

М. С. САХАРОВА, В. Г. ДЕМИДОВ

**О СООТНОШЕНИИ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА  
НА ДАРАСУНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Золото и серебро являются геохимически родственными элементами, их совместное накопление происходит в эндогенных месторождениях различного типа. Количественные соотношения этих металлов могут привлекаться для выяснения геохимической обстановки в период рудообразования.

Из показателей, характеризующих соотношения золота и серебра в золоторудных месторождениях, чаще всего используют коэффициент корреляции этих металлов и пробу золота. В качестве индикатора геохимических условий рудоотложения привлекается величина серебряно-золотого отношения (Щербина, 1956; Бадалов, Касымов, 1961; Fitzgerald et al., 1967). Средняя величина серебряно-золотого отношения в земной коре в соответствии с кларками этих элементов (Виноградов, 1956) равна 20. Однако диапазон изменения рассматриваемого отношения и его причины исследованы мало.

Нами на примере Дарасунского золоторудного месторождения изучены соотношения серебра и золота в самородном золоте, в важнейших минералах-концентраторах этих элементов, в рудах и измененных породах, а также показаны закономерности изменения этого показателя в вертикальном разрезе рудных жил.

Дарасунское месторождение располагается в пределах золото-молибденового пояса Восточного Забайкалья. Основные черты его геологического строения и минералогии неоднократно освещались в литературе (Тимофеевский, 1962; Сахарова, 1966, 1968). Оно относится к гидротермальному типу, представлено серией кварц-сульфидных жил, характеризуется сложным полиминеральным составом со значительным развитием сульфидов и сульфосолей (40—60%).

Золото в рудах месторождения самородное. Его основная масса приурочена к сульфидам, среди которых важнейшими носителями Au являются пирит, арсенопирит, халькопирит, блеклые руды, пирротин и некоторые другие минералы. Кристаллизация золота завершила отложения основного количества минералов месторождения. Более сложными формами нахождения характеризуется серебро. Оно образует в рудах собственно серебряные минералы — гессит и  $\beta$ -матильдит (Сахарова, 1969<sub>2</sub>), входит в состав самородного золота, а также присутствует в виде изоморфной примеси в галениите, блеклой руде, халькопирите, минералах висмута (козалиит, эмплектит, виттихенит, айкинит) и некоторых других.

**Серебряно-золотое отношение в самородном золоте.** При характеристике самородного золота обычно рассматриваются данные о его среднем химическом составе, выраженном его пробой. Содержание серебра в золоте рассматривается как показатель температурного режима при рудообразовании. Проведенное нами изучение состава золота Дарасунского месторождения

показало, что состав выделений золота может широко варьировать даже в пределах одного шлифа, и, таким образом, золото, отлагавшееся из одного и того же раствора при близких температурах, может иметь различный химический состав.

Состав золота исследовался нами с помощью рентгеновского микроанализатора (Сахарова, 1969<sub>1</sub>). Данные исследований выявили зависимость состава золота от химической природы вмещающего минерала. Кроме того, в ряде случаев было обнаружено изменение состава краевых зон золота, обычно выражавшееся в снижении концентрации золота в среднем на 1—2%. Ширина подобных зон достигает 10—12 мк. Для расчета Ag/Au использовались анализы, соответствовавшие основной (центральной) части зерен. Изменения состава краевых зон не оказывали заметного влияния на полученные величины Ag/Au. Рассчитанные значения серебряно-золотого отношения в самородном золоте приведены в табл. 1. Эти отношения подтверждают,

Т а б л и ц а 1

Отношение серебра к золоту в самородном золоте, включенном в разные минералы

Минерал	Число анализов	Пределы колебаний	Средняя величина	Минерал	Число анализов	Пределы колебаний	Средняя величина
Кварц	3	0,10—0,11	0,10	Халькопирит	4	0,14—0,26	0,21
Пирит	3	0,07—0,18	0,12	Галенит	2	0,20—0,28	0,24
Арсенопирит	4	0,10—0,16	0,13	Козалит	7	0,15—0,42	0,24
Пирротин	3	0,16—0,22	0,18	Тетрадимит	4	0,18—0,54	0,25
				Гессит	1	—	0,47

что состав золота закономерно изменяется в зависимости от состава вмещающего минерала. Наиболее низкие значения серебряно-золотого показателя установлены для золота, приуроченного к кварцу, пириту и арсенопириту. Заметное возрастание величины Ag/Au отмечается для золота, развитого в халькопирите и висмутовых минералах (козалит, тетрадимит), максимальной концентрацией серебра отличается золото, приуроченное к гесситу.

Таким образом, возрастание величины Ag/Au характерно для выделений золота, приуроченных к серебряным и серебряносодержащим минералам, что, видимо, связано с извлечением из этих минералов серебра в процессе кристаллизации самородного золота.

**Серебряно-золотое отношение в сульфидных минералах.** Для изучения соотношений золота и серебра в сульфидных минералах, являющихся концентраторами этих элементов, использовались данные спектрохимического определения золота (Сахарова, 1968). Серебро в этих образцах анализировалось химически и частично количественно-спектральным методом. Значение Ag/Au рассчитывалось как среднеарифметическое из величин Ag/Au, полученных для отдельных образцов данного минерала. Величины серебряно-золотого отношения в сульфидных минералах приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Отношение серебра к золоту в сульфидных минералах

Минерал	Число анализов	Пределы колебаний	Средняя величина	Минерал	Число анализов	Пределы колебаний	Средняя величина
Арсенопирит	25	0,11—1,34	0,48	Халькопирит	22	2,8—3,6	20,5
Пирротин	19	0,20—0,70	0,50	Блеклая руда	27	100—700	426
Пирит	22	0,7—3,5	1,64	Галенит	14	180—2000	1230

Серебряно-золотое отношение в минералах месторождения изменяется от 0,48 до 1230. Наиболее низким значением характеризуются арсенопирит и пирротин, т. е. минералы, являющиеся важными носителями золота, но не концентрирующие серебро. Несколько более высокие величины Ag/Au установлены для пирита. Этот минерал является одним из важнейших носителей золота на месторождении и наряду с этим постоянно содержит повышенные количества серебра. Таким образом, минералы-концентраторы золота отличаются малыми величинами серебряно-золотого отношения.

Для халькопирита величина Ag/Au возрастает, приближаясь к среднему значению серебряно-золотого отношения в земной коре. По содержанию золота халькопирит на месторождении относится к числу важных концентраторов этого металла. Вместе с тем для него характерно отчетливо повышенное содержание Ag, видимо, изоморфно входящего в состав минерала, возрастающее при отсутствии других концентраторов этого элемента.

Наиболее высокими значениями серебряно-золотого отношения отличаются серебросодержащие минералы — галенит и блеклая руда.

В сульфидах (см. табл. 2) и во включениях самородного золота в них (см. табл. 1) величины Ag/Au оказались взаимосвязанными. При локализации золота в минералах с низким значением серебряно-золотого отношения (пирит, арсенопирит, пирротин) само золото также характеризуется малыми значениями Ag/Au. Для минералов с высоким серебряно-золотым отношением (галенит, блеклая руда) этот показатель возрастает и для выделений золота.

**Серебряно-золотое отношение в рудах.** Закономерности изменения соотношений серебра и золота в рудах месторождения изучались на примере важнейших жил в их вертикальном разрезе. За величину Ag/Au принималось отношение среднеарифметических значений серебра и золота на горизонте, рассчитанных по данным рудничного опробования. Значения серебряно-золотых отношений в рудах месторождения приведены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что руды месторождения характеризуются низким значе-

Т а б л и ц а 3

Отношение серебра к золоту в рудах

Жила	Глубина от поверхности	Минеральный состав руд	Число проб	Пределы колебания	Среднее	Среднее по жиле
Западного участка (электрические и другие)	Малая	Пирит, арсенопирит	319	0,5—2,6	1,4	1,0
	Средняя	Пирротин, халькопирит, пирит, арсенопирит	817	0,3—0,6	0,5	
	Большая	То же	340	0,7—2,0	1,2	
Ново-Кузнецовская	Малая	Пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит	310	1,9—2,2	2,0	2,2
	Средняя	Сфалерит, блеклая руда, бурнонит	550	2,1—3,2	2,8	
	Большая	Пирит, арсенопирит, сфалерит	271	2,0—2,3	2,2	
Медведевская	Малая	Халькопирит, блеклая руда, арсенопирит, пирит	100	0,8—1,3	1,0	1,5
	Средняя	То же	277	0,6—0,9	0,8	
	Большая	» »	145	1,2—3,5	2,3	
№ 4	Малая	Пирит, арсенопирит, блеклая руда, бурнонит, сфалерит	310	1,2—1,4	1,3	1,8
	Средняя	То же	750	1,1—1,9	1,6	
	Большая	» »	300	2,0—2,7	2,4	

Среднее значение Ag/Au по месторождению 1,5.

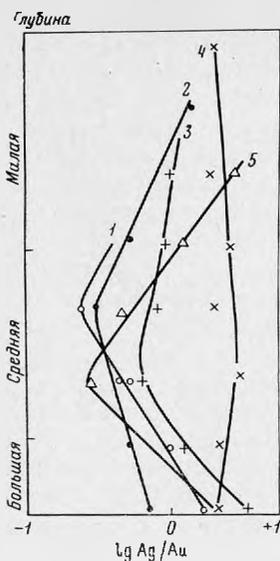


Рис. 1. Изменение серебряно-золотого отношения руд в вертикальном разрезе жил

1 — 5-я электрическая; 2 — 2-я электрическая; 3 — Медведевская; 4 — Ново-Кузнецовская; 5 — Сближенная

нием рассматриваемого отношения (в среднем 1,5, что на порядок ниже среднего отношения этих металлов в земной коре).

Особенностью серебряно-золотого показателя для руд месторождения является его закономерное изменение в пространстве. Так, в вертикальном разрезе рудных жил с увеличением глубины от поверхности величина  $Ag/Au$  уменьшается, достигая минимальных значений на средних глубинах рудных жил. При этом рудные жилы на указанных глубинах отличаются максимальной концентрацией золота, наиболее сложным полиминеральным составом и являются наиболее продуктивными.

Изменение с глубиной значения  $Ag/Au$  наглядно иллюстрируется рис. 1, на котором видно, что полученные кривые однотипны для различных рудных жил месторождения. Положение зоны с наиболее низкими значениями  $Ag/Au$  связано с геологоструктурными особенностями жил и различиями их минерального состава. Пониженные значения серебряно-золотого показателя свидетельствуют об обогащении руд золотом и могут считаться благоприятным признаком при оценке золотоносности руд.

При дальнейшем увеличении глубины величина серебряно-золотого отношения возрастает. На наибольших глубинах в рудах снижаются концентрации и золота, и серебра. Но содержание золота уменьшается более резко. При сопоставлении величин серебряно-золотых отношений в жилах различного состава (см. табл. 3) видно, что низкими значениями характеризуются руды пирротин-халькопиритового состава (средние и большие глубины жил Западного участка). Наибольшие величины установлены для руд слож-

Т а б л и ц а 4

Отношение серебра к золоту в золотоносных березитах

Жила	Глубина от поверхности	Число проб	Пределы колебаний	Среднее	Среднее по жиле
Западного участка (электрические и другие)	Малая	74	3,8—6,3	4,8	4,4
	Средняя	667	1,7—5,0	3,3	
	Большая	358	3,0—6,5	5,0	
Ново-Кузнецовская Центрального участка	Малая	310	2,5—4,0	3,3	3,6
	Средняя	500	2,5—4,5	3,2	
	Большая	123	3,0—6,0	4,4	
Медведевская Центрального участка	Малая	150	3,4—4,7	4,0	3,2
	Средняя	277	1,5—3,0	2,2	
	Большая	145	2,8—4,1	3,5	
№ 4 Восточного участка	Малая	300	3,5—4,0	3,8	4,1
	Средняя	750	3,0—4,5	3,9	
	Большая	300	4,5—5,0	4,8	

Среднее значение  $Ag/Au$  по месторождению 4,0 (по глубинам: малая—4,2; средняя—3,3; большая—4,6).

ного полиметаллического состава, включающих наряду с пиритом и арсенопиритом галенит, блеклые руды, бурнонит и другие серебросодержащие минералы (жила Ново-Кузнецовская). Промежуточные величины характерны для рудных тел, сложенных пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, блеклой рудой и другими сульфосолевыми минералами (жилы Медведевская и № 4).

Таким образом, величина серебряно-золотого отношения варьирует в зависимости от минерального состава руд и положения их в вертикальном разрезе рудных жил.

**Серебряно-золотое отношение в золотоносных березитах.** Рудные жилы Дарасунского месторождения сопровождаются зонами измененных березитизированных пород, вытягивающимися параллельно залыбанам рудных жил. Минеральный состав измененных пород несколько варьирует в зависимости от состава исходных пород, оставаясь в целом сходным в различных жилах и близким по типу к березитам. Главную роль в измененных породах играют кварц, серицит, железистый карбонат и пирит. Золотоносность зон березитизации низкая и связана с интенсивностью проявления в рудном теле продуктивной стадии минерализации, которая следует за процессом березитизации. Основным концентратором золота в зонах березитизированных пород является пирит.

Серебряно-золотые отношения в березитизированных породах для важнейших рудных жил месторождения приведены в табл. 4.

Характерно, что величины  $Ag/Au$  в измененных породах более высокие, чем в рудных телах. Так, в измененных породах средняя величина  $Ag/Au$  составляет 4,0, т. е. в 2,6 раза больше, чем в рудных жилах. По отдельным участкам и глубинам в измененных породах  $Ag/Au$  в 1,5—6 раз превышает среднее значение для рудных жил. Выявленная особенность, видимо, связана с более высокой миграционной способностью серебра, обусловленной большей устойчивостью комплексных ионов серебра (по сравнению с комплексами золота) при возрастании pH растворов во время их просачивания во вмещающие березитизированные породы. Увеличение  $Ag/Au$  в измененных околожильных породах отмечается также для Балейского месторождения (Китаев и др., 1968). Направленность изменения с глубиной серебряно-золотого отношения в вертикальном разрезе по отдельным жилам и всему месторождению аналогична (рис. 2; табл. 4). С глубиной величина  $Ag/Au$  уменьшается, достигая минимальных значений на средних глубинах, в измененных породах на больших глубинах она возрастает.

## Выводы

1. Величина серебряно-золотого отношения в самородном золоте Дарасунского месторождения варьирует: она снижается в выделениях золота, приуроченных к сульфидам железа, и возрастает в золоте, находящемся в серебросодержащих минералах, что, видимо, связано с извлечением серебра из вмещающих его минералов при кристаллизации золота.

2. Серебряно-золотое отношение в минералах-концентраторах золота (арсенопирит, пирит, пирротин) снижается на порядок и более по сравнению со средним отношением этих металлов в земной коре. В минералах-

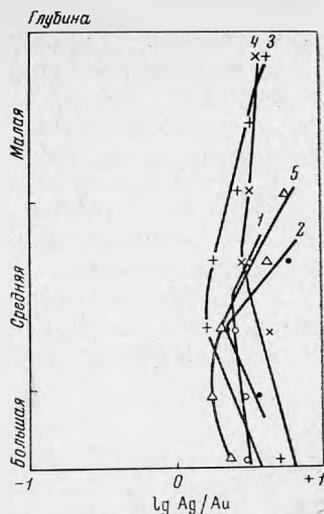


Рис. 2. Изменение серебряно-золотого отношения в золотоносных березитах в вертикальном разрезе жил. Условные обозначения те же, что на рис. 1

концентраторах серебра (галенит, блеклая руда) это отношение возрастает по сравнению со средним в 20—60 раз.

3. Величина серебряно-золотого орошения в рудах Дарасунского месторождения в 5—20 раз ниже его среднего значения для земной коры. Наиболее низкими величинами, соответствующими высокой концентрации золота, характеризуются руды пирротин-халькопиритового состава.

4. В вертикальном разрезе рудных жил серебряно-золотое отношение изменяется с глубиной, достигая минимума на средних глубинах рудных жил — в зоне максимальной продуктивности руд — и вновь возрастая на больших глубинах.

5. Серебряно-золотое отношение в измененных березитизированных породах выше, чем в рудных жилах, что обусловлено более высокой миграционной способностью серебра.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бадалов С. Т., Касымов А. К.* К геохимии золота и серебра в рудных месторождениях Алмалыка (Узб.ССР). — Узб. геол. журнал, 1961, № 95.
- Виноградов А. П.* Закономерности распределения химических элементов в земной коре. — Геохимия, 1956, № 1.
- Китаев Н. А., Саранулова В. Н., Каратаева И. Я.* Золото-серебряное отношение в первичных ореолах Балейского рудного поля. — В кн. «Геология и разведка полезных ископаемых Забайкалья». Чита, 1968.
- Сахарова М. С.* Основные вопросы изоморфизма и генезиса блеклых руд. — Геол. рудн. месторожд., 1966, № 3.
- Сахарова М. С.* Минералогия золота Дарасунского месторождения. — Изв. АН СССР, серия геол., 1968, № 11.
- Сахарова М. С.* Изучение состава самородного золота методом рентгеноспектрального микроанализа. — Докл. АН СССР, 1969, 186, № 2.
- Сахарова М. С.* О находке  $\beta$ -матильдита в Восточном Забайкалье. — Докл. АН СССР, 1969, 187, № 2.
- Тимофеевский Д. М.* Особенности геологического строения и структура Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье) — Труды ЦНИГРИ, 1962, вып. 43.
- Шербина В. В.* О геохимическом значении количественных отношений Ag/Au. — Геохимия, 1956, № 3.
- Fitzgerald A. C., Graham R. J., Gross W. H., Ruclide I. C.* The applikation and significance of gold-silver rations at Val d'Or, Quebec. — Econ. Geol., 1967, 62, № 4.