

**ЭЛЕМЕНТЫ-СПУТНИКИ, ГЕНЕТИЧЕСКИ РОДСТВЕННЫЕ БЛАГОРОДНЫМ
МЕТАЛЛАМ, И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
РУДНЫХ ЗОН И ПОЯСОВ**

*С.С. Зимин *, В.П. Молчанов*, В.Е. Тупяков**, П.Г. Коростелев**

**Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

***Забайкальский комплексный научно-исследовательский институт, г. Чита*

В работе показано, что использование элементов-спутников, генетически родственных благородным металлам, при геохимических исследованиях может повысить их результативность в прогнозной оценке минеральных ресурсов различных геологических структур.

Ключевые слова: золото, платиноиды, интерметаллиды, генетически-родственные элементы-спутники, геохимические исследования.

К благородным металлам, как известно, большей частью относятся такие химические элементы, как золото, иридий, платина, палладий, родий, рутений и осмий. Многочисленные исследования показывают, что в металлическом состоянии перечисленные элементы, особенно золото, бывают лишь в условиях окислительной обстановки как в экспериментальных, так и в природных условиях. В последнем случае они характерны, главным образом, для верхних частей земной коры. Здесь эти металлы, в первую очередь золото, являются свободными, но лишь относительно, поскольку образуют сонахождения или парагенезисы элементов, возникшие при разложении интерметаллических и других химических соединений, характерных для восстановительных условий глубинных зон земной коры и верхней мантии. Что касается элементов платиновой группы (ЭПГ), то их интерметаллиды хорошо сохраняются благодаря восстановительной обстановке, создающейся вследствие активизации графитоносного кристаллического фундамента под влиянием разогрева более поздними интрузиями гранитоидов.

По составу парагенезисы элементов бывают простыми и сложными. Простые соединения более характерны для синтеза интерметаллидов в восстановительной обстановке эксперимента. Природные их представители чаще всего являются сложными. Количество соединений у благородных

элементов неодинаково. Так, у золота с платиной имеется лишь одно соединение AuPt [5]. С фосфором у золота также лишь одно простое соединение Au_3P_3 . В разьединенном виде фосфор входит в состав апатита, который в результате метасоматических процессов иногда находится в парагенезисе с самородным золотом. Именно в такой минеральной форме фосфор присутствует в руде нижних горизонтов Многовершинного золоторудного месторождения Дальнего Востока [13]. С медью золото образует уже три простых соединения (Au_3Cu , $AuCu$, $AuCu_3$), которые наблюдаются и в природе, в частности, в массивах гипербазитов. С редкоземельными металлами, например с иттербием, золото образует восемь следующих соединений: Yb_7Au_3 , Yb_2Au , Yb_5Au_3 , Yb_5Au_4 , $YbAu$, $YbAu_2$, $YbAu_3$, $YbAu_4$ [5]. Интерметаллические соединения ЭПГ зачастую также бывают весьма сложными по составу [7, 8, 31]: 1) $(Pd_{0.88}Pt_{0.10}Cu_{0.20}Ni_{0.020})_{3.15}(Sn_{0.95}Pd_{0.95})$; 2) $(Pd, Pt, Bi, Te)_2$. Бывают и более сложные по составу соединения ЭПГ. Они могут возникать в восстановительных условиях, характерных для мантийных процессов. Близкая обстановка может создаваться при гидротермально-метасоматических процессах, происходящих в черносланцевых толщах, либо в базит-ультрабазитах под влиянием активизации их графитоносного фундамента в случае воздействия на него гранитоидов и их производных разного состава и формы проявле-

ния. Поэтому в них лучше сохраняются первичные соединения благородных элементов, образованные изначально в восстановительных условиях. Это явление типично для гипербазитовых массивов независимо от того, расположены ли они на Южном Урале, либо на Дальнем Востоке.

К настоящему времени нами собраны сведения [1–11, 14–17, 19, 21, 22, 25, 27, 29, 31, 32] о 709 интерметаллических соединениях с участием вышеупомянутых семи благородных элементов. При этом на долю золота приходится 170 соединений, на иридий – 120, платину – 140, палладий – 125, родий – 86, рутений – 38, осмий – 30. Меньшие количества химических соединений у рутения и осмия, по сравнению с другими ЭПГ, вероятно, связаны с особенностями гексагональной структуры, более плотной по сравнению с кубической у твердых растворов платиновых металлов [31]. Большая часть этих соединений получена экспериментальным путем. Но это, как нам кажется, не так уж плохо вследствие того, что самым лучшим экспериментатором является природа, у которой для этого имеется больше возможностей.

По отношению к структурам твердых растворов благородных элементов, мы располагаем сведениями лишь для трети от их общего количества. Наблюдается, в частности, такая картина. Из 237 соединений благородных металлов с редкоземельными элементами кубическую структуру имеют 116 соединений, гексагональную – 43, ромбическую – 69, тетрагональную – 6, моноклин-

ную – 3 [23, 24, 26]. Такой расклад по структурам интерметаллических соединений благородных элементов, полученным большей частью экспериментально, весьма близок имеющемуся среди природных аналогов [25]. Если учесть, что в приведенной выборке к золоту имеют отношение 36 ромбических соединений, то доля кубических соединений среди одних платиноидов будет более высокой и составит уже не 44,3 %, как в первом случае, а 57,7 %. Кадастр элементов-спутников благородных металлов приведен в таблице. При этом учитывались не просто элементы-спутники, в понимании [9], а генетически родственные элементы-спутники, возникшие при разложении их интерметаллических соединений под влиянием тектонических, метасоматических и гидротермальных процессов с последующим выносом в верхние горизонты земной коры.

Вопрос о выявлении генетически родственных элементов-спутников в рудных месторождениях, металлогенических зонах и поясах не всегда прост и не во всех случаях может быть разрешен удовлетворительно. В таких условиях необходимо исходить прежде всего из конкретной геологической обстановки. Так, в пределах массивов базитов или гипербазитов этот вопрос может быть успешно решен при наличии значительного количества спектральных и химических определений благородных металлов и их элементов-спутников. Труднее будет выполнить это в офиолитовом поясе на площадях между массивами ма-

Таблица. Классификация генетически родственных элементов-спутников благородных металлов.

Благородные металлы	Элементы-спутники
Золото	Li, B, Na, Al, Mg, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, Re, Sr, Y, Zr, Nb, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Pm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, Pt, Hg, Pb, Bi, Th, U, Np, Pu
Иридий	Be, B ₂ , Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Sn, Sb, Te, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, W, Re, Os, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ra, Th
Платина	Be, B ₂ , Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Fe, Cr, Mn, Ni, Ga, Ge, As, Y, Zr, Pd, In, Sn, Sb, Te, La, Ce, Pr, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, W, Tl, Au, Bi, Th, Pu
Палладий	H, Be, B ₃ , Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cu, Fe, Ni, Ga, Ge, As, Sr, Zr, In, Sn, Sb, Te, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, Pt, Au, Bi, Th, U, Pu, Pb
Родий	H, Be, B ₃ , Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Ge, Se, Y, Ru, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta, W, Ir, Bi, Th
Рутений	Be, B, Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Se, Y, Zr, Rh, In, Sn, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Ir, Th, Pu
Осмий	Be, B, Al, Si, P, S, Sc, V, Cr, Ge, Zr, Ru, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Ir

Примечание. Цифры внизу символа бора означают количество соединений (боридов) этого элемента с данным благородным металлом.

фит-ультрамафитов. Но и здесь задачу о перспективах минеральных ресурсов можно решить положительно, учитывая тот факт, что золото, платина и палладий, по данным ряда исследователей [12, 13, 15, 16, 20], могут при наложении более поздних гидротермальных процессов экстрагироваться и переотлагаться с образованием продуктивных концентраций в рудных зонах. В этом отношении практический интерес представляют сведения А.Ф. Коробейникова [16] о том, что при формировании концентраций благородных металлов во вмещающих офиолиты породах могут иметь значение не только процессы диагенеза, но и более поздние изменения, связанные с внедрением гранитоидов габбро-плаггиогранитовых ассоциаций. В процессе переноса и переотложения рудного вещества могут участвовать, видимо, и производные более поздних гранитоидов, как это установлено нами в Усть-Депском массиве гипербазитов (Среднее Приамурье). Здесь золото-платиноносные жильные тела родингитов иногда локализовались около даек мелкозернистых гранитов, секущих серпентинизированные гарцбургиты (рис.). Содержание Au в них достигает 4,67 г/т, Pd – не более 0,088 г/т и Pt – 0,589 г/т [18]. По-видимому, здесь имелись серьезные подвижки благородных элементов в серпентинитах позднего протерозоя под влиянием метасоматоза и гидротерм позднемеловых гранитоидов. С этой точки зрения, гипербазиты ряда районов Дальнего Востока заслуживают более детальных исследований. Особенно перспективными представляются зоны офиолитовых поясов (корневых и бескорневых гипербазитов

[28]), скрытые под разновозрастными терригенными отложениями Северо-Востока России.

Еще более трудно будет решаться вопрос на площади, в пределах которой отсутствуют офиолиты, но имеются, например, рудопроявления с золотом и сопутствующими ему элементами групп металлов и неметаллов. Однако и в этом случае задача по обнаружению генетически родственного золоту элементов-спутников может быть решена успешно с использованием данных по геологии, геохимии и минералогии изучаемого района. Необходимо, например, узнать, насколько часто повторяются в изучаемых структурах парагенезисы золота с определенным металлом как в пространстве, так и во времени. Если они повторяются довольно часто во многих участках изучаемого объекта, то это представляет интерес. Если сонахождения повторяются во времени, то в этом случае можно более точно решить вопрос о генетически родственных элементах-спутниках золота из числа не только благородных элементов. Необходимо также выявить корреляционные связи элементов в паре с золотом. Если при этом корреляция элемента с золотом имеет линейный характер, то принадлежность его к числу генетически родственного элемента-спутников золота весьма вероятно, что заметно ускоряет решение задачи прогнозной оценки рассматриваемой территории. Намного труднее будет её выполнить в том случае, если золото в исследуемом рудопроявлении окажется полигенным, как полагают Ю.Г. Щербаков [30] и другие исследователи. Подобрать к такому металлу ключи будет непросто. Но такие си-

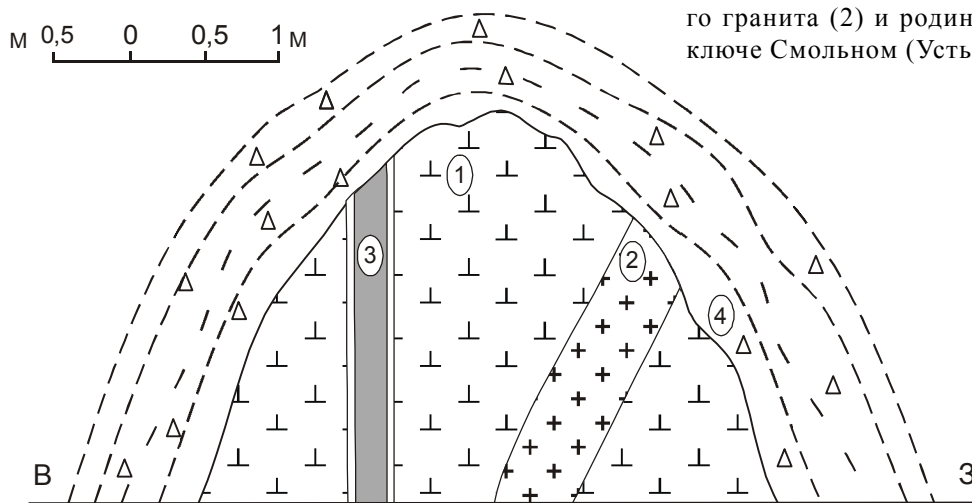


Рис. Коренное обнажение апогарцбургитового серпентинита (1) с секущими дайками мелкозернистого гранита (2) и родингита (3) среди делювия (4) в ключе Смольном (Усть-Депский выступ).

туации встречаются, по-видимому, нечасто и тоже могут быть расшифрованы.

В заключение еще раз подчеркнем, что использование информации об элементах-спутниках, генетически родственных благородным металлам, может значительно повысить эффективность геохимических исследований при прогнозной оценке минеральных ресурсов различных геологических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балабонин Н.Л., Митрофанов Ф.П., Субботин В.В. и др. Минералы платиновых металлов – индикаторы специфики и масштабов рудоконцентрирующих процессов в расслоенных интрузиях (на примере Федорово-Панской) // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 40–51.
2. Бетехтин А.Г. Платина и минералы платиновой группы. М.: Изд-во АН СССР, 1935. 148 с.
3. Вол А.Е., Каган И.К. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Физматгиз, 1960. Т. I. 755 с.
4. Вол А.Е., Каган И.К. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Физматгиз, 1962. Т. II. 982 с.
5. Вол А.Е., Каган И.К. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Наука, 1976. Т. III. 814 с.
6. Вол А.Е., Каган И.К. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Наука, 1979. 814 с.
7. Генкин А.Д., Журавлева Н.Н., Смирнова Е.М. Новые минералы – мончеит и котульскит и состав майченерита // Зап. Всесоюз. минерал. общ-ва. 1963. Ч. 92. Вып. 1. С. 33–60.
8. Генкин А.Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах Норильского месторождения. М.: Наука, 1968. 106 с.
9. Геологический словарь Т. II. М.: Недра, 1978. 456 с.
10. Гонгальский Б.И., Криволицкая Н.А. Минералогия и геохимия платиновых металлов Чинейского массива (Северное Забайкалье) // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 30–40.
11. Додин Д.А. Платиноидные месторождения России: минералогия, геохимия, модели формирования // Платина России. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 5–21.
12. Евстигнеева Т.Л. ЭПГ в постмагматических процессах // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., 1997. С. 261–262.
13. Зимин С.С., Молчанов В.П., Тишкин Б.М. и др. Комплексы пород и руд в качестве нетрадиционных источников золота на Дальнем Востоке // Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье. Чита, 2003. С. 28–30.
14. Иванов А.А. Месторождения осмистого иридия: Тр. Горно-геол. ин-та УФ АН СССР, 1944. Вып. 6. 151 с.
15. Иванов В.В., Зимин С.С., Моисеенко В.Г. и др. Самоходные металлы из платиноидно-золотых россыпей Селенджинско-Зейского пояса офиолитов (Верхнее Приамурье) // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 60–67.
16. Коробейников А.Ф. Минералогия благородных металлов нетрадиционных золото-платиноидных руд в черносланцевых формациях // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 40–51.
17. Моисеенко В.Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 304 с.
18. Молчанов В.П., С.С. Зимин, Плюснина Л.П. и др. Петрогенезис золотоносных родингитов в Усть-Депской офиолитовой зоне, Среднее Приамурье // Проблемы геологической и минерогенетической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии. Чита, 2005. С. 140–143.
19. Некрасов И.Я., Иванов В.В., Ленников А.М. и др. Золото-медно-палладиевая минеральная ассоциация Кондерского массива (юго-восток Алданского щита) // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 51–59.
20. Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В., Щека Ж.А. и др. Результаты исследования сорбции платины углеродистым веществом при повышенных температуре и давлении и их прогнозно-технологическое значение // Платина России. Т. IV. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. С. 233–237.
21. Разин Л.В. К минералогии железо-платиновых растворов (поликсена, ферроплатины, купроплатины) // Тр. ЦНИГРИ. 1970. Вып. 93. С. 130–150.
22. Рожков И.С., Кицул В.И., Разин В.Л. Платина Алданского щита. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 119 с.
23. Сайто К., Хаякава С., Такеи Ф., Ямадера Х. Химия и периодическая таблица. М.: Мир, 1982. 320 с.
24. Самсонов Г.В., Виницкий М.Н. Тугоплавкие соединения. М.: Металлургия, 1976. 557 с.
25. Тарбаев М.Б., Кузнецов С.К., Моралев Г.В. и др. Новый золото-палладиевый тип минерализации в Кожинском районе Приполярного Урала (Россия) // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38. № 1. С. 15–30.
26. Физика и химия редкоземельных элементов. М.: Металлургия, 1982. 336 с.
27. Шанк Ф. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургия, 1973. 759 с.
28. Шилов Н.А., Вашилов Ю.Я., Максимов А.Е. Корневые и безкорневые офиолиты Анадырско-Корякского региона. Геофизический аспект // Докл. АН СССР. 1994. Т. 339. № 4. С. 518–519.
29. Щербаков Ю.Г. Геохимические свойства элементов пород и руд в прогнозе золотоносности Забайкалья // Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье. Чита, 2003. С. 36–37.

30. Щербаков Ю.Г. Распределения и условия концентрации золота в рудных провинциях. М.: Недра, 1967. 267 с.
31. Юшко-Захарова О. Е. Платиноносность рудных месторождений. М.: Недра, 1975. 248 с.
32. Cabri L.J. The Mineralogy of the Platinum Group Elements // Min. Sci. and Eng. 1972. V. 4. N 3. P. 3–29.

Поступила в редакцию 17 февраля 2003 г.

Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком

S.S. Zimin, V.P. Molchanov, V.Ye. Turyakov, P.G. Korostelev

Accessory elements genetically related to precious metals, and their implications for mineral resources evaluation of ore zones and belts

The paper reports that geochemical investigations can be more effective when mineral resources in different geological structures are evaluated using accessory elements genetically related to precious metals.

***Key words:* gold, platinoids, intermetallids and their decomposition, genetically related accessory elements, geochemical research, its effectiveness.**