

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА АРСЕНОПИРИТА НАТАЛКИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВОГО МИКРОАНАЛИЗА**

**В.В. Татаринов, А.С. Макшаков**

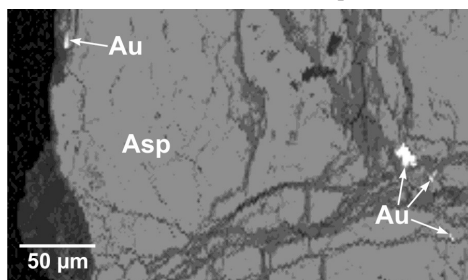
*Научный руководитель ведущий научный сотрудник Р.Г. Кравцова  
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Наталкинское золоторудное месторождение расположено в Магаданской области, входит в Омчакский рудно-россыпной узел и является одним из крупнейших в России. Рудные тела залегают в окварцованных осадочных и вулканогенно-осадочных породах пермского возраста и представляют собой минерализованные зоны, пронизанные сетью кварцевых жил, линз, участков брекчирования, тонких ветвящихся или параллельных прожилков, с участками окварцевания и арсенопиритизации различной интенсивности. Большинство исследователей считает, что золото в руде находится, главным образом, в свободном состоянии в жильном кварце и в сростках с сульфидными минералами, в основном, с арсенопиритом. Преобладает крупное золото [1, 2 и др.]. Арсенопирит является самым распространенным рудным минералом на месторождении. Данные по изучению его состава немногочисленны [1, 3, 5]. В.И. Гончаровым с соавторами в мономинеральных пробах арсенопирита были обнаружены приближенно-количественным спектральным анализом Sb, Se, Te, Cu, Pb, Ni, Co, Bi, Mn; атомно-абсорбционным – Au, Ag, Sb, Cu, Zn, Ni, Co, Cd; в кристаллах арсенопирита с помощью лазерного микроанализатора ЛМА-1 – Ag, Ni, Co, Cu. Названы они элементами-примесями. Предполагается, что Au входит в состав арсенопирита в виде микровключений [1]. Позднее О.Т. Соцкой с соавторами еще для ряда элементов были установлены собственно минеральные формы. Найдены микровключения галенита (Pb), герсдорфита (Ni), кобальтина (Co) [5]. Р.Г. Кравцовой с соавторами впервые в арсенопиритах изученного месторождения выявлено существование двух основных неминеральных форм нахождения (ФН) равномерно распределенных Au, Pt и Pd – структурной и поверхностно-связанной. Были использованы прецизионные методы анализа – СВАДМ, ЛА ИСП МС. Установлено, что природа высоких концентраций неминеральных ФН Au, Pt и Pd в арсенопирите, в основном, поверхностная. Собственных минеральных форм Pt и Pd не обнаружено, тогда как для Au самородная форма является основной [3]. Очевидно, что не только ФН элементов-примесей изучены в недостаточной степени, также не до конца определен их качественный и количественный состав. Наши исследования, продолженные в этом направлении, ориентированы на выявление возможностей РСМА при изучении состава арсенопирита и возможных ФН элементов-примесей.

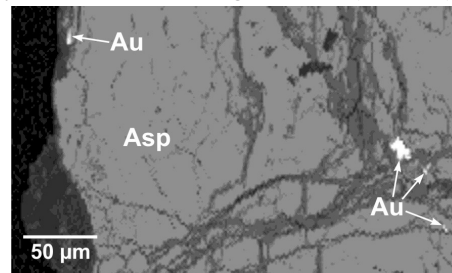
Арсенопирит приурочен к жилам и прожилкам кварца, образуя в них изометрично-гнездовую вкрапленность. Присутствует в виде довольно однородно рассеянных вкрапленных и разно ориентированных вкраплено-прожилковидных выделений и кристаллов короткопризматического облика размером до 1...2 мм в зонах окварцевания и трещиноватости во вмещающих породах. Образует тонкозернистые агрегаты. Встречается в виде катаклазированных зерен. Наиболее часто характерны ассоциации арсенопирит-пирит-золото, арсенопирит-золото, реже – арсенопирит-галенит-золото, еще реже арсенопирит находится в сростании с другими сульфидами.

Изучение состава арсенопиритов было проведено нами методом рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (РСМА) на анализаторе JXA-8200 Superprobe (JEOL Ltd., Япония) с использованием волновых и энергодисперсионных детекторов по методике [4].

Установлено, что большинство обнаруженных нами элементов-примесей (Au, Ag, Sb, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mo, W) в арсенопирите представлено микро- и тонкодисперсными включениями собственных минералов, приуроченных, в основном, к трещинкам, кавернам и интерстициям. Отмечаются тонкие ксеноморфные выделения пирротина, халькопирита, галенита, блеклой руды, золота (рис. 1). К трещинкам и граням зерен арсенопирита приурочены включения тонкодисперсного золота (рис. 2). Часто встречаются агрегаты арсенопирита с микровключениями золота, галенита, молибденита. В виде реликтов в арсенопирите найдены включения пирита, халькопирита с пирротинном, сфалерита с эмульсионной вкрапленностью халькопирита. Во включениях присутствуют тонкопризматические агрегаты, предположительно, ферберита, отмечается кобальтин и герсдорфит. Часто встречаются катаклазированные зерна арсенопирита в ассоциации с крупными зернами самородного золота пробностью 780...800 ‰ (рис. 3). В виде частой, так называемой «невидимой», примеси в этих зернах установлены Mo, Au, Ag, W, Cu, Ni (табл. 1, 2).



*Рис. 1. Самородное золото (Au), выполняющее трещинки в зерне арсенопирита (Asp). Изображение дано в обратно-рассеянных электронах*



*Рис. 2. Катаклазированное зерно арсенопирита (Asp) с включениями по грани и трещинкам тонкодисперсного золота (Au). Изображение дано в обратно-рассеянных электронах*

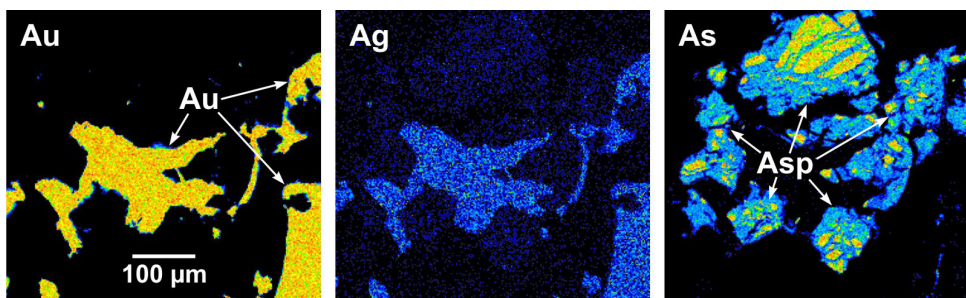


Рис. 3. Катаклазированные зерна арсенопирита (Asp) в ассоциации с самородным золотом (Au). Изображения даны в рентгеновских лучах

Таблица 1

Элементы-примеси в катаклазированных зернах арсенопирита

n	Fe	As	S	Au	Ag	Mo	Сумма
1	35.09	43.45	21.35	<0.10	<0.12	0.27	100.16
2	35.09	43.45	21.30	<	<	0.27	100.11
3	35.10	43.46	21.35	<	<	0.27	100.18
4	35.09	43.45	21.35	<	<	0.27	100.16
5	31.30	43.80	20.46	3.21	0.85	0.24	99.86
6	33.77	45.86	20.59	<0.10	<0.12	0.29	100.51
7	33.64	46.66	20.76	<	<	0.29	101.35
8	30.58	48.78	20.78	<	<	0.31	100.45
9	32.38	49.74	17.08	<	<	0.27	99.47
10	30.57	48.61	20.83	<	<	0.24	100.25
11	34.26	50.49	15.19	0.36	<	0.29	100.59

Примечание: Hg, Sb, Se, Te, Pb, Zn, Cu, W, Sn, Bi, Pt, Pd, Si, Al, Mn – не обнаружены. Здесь и далее в табл. 2: n – точки определения содержаний элементов.

Таблица 2

Элементы-примеси в зернах арсенопирита

n	Fe	As	S	Au	Cu	W	Ni	Сумма
1	33.91	50.47	16.19	<0.10	<0.15	0.11	<0.10	100.68
2	33.54	49.93	16.40	<	0.94	0.13	<	100.94
3	33.34	48.27	17.59	<	<0.15	<0.10	0.41	99.61
4	32.31	49.59	17.13	0.16	<	<	<0.10	99.19
5	33.79	50.72	15.66	<0.10	<	0.19	<	100.36

Примечание: Ag, Hg, Sb, Se, Te, Pb, Zn, Mo, Sn, Bi, Pt, Pd, Si, Al, Mn – не обнаружены.

Таким образом, при изучении элементов-примесей в арсенопиритах методом РСМА обнаружены Au, Ag, Sb, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mo, W. Приведенные в работах предыдущих исследователей Se, Te, Bi, Cd, Pt, Pd и Mn [1, 3, 5] на сегодняшний день с помощью РСМА нами не выявлены. Установлено, что большая часть примесей в арсенопиритах представлена микро- и тонкодисперсными включениями собственно рудных минералов. Примесная, так называемая «невидимая», ФН элементов (ультрадисперсные включения?, сорбционная составляющая?, неавтономные фазы?) встречается реже. В нашем случае она характерна для Mo, реже для Au и W, еще реже для Ag, Cu, Ni. Очевидно, что для определения «невидимой» формы примеси имеющихся методов РСМА недостаточно. Особенно это актуально для ЭПГ. Необходима разработка новых и усовершенствование уже имеющихся методик микроанализа.

#### Литература

1. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 250 с.
2. Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 5. – С. 414 – 444.
3. Кравцова Р.Г. Таусон В.Л. Никитенко Е.М. Формы нахождения золота, платины и палладия в арсенопиритах золоторудного месторождения Наталкинское (Северо-Восток России) // Геохимия. – 2015. – № 11. – С. 991 – 999.
4. Павлова Л.А., Парадина Л.Ф. Рентгеноспектральный микроанализ и его применение в минералогии. – Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. – 186 с.
5. Sotskaya O., Goryachev N., Goryacheva E., Nikitenko E. Micromineralogy of “Black Shale” Disseminated-Sulphide Gold Ore Deposits of the Ayan-Yuryakh Anticlinorium (North-East of Russia) // Journal of Earth Science and Engineering. – 2012. – No 2. – Pp. 744 – 753.