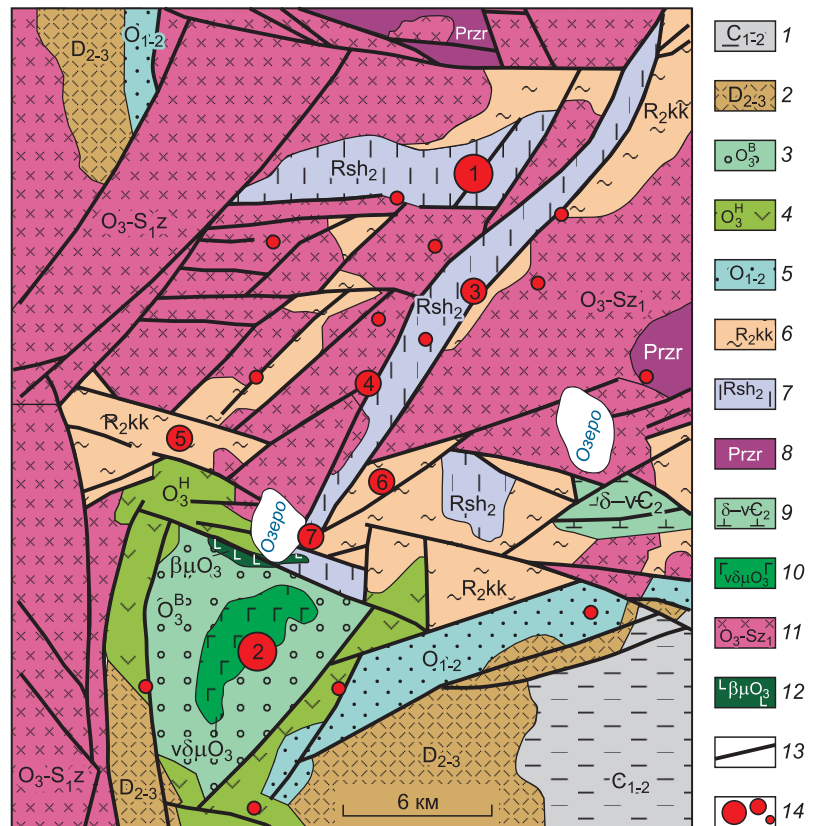
Территория Северного Казахстана характеризуется сложным геологическим строением и представлена сочетанием блоков разновозрастных пород, сформировавшихся в различных геодинамических обстановках, с масштабным проявлением магматизма (см. рис. 1). Центральная часть региона представлена древним Кокчетавским срединным массивом (микроконтинентом), который обрамляется структурами каледонид, имеющими сложное чешуйчато-покровное строение [Добрецов и др., 2005; Glorie et al., 2015]. На востоке Кокчетавского массива располагается Степнякская зона, интерпретируемая как осевая часть древней островодужной системы, имеющей продолжение в Восточно-Кокчетавской зоне. Восточнее от нее выделяется Селетинская островная дуга, отделенная от Степнякской Ешмиокольским блоком древних пород. Все названные зоны представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными комплексами ордовика с тектоническими блоками и клиньями рифейских и кембрийских пород. Более молодые девонские и каменноугольные отложения картируются в наложенных грабен-синклиналиях. Главная фаза складчатости фиксируется поздним ордовиком и сопровождается внедрением гигантских батолитов гранодиорит-гранитного зерендинского (444 ± 9 млн лет) [Шатагин и др., 2001] и габбро-диорит-тоналит-гранодиоритового крыккудукского (448 ± 2 млн лет) [Летников, 2009а] комплексов. Исследователями отмечается синхронность формирования этих комплексов.

В обрамлении Кокчетавского массива располагается основная масса золоторудных месторождений, которые традиционно связываются с малыми интрузивами степнякского габбро-диоритового комплекса. Установление его возраста и взаимоотношения с гранитоидными батолитами является принципиально важной задачей. Большинство исследователей относили породы этого комплекса к позднему ордовику—раннему силуру. Морфология, структурное положение, петрографический состав, а также металлогеническая специализация указывают на самостоятельность степнякских интрузий (Абдулкабиров, Замятин, 1963; Магматизм..., 1988). Установленный U-Pb методом возраст эталонного Степнякского массива (441 ± 1 млн лет) позволяет рассматривать степнякский комплекс в качестве возрастного аналога крыккудукского и зерендинского [Летников и др., 2008, 2009а]. Отрицая самостоятельность степнякского интрузивного комплекса, Э.М. Спиридонов [1995] выделяет малые тела лейкогаббро-норитов ранней предбатолитовой интрузивной фазы — степнякиты, которые фиксируют глубокопроникающие и рудоподводящие разломы, являясь типоморфными породами золоторудных месторождений Северо-Казахстанской золотоносной провинции.

В раннем силуре на территории Северного Казахстана проявилась значительная тектономагматическая активизация. В зоне сочленения Кокчетавского массива и Степнякской зоны широко представлены интрузивы лейкократовых гранитов, объединяемые в боровской комплекс (Макинский, Боровской и Жукейский массивы), U-Pb возраст которого определяется интервалом 431—423 млн лет [Летников и др., 2009б]. Металлогенический профиль Северо-Казахстанской золоторудной провинции определяется собственно золоторудными, золотосодержащими медно-скарновыми и Mo-Cu-порфирированными месторождениями (см. рис. 1), сформировавшимися в орогенный этап развития территории. Месторождения характеризуются локализацией в крупных разломных зонах, преимущественно в отложениях ордовика, парагенетической связью с малыми интрузивами диоритов, широким спектром морфологических (от жильных, вкрапленно-прожилковых до штокверковых) и минеральных типов руд, различной степенью сульфидности и многостадийностью процессов рудоотложения.

Рис. 2. Схематическая геологическая карта района месторождения Райгородок (М.И. Музыка, 2007, с изменениями авторов).

1 — отложения нижнего—среднего карбона, красноцветные песчаники; 2 — отложения нижнего—верхнего девона, красноцветные конгломераты, красноцветные и сероцветные эффузивы; 3 — верхний ордовик, верхняя конгломератовая толща; 4 — верхний ордовик, нижняя порфирировая толща; 5 — нижний—средний ордовик, пестроцветные кремнистые алевролиты, яшмоиды; 6 — кокчетавская свита венда—раннего кембрия, кварциты, кварцсерицитовые сланцы; 7 — шарыкская свита венда, углеродисто-карбонатно-кремнистые сланцы; 8 — зерендинская свита, кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; 9 — щучинский интрузивный комплекс среднего кембрия, габбро, пироксениты; 10 — степнякский комплекс, монцогаббро, монциодориты, гранодиориты; 11 — зерендинский комплекс, граниты, гранодиориты, диориты; 12 — позднеордовикские субвулканические тела габбро-диабазов и диабазов; 13 — тектонические нарушения; 14 — золоторудные месторождения, рудопроявления и точки минерализации: 1 — Новоднепровское, 2 — Райгородок, 3 — Погашевское, 4 — Тастынаул, 5 — Карагай, 6 — Западное, 7 — Моховое.



ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА И МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАЙГОРОДОК

Месторождение Райгородок располагается в районе сочленения Кокчетавского массива и Степнякской палеоостроводужной зоны, сложенной ордовикскими вулканогенными и осадочными породами (рис. 2). В разные годы изучением геологии и металлогении этой территории занимались Г.П. Байдошвили, В.А. Бирюлин, А.А. Вишняков, Ю.И. Еврейский, Ф.Г. Давыдов, М.И. Музыка, Н.В. Усатюк, В.И. Данилов, Е.И. Сухорукова, В.В. Баранов и многие другие. На этой территории площадью 9×30 км представлены породы зерендинской серии нижнего протерозоя, шарыкской свиты венда и кокчетавской свиты венд-раннекембрийского возраста. Палеозойская система представлена породами ордовика, девона и карбона. Широким развитием на площади района пользуются породы ордовикской системы, представленной тремя отделами:

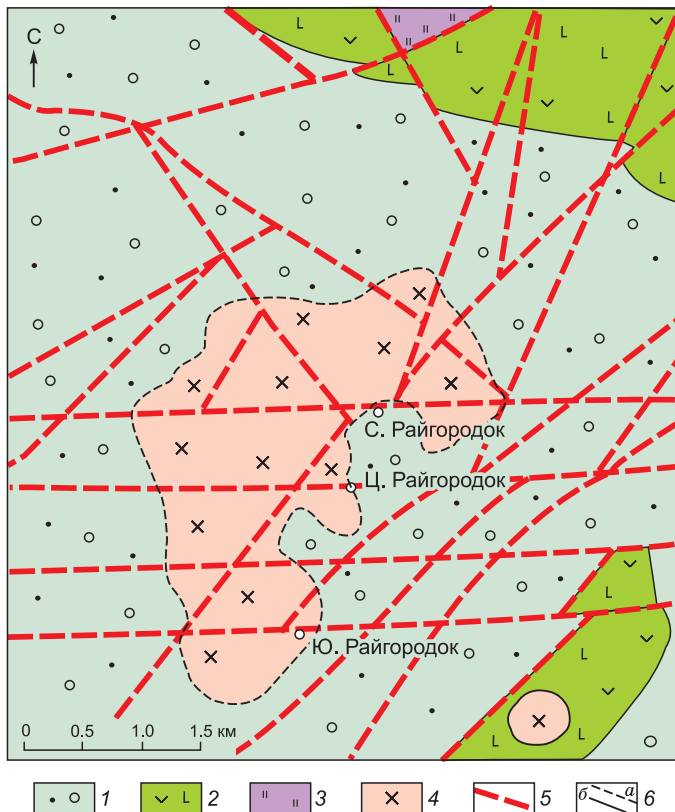


Рис. 3. Геологическое строение рудного поля Райгородок по результатам остаточных гравиметрических аномалий (В.А. Бирюлин и др., 2002).

1 — конгломераты, песчаники, алевролиты; 2 — андезитовые, андезитобазальтовые порфириды и их туфы; 3 — слюдяно-кварцевые и кварцево-хлоритовые сланцы, кварциты; 4 — гранодиориты, диориты, габбродиориты; 5 — тектонические нарушения; 6 — границы глубинных частей интрузии (а) и эффузивных пород (б).

нижний — хемогенно-терригенные отложения, средний — флишвидные известковистые отложения, верхний — песчанико-конгломератовая и порфирировая пачки. Отложения девона и карбона обрамляют отложения ордовика. Интрузивные породы района представлены массивами Погашевским, Новоднепровским, Райгородским и более мелкими телами, которые вытянуты в северо-восточном направлении. Эти породы вскрываются горными работами и представлены габброидами, габбро-диоритами, диоритами, монцонитами, гранодиоритами, гранитами, редко сиенитами. Главным рудоконтролирующим структурным линеamentом района является Новоднепровская зона разломов северо-восточного простирания, в пределах которой располагаются как интрузии, так и золоторудные месторождения Новоднепровское и Райгородок, рудопроявления Погашевское, Тастынаул, Западное, Моховое, Карагай и многочисленные точки золоторудной минерализации.

Месторождение Райгородок приурочено к одноименному интрузивному массиву и объединяет рудные участки Северный, Центральный и Южный Райгородок (Рис. 3). Массив в виде куполовидного поднятия представлен штокообразным телом монцогаббродиоритов размером 2.5×1.5 км, имеющим с вмещающими породами верхнего ордовика рвущие контакты. Он выделяется по данным гравиметрических и магнитометрических работ, а на поверхности проявлен только в виде небольшого выступа на участке Южный Райгородок. Рудовмещающая толща представлена фациально неоднородной пестроцветной пачкой конгломератов, песчаников и алевролитов, переслаивающихся с туфогенным и вулканическим материалом, реже с порфиритами среднего и основного состава. Обломочный материал терригенных пород представлен углеродисто-кремнистыми сланцами, кварцем, известняками, доломитами, кварцитами, гнейсами, эффузивными породами основного и кислого состава и гранитоидами. Часто встречаются графитистые сланцы с пиритом и рутил-циркононосные кварциты, характерные для подстилающих шарыкской и кокчетавской свит. Цемент обломочных пород имеет глинисто-песчанисто-карбонатный состав и почти полностью замещен вторичными минералами.

Райгородокский интрузивный массив характеризуется неоднородным строением и сложной конфигурацией кровли. Наиболее распространенными разностями являются монцодиориты, реже представлены дайкообразные тела габбро-диоритов и гранодиоритов. Мощность даек не превышает первых метров. Породы в различной степени пропилитизированы и березитизированы. По результатам петрографического и петрохимического изучения выделяются группы пород: основные (монцогаббро, монцогаббро-порфириты, трахидолериты), средние (монцодиорит-порфириты) и кислые (гранодиорит, гранодиорит-порфир). На TAS-диаграмме все они попадают в поле умеренно-щелочных разностей (рис. 4). Отношение K_2O/Na_2O в среднем составляет около 1. Дискриминационные парные диаграммы $SiO_2—K_2O$, $SiO_2—CaO$, $SiO_2—MgO$, $SiO_2—Al_2O_3$, $SiO_2—TiO_2$ показывают четкий линейный тренд в составах,

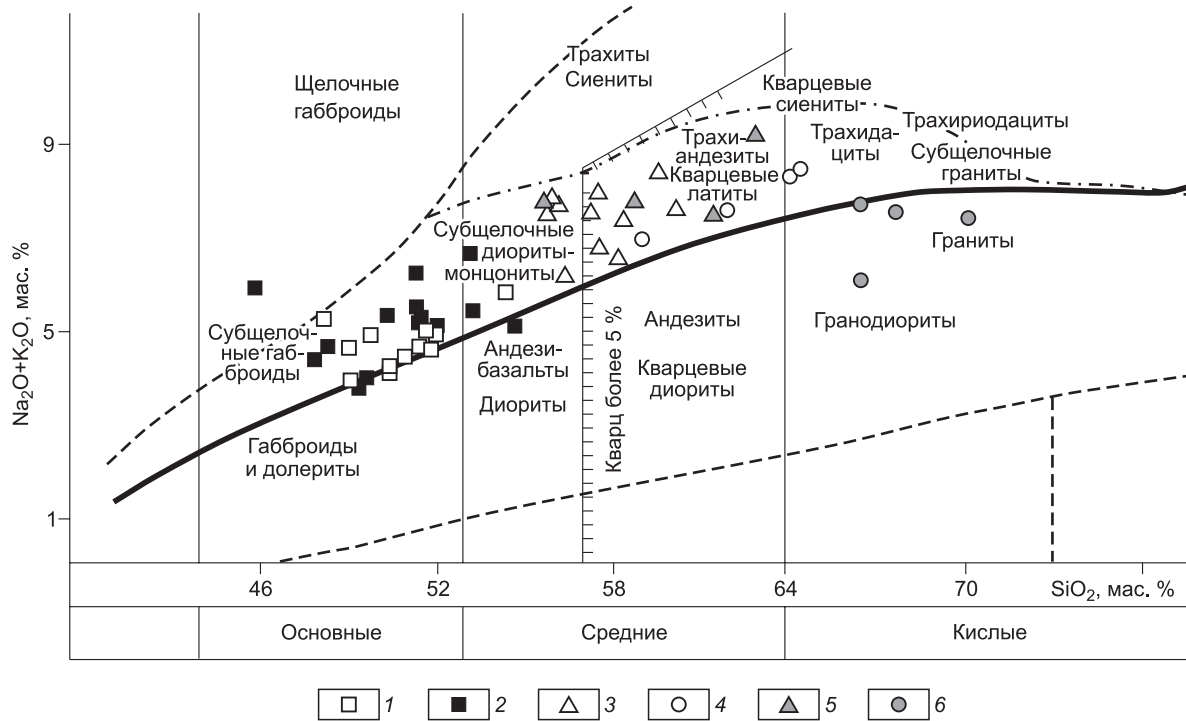


Рис. 4. Составы пород на TAS-диаграмме $SiO_2—(Na_2O—K_2O)$.

1 — монцогаббро, 2 — трахидолерит, 3 — монцодиорит, 4 — кварцевый монцонит, 5 — NbI-монцодиорит, 6 — гранодиорит.

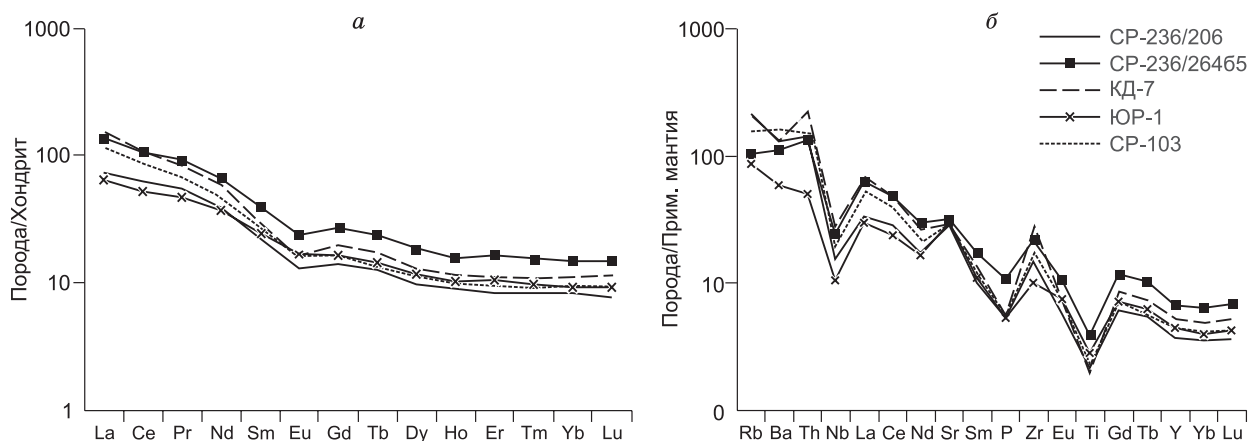


Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в основных типах магматических пород месторождения Райгородок (а); геохимические спектры элементов (б).

что свидетельствует о принадлежности пород к единой магматической серии, т.е. образование их происходило из единого магматического источника. Об этом же свидетельствует и характер распределения РЗЭ (рис. 5, а). На спайдер-диаграмме отмечается общее обеднение всех типов пород Nb, Р и Ti (рис. 5, б). Таким образом, породы Райгородокского интрузивного массива характеризуются пестротой химического и петрографического состава, полнокристаллическим и порфировым строением и пространственным совмещением нескольких интрузивных фаз. По петрогеохимическим особенностям они наиболее близки к породам степняцкого комплекса, относимых к габбро-диорит-плагитогранитной формации. Несколько повышенная щелочность интрузивных пород месторождения, по сравнению с большинством массивов этого комплекса, по-видимому, связана с наложенной калишпатизацией, как это имеет место на месторождении Васильковское [Рафаилович, Лось, 2007]. Повышенная щелочность интрузивных массивов зерендинского и крыкудукского комплексов изменяется в зависимости от структурного положения по отношению к Кокчетавскому массиву. Вдоль его границ породы характеризуются более высоким содержанием щелочей и калий-натровым отношением по сравнению с массивами, расположенными в срединной части Степнякской зоны. Интрузивные породы рудного поля Райгородок, сформированные в зоне сочленения Кокчетавского массива и Степнякской зоны, согласно данной закономерности, должны иметь повышенное содержание щелочей по сравнению с типичным Степнякским массивом. Что касается более молодых силурийско-девонских интрузивов аралаульского (тассуйского) монзонит-граносиенит-гранитового комплекса, то они имеют отчетливо более кислый состав и однородное строение.

Практически все исследователи связывают структурный контроль золотого оруденения района месторождения с Новоднепровской зоной разломов, представленной серией субпараллельных тектонических нарушений северо-восточного простирания, образующих, как правило, грабеновые структуры. Вдоль зоны интенсивно проявлены катаклаз, расланцевание, окварцевание и сульфидизация. Проведенные структурные исследования показали, что важную рудоконтролирующую роль играла также крупная Меридиональная субвертикальная разломная зона. Анализ размещения рудных тел, первичных ореолов золота, а также проявлений зон окварцевания и сульфидизации показывает, что все они приходятся на узел пересечения крупных разломных зон северо-восточного, восток-северо-восточного и меридионального направлений (рис. 6). Указанные зоны неоднократно активизировались на последующих этапах геологического развития. Структуры Новоднепровской и Меридиональной зон играли определяющую рудоконтролирующую роль. Формирование и активизация разрывной сети рудного поля происходили на протяжении как минимум пяти тектонических этапов, каждый из которых характеризовался действием определенного поля напряжений, преимущественно сдвигового характера. С ранним этапом связано становление интрузивного массива, с двумя поздними — формирование оруденения.

Основным структурным фактором, обусловившим локализацию рудных тел на участке Северный Райгородок, явилась активизация разломов, образующих узел сопряженных сдвигов. Рудная зона в целом имеет линейную морфологию, субширотную ориентировку с крутым (60—80 °) северным падением. На участке Южный Райгородок определяющим фактором структурного контроля оруденения явились правосдвиговые смещения при взаимодействии меридиональных и восток-северо-восточных нарушений. Рудные тела имеют как субширотную (на севере), так и северо-восточную (на юге) ориентировку с крутым (60—85°) падением на север и северо-запад соответственно.

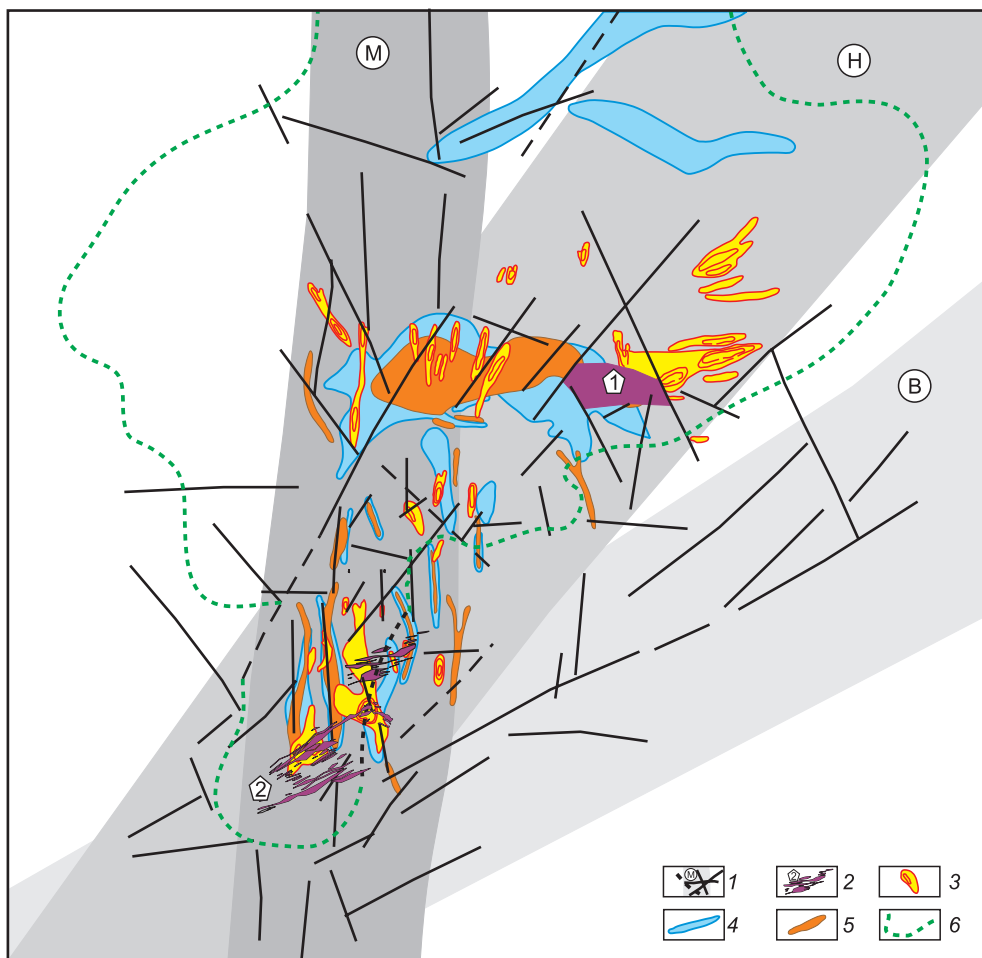


Рис. 6. Структурное положение рудного поля Райгородок с элементами проявления гидротермальных процессов.

1 — разломные зоны и разрывные нарушения (М — Меридиональная, Н — Новоднепровская, В — Ворошиловская), 2 — рудные тела, 3 — первичные ореолы золота, 4 — зоны сульфидной минерализации, 5 — зоны окварцевания, 6 — контур интрузивного массива по геофизическим данным.

Оруденение непосредственно тяготеет к эндо- и экзоконтактовым зонам Райгородковского интрузивного массива и контролируется зонами повышенной трещиноватости и катаклаза в контактово- и гидротермально-измененных породах. На участке Северный Райгородок рудные тела залегают как в интрузивном массиве, так и в скарнированных конгломератах (рис. 7). Протяженность рудной зоны по простиранию составляет 1700 м при ширине от 200 до 500 м и глубине более 500 м без признаков затухания. На участке Южный Райгородок общая протяженность рудной зоны составляет 1400 м при ширине от 60 до 350 м (рис. 8). Оруденение прослежено до глубины 700 м без признаков выклинивания и снижения рудоносности. Руды здесь залегают преимущественно в березитизированных эндоконтактовых зонах интрузивного массива (рис. 9).

Промышленное оруденение месторождения Райгородок представлено серией сближенных субпараллельных линзообразных и пластообразных рудных тел с прожилковым типом минерализации с содержаниями золота 0.3—3.5 г/т, разделяемых в пределах рудных зон интервалами измененных пород с некондиционными содержаниями золота ниже 0.3 г/т. Рудные тела выделяются только по результатам опробования. Такой характер минерализации позволяет большинству исследователей рассматривать оруденение месторождения Райгородок как прожилково-штокверковый тип.

Магматические и вмещающие породы конгломератовой толщи в пределах рудного поля подверглись локальному ороговикованию, скарнированию, пропилитизации, калишпатизации, березитизации, окварцеванию, серицитизации и реже хлоритизации. Скарновые парагенезисы развиваются как по глинисто-песчанисто-карбонатному цементу конгломератов, так и по известковистым обломкам, образуя

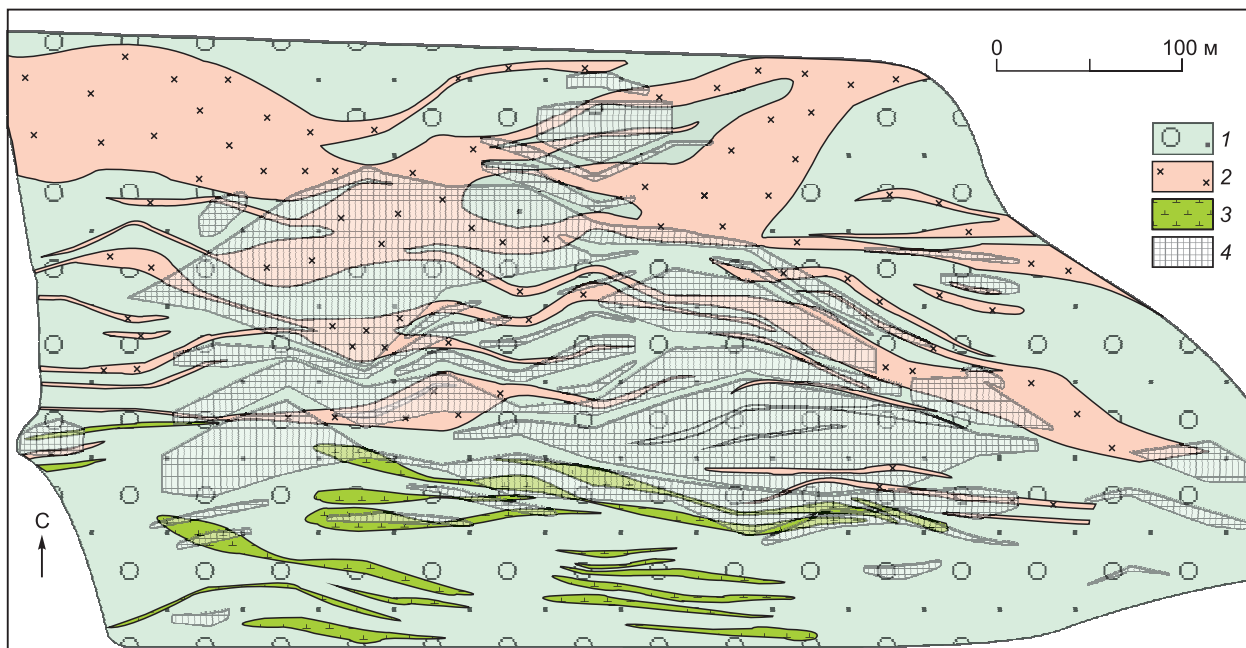


Рис. 7. Положение рудных тел на плане горизонта 300 м карьера участка Северный Райгородок (В.Ф. Давыдов и др., 2008).

1 — конгломераты, песчаники, алевролиты; 2 — монодиориты; 3 — трахидолериты; 4 — рудные тела.

псевдоморфозы агрегатов граната, пироксена, эпидота. Широко проявлены в породах месторождения пропициты, в которых нередко встречается вкрапленная пирит-халькопиритовая минерализация, иногда со свободным золотом. Процессы площадной и гнездово-жильной калишпатизации по магматическим и скарнированным породам на месторождении проявлены широко, непосредственно предшествуя продуктивному рудоотложению. Золотое оруденение сопровождается процессами березитизации, жильного прокварцевания, серицитизации и хлоритизации. Четких пространственно-временных взаимоотношений контактово-метасоматических и гидротермально-измененных пород не просматривается. Первые контролируются экзоконтактовыми зонами интрузивов, вторые — тектоническими зонами, и иногда эти породы пространственно совмещены.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Руды месторождения представлены минерализованными магматическими и скарнированными разнообломочными терригенными породами (рис. 10). Для них ха-

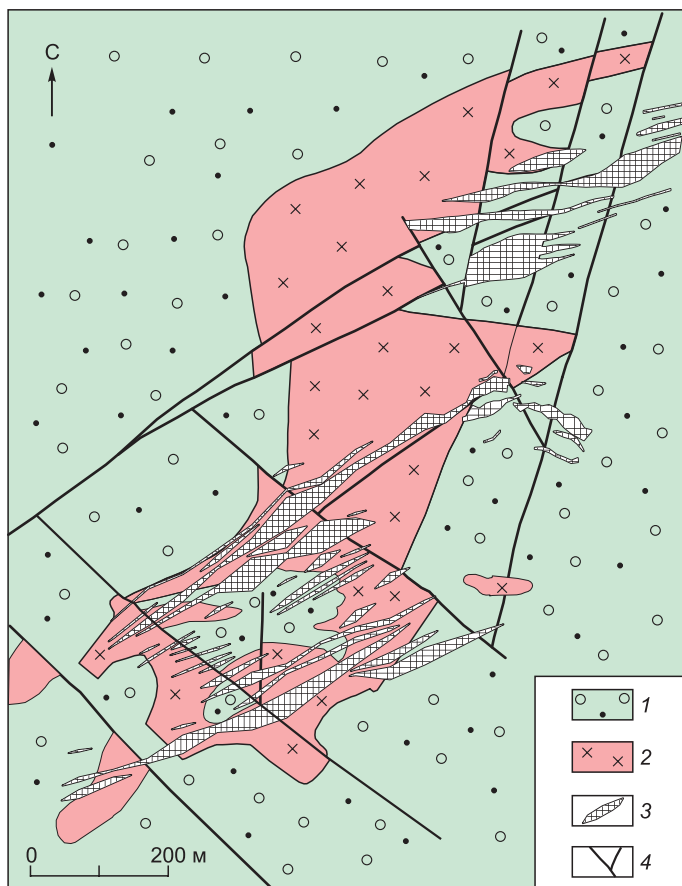


Рис. 8. Схематическая геологическая карта участка Южный Райгородок.

1 — конгломераты, песчаники, алевролиты; 2 — монодиориты и монцогаббро; 3 — рудные тела; 4 — тектонические нарушения.

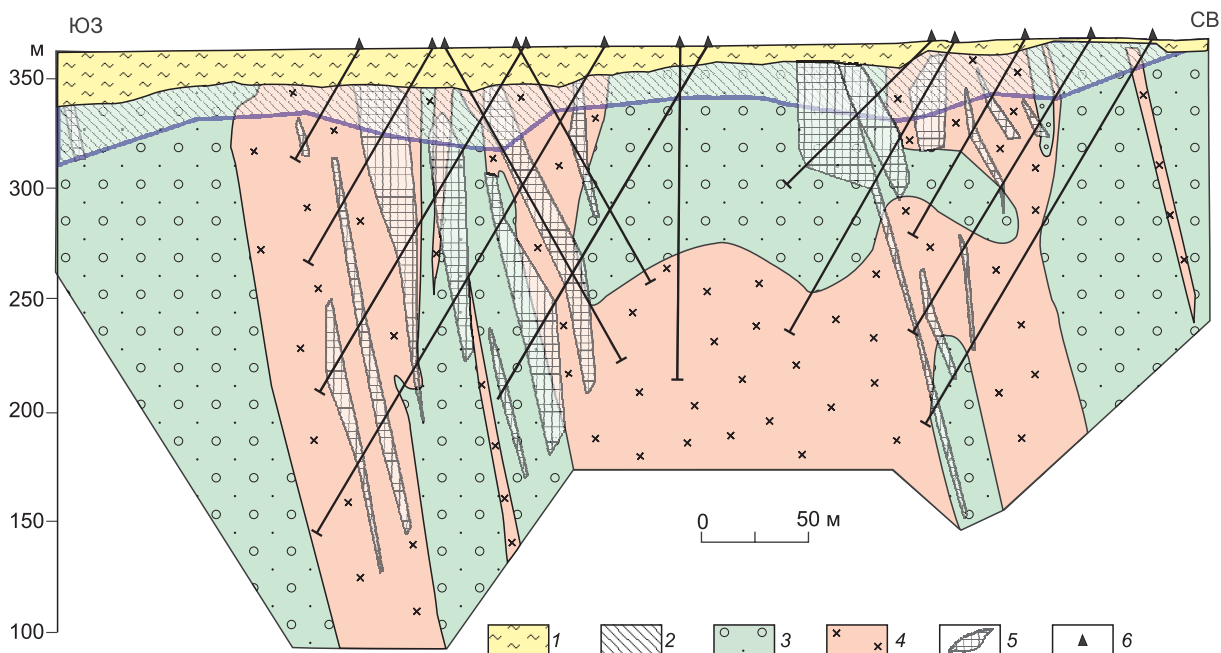


Рис. 9. Геологический разрез по профилю +2 участка Южный Райгородок.

1 — четвертичные отложения; 2 — золотоносная кора выветривания; 3 — конгломераты, песчаники, алевролиты; 4 — монцодориты; 5 — рудные тела; 6 — устья скважин.

рактрно прожилковое, гнездово-прожилковое и брекчиевидное строение. В целом это типичный штокверк, обусловленный совмещением разновозрастных и разноориентированных кварц-сульфидных, кварцевых, кварц-карбонатных, кварц-калишпатовых, кварц-карбонат-хлоритовых, эпидотовых и гранат-эпидотовых прожилков. Распределение сульфидов в прожилках крайне неравномерное — от гнездовых выделений до массивных скоплений. Количество сульфидов в рудах варьирует от 1—3 до 10%. Индикаторными элементами руд месторождения Райгородок являются (мас. %): Cu (до 0.4), Ag (до 0.0007), Pb (до 0.04), Zn (до 0.05), As (до 0.15), Sb (до 0.01), Bi (до 0.02), Te (0.01), Se (до 0.005), Mo (до 0.015) и Ba (до 0.06). Корреляции золота с сульфидностью не выявляется. Отмечается высокая степень корреляции висмута с теллуrom ($K_{кор} = 0.98$ и 0.45) и меди с серебром ($K_{кор} = 0.59—0.63$). Для минерализованных вмещающих пород характерны (мас. %): P (до 0.15), Ti (до 0.08), Co (до 0.02), Ni (до 0.01).

Минеральный состав руд месторождения не отличается большим разнообразием (табл. 1). Основные рудные минералы представлены пиритом и халькопиритом. Микроскопически диагностируются золото, борнит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, пирротин и молибденит. Редко встречаются субмикроскопические выделения минералов висмута и теллура. Основные нерудные минералы представлены кварцем, кальцитом, доломитом, реже сидеритом, серицитом, хлоритом. Часто в ассоциации с ними встречаются эпидот и калишпат. Некоторые структурные взаимоотношения рудных и нерудных минералов месторождения приведены на рис. 11. Пиритовая минерализация представлена разнообразно, являясь сквозной в длительном процессе рудоотложения на месторождении. Наиболее ранний кластогенный и биогенный пирит встречается в цементе терригенных пород и в углеродистокремнистых гальках конгломератов. Образование последующих генераций пирита связано со скарнированием, пропилитизацией и березитизацией. Содержание золота в мономинеральных фракциях пирита различных морфологических разновидностей из поздних прожилковых руд варьирует в широких пределах ($n—100n$ г/т). Из примесей в пирите часто присутствуют Co (до десятых долей %) и As (до 1%).

Халькопирит — второй по распространенности рудный минерал, встречающийся в виде тонкой вкрапленности, густой сыпи, «облачных» скоплений, ксеноморфных зерен и тонких прожилков в основной массе скарнированных, пропилитизированных и калишпатизированных пород. В ассоциации с ним часто встречается борнит, аллоклазит, герсдорфит и кобальтин. Основная же масса халькопирита связана с кварцево-жильной минерализацией, где он совместно с пиритом выделяется в виде крупнокристаллических агрегатов. Часто в ассоциации с ними встречается золото, иногда сфалерит и молибденит. Следующий по распространенности в рудах — арсенопирит. Значительные его скопления встречались на глубоких горизонтах участка Южный Райгородок в золотосодержащих кварц-хлорит-пиритовых жилах в брекчированном березитизированном диорите (рис. 10, з, д).

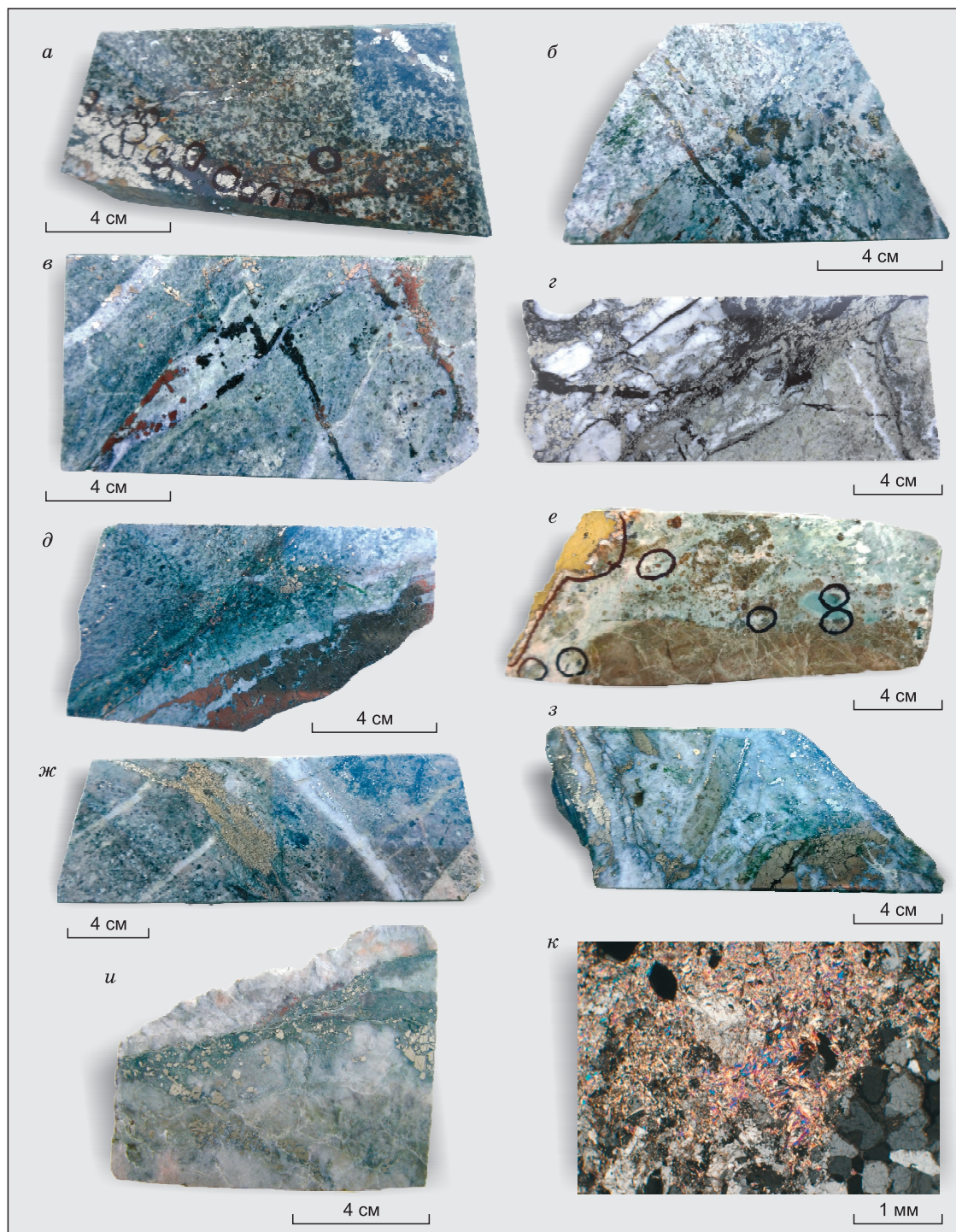


Рис. 10. Типы минерализованных пород месторождения Райгородок.

a — монцодиорит с халькопирит-пиритовым прожилком (в кружках — вкрапления золота в пирите); *б* — калишпатизированный монцодиорит в контакте со скарнированным (гранат+ актинолит+ эпидот+хлорит) гравелитом и с обильной вкрапленностью халькопирита и халькопирит-пиритовыми прожилками; *в* — березитизированный монцодиорит с разновозрастными сульфидными, кварц-сульфидными и кварцевыми прожилками; *г* — брекчированный березитизированный монцодиорит с кварц-эпидот-хлорит-сульфидной жильной минерализацией; *д* — пропилитизированное монцогаббро с вкрапленностью халькопирита, кварц-сульфидным прожилком и зоной окварцевания и серицитизации; *е* — гранат-эпидотовый скарн по конгломерату с кварц-калишпат-золото-халькопиритовой гнездово-прожилковой минерализацией (в кружках — золото в халькопирите, см. рис. 11, *в*); *ж* — сульфидизированная скарнированная мелкообломочная порода с разновозрастными сульфидными, кварцевыми и калишпат-кварцевыми прожилками; *з* — кварц-сульфидная жила с обломком кварц-серицитового метасоматита; *и* — кварц-карбонат-серицит-сульфидная прожилковая минерализация; *к* — прозрачный шлиф предыдущего образца. Представлен кварцем, доломитом, мусковитом $2M_1$, Fe-Mg-хлоритом, зернами апатита и сфена.

Таблица 1. Минеральный состав руд месторождения Райгородок

| Рудные минералы | | |
|-----------------------|---|-----------------------|
| главные | второстепенные | редкие |
| Пирит | Магнетит | Молибденит |
| Халькопирит | Борнит | Аллоклазит (CoAsS) |
| Арсенопирит | Пирротин | Жангенгит |
| Золото | Висмут самородный | (интерметаллид Cu-Zn) |
| Электрум | Айкинит (CuPbBiS ₃) | Самородная медь |
| Галенит | Козалит (Pb ₅ Bi ₂ S ₅) | |
| Клейофан | Матильдит (AgBiS ₂) | |
| Тетраэдрит | Галеновисмутит (PbBi ₂ S ₄) | |
| Теннантит | Ашамальмит (Pb ₆ Bi ₂ S ₉) | |
| | Викингит (Ag ₅ Pb ₈ Bi ₁₃ S ₃₀) | |
| | Висмутин (Bi ₂ S ₃) | |
| | Виттихенит (Cu ₃ BiS ₃) | |
| | Хаммарит (Cu ₂ Pb ₂ Bi ₄ S ₉) | |
| | Бенджаминит (AgCu) ₃ (BiPb) ₇ S ₁₂ | |
| | Каннищарит (Pb ₈ Bi ₁₀ S ₂₃) | |
| | Тетрадимит (Bi ₂ Te ₂ S) | |
| | Гессит (Ag ₂ Te) | |
| | Хедлейит Bi ₂ Te (Bi ₁₄ Te ₆) | |
| | Саддлебакиг (Pb ₂ Bi ₂ Te ₂ S ₃) | |
| Нерудные минералы | | |
| Гранат | Сфен | Торит |
| Пироксен | Рутил | Монацит |
| Амфибол | F-Cl-апатит | |
| Эпидот | | |
| Пьемонтит | | |
| Цоизит | | |
| Биотит | | |
| Хлорит | | |
| Альбит | | |
| Скаполит | | |
| Кварц | | |
| Калиевый полевой шпат | | |
| Серицит-мусковит | | |
| Кальцит | | |
| Доломит | | |
| Сидерит | | |

Сфалерит, галенит, блеклая руда, золото и более редкие Pb-Ag-Bi-Te-минералы характеризуют на месторождении позднюю полисульфидную минеральную ассоциацию. Они встречаются в виде ксеноморфных и прожилковых выделений в кварц-карбонатной жильной массе либо выполняют прожилки в катаклазированных агрегатах пирита, либо замещают ранее отложенный халькопирит. Сфалерит представлен низкотемпературной клейофановой разностью с содержанием Fe 0.26—2.33 и Cd 0.26—0.69 мас. %. Блеклые руды представлены тетраэдритом (Sb — 29.6 мас. %) и реже теннантитом (As — 20.3 мас. %). Характерен частый парагенезис галенита с сульфовисмутитами меди и свинца, теллуридами и сульфотеллуридами серебра и висмута. Химический состав установленных минералов этой группы приведен в табл. 2. Для этой минеральной ассоциации часто отмечаются реакционные структуры замещения и структуры распада (рис. 11, ж, з).

Золоторудная минерализация на месторождении Райгородок представлена исключительно самородным золотом, хотя ранее описывались и теллуриды золота: петцит, нагиагит, калаверит

рит, сильванит, креннерит [Рафаилович, 2009]. Свободное золото в протоlochках руд встречается редко. В виде сыпи мелких зерен и более крупных вкраплений размером до десятков микрон оно встречается в породах пропиловитовой ассоциации. Зерна золота имеют комковатую или дендритовидную форму, чешуйчато-пластинчатое строение и часто содержат включения эпидота, альбита, калишпата и карбоната. Основная масса золота на месторождении связана с пиритом и халькопиритом. В пирите золото представлено в виде каплевидных, округлых или идиоморфных вкраплений размером 1—10 мкм, сетчатых, лестничных и цепочечных микропрожилков (см. рис. 11, б-г). Выделены две продуктивные ассоциации золота: 1) ранняя золото-халькопирит-пиритовая с молибденитом; 2) поздняя золото-пирит-полисульфидная с кварцем, карбонатом и Ag-Te-Bi-минералами.

Основная масса золота руд месторождения имеет светло-желтую окраску и содержит серебро в количестве 8—25 мас. %. Редко встречаются зерна с содержанием серебра — 0—3.4 мас. % (высокопробное золото) и до 33.2 мас. % (электрум). Гистограммы пробности золота месторождения Райгородок представлены на рис. 12. Золото участка Северный Райгородок характеризуется более широким интервалом значений пробности.

Таким образом, на месторождении золото отлагалось как на раннем этапе в виде рассеянной бедной вкрапленности, так и на позднем этапе в виде двух минеральных ассоциаций жильной золотопродуктивной сульфидно-кварцевой минерализации.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ, ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Проанализирован изотопный состав серы основных рудных минералов — пирита (12 проб) и халькопирита (3 пробы), представляющих богатые жильные и гнездовые скопления золото-сульфидно-квар-

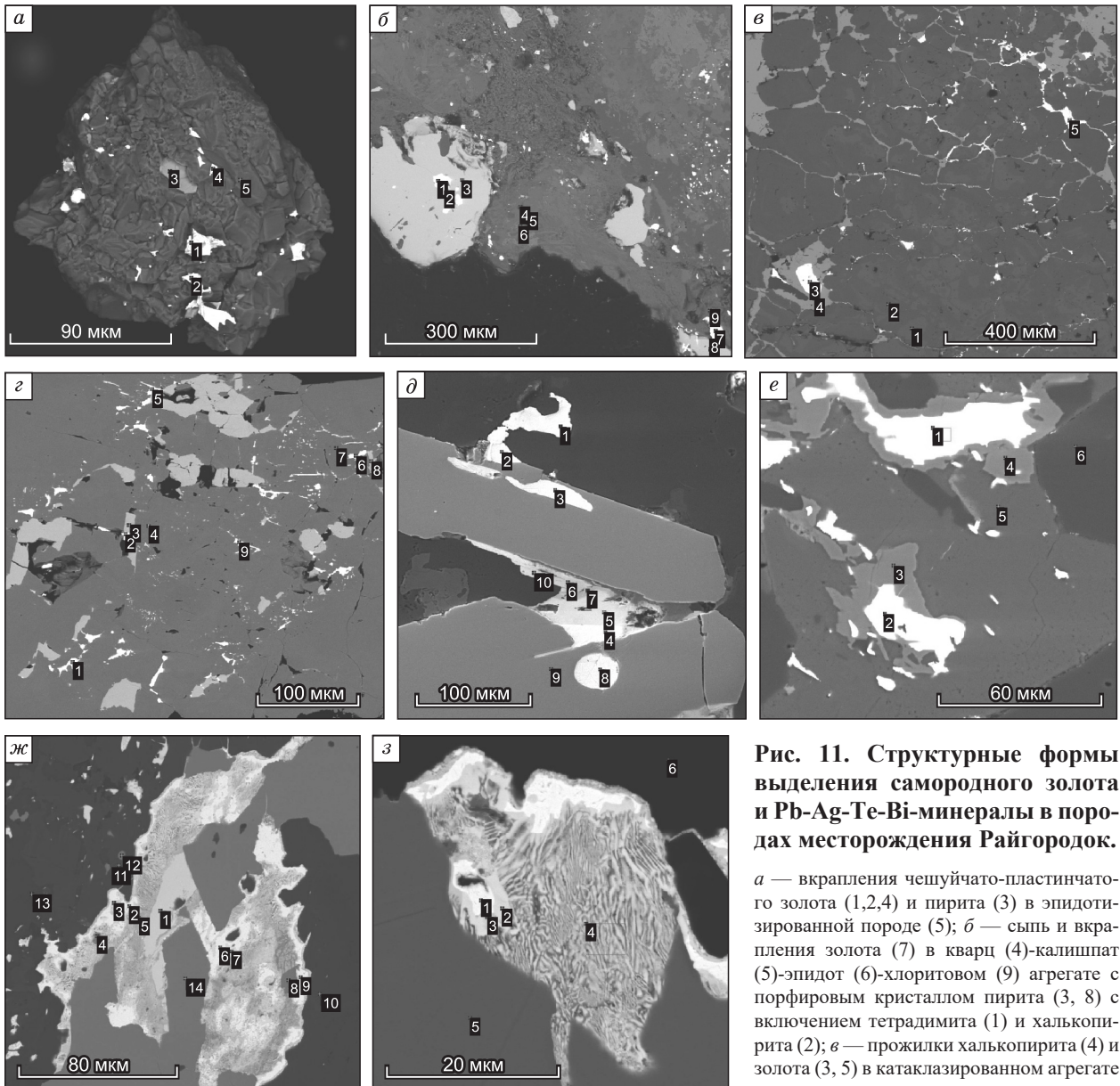


Рис. 11. Структурные формы выделения самородного золота и Pb-Ag-Te-Bi-минералы в породах месторождения Райгородок.

a — вкрапления чешуйчато-пластинчатого золота (1,2,4) и пирита (3) в эпидотизированной породе (5); *б* — сыпь и вкрапления золота (7) в кварц (4)-калишпат (5)-эпидот (6)-хлоритовом (9) агрегате с порфировым кристаллом пирита (3, 8) с включением тетрадимита (1) и халькопирита (2); *в* — прожилки халькопирита (4) и золота (3, 5) в катаклазированном агрегате граната в скарированном конгломерате,

1, 2 — гранат; *г* — сетчато-прожилковые выделения золота (1, 2, 5, 6, 9) в агрегате пирита (4, 7) с реликтовыми катаклазированными зернами арсенопирита (3, 8) в хлорите (черные включения); *д* — золото (1, 4, 8), тетрадимит (6, 10), хаммарит (5) и халькопирит (7) в кристаллах пирита (9) в кварц-калишпат-эпидотовом агрегате; *е* — ксеноморфные зерна бенжаминита (1, 2) в агрегате эпидота (3, 4), калиевого полевого шпата (5) и кварца (6); *ж* — замещение галенитом (3) и самородным висмутом (2, 6, 9) халькопирита (4, 5, 8, 12, 14) с образованием айкинита (1) и ашамальмита (7) в агрегате эпидота (10, 11, 13); *з* — субграфическая структура прорастания галенитом (2, 4), самородным висмутом (1) и бенжаминитом (3) халькопирита (5) в агрегате граната (6).

цевых руд. Данные значений $\delta^{34}\text{S}$ в пирите располагаются в интервале 1.2—4.5 ‰, в халькопирите $\delta^{34}\text{S}$ составляют 1.2; 2.3 и 4.7‰. Такие характеристики изотопного состава серы указывает на ее достаточно гомогенный источник, близость к метеоритному составу и вероятную связь с магматическим очагом.

Для оценки возраста формирования рудной минерализации выполнен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ анализ серицитов из двух образцов участка Южный Райгородок. Были проанализированы: 1) серицит из золотосодержащего березитизированного монцодиорита с вкрапленностью и прожилками пирита, халькопирита, сфалерита и блеклой руды — 422.9 ± 4.3 млн лет; 2) серицит из жильной кварц-карбонат-калишпат-серицитовой рудной ассоциации с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и блеклой рудой — 416.7 ± 4.3 млн лет. Для определения возраста интрузивных пород было проведено U/Pb датирование акцессорных цирконов четырех образцов методом SHRIMP. Цирконы из всех пород представ-

Таблица 2. Химический состав Cu-Pb-Ag-Bi-Te-минералов руд месторождения Райгородок, мас. %

| № п/п | Образец | Минерал | S | Cu | Pb | Ag | Bi | Te | Se | Sb | Сумма |
|-------|--------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | ЮР-407/63.3 | Тетрадимит | 4.32 | н.п.о. | н.п.о. | н.п.о. | 58.53 | 35.35 | 0.69 | 0.19 | 99.08 |
| 2 | СР-236/254.8 | Гессит | н.п.о. | » | » | 61.80 | н.п.о. | 37.81 | н.п.о. | н.п.о. | 99.61 |
| 3 | СР-236/188.2 | Хедлейит | » | » | » | н.п.о. | 71.54 | 26.40 | » | » | 97.94 |
| 4 | ЮР-511/488.6 | Саддлебакит | 9.38 | » | 51.41 | » | 24.66 | 15.26 | » | » | 100.71 |
| 5 | СР-236/254.8 | Минерал X | 10.57 | » | н.п.о. | 35.61 | 39.29 | 7.78 | 4.48 | » | 97.73 |
| 6 | СР-236/168 | Висмут сам. | н.п.о. | » | » | н.п.о. | 99.55 | н.п.о. | н.п.о. | » | 99.55 |
| 7 | ЮР-306/142.2 | Висмутин | 17.52 | » | 3.07 | » | 76.97 | » | 0.31 | 1.65 | 99.52 |
| 8 | ЮР-405/69.8 | Бенжаминит | 17.34 | 4.71 | 4.20 | 6.34 | 67.12 | » | 0.29 | н.п.о. | 100.00 |
| 9 | СР-236/254.8 | Галеновисмутит | 16.32 | н.п.о. | 16.70 | н.п.о. | 64.10 | » | н.п.о. | » | 97.12 |
| 10 | СР-236/254.8 | Матильдит | 15.93 | » | н.п.о. | 28.36 | 51.98 | » | 0.31 | » | 96.58 |
| 11 | ЮР-407/63.3 | Хаммарит | 16.18 | 6.56 | 25.99 | » | 50.69 | » | н.п.о. | » | 99.42 |
| 12 | ЮР-236/254.8 | Викингит | 15.18 | 0.72 | 28.17 | 9.25 | 46.12 | » | » | » | 99.44 |
| 13 | СР-236/254.8 | Канницарит | 15.84 | 0.78 | 37.16 | 2.20 | 44.36 | » | » | » | 100.34 |
| 14 | ЮР-306/142.1 | Виттихенит | 19.15 | н.п.о. | 37.75 | н.п.о. | 40.36 | » | » | » | 97.26 |
| 15 | СР-236/141 | Айкинит | 16.31 | 10.60 | 33.68 | » | 39.46 | 0.06 | 0.31 | » | 100.42 |
| 16 | СР-236/254.8 | Ашамальмит | 11.23 | н.п.о. | 62.25 | » | 23.70 | » | 1.84 | » | 99.02 |

Примечание. Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе LEO 01430VP. н.п.о. — ниже предела обнаружения. Минерал X находится в тесном сростании с тетрадимитом и гесситом и требует дополнительной диагностики.

лены ограненными кристаллами с выраженными гранями призмы и бипирамиды. В катодолюминесценции хорошо видна внутренняя структура циркона, характеризующаяся тонкоритмичной зональностью. В редких случаях отмечаются темноокрашенные ядра. Все эти признаки, а также достаточно высокое отношение Th/U (0.6—1.4), указывают на магматический генезис цирконов и отсутствие следов поздних изменений. Полученный по ним возраст можно рассматривать как возраст кристаллизации соответствующих расплавов. По десяти определениям для каждого образца был получен конкордантный возраст: монцогаббро — 442.7 ± 3.6 млн лет; монцодиорит-порфирит — 442.0 ± 3.7 млн лет; кварцевый монзонит — 442.0 ± 4 млн лет. Возраст всех изученных пород полностью перекрывается в пределах погрешности, что указывает на их формирование в течение достаточно короткого времени в самом конце позднего ордовика. Конкордантные значения циркона трахидолерита отвечают возрасту 447.8 ± 2.5 млн лет (LA-ICP-MS).

Изучение физико-химических условий рудообразования проводилось методом термобарогеохимических исследований газовой-жидких включений в 32 пластинках образцов из рудных зон с кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками. Установлено несколько типов первичных и псевдоторичных включений: 1) двухфазные газовой-жидкие включения; 2) трехфазные газовой-жидкие с кристалликом галита; 3) трехфазные с жидкой CO₂; 4) многофазные газовой-жидкие с несколькими минеральными фазами.

Термокриометрические исследования показали, что температуры гомогенизации в рудных образцах варьируют в довольно широком диапазоне мезо- и эпитепимальных условий отложения — 112—335 °С. Соленость их также меняется от слабой (0.7 мас. % NaCl-экв.) до высокой (21.2 мас. % NaCl-экв.).

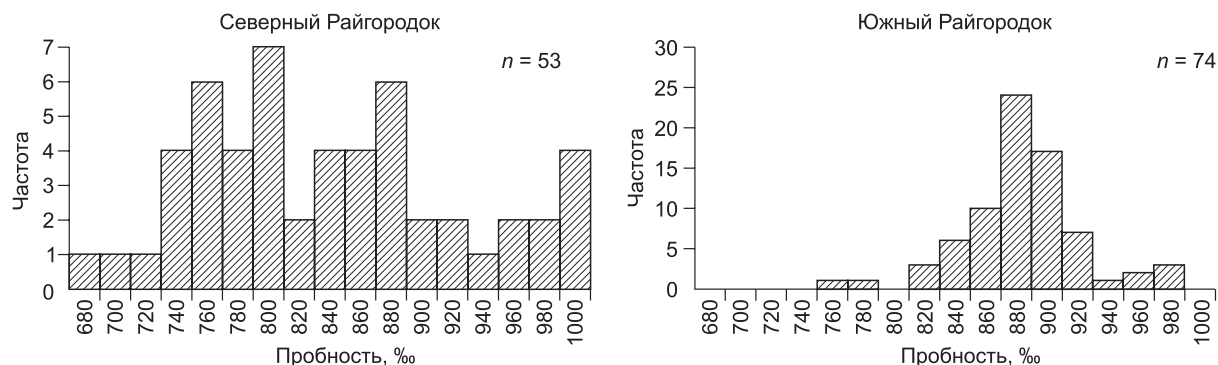


Рис. 12. Состав самородного золота месторождения Райгородок (в пересчете на 100%).

Наличие разнотемпературных включений в одном образце свидетельствует о нескольких последовательных стадиях поступления флюида. Характер рудоформирующей обстановки на участках Северный и Южный Райгородок в целом принципиально не отличался. Можно отметить лишь более высокие температуры гомогенизации ($>280^{\circ}\text{C}$) и концентрации растворов (>10 мас. %) на Южном Райгородке.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Месторождение Райгородок располагается в эндо- и экзоконтактах Райгородковского габбро-монциодоритового массива, контролируемого зоной Новоднепровского глубинного разлома. Все породы массива относятся к умеренно-щелочным разностям, по петрогеохимическим особенностям принадлежат к единой магматической серии, а характер распределения редкоземельных элементов указывает на однородный источник магмы. Абсолютный возраст 442 млн лет соответствует времени формирования золотоносного степнякского габбро-диоритового комплекса на территории Северного Казахстана.

Месторождение располагается в узле пересечения крупных разломов северо-восточного, северсеверо-восточного и меридионального направления, заложенных в раннекаледонское время и неоднократно активизированных. Обоснованность выделения этапов и стадий рудообразования на месторождении подтверждается структурными наблюдениями, характером взаимоотношения минеральных ассоциаций измененных пород и рудных образований, текстурно-структурными особенностями пород и руд, данными результатов термобарометрии.

Ранний этап связан со становлением интрузивного массива и широко проявленными постмагматическими процессами скарнирования, пропилитизации и калишпатизации. Они сопровождаются вкрапленной минерализацией, представленной пиритом, халькопиритом, Ni-Co минералами, самородной медью, интерметаллидами Cu, Zn и реже золотом.

Второй этап представлен двумя продуктивными стадиями прожилково-штокверковой минерализации: ранней золото-халькопирит-пиритовой кварцевой, отвечающей мезотермальным условиям отложения, и поздней эпитермальной золото-полисульфидной кварц-карбонатной стадии. Формирование зон прожилково-штокверковой минерализации сопряжено с процессами березитизации, серицитизации, окварцевания, карбонатизации и реже хлоритизации. Наблюдается пространственное совмещение минеральных ассоциаций, катаклиз минералов ранних генераций, регенерация рудных и нерудных минералов, что отразилось в сложном строении руд. Завершилось минералообразование на месторождении формированием безрудной прожилковой минерализации различного минерального состава.

Наблюдаемое некоторое различие в минерализации участков Южный и Северный Райгородок, скорее всего, связано с различными уровнями эрозионного среза. На участке Северный Райгородок, вероятно, представлены более верхние уровни рудообразующей системы. Здесь редко встречается арсенипирит, чаще присутствует сурьмянистая разновидность блеклых руд, характерны парагенезисы Pb-Ag-Te-Bi-минералов, отмечается более широкий спектр пробности золота, что позволяет говорить об относительно низкотемпературных фациях рудоотложения. Это подтверждается также более низкими температурами гомогенизации газовой-жидких включений с относительно невысокой соленостью. На Южном Райгородке, где вскрываются эндоконтактные зоны интрузивного массива, развита арсенипирит-пиритовая минерализация, присутствуют мышьяковистые блеклые руды, проявлена хлоритовая минерализация, отмечается более высокопробное золото и чаще встречаются высокотемпературные газовой-жидкие включения с высокой соленостью. Последнее обстоятельство вкпе с широким развитием скарнов и скарноидов, филлизитов и калиевых метасоматитов, вкрапленного оруденения с тонкодисперсным Au, преобладающей Au-Cu-Mo специализацией, наличием некоторых элементов вертикальной зональности позволяет, по меньшей мере, не сбрасывать со счета возможность выявления на изучаемой территории объектов порфирово-эпитермального типа.

Изотопно-геохронологические исследования процессов березитизации (422.9 ± 4.3 млн л) и более поздней кварц-сульфидной минерализации (416.7 ± 4.3 млн лет) указывают на оторванность продуктивного рудообразования от времени внедрения интрузива в 19–22 млн лет. Этот возраст гидротермального рудоотложения соответствует процессам тектономагматической активизации, охватившей территорию Северного Казахстана в раннем силуре [Летников и др., 2009a]. Значительный временной интервал функционирования рудообразующей системы (30 млн лет) был установлен и на суперкрупном Васильковском золоторудном месторождении Северо-Казахстанской золотоносной провинции [Хоменко и др., 2016].

Выявленные типоморфные признаки месторождения Райгородок позволяют рассматривать его как продукт длительно развивающейся двухэтапной и полистадийной рудно-магматической системы, магматизм и гидротермальная деятельность которой контролировались системой глубинных разломов раннекаледонского этапа заложения. Изотопный состав серы сульфидов руд близок к метеоритному составу и указывает на возможную связь с магматическим очагом.

В формационном плане большинство золоторудных месторождений Северо-Казахстанской золотоносной провинции, по классификациям предшествующих исследователей, относятся к золото-кварцевому, кварц-золото-сульфидному или золото-полисульфидно-кварцевому формационным типам и связываются с интрузивным магматизмом [Фогельман и др., 1995; Щерба, 1995; Рафаилович и др., 1998]. По данным Э.М. Спиридонова [1995], они представляют инверсионную плутогенную золото-кварцевую формацию. Повышенная сульфидность руд месторождения Райгородок (до 10%) позволяет отнести его к собственно золото-сульфидно-кварцевой формации. По терминологии зарубежных исследователей, месторождение отвечает классу «intrusion related gold deposits» [Lang, Baker, 2001; Mustard, 2001] или орогенных синмагматических месторождений [Goldfarb et al., 2014]. На примере крупного золото-медного месторождения Телфер (Западная Австралия) с текущими ресурсами золота 466 т рассматриваются две принципиально различные модели формирования золотых руд этого класса: 1) магматогенно-метеорная за счет выщелачивания сингенетичной стратиформной Au, Cu, S-минерализации из вмещающих толщ за счет тепла интрузий [Rowins et al., 1996] и 2) магматогенно-флюидная с дисальными фациями рудоотложения [Schindler et al., 2016]. Золоторудные месторождения, связанные с интрузивным магматизмом, широко известны в различных регионах России [Горячев и др., 2005; Волков и др., 2008; Ферштатер и др., 2010; Хомич, Борискина, 2011; и др.].

При общности геологического строения, проявляющегося прежде всего в присутствии малых интрузивных тел степняцкого габбро-диоритового комплекса, структурно-тектоническом контроле оруденения и полистадийности рудоотложения, месторождения Северо-Казахстанской золотоносной провинции несут некоторые различия, определяемые фаціальными обстановками локализации оруденения по отношению к интрузивным массивам, физико-механическими свойствами вмещающих пород и их геохимической специализацией. Прежде всего, они проявляются в морфоструктурных особенностях оруденения, которое представлено типичными штокверками (Васильковское), жилами выполнения (Степняк) и прожилково-штокверковыми зонами минерализации (Райгородок, Ешкиольмес). По геохимической специализации (Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Bi, Te, Fe, Ni, Co, Mo) руды месторождения Райгородок близки к большинству золото-кварцевых, золото-сульфидно-кварцевых и золотосодержащих скарновых и молибден-медно-порфировых месторождений Северного Казахстана. Это позволило в свое время рассматривать эти месторождения в едином ряду теллуридо-висмутово-мышьяково-медно-золоторудных формаций [Металлогения..., 1980]. Вместе с тем руды месторождений отличаются концентрациями сульфидных минералов и вариацией минеральных парагенезисов, которые отражают геохимическую специализацию вмещающих пород и различные уровни эрозийного среза месторождений или фации глубинности. Эти вопросы детально рассматривались на примере ряда золоторудных месторождений этого региона [Спиридонов, 1974, 1978, 1982]. Повышенная сульфидность рудных залежей характерна для месторождений, залегающих в вулканогенно-осадочных толщах с обильной хемогенно-осадочной сингенетичной пиритовой минерализацией. Такие образования присутствуют на месторождениях Бестюбе, Кварцитовая Сопка, Аксу, Жолымбет, Степняк и рассматриваются рядом исследователей как один из источников золота при формировании золоторудных месторождений Северного Казахстана [Жаутиков, Мауленов, 1985; Мауленов, 1991; Поцелуев и др., 2012; Ермолов, 2013]. Рудные залежи с богатыми золото-медно-сульфидными рудами встречаются на месторождении Ешкиольмес, залегающем в скарнированных вулканогенно-осадочных толщах в экзоконтактных зонах интрузива [Золоторудные поля..., 1971]. На ряде золоторудных месторождений индикаторными являются медная минерализация (Райгородок, Ешкиольмес, Кызылту), висмутовая (Жолымбет, Ешкиольмес, Северный Аксу, Акбеит), теллуридная (Жана-Тобе), мышьяковая (Васильковская, Кварцитовые Сопки), сурьмяная (Бестюбе), молибденовая (Ешкиольмес, Кызылту) и оловянная (Степняк, Ешкиольмес).

Определенный интерес в плане прогнозирования на территории Северного Казахстана золото-медно-порфирового оруденения представляет присутствие небольшого молибден-медно-порфирового месторождения Кызылту, залегающего в юго-восточной части Селетинского плутона, относимого к крыккудукскому комплексу [Металлогения..., 1980]. Средние содержания Au и Ag в рудах этого месторождения составляют соответственно 0.20 и 6.56 г/т. В повышенных концентрациях присутствуют также рений, висмут и теллур. По категории C₂ на 2012 г. подсчитаны запасы меди, молибдена, золота и серебра. М.С. Рафаиловичем [2009] рудообразующая система месторождения Райгородок на начальном этапе также рассматривалась как медно-молибден-порфировая. Региональным признаком обнаружения месторождений подобного формационного типа является геодинамическая позиция рассматриваемого региона в раннекаледонское время. По данным геодинамической реконструкции К.Е. Дегтярев с соавторами [2008], континентальный блок в Степнякской зоне в раннем ордовике представлял собой активную окраину, т.е. обстановку, благоприятную для формирования месторождений порфирового типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученное золоторудное месторождение Райгородок локализовано в эндо- и экзоконтактах одноименного интрузивного массива, сложенного монцодиоритами, реже дайкообразными телами габбродиоритов и гранодиоритов. По петрогеохимическим особенностям породы массива представляют единую серию, сформированную из одного магматического очага, имеют возраст 442 млн лет и отнесены к степнякскому комплексу. Руды месторождения представлены минерализованными магматическими и скарнированными разнообломочными терригенными породами. Морфологически это типичный штокверк — совмещение серии кварцевых, кварц-сульфидных, кварц-карбонатных, калишпат-кварцевых, кварц-карбонат-хлоритовых, эпидотовых и гранат-эпидотовых прожилков различных направлений, характеризующийся крайне неравномерным распределением сульфидов. Выделены два этапа оруденения: ранний, с вкрапленной слабозолотоносной пирит-халькопиритовой минерализацией, обусловленной процессами скарнирования, пропицитизации и калишпатизации, и поздний — продуктивный. Этап продуктивной золоторудной минерализации, сопровождаемый процессами березитизации, серицитизации и окварцевания, проявлен в виде двух стадий: 1) кварц-золото-пирит-халькопиритовой и 2) кварц-карбонат-золото-полисульфидной. Определенный $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом возраст березитов и серицитовых метасоматов составляет соответственно 422.9 ± 4.3 и 416.7 ± 4.3 млн лет, что на 19—22 млн лет позднее становления интрузивного массива. Руды месторождения формировались стадийно, в температурных интервалах 112—335 °С и с солесностью флюида от 0.7 до 21.2 мас. % NaCl экв. Источником серы сульфидов скарнов, пропицитов, березитов и рудных зон мог быть глубинный магматический очаг. Одним из возможных источников золота могли служить подстилающие пиритизированные углеродистые сланцы шарыкской свиты (венд). Минералого-геохимические особенности и данные термобарогеохимии свидетельствуют о более высокотемпературных условиях рудоотложения на Южном Райгородке, руды которого залегают в эндоконтактовых зонах интрузива. По особенностям геологического строения, характеру оруденения и геохимической специализации (Cu, Ag, Pb, As, Sb, Bi, Te и Mo) месторождение Райгородок относится к золото-сульфидно-кварцевому формационному типу, связано с длительно-развивающейся рудно-магматической системой и близко к классу месторождений золота, связанных с интрузивами (“intrusion related deposits”). При этом на месторождении отмечается ряд признаков порфирово-эпитермальных рудно-магматических систем. В целом месторождение Райгородок имеет много общего с другими месторождениями золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций Северо-Казахстанской золоторудной провинции.

Авторы благодарны сотрудникам ЦКП микроэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск) за проведение аналитических исследований: В.Н. Королюку, Л.Н. Поспеловой, А.Т. Титову, М.В. Хлестову, Н.Г. Кармановой, Н.М. Глухой, В.Н. Ильиной, Ю.П. Колмогорову, В.Н. Реутскому, М.Н. Колбасовой, А.В. Травину, Д.С. Юдину, а также весьма признательны А.В. Волкову и Э.М. Спиридонову за конструктивные замечания к рукописи.

Работа выполнена в рамках госзадания (проект 0330-2016-0001) и при частичной поддержке РФФИ (проекты 16-05-00353 и 17-05-00936).

ЛИТЕРАТУРА

Абдулкабирова М.А., Замятин Н.И. О возрасте золотоносных интрузий Северного Казахстана // Труды XI сессии комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 84—87.

Волков А.В., Егоров В.Н., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А., Горячев Н.А., Бирюков А.В. Месторождения золота в дайках Яно-Колымского пояса // Геология рудных месторождений, 2008, т. 50, № 4, с. 311—377.

Геология золоторудных месторождений Казахстана и Средней Азии. М., Издательство ЦНИГРИ Мингео СССР, 1986, 288 с.

Горячев Н.А. Дайки и золотое оруденение // Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии: Труды VI Международного симпозиума и Чтений памяти акад. С.С.Смирнова. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2005, с. 76—79.

Дегтярев К.Е., Шатагин К.Н., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Лучицкая М.В., Шершакова М.М., Шершаков А.В., Третьяков А.А. Раннеордовикский вулканогенный комплекс Степнякской зоны (Северный Казахстан): обоснование возраста и геодинамическая обстановка формирования // ДАН, 2008, т. 419, № 2, с. 224—228.

Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Жимулев Ф.И. Кембро-ордовикская тектоническая эволюция Кокчетавского метаморфического пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (8), с. 806—816.

- Жаутиков Т.М., Мауленов А.М.** Типы стратиформного золотого оруденения Казахстана // Изв. АН Каз. ССР, 1985, № 5, с. 81—87.
- Золоторудные поля Северного Казахстана** / Ред. Ш.Е. Есенов. Алма-Ата, Наука, 1971, 167 с.
- Ермолов П.В.** Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана. Караганда, Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2013, 204 с.
- Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Сухорукова Е.И., Наумов Е.А., Сухоруков В.П., Жимулев Ф.И.** Штокверковая золотосульфидная минерализация рудного поля Райгородок (Северный Казахстан) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2014, № 3с, ч. 1, с. 72—75.
- Карта рудоносных и нефтегазоносных полей Казахской ССР и прилегающих территорий Союзных республик. М-б 1:500 000** / Под ред. А.А. Абдулина, В.Ф. Беспалова, В.М. Волкова, И.И. Никитченко, С.Е. Чакабаева, М.А. Чимбулатова. Алма-Ата, АН КазССР, 1982.
- Летников Ф.А., Котов А.Б., Сальникова Е. Б., Шершакова М.М., Шершаков А.В., Яковлева С.З., Анисимова И.В., Федосеенко А.М.** О возрасте Степнякского массива и связанного с ним оруденения (Северный Казахстан) // Докл. РАН, 2008, т. 422, № 5, с. 652—654.
- Летников Ф.А., Котов А.Б., Дегтярев К.Е., Сальникова Е.Б., Левченков О.А., Шершакова М.М., Шершаков А.В., Ризванова Н.Г., Макеев А.Ф., Толкачев М.Д.** Позднеордовикские гранитоиды Северного Казахстана: U-Pb-возраст и тектоническое положение // Докл. РАН, 2009а, № 2, с. 222—226.
- Летников Ф.А., Котов А.Б., Дегтярев К.Е., Левченков О.А., Шершакова М.М., Шершаков А.В., Ризванова Н.Г., Макеев А.Ф., Толкачев М.Д.** Силурийские граниты Северного Казахстана: U-Pb возраст и тектоническая позиция // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2009б, т. 17, № 3, с. 46—54.
- Магматизм Северного Казахстана.** Алма-Ата, Наука, 1988, 166 с.
- Мауленов А.М.** Природа и прогнозно-поисковые критерии золотого оруденения Северного Казахстана (в контексте общетеоретических и методологических проблем геологии): Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Алма-Ата, ИГН АН КазССР, 1991.
- Металлогения Казахстана.** Рудные формации. Месторождения руд золота. Алма-Ата, Наука, 1980, 224 с.
- Поцелуев А.А., Перегудов В.В., Бабкин Д.И., Ананьев Ю.С.** Золото в рудах редкометалльного месторождения Сырымбет (Северный Казахстан) // Изв. Томс. политех. ун-та, 2012, т. 321, № 1, с. 41—45.
- Рафаилович М.С.** Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. Алматы, Наука, 2009, 304 с.
- Рафаилович М.С., Лось В.Л.** Васильковское штокверковое месторождение золота: геологическая и структурная позиция, прогнозно-поисковая модель // Руды и металлы, 2007, № 4, с. 26—36.
- Рафаилович М.С., Нусипов Е., Закишев Б.М.** Золото недр Казахстана: настоящее и будущее (некоторые геологические аспекты) // Геология и разведка недр Казахстана, 1998, № 1, с. 2—9.
- Спиридонов Э.М.** Минералогия скарнового месторождения меди Ичкеульмес (Северный Казахстан) // Новые данные о минералах. М., Наука, 1982, с. 208—226.
- Спиридонов Э.М.** Инверсионная золото-кварцевая формация каледонид Северного Казахстана // Геология рудных месторождений, 1995, № 3, с. 179—207.
- Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Гапеев А.К.** Минеральные ассоциации золото-теллуридного месторождения Жана-Тюбе (Северный Казахстан) // Геология рудных месторождений, 1974, № 1, с. 54—65.
- Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Чвилева Т.Н., Шумакова Н.Г.** Теллурувисмутиты и тетрадимиты Северного Казахстана // Новые данные о минералах СССР. М., Наука, 1978, с. 120—139.
- Сухорукова Е.И., Усатюк Н.В.** Золотоносные коры выветривания Райгородокского рудного поля // Россыпи и месторождения кор выветривания / Материалы XIV Международного совещания. Новосибирск, Изд-во ООО «Апельсин», 2010, с. 649—651.
- Травин А.В.** Термохронология раннепалеозойских коллизионных и субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (3), с. 553—574.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Кременецкий А.А., Краснобаев А.А., Бородин Н.С., Зинькова Е.А., Прибавкин С.В.** Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции // Геология рудных месторождений, 2010, т. 52, № 1, с. 65—84.
- Фогельман Н.А., Константинов М.М., Курбанов Н.К.** Принципы систематики золоторудных месторождений для прогноза и поисков // Отечественная геология, 1995, № 3, с. 31—41.
- Хоменко М.О., Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Рябуха М.А., Семенова Д.В.** Физико-химические параметры и возраст формирования Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан) // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (12), с. 2192—2217.

Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Основные геолого-генетические типы коренных месторождений золота Забайкалья и Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология, 2011, т. 30, № 1, с. 70—96.

Шатагин К.Н., Дегтярев К.Е., Голубев В.Н., Астраханцев О.В., Кузнецов Н.Б. Вертикальная и латеральная неоднородность коры Северного Казахстана: данные геохронологического и изотопно-геохимического изучения палеозойских гранитоидов // Геотектоника, 2001, № 5, с. 26—44.

Щерба Г.Н. К систематике месторождений золота Казахстана // Геология и разведка недр Казахстана, 1995, № 5, с. 7—15.

Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., Andersen T., Plavsa D., Izmer A., Vanhaecke F., De Grave J. Formation of the Kokchetav subduction-collision zone (northern Kazakhstan): Insights from zircon U-Pb and Lu-Hf isotope systematics // Gondwana Res., 2015, v. 27, p. 424—438.

Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia // Gondwana Res., 2014, v. 25, № 1, p. 48—102.

Lang J.R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Miner. Deposita, 2001, v. 36, p. 477—489.

Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, Northern New South Wales, Australia // Miner. Deposita, 2001, v. 36, p. 542—562.

Rowins S.M., Groves D.I., McNaughton N.J., Palmer M.R., Eldridge C.S. A reinterpretation or the role of granitoids in the genesis of Neoproterozoic gold mineralization in the Telfer Dome, Western Australia // Econ. Geol., 1997, v. 92, № 2, p. 133—160.

Schindler C., Hagemann S.G., Banks D., Banks D., Mernagh T., Harris A.C. Magmatic hydrothermal fluids at the sedimentary rock-hosted, intrusion-related Telfer gold-copper deposit, Paterson Orogen, Western Australia: pressure-temperature-composition constraints of the ore-forming fluids // Econ. Geol., 2016, v. 111, p. 1099—1126.

*Рекомендована к печати 18 декабря 2017 г.
Н.Н. Круком*

*Поступила в редакцию 28 сентября 2017 г.,
после доработки — 21 ноября 2017 г.*