



ЭКЗОТИЧЕСКИЕ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ РУДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ В ТРАППОВЫХ ИНТРУЗИЯХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В. В. Рябов

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.

Ключевые слова: 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.

Keywords: 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, 5].

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 [5]. 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 пирротинной и халькопиритовой жидкостями, а при их кристаллизации в виде твердых растворов накапливались в сульфидах. На поздних стадиях магмогенного процесса формировался остаточный рудоносный флюид, из которого кристаллизовались редкие, второстепенные и собствен-



ные 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, галоидно-водородная и сероводородная составляющие [5].

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 [3]. 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» [3].

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 [5]. 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 габбро-долеритах интрузий Джалтул-Южный и г. Озерной Курейско-Горбиачинского вулканоплутона. Полиминеральные аномалии образуют небольшие локальные участки, в которых установлено более 100 различных по составу минералов [4, 7]. Размер зерен изученных рудных фаз варьирует от 3–15 до 60 мкм, реже более. В габбро-долеритах они находятся в интерстициях породообразующих минералов, по трещинам в них и в виде включений в силикатах. Аномальные образования и желваки самородного железа в габбро-долеритах интрузий пространственно разобщены, но имеют, по-видимому, парагенетическую связь.

В таблице приведен состав минералов и минеральных фаз двух типов минералого-геохимических аномалий, изученных в аншлифах: один – на площади 2 см² (аномалия Джалтул-Южный), другой – 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.

Основными положениями 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;

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



Фазовый состав рудно-геохимических аномалий в габбродолеритах интрузий Курейско-Горбиачинского вулканоплутона

Аномалия интрузии Джалтул-Южный	Аномалия интрузии горы Озерной	
Аваруит $Ni_{90}Fe_{10}$	Аваруит $Ni_{73}Fe_{27}$	$(Ni,Fe,Co)_2(S,Ge)$
Тэнит $Ni_{69}Fe_{31}$	Тэнит $Fe_{66}Ni_{31}Co_3$	$(Ni,Fe)_2(S,Sn,Ge)$
Ге-тэнит $Ni_{49}Fe_{42}Co_8Ge_1$	Со-тэнит $Ni_{41}Co_{35}Fe_{24}$	$(Ni,Pd,Cu,Fe,Co)_2(S,Sn,Ge)$
Камасит Ni_7Fe_{93}	Камасит $Fe_{93}Ni_7$	Fe_2GeO_4 (GeO 41,41 мас.%)
Феррит Fe_{100}	Феррит Fe_{100}	$(Fe,Mg,Ni,Cu,Co)_2GeO_4$
Уайрауит $Co_{50}Ni_{30}Fe_{20}$	Кобальт $Co_{81}Ni_{10}Fe_9$	Ниснит $(Ni,Fe)_3Sn$
Ni-уайрауит $Co(Ni_{0,6}Fe_{0,4})$	$Ni_{0,41}Co_{0,38}Fe_{0,21}$	$(Ni,Fe)_3(Sn,S)$
Медь Cu	Ферросилиций $Fe_{35-31}Si_{65-69}$	$(Ni,Fe,Cu)_2(S,Sn)$
Графит C	Серебро $Ag_{98}Fe_2$	$(Ni,Fe,Co)_2(S,Sn)$
Когенит Fe_3C	Графит C	$(Ni,Pd,Fe,Co)_2(S,Sn)$
Хизлевудит Ni_3S_2	Пентландит $(Ni,Fe,Co)_9S_8$	$(Pd,Ni,Fe,Co)_2(S,Sn)$
Пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$	Со-пентландит $(Co,Ni,Fe)_9S_8$	$(Pd,Fe,Cu)(S,Sn)$
Со-пентландит Co_9S_8	Co_9S_8	$(Pd,Cu,Fe,Ni)_3(S,Sn)$
Халькопирит $CuFeS_2$	Хизлевудит Ni_3S_2	$(Ni,Fe)_{1,5}(S,Bi,As,Sb)$
Борнит Cu_5FeS_4	Халькопирит $CuFeS_2$	$(Fe,Ni,Pd,Pt,Co)(S,Sb,Bi)$
Халькозин Cu_2S	Борнит Cu_5FeS_4	$(Pd,Ni,Fe,Au)_{2,5}(As,Sb)$
Кубанит $CuFe_2S_3$	Халькозин Cu_2S	Орселит $(Ni,Fe)_2As$
Сфалерит ZnS	Кубанит $CuFe_2S_3$	$(Ni,Fe)_3As$
Галенит PbS	$Cu_9Fe_6S_{13}$	$(Fe,Ni,Co)_3(Pt,Pd,Bi)(S,Sb)_4$
Молибденит MoS_2	$Fe_{0,8}Cu_{0,2}S$	$(Ni,Fe)_6Bi_2(S,As,Sb)_3$
Троилит FeS	Троилит FeS	Вюстит FeO
$(Ni_{4,4}Fe_{0,3}Cu_{0,3/5})(Ge_{0,9}S_{1,1})_2$	Аргентит Ag_3S	Герцинит $FeAl_2O_4$
Орселит $Ni_{5-x}As_2$	Ni_2Ge (Ge 37,21 мас.%)	Ильменит $FeTi_2O_3$
Pd-Орселит $(Pd,Ni)_{5-x}As_2$	$(Ni,Fe,Co)_2Ge$	Циркон $ZrSiO_4$
Sb-Орселит $(Sb,Ni)_{5-x}As_2$	$(Ni,Fe,Co,Mg)_2Ge$	Демидовскит $Ca_{18}Fe_{15}AlSi_4O_{47}Cl_6$
Маухерит $Ni_{11}As_8$	$(Ni,Fe,Co)_2(Ge,Sb)$	
Брейтгауптит $NiSb$	$(Ni,Fe,Co)_2(Ge,Sb,S)$	
Pd-брейтгауптит $(Pd,Ni)Sb$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge)$	
Pt-брейтгауптит $(Pt,Ni)Sb$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,S)$	
Садбериит $PdSb$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,Sb)$	
$(Pd,Ni)_2Sb$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,Sb,S)$	
$Pd_2Cu(Sn,Sb) - Pd_2Cu(Sb, Sn)$	$(Ni,Fe,Co)_2(S,As,Ge)$	
$(Pd,Cu,Ni)_2(Sb,Bi)$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,S)$	
Фрудит $PdBi_2$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,Sb)$	
Соболевскит $PdBi$	$(Ni,Fe)_2(As,Ge,Sb,S)$	
Аурикуприд Cu_2Au	$(Ni,Fe,Co)_2(S,As,Ge)$	
Тетрааурикуприд $AuCu$		
Армалколит $(Mg,Fe^{2+})(Ti,V)_2O_5$		
Ильменит $FeTi_2O_3$		
Рутил TiO_2		
Циркон $ZrSiO_4$		
Цирконоторит $(Zr, Th)SiO_4$		
Бадделиит ZrO_2		
Au-Hf-бадделиит $(Zr,Au,Hf)O_2$		
Твердые растворы с комбинациями Au, Ag, Pt, Pd, Ni, Cu, Co, Fe, Sn, Bi, Pb, Zn, As, Sb, Mo		

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, тетраметил-

платина $(CH_3)_4Pt$ или карбонилы никеля и железа $Ni(CO)_4$ и $Fe(CO)_5$), 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 – органофильных 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 $R_3GeS-GeR_3$, гексаалкилдистантаны $R_3SnSSnR_3$ (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 им сохранять 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 металлорганических соединений. Это предопределило совместное нахождение в локальных участках породы широкого спектра различных по составу минеральных фаз (соединений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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