

ЭКЗОТИЧЕСКИЕ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ РУДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ТРАППОВЫХ ИНТРУЗИЯХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.В. Рябов

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т. Коптюга, 3, Россия

В габбродолеритах интрузий Курейско-Горбиачинского вулканоплутона обнаружены скопления различных по составу минеральных фаз, количество которых на одном локальном участке породы достигает 50–60 и более зерен (различные сочетания Pt, Pd, Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe, Bi, Pb, Zn, Sn, As, Sb, S, Ge). Минеральные фазы этих скоплений представляют классы и группы минералов, известных в рудах норильских месторождений, а также первые находки необычных по составу минералов и их разновидностей в природе. Предполагается, что ведущую роль в образовании полиминеральных скоплений сыграли углеводородные флюиды. Они экстрагировали металлы из толеит-базальтового расплава, создавали летучие гетерометалльные элементоорганические соединения, мигрировали в расплаве и на геохимических барьерах диссоциировали с образованием различных по составу минеральных фаз. Источником минералообразующих химических элементов были пласты каменного угля и базальтовый расплав.

платиновые месторождения. Сибирская платформа, трапповые интрузии, минералогия

EXOTIC POLYMINERAL ORE SHOOTS IN THE TRAPPEAN INTRUSIONS OF THE SIBERIAN PLATFORM

V.V. Ryabov

In gabbro-doleritic intrusions of the Kureika-Gorbiachinsky volcano-pluton clusters of minerals different in compositions, the number of which in one local rock site is 50-60 and more grains, are found. They represent various combinations of Pt, Pd, Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe, Bi, Pb, Zn, Sn, As, Sb, S, and Ge. Mineral phases of these clusters are classes and groups of minerals known in the Norilsk ore deposits, as well as first findings of minerals having unusual composition and their varieties in traps and nature. It is assumed that the leading role in the formation of polymineral clusters was played by hydrocarbon fluids. They extracted metals from tholeiite-basaltic melt creating volatile heterometal-organoelemental compounds, migrated in the melt, and at geochemical barriers they dissociated forming mineral phases different in composition. The source of the mineral-forming chemical elements was coal beds and basaltic melt.

platinum deposit, Siberian platform, trappean intrusion, mineralogy

Скопления различных по составу минералов в небольшом объеме породы или руды представляют научный и практический интерес. Судя по опубликованным данным, такие скопления, создающие в рудных полях минералого-геохимические аномалии, существуют на многих месторождениях. Однако сведения о локальных скоплениях необычных по составу рудных минералов обычно теряются в общей минералогической характеристике руд того или иного месторождения, а сами скопления рассматриваются как минералогическая экзотика, происхождение которой специально не обсуждается. Данные о количестве разновидностей минералов в одном аншлифе или срезе образца руды или породы в публикациях обычно не сообщаются, поскольку считаются не заслуживающими особого

внимания, хотя некоторые сведения о скоплениях минералов встретить можно. Например, в рифе J-M Стиллуотера в аншлифе на площади 5 мм² наблюдалось около 160 зерен платиновых минералов, которые представляли 14 минеральных видов [9].

Большое разнообразие рудных минералов обычно отмечается в крупных месторождениях и месторождениях-гигантах (Бушвельд, Стиллуотер, Великая дайка, Садбери и др.). На Сибирской платформе крупнейшим вместилищем разнообразных по составу рудных минералов являются Pt-Cu-Ni сульфидные и Pt-малосульфидные месторождения норильского типа [3, 6].

Pt-Cu-Ni сульфидные месторождения норильского типа, по данным разных авторов, по состоянию на 1999 г. содержали 120 рудных минералов, 10 из них – главные рудообразующие, 50 – второстепенные и редкие, 60 – минералы благородных металлов [3]. Сейчас количество новых рудных минералов и разновидностей возросло. Считается, что в Pt-Cu-Ni сульфидных рудах все минералы, в том числе платиновые, тесно связаны с сульфидным расплавом. В процессе дифференциации рудной магмы тугоплавкие и легкоплавкие платиновые металлы по принципу химического сродства распределялись между пирротиновой и халькопиритовой жидкостями, а при их кристаллизации в виде твердых растворов накапливались в сульфидах. На поздних стадиях магматогенного процесса формировался остаточный рудоносный флюид, из которого кристаллизовались редкие, второстепенные и собственные платиновые минералы. Сведения о природе рудоносных флюидов в публикациях крайне ограничены. Отмечается только, что в остаточных флюидах концентрировались Pt, Pd, Cu, Ni, Co, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Te, Ag, Au, S, а в составе летучих находились водно-углекислая с кислыми газами, галлоидно-водородная и сероводородная составляющие [3].

Pt-малосульфидные руды в норильских интрузиях характеризуются большим разнообразием минерального состава, который создают Cu, Ni, Co, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Te, S [6]. ЭПГ находятся в рудах в виде собственных минералов, а также твердых растворов в сульфидах, сульфоарсенидах и арсенидах. В рудах установлено около 60 минеральных видов и разновидностей, в том числе 30 платиновых минералов. В Pt-малосульфидных рудах присутствуют все классы платиновых минералов, характерные для Pt-Cu-Ni-сульфидных руд. Платиновые минералы обычно образуют мономинеральные выделения, нередко зональные кристаллы, сростки двух, трех и более минералов. Предполагается, что минералы Pt-малосульфидных руд образовались из остаточного флюида, вовлеченного в «процесс флюидно-магматической конвекции при поздней консолидации норильских интрузий» [6].

Pt-Fe-металльные руды приурочены к желвакам самородного железа в габбро-долеритах трапповых интрузий джалтул-хунгтукунского типа. В рудах установлено около 20 рудных минералов, из них главными являются три минеральных вида Ni-Co-Fe, Fe₃C и Cu, остальные второстепенные и редкие [4]. Главные рудообразующие металлы – Fe, Ni, Co, Cu, Pt, Pd. Платиновые металлы в этих рудах собственных минералов обычно не образуют, а

представляют твердые растворы в самородном Ni-Co-Fe. Предполагается, что эти руды сформировались при участии углеводородных флюидов [8].

Минералого-геохимические (полиминеральные) аномалии обнаружены в габбродолеритах интрузий Джалтул-Южный и г. Озерной Курейско-Горбиачинского вулcano-плутона. Полиминеральные аномалии образуют небольшие локальные участки, в которых установлено более 100 различных по составу минералов [5, 7]. Размер зерен изученных рудных фаз варьирует от 3–15 до 60 мкм, реже более. В габбродолеритах они находятся в интерстициях породообразующих минералов, по трещинам в них и в виде включений в силикатах. Аномальные образования и желваки самородного железа в габбродолеритах интрузий пространственно разобщены, но имеют, по-видимому, парагенетическую связь.

В таблице 1 приведен состав минералов и минеральных фаз двух типов минералого-геохимических аномалий изученных в аншлифах: одно – на площади 2 см² (аномалия Джалтул-Южный), другое – в срезе пластики площадью около 15 см² (аномалия г. Озерной). Анализы рудных фаз были получены на сканирующем электронном микроскопе LEO 143 OVP, крупные зерна дополнительно были проанализированы на микрозонде JEOL JXA-8100. Результаты анализов были получены на разных приборах и показали хорошую сходимость. Для выяснения однородности и стабильности состава для некоторых крупных зерен проводилось повторное определение состава в разных частях зерен. В формуле минералов учтены все основные элементы, обнаруженные в их составе. На первое место помещен главный элемент, затем второстепенные по мере уменьшения их содержания. В аномалиях сосуществуют минералы, состав которых соответствует стехиометрии известных минералов и их разновидностей (даны названия и формулы), а также экзотические минеральные фазы, которые в природе встречаются редко или обнаружены впервые. Формулы приведены для минералов без названия и для недостаточно изученных минеральных фаз.

Как следует из таблицы, минеральные фазы представлены самородными минералами, интерметаллидами, сульфидами, арсенидами, стибнидами, станнидами, висмутидами, германатами, сульфогерманатами и оксидами. Они представляют различные комбинации широкого спектра химических элементов (Pt, Pd, Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe, Bi, Pb, Zn, Sn, As, Sb, S, Ge). В составе минералов содержание элементов в катионной и анионной группах минералов широко варьирует. Это можно видеть в таблице по положению элемента внутри скобок формулы.

Основные положения механизма образования полиминеральных аномалий являются следующие:

1) разнообразие минералов в Pt-месторождениях и полиминеральных аномалиях в траппах создает один и тот же комплекс химических элементов, среди которых Pt, Pd, Au, Ag, Cu, Ni, Co, Sn, Pb, As, Sb, Bi, S;

2) реальным источником железа, цветных и благородных металлов была базальтовая магма;

Таблица 1. Фазовый состав рудно-геохимических аномалий в габбро-долеритах интрузий Курейско-Горбиачинского вулканоплутона

<i>Аномалия интрузии Джалтул-Южный</i>	<i>Аномалия интрузии горы Озерной</i>	
<p>Аваруит Ni₉₀Fe₁₀ Тэнит Ni₆₉Fe₃₁ Ге-тэнит Ni₄₉Fe₄₂Co₈Ge₁ Камасит Ni₇Fe₉₃ Феррит Fe₁₀₀ Уайрауит Co₅₀Ni₃₀Fe₂₀ Ni-уайрауит Co(Ni_{0,6}Fe_{0,4}) Медь Cu Графит C Когенит Fe₃C Хизлевудит Ni₃S₂ Пентландит (Fe,Ni)₉S₈ Со-пентландит Co₉S₈ Халькопирит CuFeS₂ Борнит Cu₅FeS₄ Халькозин Cu₂S Кубанит CuFe₂S₃ Сфалерит ZnS Галенит PbS Молибденит MoS₂ Троилит FeS (Ni_{4,4}Fe_{0,3}Cu_{0,3})₅(Ge_{0,9}S_{1,1})₂ Орселит Ni_{5-x}As₂ Pd-Орселит (Pd,Ni)_{5-x}As₂ Sb-Орселит (Sb,Ni)_{5-x}As₂ Маухерит Ni₁₁As₈ Брейтгауптит NiSb Pd-брейтгауптит (Pd,Ni)Sb Pt-брейтгауптит (Pt,Ni)Sb Садбериит PdSb (Pd,Ni)₂Sb Pd₂Cu(Sn,Sb) - Pd₂Cu(Sb, Sn) (Pd,Cu,Ni)₂(Sb,Bi) Фрудит PdBi₂ Соболевскит PdBi Аурикуприд Cu₂Au Тетрааурикуприд AuCu Армалколит(Mg,Fe²⁺)(Ti,V)₂O₅ Ильменит FeTi₂O₃ Рутил TiO₂ Циркон ZrSiO₄ Цирконоторит (Zr, Th)SiO₄ Бадделиит ZrO₂ Au-Hf-бадделиит (Zr,Au,Hf)O₂ Тв. растворы с комбинациями Au, Ag, Pt, Pd, Ni, Cu, Co, Fe, Sn, Bi, Pb, Zn, As, Sb, Mo</p>	<p>Аваруит Ni₇₃Fe₂₇ Тэнит Fe₆₆Ni₃₁Co₃ Со-тэнит Ni₄₁Co₃₅Fe₂₄ Камасит Fe₉₃Ni₇ Феррит Fe₁₀₀ Кобальт Co₈₁Ni₁₀Fe₉ Ni_{0,41}Co_{0,38}Fe_{0,21} Ферросилиций Fe₃₅₋₃₁Si₆₅₋₆₉ Серебро Ag₉₈Fe₂ Графит C Пентландит (Ni,Fe,Co)₉S₈ Со-пентландит (Co,Ni,Fe)₉S₈ Co₉S₈ Хизлевудит Ni₃S₂ Халькопирит CuFeS₂ Борнит Cu₅FeS₄ Халькозин Cu₂S Кубанит CuFe₂S₃ Cu₉Fe₆S₁₃ Fe_{0,8}Cu_{0,2}S Троилит FeS Аргентит Ag₂S Ni₂Ge (Ge 37,21 мас.%) (Ni,Fe,Co)₂Ge (Ni,Fe,Co,Mg)₂Ge (Ni,Fe,Co)₂(Ge,Sb) (Ni,Fe,Co)₂(Ge,Sb,S) (Ni,Fe)₂(As,Ge) (Ni,Fe)₂(As,Ge,S) (Ni,Fe)₂(As,Ge,Sb) (Ni,Fe)₂(As,Ge,Sb,S) (Ni,Fe,Co)₂(S,As,Ge) (Ni,Fe)₂(As,Ge,S) (Ni,Fe)₂(As,Ge,Sb) (Ni,Fe)₂(As,Ge,Sb,S) (Ni,Fe,Co)₂(S,As,Ge)</p>	<p>(Ni,Fe,Co)₂(S,Ge) (Ni,Fe)₂(S,Sn,Ge) (Ni,Pd,Cu,Fe,Co)₂(S,Sn,Ge) Fe₂GeO₄ (GeO 41,41 мас.%) (Fe,Mg,Ni,Cu,Co)₂GeO₄ Ниснит (Ni,Fe)₃Sn (Ni,Fe)₃(Sn,S) (Ni,Fe,Cu)₂(S,Sn) (Ni,Fe,Co)₂(S,Sn) (Ni,Pd,Fe,Co)₂(S,Sn) (Pd,Ni,Fe,Co)₂(S,Sn) (Pd,Fe,Cu)(S,Sn) (Pd,Cu,Fe,Ni)₃(S,Sn) (Ni,Fe)_{1,5}(S,Bi,As,Sb) (Fe,Ni,Pd,Pt,Co)(S,Sb,Bi) (Pd,Ni,Fe,Au)_{2,5}(As,Sb) Орселит (Ni,Fe)₂As (Ni,Fe)₃As (Fe,Ni,Co)₃(Pt,Pd,Bi)(S,Sb)₄ (Ni,Fe)₆Bi₂(S,As,Sb)₃ Вюстит FeO Герцинит FeAl₂O₄ Ильменит FeTi₂O₃ Циркон ZrSiO₄ Демидовскит – Ca₁₈Fe₁₅AlSi₄O₄₇Cl₆</p>

3) ассоциация самородных металлов, интерметаллидов и графита свидетельствует об участии в минералообразовании углеводородных флюидов;

4) парагенезис разнообразных по составу рудных минералов в полиминеральных аномалиях свидетельствует о многокомпонентном составе флюидов;

5) проявления германиевых и германийсодержащих минеральных фаз позволяют предполагать участие в рудообразовании углеводородов угольных пластов – основных носителей германия;

6) вполне вероятным источником As, Sb, Sn, Bi, Ge, S могли быть каменные угли.

Можно предполагать, что ведущую роль при формировании рудно-геохимических аномалий и, возможно, второстепенных, редких и платиновых минералов в рудах норильских месторождений сыграли углеводороды. Известно, что все химические элементы за исключением инертных газов способны создавать связи с углеводородными радикалами. Наиболее часто химические элементы образуют элементоорганические соединения (ЭОС) с алкильными или арильными радикалами [1]. Они образуют алкил(арил)силаны, алкил(арил)галогенсиланы, трибутилфосфаты и др., а также тесно примыкающие к ним близкие по строению неорганические соединения типа силанов (гидридов кремния), галогенсиланов. ЭОС могут иметь как простой (например, тетраметилплатина $(\text{CH}_3)_4\text{Pt}$ или карбонилы никеля и железа $\text{Ni}(\text{CO})_4$ и $\text{Fe}(\text{CO})_5$), так и достаточно сложный гетерометалльный состав, в том числе с присутствием сразу двух углеводородных лиганд в сочетании с карбонильными группами и участием галогенов, фосфора, серы, азота и других элементов.

В минералого-геохимических аномалиях и в рудах норильского типа находятся минералы с участием As, Sb, Bi, Sn, Ge – оргонофильных и углефильных элементов. Они образуют различные ЭОС с близкими физико-химическими свойствами, среди которых известны соединения с участием группировок типа Ge–S–Ge, Sn–S–Sn и др. Например, гексаалкилдигермтианы $\text{R}_3\text{GeSGeR}_3$, гексаалкилдистанттианы $\text{R}_3\text{SnSSnR}_3$ (R – метил, этил, пропил) [2]. Существование различных типов группировок в ЭОС, в том числе указанных выше, дало нам основание при расчете формул объединить в одну анионную группу такие элементы, как Ge, As, Sb, Bi, S и Sn.

ЭОС характеризуются высокой реакционной активностью, температурной устойчивостью и миграционной способностью в виде летучих соединений в восстановительной обстановке в широком диапазоне температур и давлений. Летучие соединения, как правило, имеют минимальную склонность к взаимодействию между собой и с молекулами других соединений. Это свойство позволяет сохранять им свою индивидуальность в потоке многокомпонентных флюидов, а при диссоциации создавать сложные по составу химические соединения (минеральные фазы). Перенос и отложение металлов может осуществляться несколькими летучими ЭОС этих металлов, а также при участии одного гетерометалльного органического соединения. Разложение ЭОС происходит при понижении температуры и/или давления, в результате повышения окислительного потенциала или при изменении кислотности-щелочности среды.

Таким образом, можно предполагать, что в природных условиях формирование экзотических полиминеральных аномалий происходило в результате диссоциации сложных по составу металлоорганических соединений. Это предопределило совместное нахождение в локальных участках породы широкого спектра различных по составу минеральных фаз (соединений).

ЛИТЕРАТУРА

1. Буслаева Е.Ю., Новгородова М.И. Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества. М.: Наука, 1989. 152 с.
2. Воронков М.Г., Абзаева К.А., Федорин А.Ю. Генезис и эволюция химии органических соединений германия, олова и свинца / Отв. ред. Б.А. Трофимов. Новосибирск: Акад изд-во «Гео», 2001. 214 с.
3. Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л. и др. Петрология сульфидного магматического рудообразования. М.: Наука, 1988. 232с.
4. Олейников Б.В., Округин А.В., Томшин М.Д. и др. Самородное металлообразование в платформенных базитах. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 188 с.
5. Рябов В.В., Лапковский А.А. Уникальная полиминеральная ассоциация кобальт-никелевых и благороднометалльных фаз в габбродолеритах траппового массива Джалтул (Сибирская платформа) // Докл. РАН, 2010. Т. 434. № 4. С. 522–526.
6. Служеникин С.Ф., Дистлер В.В., Дюжиков О.А. и др.. Малосульфидное платиновое оруденение в Норильских дифференцированных интрузивах // Геология рудных месторождений, 1994. Т. 36. № 3. С. 195–217.
7. Ryabov V.V., Agafonov L.V. Ge and Ge-bearing mineral phases in gabbrodolerites of Mt. Ozernaya trap intrusion (Siberian platform) [Electronic resource] /www.minersoc.org DOI:10.1180/minmag. – 2013.077.5.18.
8. Ryabov V.V., Lapkovsky A.A. Native iron(-platinum) ores from the Siberian Platform trap intrusions // Australian Journal of Earth Sciences, 2010. V. 57. P. 707–730.
9. Zientek M.L., Oscarson R.L. Textural association of platinum-group minerals from the J-M Reef, Stillwater Complex, Montana // US Geol. Surv. Circ., 1987. № 995. P. 75.