

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

**СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНОГО ТИПА
В ТИССА-САРХОЙСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ (*Восточный Саян*)**

**Б.Б. Дамдинов, А.Г. Миронов, А.А. Боровиков*, Б.Б. Гунтыпов,
Н.С. Карманов, А.С. Борисенко*, Б.Л. Гармаев**

Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия

** Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Рассмотрены строение и вещественный состав новых золоторудных проявлений в юго-восточной части Восточного Саяна (Тисса-Сархойский рудный узел). Установлено несколько морфогенетических типов золотого оруденения: кварцевые жилы с зонами березитизации, прожилково-вкрапленные руды в гранитоидах, зоны лиственитизации и сульфидизации в эффузивах сархойской серии и интрузивных породах хорингольского комплекса позднего рифея. По геохронологическим данным и ряду минералогическо-геохимических признаков золотое оруденение близко по времени формирования к этим докембрийским островодужным комплексам. Выделены минеральные парагенезисы двух стадий формирования руд: ранний высокотемпературный (250—460 °С) — золото-пиритовый и поздний, низкотемпературный (110—280 °С) — золото-теллуридный. Золото-теллуридная минерализация широко распространена и представлена теллуридами Au, Ag, Pb, Bi, Ni — петцитом, калаверитом, гесситом, теллуробисмутитом, алтаитом, мелонитом. Самородное золото, ассоциирующее с ними, имеет пробность от 750 до 900 ‰. Тесная временная и пространственная связь золотого оруденения с островодужными вулканоплутоническими комплексами, широкое распространение прожилково-вкрапленного характера минерализации позволяют предполагать золото-порфиновый тип оруденения, связанный с островодужным магматизмом позднего рифея—венда.

Золото, теллуриды, островодужные гранитоиды, Восточный Саян.

**COMPOSITION AND CONDITIONS OF FORMATION OF GOLD-TELLURIDE MINERALIZATION
IN THE TISSA-SARKHOI GOLD-BEARING PROVINCE (*East Sayan*)**

**B.B. Damdinov, A.G. Mironov, A.A. Borovikov, B.B. Guntypov, N.S. Karmanov,
A.S. Borisenko, and B.L. Garmaev**

The structure and petrologic composition of new gold-ore provinces in southeastern East Sayan (Tissa-Sarkhoi ore cluster) are considered. Several morphogenetic types of gold mineralization have been established: quartz veins with beresitization zones, veinlet-disseminated ores in granitoids, and listwaenitization and sulfidation zones in effusions of the Sarkhoi Group and intrusive rocks of the Late Riphean Khorin-Gol complex. According to geochronological dates and some mineralogical and geochemical features, the gold mineralization is close in age to these Precambrian island-arc complexes. Parageneses of two stages of ore formation have been recognized: early high-temperature (250—460 °C) gold-pyrite and late low-temperature (110—280 °C) gold-telluride. The latter mineralization is widespread and is represented by tellurides of Au, Ag, Pb, Bi, and Ni — petzite, calaverite, hessite, tellurobismuthite, altaite, and melonite. Native gold associated with these tellurides is characterized by a fineness of 750—900 ‰. The intimate temporal and spatial relationships of the gold mineralization with island-arc volcanoplutonic complexes and the wide occurrence of its veinlet-disseminated type suggest that this is porphyry gold mineralization related to the Late Riphean-Vendian island-arc magmatism.

Gold, tellurides, island-arc granitoids, East Sayan

ВВЕДЕНИЕ

Юго-восточная часть Восточного Саяна широко известна своей золотоносностью. Наиболее распространены золото-кварцевые, золото-сульфидно-кварцевые месторождения и рудопроявления (Пионерское, Барун-Холбинское, Зун-Холбинское, Зун-Оспинское и др.) [Миронов, Жмодик, 1999]. Кроме того, наряду с жильной была установлена прожилково-вкрапленная минерализация, связанная с позднерифейскими гранитоидами островодужного типа [Миронов и др., 2001; Жмодик и др., 2004]. Такая минерализация характеризуется наличием теллуридов и может быть отнесена к золото-порфировому

типу. Исследования последних лет, проводимые в этой части Восточного Саяна, показали более широкое распространение золото-теллуридной минерализации и, в частности, среди вулканитов сархойской серии и комагматичных им интрузий диоритов, гранодиоритов, плагиогранитов и гранитов в пределах Тисса-Сархойского рудного узла. Как известно, золото-теллуридная ассоциация типоморфна для золоторудных месторождений, сформированных в геодинамических обстановках активной континентальной окраины или островной дуги. Особенностью таких месторождений является высокое золото-серебряное отношение (10:1, 1:1) и значительные концентрации теллура, на основании чего их выделяют в качестве золото-теллуридного геохимического типа [Константинов, 1984]. Месторождения и рудопроявления такого типа приурочены, как правило, к вулканитам трахибазальтовой, андезитобазальтовой формации, либо к малым интрузиям плагиогранитов, диоритов, кварцевых диоритов [Константинов, 1984; Hedenquist et al., 1988; Спиридонов, 1995; Грабежев и др., 2000, Кузин, 2002].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

Тисса-Сархойский рудный узел находится в бассейне рек Тисса и Сархой в юго-восточной части Восточного Саяна. В геологическом отношении он располагается в западной части Боксон-Сархойского синклинория и сложен рифейскими (R_2) карбонатно-глинистыми отложениями дибинской свиты, вулканогенно-осадочными образованиями сархойской серии и прорывающими их гранитоидами сархойского и хорингольского комплексов (рис. 1).

Сархойская серия — одно из самых спорных подразделений в геологическом строении Восточного Саяна. Возрастное положение ее, по представлениям различных авторов, колебалось от рифея до ордовика—силура [Беличенко и др., 1988; Кузьмичев, 2004]. В настоящее время, согласно последним данным А.Б. Кузьмичева [2004], возраст серии определяется как позднерифейский с Rb-Sr датировкой в $718 \pm \pm 30$ млн лет. На рассматриваемой площади отложения сархойской серии представлены зеленокаменными

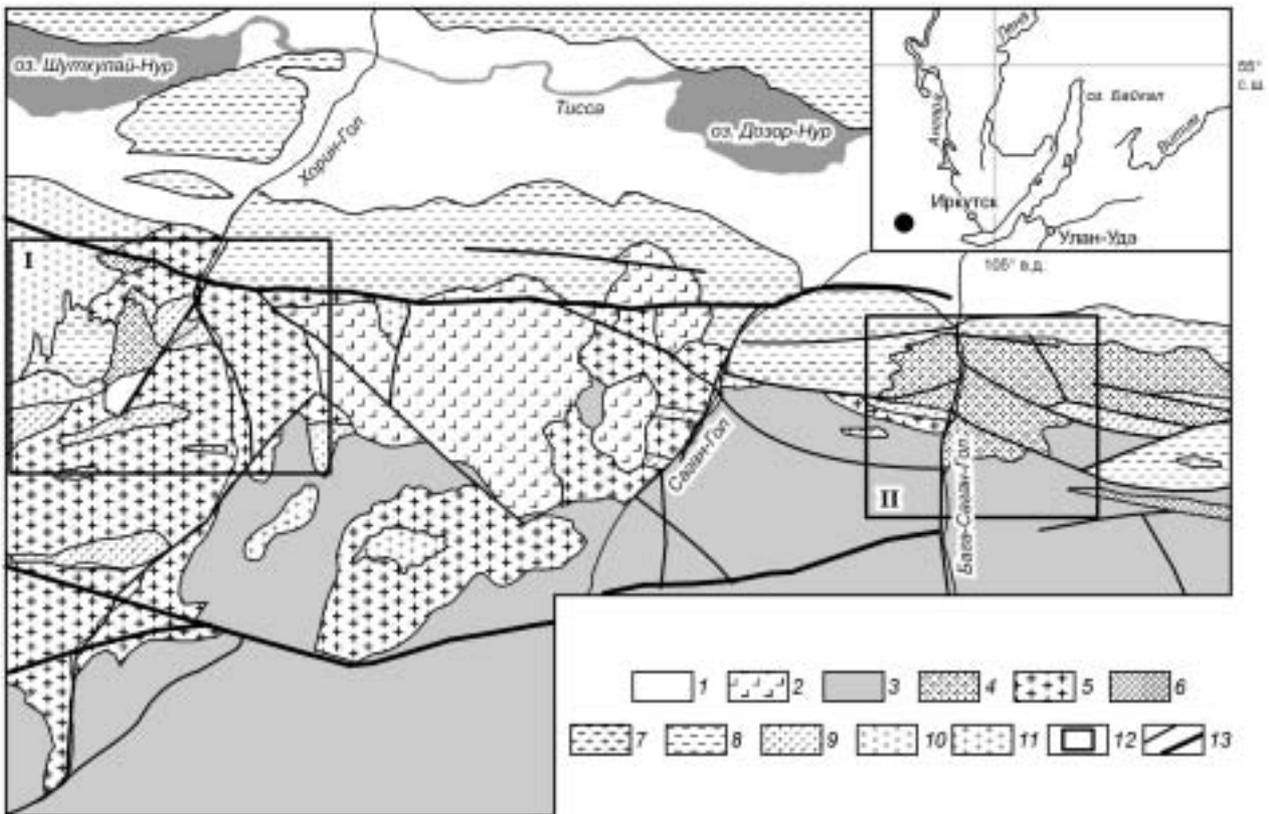


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Тисса (м-б 1:50 000).

1 — четвертичные отложения; 2 — неоген-четвертичные базальты; 3 — эффузивы сархойской серии (C_1); 4 — гранитоиды урикского комплекса (PR_3); 5—7 — хорингольский комплекс ($V - C_1$): 5 — плагиограниты, гранит-порфиры, 6 — диориты, 7 — сиениты, граносиениты; 8 — кристаллические сланцы билинской свиты (PR_2); 9 — нерасчлененные пироксениты; 10 — габбро, габбро-диориты; 11 — граниты, гранит-порфиры сархойского комплекса ($C_2 - O$); 12 — изученные рудопроявления (I — Хорингольское, II — Сагангольское); 13 — разломы.

Таблица 1. Содержания петрогенных (мас.%) и редких (г/т) элементов в гранитоидах, эффузивных и метасоматических породах Тисса-Сархойской площади

Компонент	Гранитоиды									
	Хр-78	Хр-115	Хр-114	Бс-50	Бс-115	Бс-112	Хр-125	Хр-123	Бс-80	Бс-85
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	63.90	63.20	64.50	65.90	66.60	67.30	69.40	71.50	70.1	74.0
TiO ₂	0.59	0.52	0.32	0.23	0.49	0.21	0.31	0.28	0.21	0.06
Al ₂ O ₃	13.60	16.00	17.50	16.25	14.00	15.40	15.60	15.30	16.0	15.40
Fe ₂ O ₃	1.93	2.24	2.02	0.76	2.71	1.11	1.56	1.47	2.40	0.36
FeO	5.86	3.71	1.89	1.57	2.26	0.97	2.00	1.81	0.26	0.40
MnO	0.11	0.12	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.05	0.01	0.08
MgO	3.56	2.49	1.57	0.95	2.55	0.87	1.22	0.65	0.31	0.27
CaO	4.00	5.10	4.58	3.46	3.15	4.00	2.29	1.25	0.50	1.74
Na ₂ O	3.05	3.58	4.04	3.92	3.41	3.70	3.93	3.38	5.35	5.76
K ₂ O	1.75	1.39	1.57	1.93	1.76	1.34	1.43	1.94	2.05	1.34
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.07	0.12	0.29	0.10	0.12	0.10	0.15	0.00
П.п.п.	1.39	1.93	2.05	4.19	2.29	4.49	1.78	1.82	2.51	0.62
Сумма	99.88	100.41	100.18	99.34	99.58	99.55	99.69	100.00	99.85	100.03
Rb	38	33	37	40	34	25	38	47	32	20
Sr	424	503	1015	660	480	840	839	787	420	350
Y	19	25	21	—	—	—	5	3	11	15
Zr	136	113	66	56	58	45	59	62	53	45
Nb	4	4	3	5	4	4	3	2	2	6
Ba	486	740	570	850	1740	655	751	687	610	420
La	15	—	7	13	11	—	15	17	—	11
Ce	32	13	27	16	16	9	20	22	21	15
Au	—	—	—	0.01	—	—	—	0.01	7.1	0.01
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	13.1	—
Cu	78	—	12	—	26	—	50	91	230	22
Pb	22	19	—	5	5	19	—	—	960	5
Zn	53	—	100	41	90	—	38	33	2430	10

Компонент	Эффузивные породы							Березиты		
	Бс-128	Бс-90	Хр-6	Бс-96	Бс-95	Бс-103	Бс-105	Хр-28	Хр-112	Хр-27
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	55.70	58.50	63.10	67.50	71.00	73.20	77.30	53.90	62.30	67.00
TiO ₂	1.19	0.60	0.68	0.68	0.45	0.48	0.39	0.66	0.25	0.33
Al ₂ O ₃	15.80	16.90	19.80	14.20	13.60	12.90	11.20	13.30	16.50	17.30
Fe ₂ O ₃	4.02	3.19	4.81	2.93	1.37	2.04	1.55	0.86	1.27	1.85
FeO	5.90	0.95	0.20	1.41	1.75	0.69	0.52	4.47	1.43	0.81
MnO	0.16	0.14	0.00	0.09	0.06	0.05	0.03	0.09	0.07	0.03
MgO	3.22	1.00	0.11	1.58	1.48	0.61	0.48	7.52	0.97	1.33
CaO	7.00	11.17	0.50	2.85	3.00	0.88	0.69	5.16	4.47	1.50
Na ₂ O	2.64	2.07	2.06	4.53	3.95	5.38	5.73	3.53	3.63	3.32
K ₂ O	0.53	0.64	3.89	0.70	0.91	0.97	0.37	1.30	3.10	3.61
P ₂ O ₅	0.27	0.14	0.00	0.14	0.09	0.10	0.06	0.21	0.09	0.18
П.п.п.	2.98	4.36	4.72	2.85	1.99	2.17	1.32	8.44	6.06	3.07
Сумма	99.41	99.66	99.87	99.46	99.65	99.47	99.64	99.44	100.14	100.33
Rb	6	4	90	9	15	12	—	8	74	103
Sr	390	380	290	170	130	100	68	75	432	245
Y	18	25	—	30	19	41	32	4	4	5
Zr	50	107	120	140	130	180	190	10	65	120
Nb	1	2	4	3	4	2	2	—	3	6
Ba	160	300	400	330	320	340	150	92	874	1740
La	—	10	8	9	9	12	12	7	16	25
Ce	13	25	18	21	23	29	24	13	26	43
Au	—	—	—	2.2	—	0.01	0.02	—	0.01	—
Ag	—	—	1.1	—	—	—	—	—	—	—
Cu	130	—	—	—	22	—	22	—	22	—
Pb	10	12	25	38	12	3	7	71	—	27
Zn	60	34	—	70	35	38	16	48	34	—

Компонент	Березиты		Лиственитоподобные породы					
	Бс-2	Бс-6	Бс-38	Бс-36	Бс-43	Бс-67	Бс-76	Бс-77
	21	22	23	24	25	26	27	28
SiO ₂	67.10	68.80	42.00	38.40	37.80	36.90	38.60	36.80
TiO ₂	0.18	0.19	0.70	0.74	0.67	0.59	0.70	0.84
Al ₂ O ₃	16.65	16.25	9.15	10.00	9.10	8.25	8.30	10.00
Fe ₂ O ₃	1.01	1.42	1.05	0.58	0.09	0.40	0.12	2.84
FeO	0.71	0.36	6.60	6.17	7.38	6.85	7.10	5.50
MnO	0.04	0.02	0.12	0.14	0.15	0.13	0.17	0.24
MgO	0.52	0.26	14.78	12.88	15.60	14.40	14.00	8.25
CaO	2.86	1.88	8.12	10.20	10.10	11.03	10.64	13.40
Na ₂ O	3.81	5.79	0.02	1.91	0.02	0.09	0.13	0.42
K ₂ O	2.11	1.93	0.01	0.23	0.01	0.01	0.18	1.24
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.23	0.22	0.25	0.21	0.21	0.18
П.п.п.	4.56	2.40	16.91	17.77	18.46	20.64	19.31	19.95
Сумма	99.63	99.40	99.69	99.24	99.63	99.50	99.46	99.66
Rb	37	39	—	—	—	—	—	—
Sr	620	370	320	530	310	370	430	—
Y	—	—	11	12	12	8	10	—
Zr	59	62	65	74	66	56	56	—
Nb	—	—	—	—	—	—	4	—
Ba	670	560	19	88	6	12	400	—
La	—	—	18	20	16	13	15	—
Ce	7	12	29	45	36	28	35	—
Au	0.01	0.87	0.01	0.83	0.015	0.01	—	11.2
Ag	0.6	—	—	—	—	—	—	—
Cu	17	22	26	25	29	34	18	—
Pb	3	3	—	—	10	3	4	—
Zn	36	38	65	100	65	61	63	—

Примечание. Анализы выполнены в ГИН СО РАН и ГП РАЦ (г. Улан-Удэ). 1—6 — плагиограниты; 7—10 — двуполевошпатовые граниты; 11—14 — андезиты, андезитодациты; 15—17 — риолиты, риодациты; Хр — уч. Хорингольский, Бс — уч. Сагангольский.

вулканитами (лавами и туфами среднего и кислого составов зеленовато-серого и реже лилово-серого цвета). Структура эффузивных пород чаще всего порфировая с тонкозернистой или скрытокристаллической кварц-серицитовой основной массой. По химическому составу породы отвечают риолитам, риодацитам, дацитам и андезитам (табл. 1, рис. 2), обогащенным крупноионными литофильными элементами (Ba, Rb, Sr) и содержащими в повышенных количествах высокозарядные элементы (La, Ce, Nb, Zr, Y, Pb) при пониженных содержаниях Cr и Ni. По многим геологическим и геохимическим признакам вулканические породы сархойской серии наиболее соответствуют породам вулканических поясов активных континентальных окраин [Кузьмичев, 2004].

Гранитоидные породы района, как и всего Боксон-Сархойского синклинория, изучены значительно хуже. В междуречье Тиссы и Сархоя распространены фрагменты Сархойского гранитного массива, сложенные диоритами, тоналитами, биотитовыми плагиогранитами и двуполевошпатовыми порфировидными гранитами, относящимися к сархойскому комплексу. В качестве первой фазы комплекса выделяются габбро-пироксениты. Возраст комплекса определяется как силурийско-ранневендский или ордовикский [Кузьмичев, 2004]. В то же время А.Б. Кузьмичев не исключает присутствия позднерифейских гранитоидов, комагматичных сархойским вулканитам. Как показали наши исследования, действительно, гранитоиды междуречья Тиссы и Сархоя имеют не только позднерифейский возраст, но и обладают рядом черт, указывающих на их комагматичность сархойским вулканогенным породам.

Исследования гранитоидов и вулканогенных пород сархойской серии проводились в верховьях ручьев Саган-Гол и Хорин-Гол, правых притоков Тиссы. Для анализа абсолютного возраста Rb-Sr методом (Геологический институт СО РАН (г. Улан-Удэ), аналитик В.Ф. Посохов) были отобраны пробы амфибол-биотитовых плагиогранитов с варьирующим количеством темноцветов, слабой серицитизацией плагиоклаза. Среди эффузивных пород были взяты дациты, риодациты и риолиты с раскристаллизованной и слабосерицитизированной основной массой, частично серицитизированными вкрапленниками плагиоклаза.

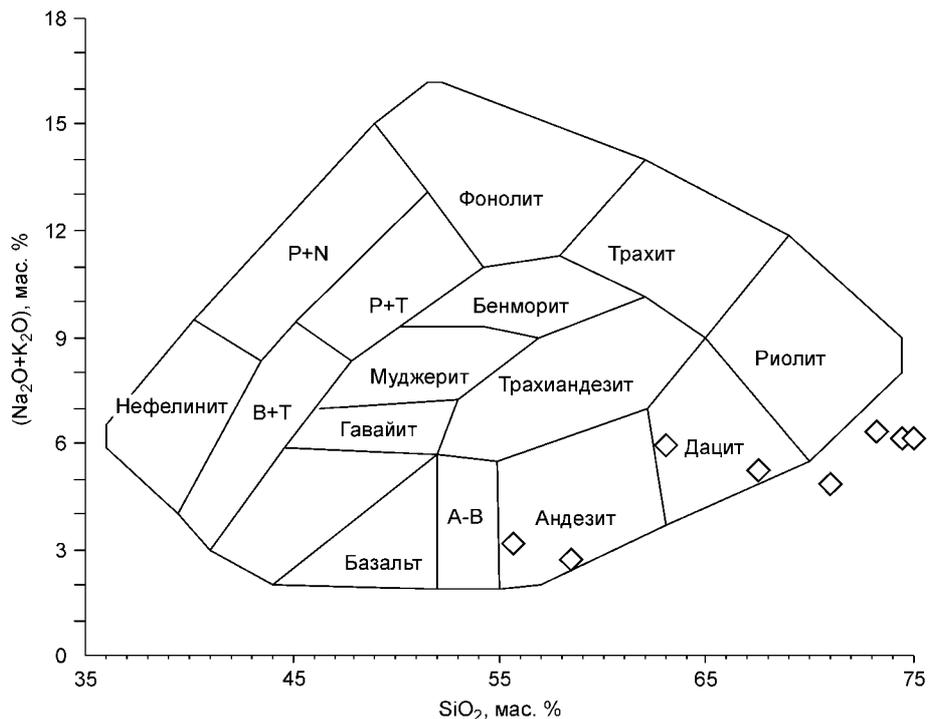


Рис. 2. Диаграмма SiO₂—(Na₂O + K₂O) для эффузивов сархойской серии.

А-В — андезитобазальты, В+Т — базальт + тефрит, P + T — фонолит + тефрит, P + N — фонолит + нефелинит; ромбы — точки составов пород.

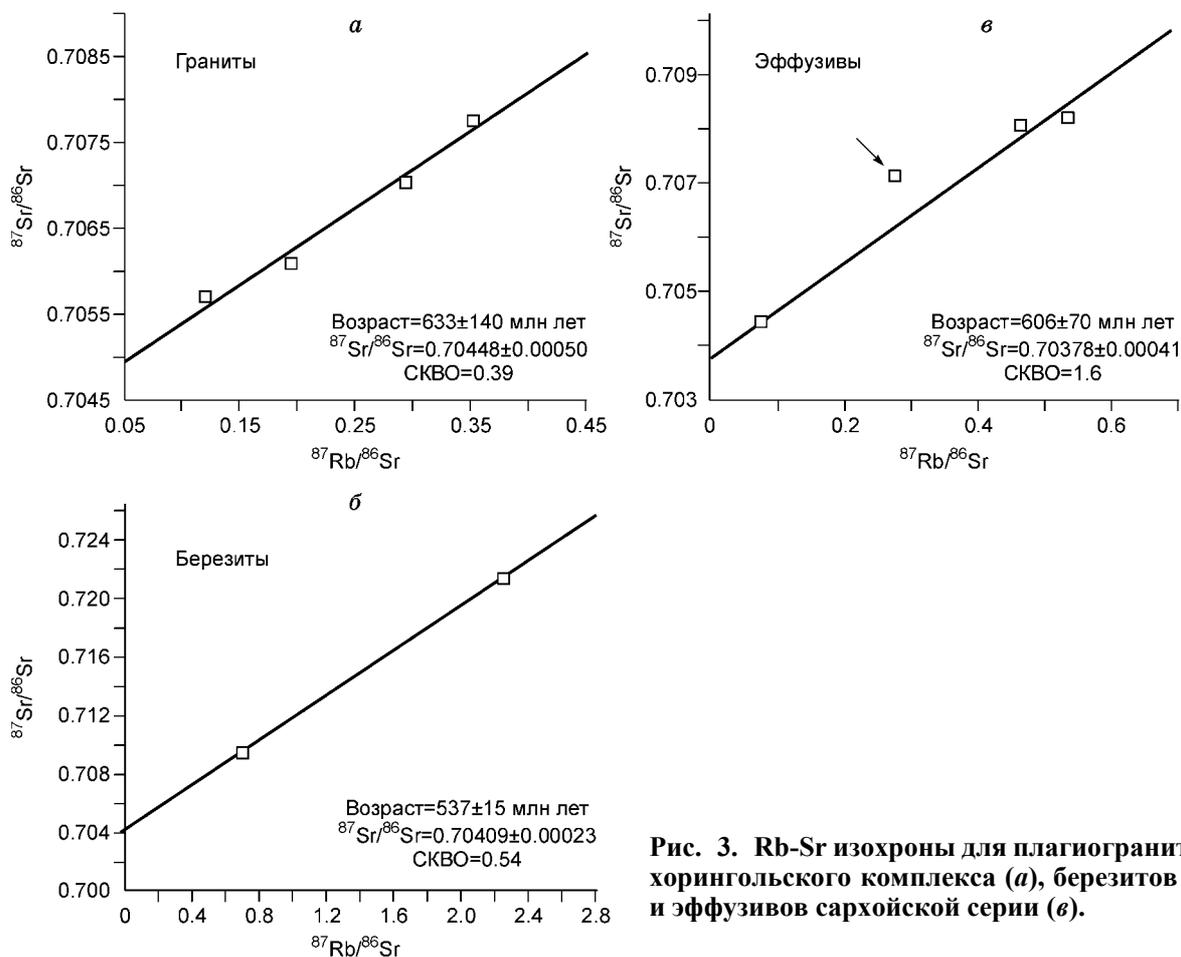


Рис. 3. Rb-Sr изохроны для плагиогранитов хорингольского комплекса (а), березитов (б) и эффузивов сархойской серии (в).

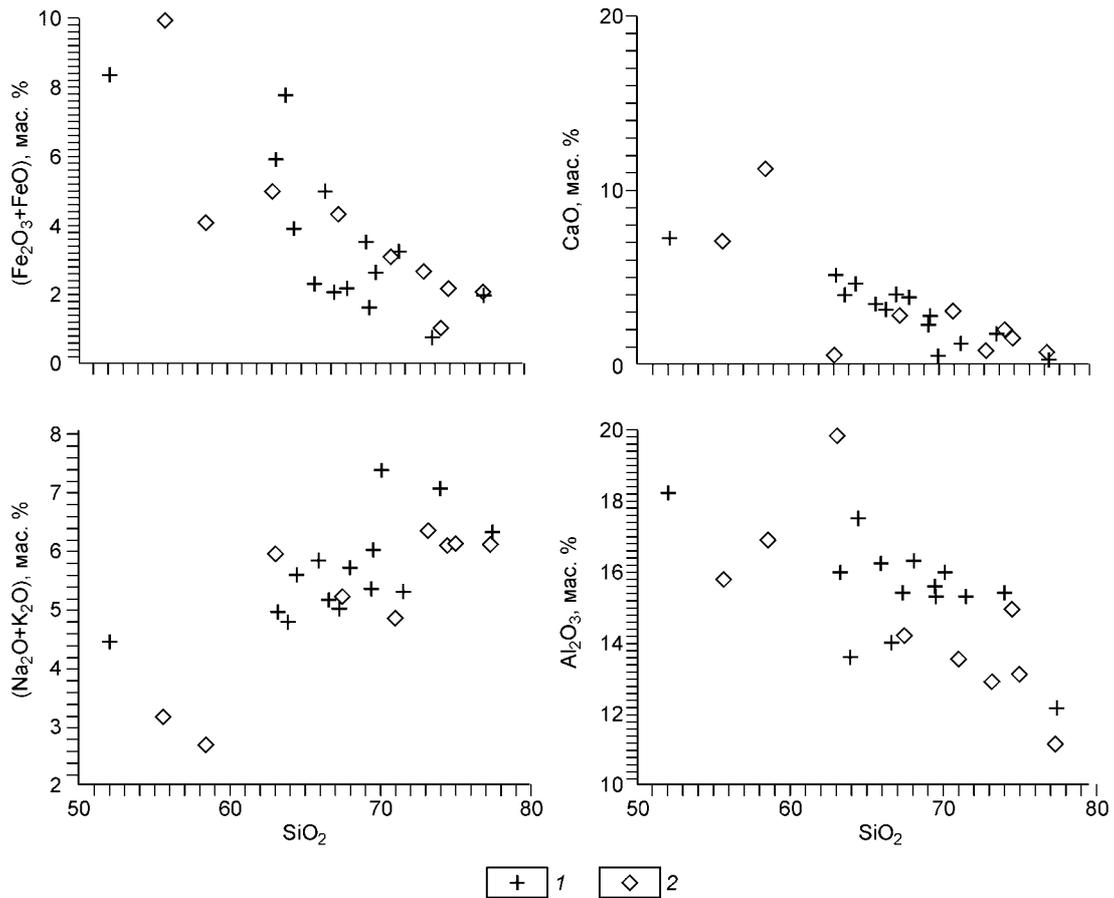


Рис. 4. Вариационные диаграммы Харкера для гранитов хорингольского комплекса (1) и эффузивов сархойской серии (2).

На Rb-Sr изотопной диаграмме видно, что аналитические точки располагаются вблизи прямых (рис. 3). Однако имеющийся разброс точек и высокое СКВО свидетельствует о том, что мы имеем дело не с изохроной, а эрохроной. Тем не менее близкие значения абсолютного возраста (633 ± 140 млн лет для гранитов и 606 ± 70 млн лет для вулканитов) и начальных отношений изотопов стронция (0.70448 для гранитов и 0.70378 для вулканитов) позволяют говорить о близком позднерифейском возрасте гранитоидов и эффузивных пород сархойской серии. Об этом же свидетельствуют данные по химическому составу и элементам-примесям. На диаграммах Харкера точки составов гранитоидов и эффузивов образуют единый тренд (рис. 4). Близкие конфигурации имеют и спайдер-диаграммы (рис. 5).

Таким образом, имеются весьма убедительные предпосылки считать гранитоиды хорингольского комплекса комагматами вулканитам сархойской серии. Однако, в связи с отсутствием достоверных датировок абсолютного возраста, этот вопрос остается открытым. Следует отметить, что полученные отношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) для гранитов и эффузивов имеют мантийные значения [Фор, 1989].

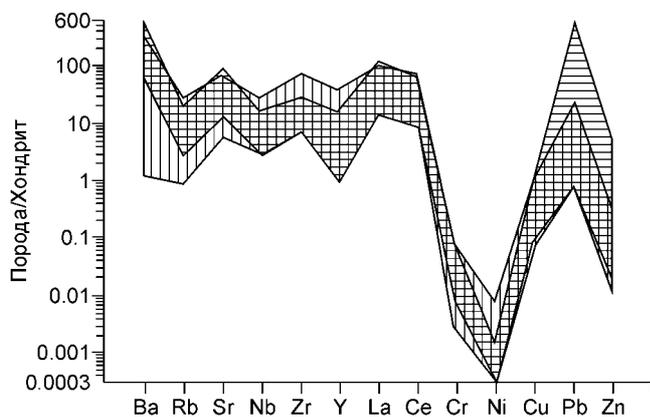


Рис. 5. Распределение элементов-примесей в гранитах хорингольского комплекса (горизонтальная штриховка) и эффузивах сархойской серии (вертикальная штриховка).

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ТИССА-САРХОЙСКОЙ ПЛОЩАДИ

Золотое оруденение приурочено большей частью к пологозалегающим малосульфидным кварцевым жилам с зонами околожильного изменения (березитизация, лиственитизация), развивающимся по зонам милонитизации и рассланцевания в гранитоидах и дайках диоритов (чаще в эндоконтактовых частях даек). Кроме кварцевых жил, на участках установлены зоны кварцевого прожилкования и березитизации, а также вкрапленные пиритовые руды в относительно слабоизмененных плагиогранитах, где размер вкрапленников сульфидных минералов достигает 1—1.5 см. Благодаря сильной расчлененности рельефа с перепадами высот до 800 м, выявлена слабовыраженная вертикальная зональность в размещении перечисленных типов (снизу вверх): вкрапленные пиритовые руды → прожилковые руды → кварцевые жилы.

Биотитовые плагиограниты в разной степени подвержены вторичным изменениям — серицитизации, карбонатизации и эпидотизации плагиоклазов, хлоритизации, мусковитизации биотитов, появлению пирита.

Наиболее измененные разности (березиты) имеют розово-серую окраску и преимущественно кварц-карбонат-серицитовый состав с вкрапленниками пирита (1—5 %). Породы внешне отличаются от березитов, распространенных на других золоторудных месторождениях Восточного Саяна (Зун-Холбинском, Коневинском). Карбонатные минералы березитов представлены железистым доломитом, кальцитом, анкеритом. В местах сгущения кварцевых прожилков, зоны березитизации достигают мощности 20—30 м. Для пород характерно мелкозернистое строение, в некоторых случаях наблюдаются карбонатные прожилки мощностью около 0.1—0.3 см. Текстура преимущественно массивная, иногда пятнистая. В составе березитов преобладает серицит (35—40 %), карбонат (железистый доломит, кальцит) (30—40 %), кварц (15—20 %), мусковит (5—10 %). Также постоянно отмечаются пирит (1—5 %), плагиоклаз (реликты) (1—3 %), хлорит (0—1 %). По химическому составу березиты близки к гранитоидам, отличаясь повышенными содержаниями K_2O и летучих компонентов (см. табл. 1). В геохимическом отношении они также наследуют микрокомпонентный состав гранитоидов.

Нами был проведен изотопный Rb-Sr анализ валовых проб наиболее типичных березитов (см. рис. 3). Полученные значения возраста — 537 ± 15 млн лет и $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.70409$ показывают достаточно древний возраст оруденения, который близок к завершающей стадии развития магматизма активной континентальной окраины, а с учетом большого разброса полученных значений возраста для магматических пород Тисса-Сархойской площади, возможно и близкодновременное формирование магматизма и рудного процесса.

Кроме березитов на площади широко развиты лиственитоподобные породы, слагающие зоны в дайках и эффузивах основного и среднего составов мощностью от 0.1 до 1 м. Они часто не имеют видимой связи с кварцевыми жилами, хотя обладают повышенной золотоносностью. По составу это кварц-мусковит-хлорит-карбонатные породы с 1.5—5 об.% мелкокрапленного пирита. Карбонат представлен анкеритом и железистым доломитом, общим количеством до 40—60 об.% (кварца — 15—30, мусковита — 10—20, хлорита — 5—10 об.%). От типичных лиственитов отличаются почти полным отсутствием фуксита (последний присутствует только в тонких (1—2 см) экзоконтактовых оторочках кварцевых жил) и развитием не по гипербазитам, а по породам среднего и основного составов. В то же время от типичных прожилков, имеющих площадное развитие в районе и не связанных с золоторудным процессом, эти породы отличаются высокой карбонатностью, отсутствием адуляра, альбита. Они характеризуются мелкозернистой массивной текстурой, зеленовато-серой, коричнево-серой окраской. Практически во всех телах лиственитоподобных пород отмечаются разноориентированные существенно-кварцевые и карбонатные прожилки (0.1—0.7 см).

В отличие от березитов лиственитизированные породы характеризуются относительно повышенными содержаниями Cr, Ni, Co, Sb, Te. Содержания золота варьируют от 0.1 до 11.2 г/т (табл. 2).

В эффузивных породах кислого состава развиваются пирит-кварц-серицитовые метасоматиты, слагающие протяженные зоны (до 1.5—2 км при мощности до 100 м). Кварцевых жил в них не наблюдается, хотя отдельные пробы пиритизированных (пирит до 5—7 об.%) эффузивов показывают содержания золота до 2.2 г/т (см. табл. 2).

Собственно кварцевые жилы чаще всего локализируются в плагиогранитах с оторочками интенсивной березитизации, имеют протяженность 80—200 м при мощности кварцевых тел 0.5—2 м. Кварц в жилах молочно-белый, кристаллический, друзовидный. Рудная минерализация (1—5 об.%) представлена вкрапленностью и мелкими гнездами пирита, халькопирита и редко халькозина. Содержания золота в жилах достигают 52.6, серебра — 20.8 г/т (см. табл. 2).

Прожилково-штокверковая минерализация развита в участках сгущения маломощных жил и прожилков кварца в плагиогранитах, образуя пологопадающие зоны мощностью до 30 м и протяженностью до 100 м. Здесь также преобладает вкрапленность пирита, редко встречаются халькопирит, галенит, халькозин, висмутин. Содержания золота достигают 26.8, серебра — 37.8 г/т (см. табл. 2).

Таблица 2. Содержания золота и серебра в рудах (г/т)

Тип руды	№ пробы	Au	Ag
Кварцевые жилы	Хр-24	9.1	6.1
	Хр-30	—	—
	Хр-90	<0.5	<5
	Хр-91	6.0	<5
	Хр-99	1.9	<5
	Хр-100	3.0	<5
	Хр-127	9.4	5.1
	4018	0.9	10.0
	Бс-3	52.6	20.8
	Бс-12	2.5	<5
	Бс-41	2.5	<5
	Бс-60	2.8	<5
Бс-136	9.8	<5	
Зоны кварцевого прожилкования и березитизации	Хр-92	0.5	<5
	Хр-128	0.6	<5
	Схе-9	0.6	<5
	4012	26.8	37.8
Зоны прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации	Бс-80	7.4	13.1
	Бс-96	2.2	<5
Зоны лиственитоподобных пород	Хр-101	0.5	<5
	Бс-77	11.2	<5

Примечание. Проанализированы бороздовые и задринковые пробы, анализы выполнены в ГП РАЦ (г. Улан-Удэ) пробирным методом.

за и закономерностей распределения рудных минералов. Минеральный состав руд изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-1430 и усовершенствованного электронного микронзонда MAP-3 (ГИН СО РАН, аналитики Н.С. Карманов, С.В. Канакин).

Препараты для исследований изготавливались по следующей методике. Предварительно штучные и бороздовые пробы дробились, отмывались в воде, а затем концентрировались в тяжелой жидкости (бромформе). Полученная ультратяжелая фракция просматривалась под биноклем, затем из нее выделялись зерна самородного золота. Оставшийся концентрат и отдельно зерна золота цементировались эпоксидным клеем и полировались. Полученные искусственные аншлифы просматривались в отраженном свете и изучались под электронным микроскопом и микронзондом.

Ниже представлена минералогическая характеристика по каждому из выделенных минералогопетрографических типов золотого оруденения (табл. 3).

Кварцевые жилы и зоны околожильной березитизации. Макроскопически в жилах встречаются лишь единичные зерна и гнезда пирита и халькопирита в некоторых жилах. Кроме них в подчиненном количестве присутствуют киноварь, включения пирротина в пирите. Из аксессуарных и вторичных минералов обнаружены монацит, ксенотим, а также церуссит, альбит, роговая обманка. В единичном случае обнаружено зерно самородного Fe (в сростании с кварцем) с примесью Ni (0.88 мас.%). Теллуридные минералы представлены теллурувисмутитом, гесситом, петцитом. Из минералов благородных металлов диагностированы самородное золото и единичные включения аргентита в золоте. Значительная часть минералов благородных металлов, теллуридов, а также галенит, киноварь и монацит присутствуют в виде включений в пирите или в сростаниях, встречаются и отдельные их зерна (см. табл. 3).

Самородное золото пористое, губчатое, часто в лимонитовой „рубашке“, присутствуют также тесные сростания золота с пиритом (лимонитом) (рис. 6, а). Постоянно фиксирующаяся примесь железа и кислорода в золоте связана с наличием лимонита в порах. Пробность золота варьирует от 670 до 865 %, другие примеси не установлены (табл. 4).

Околожильные березиты и березитизированные граниты содержат вкрапленность сульфидов порядка 1—3 об.%, представленных в основном пиритом, реже галенитом, сфалеритом, в единичных зернах отмечается киноварь. Кроме рудных минералов, часто встречаются включения барита и монацита в пирите и магнетите, а также магнетит, апатит, циркон, сростания монацита с рутилом. Из теллуридных минералов диагностированы мелонит, мелкие включения теллуридов Au и Au-Ag (петцит, калаверит) в

Отдельно можно рассмотреть слабоизмененные двуполевошпатовые граниты с кристаллами (до 1 см) пирита (не более 3—5 об.%) и содержаниями золота, по данным пробирного анализа, 7.4, серебра — 13.1 г/т (см. табл. 2). Под микроскопом обнаруживается частичная серицитизация и альбитизация плагиоклаза и калиевого полевого шпата, окварцевание не характерно. По протяженности измененные граниты не оконтурены, а в обнажениях имеют выход мощностью более 2 м. Подобная пиритизация (сульфидизация) характерна для массивов, с которыми связано медно-порфировое, золото-порфировое оруденение (Баянкульское, Коневинское и др. месторождения).

Таким образом, по составу и морфологическим особенностям могут быть выделены следующие типы золотого оруденения:

- кварцевые жилы с зонами березитизации;
- зоны кварцевого прожилкования и березитизации;
- зоны прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации;
- сульфидизированные измененные эффузивы;
- зоны лиственитоподобных пород.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД

Для перечисленных типов минерализации были проведены электронно-микроскопические исследования с целью изучения химического состава

Окончание табл. 3

Минерал	O	S	Fe	Mo	Cu	Zn	Ag	As	Te	Au	Pb	Bi	Sb	Hg	Ni	Sn	Y	Th	U	Сумма
Петцит	—	—	—	—	—	—	40.39	—	34.68	25.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.16
	—	—	—	—	—	—	41.75	—	34.65	24.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.72
	—	—	—	—	—	—	42.12	—	34.44	23.93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.49
Халькозин	—	27.06	1.71	—	70.01	—	1.83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.61
<i>Вкрапленные пиритовые руды</i>																				
Халькозин	—	26.94	—	—	73.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.55
Галенит	—	13.48	—	—	—	—	—	—	—	—	84.71	—	—	—	—	—	—	—	—	98.19
Пирит	—	53.23	46.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.44
Гессит	—	—	—	—	—	—	61.67	—	38.77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.44
Петцит	—	—	—	—	—	—	40.29	—	34.40	25.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.17
<i>Листвениты</i>																				
Петцит	—	—	—	—	—	—	39.72	—	35.48	23.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.02
	—	—	—	—	—	—	40.50	—	35.74	23.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.45
	—	—	—	—	—	—	—	40.40	—	34.97	23.15	—	—	—	—	—	—	—	—	98.51
Мелонит	—	—	—	—	—	—	—	—	83.78	—	—	—	—	—	18.04	—	—	—	—	101.82
	—	—	—	—	—	—	—	—	83.77	—	—	—	—	—	17.77	—	—	—	—	101.54
	—	—	—	—	—	—	—	—	83.14	—	—	—	—	—	17.6	—	—	—	—	100.74
Теллурувисмутит	—	—	—	—	—	—	—	—	47.76	—	—	51.43	—	—	—	—	—	—	—	99.19
PbBiTe(?)	—	—	—	—	—	—	—	—	42.63	—	39.67	15.18	—	—	—	—	—	—	—	97.47
Алтаит	—	—	—	—	—	—	—	—	40.56	—	57.41	—	—	—	—	—	—	—	—	97.98
	—	—	—	—	—	—	—	—	41.53	—	58.76	—	—	—	—	—	—	—	—	100.29
Гессит	—	—	—	—	—	—	60.70	—	39.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.18
	—	—	—	—	—	—	60.56	—	39.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.97
	—	—	—	—	—	—	61.40	—	39.19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.59
Оксид Pb, Te и Bi	12.53	—	—	—	—	—	—	—	36.14	—	40.07	7.23	—	—	—	—	—	—	—	95.97
Пирит	—	55.53	46.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	102.34
Пирротин	—	39.21	60.31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.52
Халькопирит	—	35.85	30.50	—	33.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99.84
Сфалерит	—	34.13	3.1	—	—	64.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	101.48
AgFeS ₂ (?)	—	28.75	23.55	—	—	—	47.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.15
Киноварь	—	16.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	83.45	—	—	—	—	—	100.03
	—	16.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	83.50	—	—	—	—	—	99.85

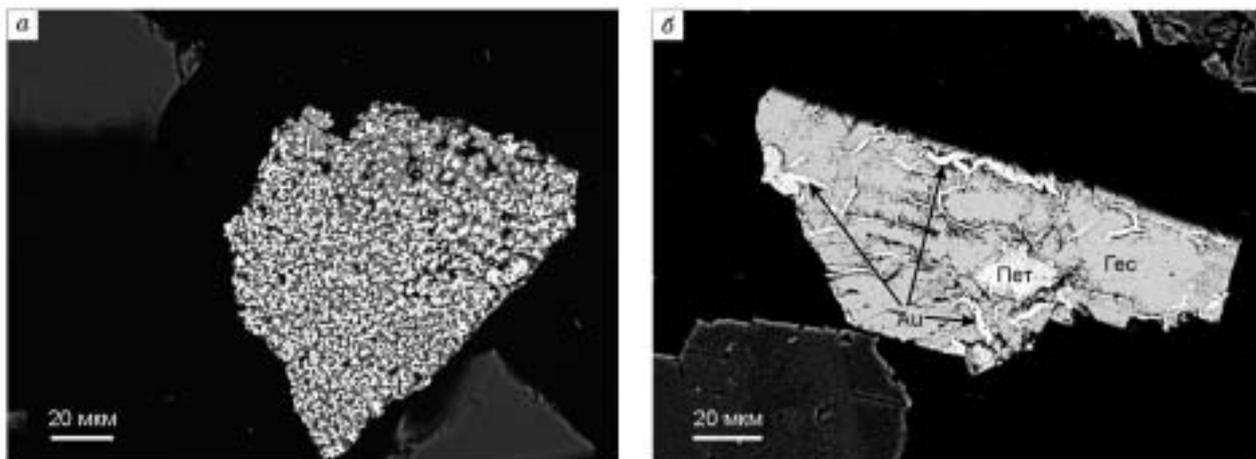


Рис. 6. *а* — выделения самородного золота (белое) в агрегате окисленного пирита (золото-пиритовая ассоциация); *б* — прожилки самородного золота (Au) и включение (реликт) петцита (Пет) в зерне гессита (Гес) (золото-теллуридная ассоциация).

также образует сростания с теллуридными минералами (алтаитом, мелонитом, гесситом, теллуровисмутитом). Золото имеет в основном среднюю пробность (700—900 ‰), реже встречается низкопробное (550 ‰) (см. табл. 3). В некоторых золотилах фиксируется примесь Те и Рб. Из необычных минеральных фаз диагностированы сульфиды Au и Ag, фаза PbVTe, оксиды Pb, V и Te, сульфид Ag и Fe (возможно, штернбергит $AgFe_2S_3$), самородная медь (см. табл. 4).

Таблица 4. Состав самородного золота (мас.%)

Тип руды	№ пробы	Au	Ag	Cu	Fe	Сумма
Кварцевые жилы	Бс-53	86.46	13.01	—	—	99.47
		77.26	20.17	—	0.58	98.01
		48.71	41.36	—	—	99.08
	Хр-80	90.80	8.29	—	0.61	99.70
		92.17	6.93	—	—	99.10
		87.09	13.22	—	—	100.31
		88.99	7.40	0.96	—	97.35
		82.64	17.13	—	—	99.77
77.49		20.75	—	—	98.24	
Зоны кварцевого прожилкования и березитизации	Бс-122	85.19	13.88	—	1.02	100.09
	Хр-122	96.43	4.61	—	—	101.04
		91.04	6.84	—	2.21	100.09
Зоны прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации в эффузивах	Хр-89	93.43	7.53	—	—	100.96
		89.18	11.08	—	—	100.26
	Хр-9	93.88	6.66	—	0.79	101.33
Зоны лиственитоподобных пород	Бс-35	99.95	0.047	0.12	—	100.54
		99.13	0.30	0.17	—	99.60
		98.16	2.05	0.13	—	100.34
		96.87	2.58	0.23	—	99.68
		93.95	6.19	<0.1	—	100.14
		93.06	5.88	—	0.93	99.87
		92.83	4.61	—	2.14	99.58
		82.92	14.32	—	3.11	100.35
		82.92	14.59	—	—	97.51

Примечание. Анализы выполнены в ГИН СО РАН на микрозонде MAP-3 и на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430. Аналитики Н.С. Карманов, С.В. Канакин.

Кроме рудных минералов в тяжелой фракции присутствуют барит, монацит, циркон, церуссит. Встречающиеся сростания теллуридов (алтаита) и золота с карбонатными минералами могут свидетельствовать о синхронности процессов лиственитизации и рудообразования.

ИЗУЧЕНИЕ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Для изучения флюидных включений (ФВ) были отобраны образцы кварца из рудных жил и прожилков. В кварце наблюдаются однофазные (раствор), двухфазные (раствор + газ) и трехфазные (жидкая CO_2 + газ + раствор в разных соотношениях) включения. Размеры включений не превышают 15—20 мкм. Результаты термобарогеохимического изучения ФВ представлены в табл. 5. Двухфазные (раствор + газ) включения в прозрачном перекристаллизованном кварце гомогенизируются при 175—130 °С, мелкие двухфазные включения в замутненном кварце основной жильной массы декрепитируют при 250—325 °С, не достигая полной гомогенизации. Эвтектика замороженных растворов плавится при $-24 \dots -21$ °С, плавление образующегося при охлаждении газогидрата CO_2 происходит при $+8 \dots +6$ °С. В некоторых включениях наблюдается фаза льда, плавящегося в интервале $-8 \dots -5$ °С. Общая концентрация солей в растворах включений колеблется от 11.7 до 4 мас.% в эквиваленте NaCl. Углекислота плавится при температурах $-57 \dots -58$ °С. Температуры гомогенизации CO_2 варьируют от -3 до $+22$ °С. Плотность CO_2 составляет 0.95—0.75 г/см³.

В некоторых зернах кварца изученных образцов, наряду с вышеописанными, присутствуют расплавные, кристаллофлюидные и субмикронные (не более 5 мкм) многофазные (раствор + две-три твердые фазы + газ) флюидные включения. Расплавные включения часто располагаются по периметру кварцевых зерен по зонам роста, кристаллофлюидные и многофазные — по залеченным трещинам. Присутствие расплавных включений в таком кварце свидетельствует о его магматическом происхождении, либо позволяет отнести его к самым ранним высокотемпературным ассоциациям рудных жил.

Таким образом, формирование жил и прожилков происходило из насыщенных CO_2 (плотность 0.95—0.75 г/см³) гетерофазных флюидов с концентрацией солей от 4 до 11.7 мас.%. В солевом составе растворов включений преобладает NaCl. Установленная температура гомогенизации включений в прозрачном перекристаллизованном кварце (170—110 °С) соответствует температуре рудообразующего флюида на заключительных стадиях минералообразования. Декрепитация не достигших гомогенизации мелких включений в кварце основной жильной массы при температуре 325—250 °С свидетельствует о более высоких температурах образования кварцевых жил на ранних стадиях процесса. Давление CO_2 во включениях при температурах их декрепитации составляет 2.6—1.0 кбар и может быть близко к минимальному давлению в период рудообразования.

Таблица 5. Результаты изучения флюидных включений в кварце рудных жил и прожилков

Проба	Фазовый состав	$T_{\text{гом}}$, °С	$T_{\text{эвт}}$, °С	$T_{\text{пл льда}}$ (газогидрата), °С	$T_{\text{пл CO}_2}$, °С	$T_{\text{гом CO}_2}$, °С	C, мас.% NaCl экв	Плотность CO_2 , г/см ³
К-4224	L + V	170—280*	$-22 \dots -24$	$(+8 \dots +6)$	—	—	7.5—4	—
	$\text{LCO}_2 + \text{V} > \text{L}$	—	—	—	-57	$-1 \dots -3$	—	0.93—0.95
Хр-103	L + V	145—130	-21	$-8 \dots -5$	—	—	11.7—7.8	—
	$\text{LCO}_2 + \text{V} > \text{L}$	—	—	—	-57	$+21 \dots +20$	—	0.76—0.77
Бс-8	L + V	170—325*	-22	$(+7 \dots +6)$	—	—	7.5—5.8	—
	$\text{LCO}_2 + \text{V} > \text{L}$	—	—	—	-58	$-2 \dots +22$	—	0.94—0.75

Примечание. L — раствор, LCO_2 — жидкая углекислота, V — газ; C — общая концентрация солей в растворе. Изучение ФВ проведено в ОИГТМ СО РАН А.А. Боровиковым, А.С. Борисенко.

* Декрепитация.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение минералогических характеристик руд Тисса-Сархойского золоторудного узла показывает наличие теллуридных минералов во всех изученных типах руд. Особенностью их являются крайне малое количество минералов серебра, средняя—высокая пробность золота. Наблюдаемые соотношения теллуридов и золота с нерудными минералами свидетельствуют об их тесной пространственно-временной ассоциации и связи оруденения с процессами вторичного изменения рудовмещающих пород.

Выделяются две рудные минеральные ассоциации: золото-пиритовая и золото-теллуридная. К золото-пиритовой отнесены пирит, широко распространенный в исследуемых рудах, и золото, содержащее в своем составе Fe, S и O в порах, т. е. находящееся в тесных сростаниях с пиритом и лимонитом, сформировавшимся при окислении золото-пиритовых руд (см. рис. 6, а). К этой же ассоциации, по видимому, относятся сульфидные минералы (галенит, сфалерит, киноварь) и золото, связанное с карбо-

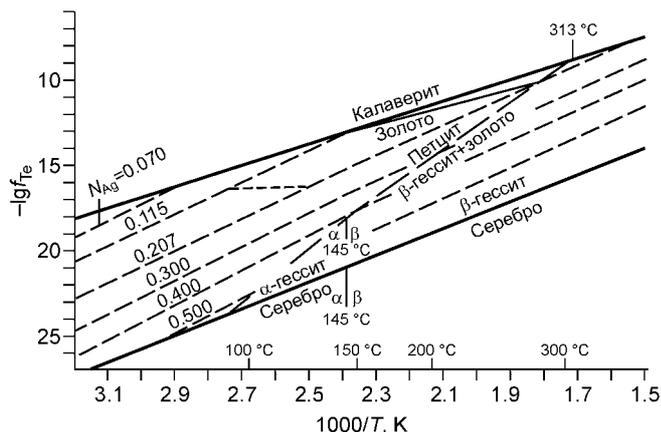


Рис. 7. Диаграмма стабильности Au-Ag-Te минералов, по [Бортников, 1988].

натными минералами лиственитов и березитов. Формирование золото-пиритовой ассоциации тесно связано с процессами гидротермального изменения (березитизацией и лиственитизацией) гранитов, диоритов и эффузивов. Полученные температуры и давления формирования ранней рудной минеральной ассоциации имеют значения не ниже 250—325 °С при давлении 1.0—2.6 кбар и, по-видимому, соответствуют условиям, характерным для березитизации—лиственитизации в целом (370—460 °С при $P = 0.7—1.5$ кбар) [Зарайский и др., 1981; Сазонов, 1984].

Относительно поздняя золото-теллуридная ассоциация включает теллуриды Au, Ag, Bi, Pb, Ni (петцит, калаверит, гессит, теллуровисмутит, алтаит, мелонит) и ассоциирующее с ними самородное золото (см. рис. 6, б). Эта ассоциация представлена включениями и вкрапленниками теллуридов и золота. Серебряные минералы сложены преимущественно теллуридами, хотя в единичных случаях присутствуют включения аргентита. Самородное серебро не обнаружено. По диаграмме стабильности Au-Ag-Te минералов ассоциации петцит—гессит—самородное золото, калаверит—самородное золото стабильны при температурах 150—280 °С и значениях $\lg f_{Te} = -10 \dots -19$ (рис. 7) [Бортников и др., 1988]. Учитывая, что полученные температуры гомогенизации ФВ в прозрачном перекристаллизованном кварце, которые, как известно, отражают минимальные температуры процесса, соответствуют 110—170 °С, можно сделать вывод, что отложение минералов золото-теллуридной ассоциации происходило в интервале температур 110—280 °С. Близкие температуры формирования золото-теллуридной минерализации (70—280 °С) установлены в известных месторождениях золото-порфирирового типа (Флоренсия, Куба; Таинское, Восточный Саян) [Бортников и др., 1988; Миронов и др., 2001].

Таким образом, формирование двух минеральных ассоциаций в указанных объектах происходило при понижении температуры рудообразующих процессов и повышении активности теллура в растворах. По геологическому положению, морфологическим и минералогическим характеристикам проявления Тисса-Сархойской площади имеют много специфических черт. К ним можно отнести: приуроченность оруденения к вулканоплутоническому поясу островодужного типа; присутствие нескольких типов оруденения (жильное, прожилково-вкрапленное оруденение в гранитоидах, вкрапленные сульфидные руды в метаэффузивах); золото-теллуридная ассоциация; развитие процессов березитизации—лиственитизации. Подобные характеристики имеют месторождения золото-порфирирового типа, что позволяет предположить принадлежность указанных объектов к месторождениям золото-порфирирового типа [Кривцов и др., 1986; Hedenquist et al., 1988; Rowins, 2000; Сазонов и др., 2001; Сизых и др., 2004].

Таким образом, формирование двух минеральных ассоциаций в указанных объектах происходило при понижении температуры рудообразующих процессов и повышении активности теллура в растворах.

По геологическому положению, морфологическим и минералогическим характеристикам проявления Тисса-Сархойской площади имеют много специфических черт. К ним можно отнести: приуроченность оруденения к вулканоплутоническому поясу островодужного типа; присутствие нескольких типов оруденения (жильное, прожилково-вкрапленное оруденение в гранитоидах, вкрапленные сульфидные руды в метаэффузивах); золото-теллуридная ассоциация; развитие процессов березитизации—лиственитизации. Подобные характеристики имеют месторождения золото-порфирирового типа, что позволяет предположить принадлежность указанных объектов к месторождениям золото-порфирирового типа [Кривцов и др., 1986; Hedenquist et al., 1988; Rowins, 2000; Сазонов и др., 2001; Сизых и др., 2004].

ВЫВОДЫ

1. На золоторудных проявлениях Тисса-Сархойского узла установлены несколько морфогенетических типов оруденения: собственно кварцевые жилы с зонами березитизации; прожилковые руды и вкрапленные пиритовые руды в гранитоидах; зоны лиственитизации; зоны сульфидизации в эффузивах.

2. Во всех выделенных типах руд установлена золото-теллуридная минерализация, представленная теллуридами Au, Ag, Bi, Pb, Ni (петцит, калаверит, гессит, теллуровисмутит, алтаит, мелонит) и самородным золотом средней—высокой пробыности.

3. Выделены две рудные минеральные ассоциации: ранняя высокотемпературная (250—460 °С) — золото-пиритовая и поздняя низкотемпературная (110—280 °С) — золото-теллуридная.

4. По комплексу признаков предполагается золото-порфирировый тип оруденения для изученных объектов.

Авторы выражают благодарность В.Ф. Посохову за проведение изотопного анализа, сотрудникам ОАО „Сосновгео“ за предоставленные материалы, а также Н.Г. Сметаниной за помощь в оформлении рукописи.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (гранты 04-05-64399, 05-05-64422, 06-05-64993) и гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ № НШ-2339.2006.5.

ЛИТЕРАТУРА

Беличенко В.Г., Бутов Ю.П., Боос Р.Г., Вратковская С.В., Добрецов Н.Л., Долматов В.А., Жмодик С.М., Конников Э.Г., Кузьмин М.И., Медведев В.Н., Меланина Н.М., Миронов А.Г., Немировская Н.А., Огурцов А.М., Постников А.А., Рошкетав П.А., Скляр Е.В., Филимонов А.В., Шафеев А.А. Геология и метаморфизм Восточного Саяна. Новосибирск, Наука, 1988, 192 с.

Бортников Н.С., Крамер Х., Генкин А.Д., Крапива Л.Я., Санта-Крус М. Парагенезисы теллуридов золота и серебра в золоторудном месторождении Флоренсия (Республика Куба) // Геология рудных месторождений, 1988, № 2, с. 49—61.

Грабежев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Молошаг В.П., Сотников В.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А., Покровский Б.Г. Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал, Россия) // Геология рудных месторождений, 2000, т. 42, № 1, с. 38—52.

Жмодик С.М., Миронов А.Г., Шадрин С.В., Жмодик А.С., Бобрик О.М. Два типа золото-порфировых систем Восточного Саяна // Тез. докл. Всероссийского симпозиума „Золото Сибири и Дальнего Востока“. Улан-Удэ, 2004, с. 84—87.

Зарайский Г.П., Шаповалов Ю.Б., Белявская О.Н. Экспериментальное исследование кислотного метасоматоза. М., Наука, 1981, 220 с.

Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. М., Недра, 1984, 165 с.

Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфировые месторождения мира. М., Недра, 1986, 236 с.

Кузин А.В. О приуроченности медных и золоторудных месторождений к андезитовой формации // Изв. вузов. Геология и разведка, 2002, № 3, с. 73—78.

Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М., ПРОБЕЛ-2000, 2004, 192 с.

Миронов А.Г., Жмодик С.М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений, 1999, т. 41, № 1, с. 54—69.

Миронов А.Г., Жмодик С.М., Очиров Ю.Ч., Боровиков А.А., Попов В.Д. Таинское золоторудное месторождение (Восточный Саян, Россия) — редкий тип золото-порфировой формации // Геология рудных месторождений, 2001, т. 43, № 5, с. 395—413.

Сазонов В.Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение (на примере Урала). Свердловск, УНЦ АН СССР, 1984, 208 с.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург, УГГА-ИГГ УрО РАН, 2001, 622 с.

Сизых Вал.И., Сизых Вит.И., Сизых Ю.И. Новый прожилково-вкрапленный золото-медно-молибден-порфировый тип оруденения на Алиинском рудном участке в Забайкалье // Докл. РАН, 2004, т. 395, № 2, с. 236—240.

Спиридонов Э.М. Инверсионная плутогенная золото-кварцевая формация каледонид севера Центрального Казахстана // Геология рудных месторождений, 1995, т. 37, № 3, с. 179—207.

Фор Г. Основы изотопной геологии. М., Мир, 1989, 590 с.

Hedenquist J.W., Arribas A., Reynolds T.J. Evolution of an intrusion centered hydrothermal system: Far-Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines // Econ. Geol., 1988, v. 93, № 4, p. 373—404.

Rowins S.M. Reduced porphyry copper-gold deposits: a new variation on an old theme // Geology, 2000, v. 28, p. 491—494.

*Рекомендована к печати 7 декабря 2006 г.
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию 20 февраля 2006 г.,
после доработки — 6 ноября 2006 г.*