



О МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ

Приведены существующие рекомендации по изучению золотосодержащих руд. Рассмотрены и обобщены результаты изучения руд и вмещающих пород проявления Лог 26, которые послужили основанием для составления методики изучения золотосодержащих руд при проведении поисковых работ.

Ключевые слова: методические рекомендации, золотосодержащие руды, проявление Лог 26, поисковые работы, методика изучения.

В золотосодержащих рудах золото представлено главным образом в самородном виде. Оно обычно содержится в кварце и сульфидах, но может присутствовать и в других порообразующих минералах, часто в рассеянном тонкодисперсном состоянии. При выполнении геологоразведочных работ, конечным результатом которых является подсчёт запасов или оценка прогнозных ресурсов золота, изучение золотосодержащих руд регламентировано Методическими рекомендациями [1], разработанными Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» и утверждёнными распоряжением МПР России № 37-Р от 05.06.2007 г. Методы изучения вещественного состава и технологических свойств золотосодержащих руд подробно изложены в книге «Методика исследования золотосодержащих руд» [3], до сих пор служащей практическим руководством.

Предварительная оценка промышленной значимости руд начинается на поисковой стадии, когда рассматриваются масштаб оруденения, вещественный состав и в меньшей степени технологические свойства потенциально золотых руд. В качестве примера приведём проявление Лог 26, которое размещается на юго-востоке Топольнинского рудного поля в Солонешенском районе Алтайского края. Топольнинское рудное поле является составной частью Ануйского медно-золоторудно-россыпного узла Северо-Алтайского золоторудного пояса.

Первые признаки золоторудной минерализации в левом борту Лога 26 выявлены в 1954 г. Е.Е.Перфиловым. С 1954 по 2002 гг. изучение руд и рудовмещающих пород осуществлялось периодически по общеизвестной методике, при этом химический состав их определялся с применением полуколичественного спектрального, спектрохимического и пробирного анализов бороздовых и керновых проб, а минеральный – в шлифах, аншлифах и шлихах (М.Ф.Розен, 1957 г.; В.С.Рузаев, 2002 г.). Промышленные

**Рожченко
Виталий Антонович**
ведущий геолог
roscpis@mail.ru

АО «Горно-Алтайская экспедиция»,
с. Малоенисейское

концентрации золота были выявлены в роговиках, ороговикованных алевролитах, мергелях, ороговикованных алевролитах с линзами известняков, скарнированных известняках, андезитах. Минеральный состав руд: кварц, полевой шпат, слюды, кальцит, гранат, эпидот, пироксен, везувиан, скаполит. Из рудных минералов выделены пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, количество которых в совокупности не превышало 0,2%. Спорадически отмечались тетрадимит, бисмутит, халькозин, киноварь, хромит, шеелит, гематит, касситерит, висмутин. Самородное золото установлено в микротрещинах породообразующих минералов и частично изучено (В.С.Рузаев, 2002 г.).

В 2001 г. вещественный состав и технологические свойства руд проявления Лог 26 изучены сотрудниками Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (ОАО «ИРГИРЕДМЕТ») (Д.И.Коган, 2001 г.). Объектом изучения была лабораторная проба массой 289 кг, отобранная из золотосодержащей руды, вскрытой канавой 201 в интервале 1,0–17,0 м в северной части проявления. Проба состояла из скарноподобной породы и роговика с незначительной примесью диоритового порфирита. Содержание Au 3,3–3,8 г/т, Ag <2 г/т. По результатам химического и фазового анализов в пробе отсутствовали $S_{\text{общ.}}$, $S_{\text{окисл.}}$, $S_{\text{сульфид.}}$, Sb, Pb, Ni. Содержание Co, WO_3 , Cu, Se, Te, Sn составило <0,001%, Zn – 0,007, Bi – 0,002, Mo – 0,001, Cd – 0,005, Ba – 0,032, As – 0,001, $Fe_{\text{общ.}}$ – 5,31, $Fe_{\text{окисл.}}$ – 1,25%. Кроме того, в пробе содержатся, %: SiO_2 47,14, Al_2O_3 13,00, CaO 19,63, Fe_2O_3 7,59, MgO 3,57, MnO 0,14, TiO_2 0,72, K_2O 3,80, Na_2O 2,82, P_2O_5 0,21. Минеральный состав пробы, %: диопсид – 64,8, кварц – 12,0, гранаты – 9,5, полевые шпаты, плагиоклазы, слюды, каолин в совокупности – 8,0, амфиболы с хлоритом – 4,2, оксиды железа и марганца – 1,2, апатит, сфен, флюорит, циркон, барит, шеелит, эпидот в совокупности – 0,3. По результатам фазового анализа общее количество цианируемого золота в руде 94%, в том числе свободного амальгамирующегося 57,6% и в сростках 36,4%. Тонковкрапленное золото в породообразующих минералах составляет 6%, а заключённое в сульфидах не выявлено. В изученной пробе весовое количество свободного золота в классе крупности +0,074...–2 мм составляет 44,1%, в классе –0,074 мм – 55,9%.

Таким образом, по результатам химического, фазового и минералогического анализов в пробе

не обнаружены сульфиды и теллуриды, т.е. по признаку наличия промышленно ценных компонентов руда монометалльная. Золото находится в самородном виде и ассоциирует со всеми породообразующими минералами, его проба 890–978‰ (шесть определений). В золоте постоянно присутствуют Ag от 1,91 до 2,11% и Cu от 0,01 до 0,02%. Извлечение золота в концентрат при гравитационном обогащении руды, измельчённой до 2 мм, составило от 37,63 до 45,05%, а при обогащении материала крупностью –0,2 мм – 55,25%. После цианирования хвостов гравитации общее извлечение золота составило 95,52%. При сорбционном цианировании исходной руды извлекается 94–95% золота, при кучном выщелачивании 56–61%. Для переработки руд рекомендованы два варианта технологических схем: гравитация плюс цианирование хвостов гравитации и сорбционное цианирование исходной руды (Д.И.Коган, 2001 г.).

В 1996–2013 гг. сотрудниками Алтайской государственной академии образования им. В.М.Шушкина в Солонешенском рудном районе выполнены научно-исследовательские работы, в том числе по теме «Исследование закономерностей формирования редкометалльного и золото-черносланцевого оруденения» [7]. Были «...изучены более детально рудовмещающие породы, магматизм и минерализация месторождения Лог № 26, что позволило рассматривать его как весьма перспективный золото-черносланцевый объект. Золотоносные породы представляют собой скарноиды...» [7, с. 173]. В осадочных породах установлен органический углерод сапропелевого типа в количестве от 0,3 до 1,5%, обладающий адсорбционными свойствами. В ороговикованных и метасоматически изменённых породах содержание $C_{\text{орг.}}$ уменьшается до 0,1–0,9%. В рудах и во вмещающих породах выделены и изучены три генерации пирита, галенит, две разновидности арсенопирита, халькопирит, халькозин, борнит и тетрадимит; общее количество сульфидов не более 2%. В перечисленных минералах количественно определены элементы-примеси, включая золото.

В 2012–2014 гг. сотрудниками ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» в Топольнинском рудном поле в ходе поисковых работ на золото в пределах проявления Лог 26 пройдены шесть канав суммарной протяжённостью 825,4 м, пробурены четыре скважины общим объёмом 990,7 м, продолжилось изучение вещественного состава золотосодержа-

щих руд (В.А.Рожченко, 2014 г.). На основании выполненных и с учётом предшествующих работ уточнено геологическое строение проявления, получены дополнительные данные по вещественному составу золотосодержащих руд, оценены прогнозные ресурсы золота категории P_1 .

Проявление Лог 26 локализовано в северо-восточной части Нижнекараминского тектонического блока, сложенного осадочными карбонатно-терригенными породами палатинской свиты раннего силура, прорванными дайками различного состава (рис. 1). Карбонатно-терригенные отложения имеют крутое ($60-85^\circ$) юго-западное падение. Дайковые тела топольнинского габбро-гранодиорит-гранитового комплекса среднего девона преимущественно субслоистые, редко северо-восточного простирания. Породы в разной степени подвергнуты контактово-метаморфическим и частично метасоматическим изменениям.

Выходы золоторудных тел отмечаются на приводораздельном склоне юго-западной экспозиции и в водораздельной части между Логом 26 и руч. Рыбный; простирание северо-западное. Оруденение приурочено к интервалу перехода терригенных отложений к толще известняков. Данный интервал характеризуется фациальной изменчивостью пород. По результатам проведённых работ оконтурены восемь рудных тел, в том числе шесть с кондиционными ресурсами. Рудные тела прослежены по простиранию канавами через 15–200 м, скважинами через 20–200 м, а по падению – от 15 до 230 м. Из шести рудных тел четыре пластообразной и два линзообразной формы. Их простирание от северо-западного до северо-северо-восточного, падение крутое ($60-85^\circ$) юго-западное-западное. Длина тел от 200 до 800 м, истинная мощность от 0,9 до 4,6 м. Золоторудные тела не имеют чётких геологических границ и выделяются по данным опробования. Они не выдержаны по простиранию и мощности, постепенно выклиниваются, по отношению к вмещающим породам согласные или контактовые. Погружение рудных тел северо-северо-западное. В зоне гипергенеза дезинтегрированы и частично лимонитизированы до глубины 1–10 м от поверхности. Содержание Au в рудных пересечениях от 0,54 до 7,25 г/т, в рудных телах от 1,25 до 2,59 г/т, среднее 2,01 г/т. Содержание Ag в рудных пересечениях $<0,20$ г/т. Прогнозные ресурсы золота категории P_1 6,99 т. По характеристикам изменчивости основных свойств орудене-

ния [1] проявление Лог 26 относится ко второй группе сложности геологического строения.

Имеющиеся конкретные золоторудные пересечения свидетельствуют о том, что ~90% прогнозных ресурсов золота локализованы в рудных телах, сложенных породами, отнесёнными к скарноидам [6], которые состоят преимущественно из диопсида, граната, кварца, полевых шпатов, сопутствующих амфиболов, хлорита, эпидота, цоизита, кальцита, пренита. Редко наблюдается неравномерная вкрапленность сульфидов (пирит, арсенопирит, халькопирит, борнит, халькозин, блеклая руда) и теллуридов в количестве, не превышающем 0,5%. Структура скарноидов гранобластовая и микрогранобластовая, текстура полосчатая, пятнистая; встречаются фрагменты слоек мраморизованного известняка, мергеля, углеродистого алевролита, песчаников, т.е. пород, по которым, по-видимому, скарноиды образовались. Скарноиды визуально, а также по минеральному и химическому составам схожи с роговиками и весьма существенно отличаются от скарнов, которые в Топольнинском рудном поле распространены на участках Сухая Грива, Чёртова Грива, Чёртова Яма, Кирпичный. Это отличие подтверждается данными химического анализа керновых и бороздовых проб, содержащих Au от 0,18 до 9,32 г/т. (табл. 1).

Около 10% прогнозных ресурсов золота локализованы в жильно-прожилковых зонах [7] изменённых риолитов, риодацитов и кварцевых монцодиорит-порфиридах. В перечисленных породах отмечаются различно ориентированные прожилки кварца в количестве от 1 до 5% от объёма породы, а также единичная вкрапленность пирита и арсенопирита.

Таким образом, руководствуясь методическими рекомендациями [1], по минеральному составу можно выделить два типа руд. Руды, представленные скарноидами, следует условно отнести к золото-силикатному типу [1], а руды, представленные вулканическими породами с жильно-прожилковыми зонами, – к золото-кварцевому или к золото-сульфидно-кварцевому [1].

Содержание золота методом предварительного гравитационного концентрирования определялось в ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк). Исследованы пять хвостов обработки бороздовых проб массой от 4,4 до 4,7 кг, отобранных из золото-силикатных руд с содержанием Au по пробирному анализу от 0,54 до 8,74 г/т

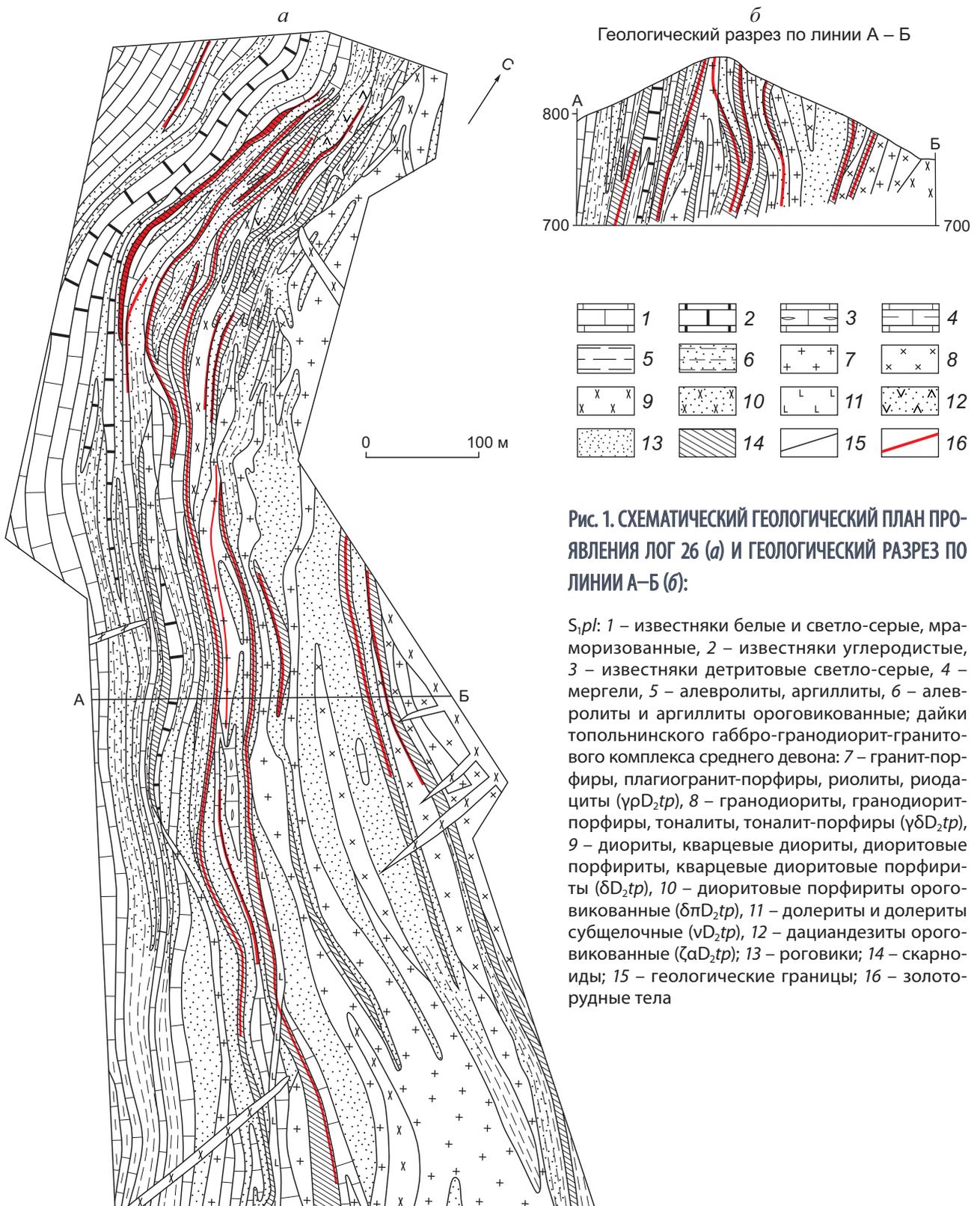


Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 (а) И ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А–Б (б):

S,pl: 1 – известняки белые и светло-серые, мраморизованные, 2 – известняки углеродистые, 3 – известняки детритовые светло-серые, 4 – мергели, 5 – алевролиты, аргиллиты, 6 – алевролиты и аргиллиты ороговикованные; дайки топольнинского габбро-гранодиорит-гранито-комплекса среднего девона: 7 – гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры, риолиты, риодациты ($\gamma\delta D_2tp$), 8 – гранодиориты, гранодиорит-порфиры, тоналиты, тоналит-порфиры ($\gamma\delta D_2tp$), 9 – диориты, кварцевые диориты, диоритовые порфиры, кварцевые диоритовые порфиры (δD_2tp), 10 – диоритовые порфиры ороговикованные ($\delta\pi D_2tp$), 11 – долериты и долериты субщелочные (νD_2tp), 12 – дациандезиты ороговикованные ($\zeta\alpha D_2tp$); 13 – роговики; 14 – скарноиды; 15 – геологические границы; 16 – золоторудные тела

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СКАРНОИДОВ, РОГОВИКОВ И СКАРНОВ ТОПОЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, масс. %

Породы	Число проб	Среднее содержание											
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S _{общ.}
Скарноиды	33	44,28	0,55	11,05	6,94	3,41	0,20	4,45	24,96	0,76	0,99	0,12	0,10
Роговики	6	44,26	0,67	12,88	7,37	3,18	0,14	4,86	22,60	0,63	1,99	0,14	0,10
Скарны	45	40,06	0,22	7,91	16,61	2,25	1,13	1,55	28,92	0,08	0,14	0,06	0,10

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППОВЫХ И РЯДОВЫХ ПРОБ ПО ТИПАМ РУД

Типы руд	Число групповых проб, шт.			Число рядовых проб, шт.		
	всего	бороздовых	керновых	всего	бороздовых	керновых
Золото-силикатный	7	4	3	28	21	7
Золото-кварцевый	4	-	4	25	-	25
Итого	11	4	7	53	21	32

(среднее 2,79 г/т). По результатам испытаний содержание Au в хвостах составило от 0,36 до 7,85 г/т (среднее 2,35 г/т), а его выход в концентрат – от 16,73 до 35,43% (средний 30,52%), что несколько ниже показателей технологической пробы (Д.И.Коган, 2001 г.).

Самородное золото изучалось сотрудниками ФГУП ЦНИГРИ на монтированных аншлифах [6]. Исследованы частицы золота, выделенные из 13 шлихов, полученных путём промывки хвостов обработки семи бороздовых и шести керновых проб, отобранных из золото-силикатных руд. Содержание Au в бороздовых пробах от 0,56 до 8,74 г/т, в керновых от 1,44 до 2,94 г/т. Частицы золота размером от 0,1 до 1,0 мм комковидной, интерстициальной и трещинно-прожилковой форм, его проба от 798 до 976‰ (девять определений). В золоте постоянно присутствуют Ag от 6,29 до 20,14 масс. % и Te от 0,015 до 0,055 масс. %, частота встречаемости других элементов (As, Sb, Sn, Cu, Zn, Pb, Hg, W, Pt, Pd) колеблется от 89 до 22%.

Из 15 определений пробы золота (с учётом технологической пробы) частота встречаемости пробы 798‰ составляет ~7%, в остальных случаях от 890 до 978‰. Химический состав руд изучался на 11 групповых пробах, составленных из 53 рядовых (табл. 2).

Групповые пробы изучались количественным химическим и фазовым анализами в ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», силикатный анализ выполнен в ООО «Химико-аналитический центр Плазма» (г. Томск). Всего, с учётом 16 бороз-

довых проб, вошедших в состав технологической пробы, проанализировано 37,4% от общего количества рядовых проб, участвующих в оценке прогнозных ресурсов золота категории P₁. Результаты анализов приведены в табл. 3. Сульфидные формы мышьяка и сурьмы не определялись по причине их малого общего содержания. Из таблицы следует, что выделенные два типа руд различаются не только по минеральному составу, но и по количеству ряда химических компонентов (Au, SiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, C_{орг.}, C_{общ.}, CO₂). По содержанию SiO₂ золото-силикатные руды близки к рудам вышеописанной технологической пробы (SiO₂ от 37,38 до 47,14%), но существенно отличаются от золото-кварцевых руд (SiO₂ от 59,45 до 74,97%). Содержание общей и сульфидной серы находится на уровне чувствительности анализа. Качество и количество компонентов, входящих в состав сульфидов и теллуридов в золото-силикатных и золото-кварцевых рудах, практически не различаются. Весьма низкие содержания попутных полезных компонентов и вредных примесей, часто на уровне или ниже порога чувствительности химического анализа, свидетельствуют об относительной монометалльности руд, т.е. руды существенно золотые.

Первичные руды и руды из зоны поверхностного гипергенеза по химическому составу (табл. 4) различаются незначительно. Содержание сульфидной серы и в тех, и других рудах находится на уровне чувствительности анализа, что указывает на весьма низкое общее количество сульфидов. В первичных рудах следует ожидать незначитель-

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26, масс. %

Компоненты	Золото-силикатные руды			Золото-кварцевые руды		
	От	До	Среднее	От	До	Среднее
Au*	0,68	3,60	1,89	0,68	1,40	0,80
Ag*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
SiO ₂	37,38	49,95	43,86	59,45	74,97	67,00
Al ₂ O ₃	6,71	12,95	11,11	11,64	13,64	12,82
TiO ₂	0,298	0,670	0,562	0,265	0,660	0,416
Fe ₂ O ₃	4,13	7,37	6,61	2,99	7,25	4,70
FeO	1,53	3,99	3,12	2,55	5,12	3,48
CaO	21,21	32,48	25,73	2,10	11,08	7,65
MgO	2,32	5,46	4,42	0,94	3,09	1,14
MnO	0,126	0,226	0,168	0,054	0,122	0,095
Na ₂ O	0,305	1,08	0,60	2,26	2,99	2,71
K ₂ O	0,275	1,990	1,084	2,75	4,11	3,18
P ₂ O ₅	0,061	0,138	0,114	0,088	0,135	0,103
S _{общ.}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
S _{сульфид.}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu _{общ.}	0,005	0,046	0,012	0,010	0,025	0,018
Cu первичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cu вторичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pb _{общ.}	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pb _{сульфид.}	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn _{общ.}	0,005	0,048	0,013	0,005	0,007	0,006
Zn _{сульфид.}	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe _{общ.}	2,90	4,97	4,54	2,08	4,92	3,26
Fe пирита	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
As	0,001	0,025	0,004	0,001	0,001	0,001
Sb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Bi	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mo	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Se	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Te	0,0013	0,0023	0,0016	0,0012	0,0019	0,0017
Hg*	0,01	0,14	0,038	0,02	0,06	0,035
C _{орг.}	0,03	0,23	0,12	0,01	0,15	0,07
C _{общ.}	0,20	4,36	1,33	0,04	0,39	0,20
CO ₂	0,61	15,14	4,41	0,10	0,88	0,48

* Содержание Au, Ag, Hg в г/т.

ное количество сульфидов железа, меди и мышьяка, а также теллуридов. В рудах из зоны гипергенеза увеличение содержания органического углерода может говорить о наличии в пробах растительных остатков, а повышенные концентрации CO₂ и CaO – о присутствии натёчных форм кальцита.

На основании изложенного можно заключить следующее: количество сульфидов и теллуридов ожидается одинаково низким в первичных золото-силикатных и золото-кварцевых рудах; глубина зо-

ны выветривания не более 10 м и ею можно пренебречь; основное полезное ископаемое – золото, содержание которого в минералах установлено А.И.Гусевым и др. [7]; в рудах отсутствуют попутные полезные компоненты и вредные примеси. Всё это позволяет составить общий предварительный баланс распределения золота в рудах по формам минеральных соединений. Для этого использован перечень основных минералов (табл. 5), входящих в состав руд, в том числе сульфидов и теллуридов,

4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕРВИЧНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД И РУД ИЗ ЗОНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ГИПЕРГЕНЕЗА, масс. %

Компоненты	Первичные (семь групповых проб)			Из зоны гипергенеза (четыре групповые пробы)		
	От	До	Среднее	От	До	Среднее
Au*	0,68	3,60	1,45	0,68	3,04	1,57
Ag*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
S _{общ.}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
S _{сульфид.}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu _{общ.}	0,005	0,046	0,018	0,005	0,012	0,007
Cu первичных сульфидов	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pb _{общ.}	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,03	<0,02
Pb _{сульфид.}	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn _{общ.}	0,005	0,009	0,007	0,005	0,048	0,017
Zn _{сульфид.}	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe _{общ.}	2,08	4,96	3,88	2,90	4,97	4,42
Fe пирита	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
As	0,001	0,025	0,004	0,001	0,001	0,001
Te	0,0012	0,0019	0,0016	0,0013	0,0023	0,0016
Hg*	0,01	0,14	0,044	0,01	0,04	0,025
C _{орг.}	0,01	0,15	0,06	0,12	0,23	0,18
C _{общ.}	0,04	0,85	0,36	0,90	4,36	1,90
CO ₂	0,10	2,90	1,10	2,64	15,14	6,29
CaO	2,10	27,60	15,81	21,21	32,48	25,02

* Содержание Au, Ag, Hg в г/т.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ БАЛАНС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА В РУДАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЛОГ 26 ПО ФОРМАМ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

№№ п/п	Минералы, их химические формулы	Содержание					
		в золотосодержащей руде, %			в минерале, г/т (с)	в руде	
		от	до	среднее (n)		$\frac{n \cdot c}{100}$, г/т	%
1	Пирит FeS ₂	0,16	0,16	0,16	10,1	0,016	0,80
2	Галенит PbS	0,011	0,035	0,014	3	0,0004	0,02
3	Арсенопирит FeAsS	0,002	0,05	0,006	742,5	0,045	2,24
4	Халькопирит CuFeS ₂	0,0003	0,027	0,0084	5	0,0004	0,02
5	Халькозин Cu ₂ S	0,0025	0,027	0,0084	180	0,015	0,75
6	Борнит Cu ₅ FeS ₄	0,0003	0,027	0,0085	85,6	0,007	0,35
7	Итого	0,176	0,326	0,205		0,084	4,18
8	Тетрадимит Bi ₂ Te ₂ S	0,003	0,006	0,004	1800	0,07	3,48
9	Итого с тетрадимитом	0,179	0,332	0,209		0,154	7,66
10	Породообразующие			99,791		1,856	92,34
11	Всего			100		2,01	100

определённых по материалам петрографических и минераграфических исследований. Затем, с учётом результатов вышеприведённых химического, фазового анализов и теоретического содержания элементов в минералах, расчётным путём опреде-

лено количество каждого сульфида и тетрадимита. Среднее количество молибденита в руде 0,01%, но в таблицу он не включён, поскольку в нём не определялось содержание золота, которое в каждом минерале принято по данным А.И.Гусева и др. [7].

Последними были выявлены три генерации пирита, в том числе фрамбоидальный, в расчёт включено содержание золота в пирите III. Кроме того, ими выделены две разновидности арсенопирита с содержанием Au в одном 45 и 125 г/т, в другом – 1400 г/т, в расчёт принято среднее содержание Au 742,5 г/т. На основании приведённых данных составлен предварительный баланс распределения золота в рудах (см. табл. 5), исходя из его среднего содержания 2,01 г/т, апробированного в ФГУП ЦНИГРИ по состоянию на 01.01.2015 г.

Таким образом, расчётные данные показывают, что среднее количество сульфидов и теллуридов в руде в совокупности не превышает 0,3%. На их долю приходится 7,8% всего золота, а 92,2% самородного золота находится в породообразующих минералах. Это уточняет выводы, сделанные сотрудниками ОАО «ИРГИРЕДМЕТ» в 2001 г. (Д.И.Коган и др., 2001 г.) о том, что в зоне поверхностного гипергенеза золотосодержащие руды практически монометалльные, а ниже в руде появляется незначительное количество сульфидов и теллуридов.

Объёмная масса руд определена на 56 образцах методом гидростатического взвешивания, в том числе на 16 образцах с предварительным парафинированием, и составляет для золото-силикатных руд (40 обр.) 2,94–3,21 т/м³, средняя 3,07 т/м³, для золото-кварцевых руд (16 обр.) 2,61–2,79 т/м³, средняя 2,66 т/м³.

Основные выводы по изучению золотосодержащих руд проявления Лог 26 соответствуют методическим рекомендациям [1] и сводятся к следующему:

- в результате изучения вещественного состава руд предварительно установлены две природные разновидности – золото-силикатные и золото-кварцевые, отличающиеся по химическому, минеральному составам, структурно-текстурным особенностям и объёмной массе;
- предварительно изучены технологические свойства золото-силикатных руд, переработка которых возможна по двум схемам: гравитация+цианирование хвостов гравитации или сорбционное цианирование исходной руды;
- золото-кварцевые руды, содержащие SiO₂>60%, Al₂O₃<13%, As<0,8% и Sb<0,3%, могут использоваться в качестве флюса на металлургических заводах [1];
- предварительно выделенные две разновидности руд могут представлять собой самостоятель-

ные промышленные (технологические) типы, селективная отработка которых возможна открытым способом; схемы их отдельной переработки уточняются при проведении оценочных и разведочных работ.

В 2012–2014 гг. соисполнителем госконтракта по объекту «Поиски золота в пределах Топольнинского рудного поля (Алтайский край)», раздел «Изучение вещественного состава руд и околорудных метасоматитов золоторудных проявлений Топольнинского рудного поля (Алтайский край)» был Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Сотрудниками университета под руководством доктора геол.-минер. наук В.Г.Ворошилова в золотосодержащих рудах и во вмещающих породах проявления Лог 26 частично изучены породообразующие минералы, сульфиды, теллуриды, составлена схема последовательности минералообразования участка Лог 26 [4].

Опыт исследования руд золота и вмещающих пород рудопроявлений Топольнинского рудного поля на поисковой стадии позволяет рекомендовать изучение вещественного состава монометалльных, убогосульфидных золото-силикатных (скарновых) и золото-кварцевых руд по описанной ниже методике. На начальной стадии определяется предмет изучения, т.е. на основании пробирного анализа рядовых бороздовых и керновых проб оконтуриваются золоторудные пересечения с использованием кондиций, применительных к данному региону, а также предварительно устанавливается химический состав руд по результатам спектрального анализа рядовых проб.

Золоторудные пересечения изучаются макроскопически непосредственно в горных выработках и в керне скважин. Отбираются образцы, которые должны представлять все разнородные составляющие руды (первичные и окисленные минералы, вмещающие породы, сростки минералов). Образцы также необходимы для определения объёмной массы руды. Из наиболее характерных образцов изготавливаются прозрачные, прозрачно-полированные шлифы и полированные (аншлифы), которые затем рассматриваются под микроскопом.

Часто шлифы, изготовленные из образцов, не представительны для золоторудного пересечения и тем более для руд всего рудопроявления, поэтому в процессе их изучения целесообразно ограничиться качественным определением минералов, в том числе и качественной характеристикой

самородного золота. Количество минералов лучше определять на брикетных шлифах, изготовленных из измельчённого материала руд групповых проб, которые являются представительными для изучения минерального, химического составов руд и фазового анализа рудного золота.

«Порядок объединения рядовых проб в групповые, их размещение и общее количество должны обеспечивать равномерное опробование основных разновидностей руд на попутные компоненты и вредные примеси и выяснение закономерностей изменения их содержаний по простиранию и падению рудных тел» [1, с. 25].

Масса одной групповой пробы складывается из совокупности масс отдельных навесок, необходимых для проведения лабораторных исследований, которые, исходя из вышеперечисленных рекомендаций, должны сводиться к следующему:

- для изучения минерального состава руд достаточно изготовить два брикетных шлифа – прозрачный и полированный (аншлиф), для чего потребуется 100–150 г материала руд, измельчённого до 2 мм;
- для фазового анализа рудного золота необходимо 0,8–1,0 кг материала руд с размером частиц не более 2 мм;
- химический, фазовый анализы руд и пробирный анализ на платиноиды возможен из навески массой 300–500 г, истёртой до 0,074 мм;
- определение содержания основных компонентов (золота и серебра) целесообразно проводить с предварительным гравитационным концентрированием, которое позволяет существенно увеличить точность. Для выполнения такого анализа, по мнению В.И.Зеленова, достаточно навески массой 1–2 кг [3], а по данным ФГУП ЦНИГРИ – не менее 4 кг [5], что возможно только при анализе борздовых проб. При отборе одной рядовой пробы из половинки керна диаметром 59 мм и длиной 1 м её масса составит всего ~3,5 кг. И если групповая проба будет представлена одной такой пробой, то её масса будет не более 2,8 кг, и для анализа по предлагаемой методике возможно использовать навеску только массой 1–1,2 кг, измельчённой до 0,1 мм.

Таким образом, масса одной групповой пробы должна составлять не менее 2,8 кг, а её максимальная масса может достигать до 6 кг и тогда возможно определение золота и серебра с предвари-

тельным гравитационным концентрированием из навески массой 4–5 кг.

Как правило, групповые пробы должны состояться из дубликатов рядовых керновых и борздовых проб. В ходе обработки от каждой рядовой пробы оставляется дубликат массой ~500 г для возможного рядового пробирного анализа на золото и серебро, а также внутреннего и внешнего геологического контроля. Но одного дубликата указанной массы недостаточно для проведения исследований по предлагаемой методике, а оставление дубликатов большой массы связано с неоправданными затратами на их хранение. Поэтому для составления групповых проб предлагается использовать «хвосты» обработки рядовых проб.

Таким образом, по результатам микроскопического изучения всех шлифов, в том числе брикетных, определяются петрографический, минеральный составы руд, описываются отдельные минералы, даётся количественная оценка их распространённости. Кроме того, изучаются: «текстурные и структурные особенности руд (форма и размер минеральных частиц, характер вкрапленности минералов и сростания минеральных образований); наличие в руде различных генераций минералов; степень и характер изменений руд, происшедших в результате различных природных процессов; наличие микровключений других минералов; характеристика золота (форма, размер, структура и состояние поверхности частиц, ассоциация с другими минералами, наличие теллуридов» [3, с. 62]; предварительно определяются минералы – носители золота, попутных полезных компонентов и вредных примесей.

Примерная схема обработки групповой пробы массой 3,2 кг приведена на рис. 2.

«Микроскопическое изучение, как правило, позволяет уверенно диагностировать все наиболее распространённые в золотых и комплексных золотосодержащих рудах минералы» [3, с. 62].

Химический состав отдельных минералов, в том числе и золота в них, устанавливается микронзондовым анализом, а его неоднородность выявляется с помощью растрового электронного микроскопического исследования. Изучение самородного золота с размером частиц <0,01 мм возможно с применением электронного микроскопа.

Для изучения химического состава руд необходимо определить перечень анализируемых компонентов по результатам спектрального анализа



Рис. 2. ПРИМЕРНАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ ГРУППОВОЙ ПРОБЫ МАССОЙ 3,2 кг

рядовых проб и с учётом химического состава минералов, входящих в состав руды. Наиболее распространённый набор компонентов для определения химическим и фазовым анализами следующий: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , MnO , FeO , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , H_2O , п.п.п, CO_2 , $Fe_{общ.}$, $Fe_{сульфид.}$, $S_{общ.}$, $S_{сульфид.}$, $Cu_{общ.}$, $Cu_{сульфид.}$, $Pb_{общ.}$, $Pb_{сульфид.}$, $Zn_{общ.}$, $Zn_{сульфид.}$, $As_{общ.}$, $As_{сульфид.}$, $Sb_{общ.}$, $Sb_{сульфид.}$, Bi , Mo , Se , Te , Hg , $C_{общ.}$, $C_{орг.}$. При наличии платиноидов (Os , Ir , Pt) они определяются пробирным анализом.

Определение содержания золота и серебра с предварительным гравитационным концентрированием позволит не только увеличить его точность, но и косвенно установить в каждой пробе количество крупного ($\geq 0,07$ мм) свободного золота, находящегося в гравиконцентрате. В хвостах золото мелкое и тонкодисперсное, связанное с минералами. При этом содержание золота в руде вычисляется по одной из двух формул, предложенных В.И.Зеленовым [3] (1) и ФГУП ЦНИГРИ [3] (2):

$$\alpha = \frac{\beta\gamma + \theta(100 - \gamma)}{100} \quad (1),$$

где α , β , θ – содержание золота соответственно в исходной руде, концентрате и хвостах (г/т), γ – выход концентрата (%);

$$\alpha = \frac{m_k}{m_p} \cdot \beta_k + \left(1 - \frac{m_k}{m_p}\right) \cdot \beta_{хв} \quad (2),$$

где α – содержание золота в исходной руде (г/т), m_p – масса руды, направленная на гравитационное концентрирование (кг), m_k – масса гравитационного концентрата (кг), β_k – содержание золота в концентрате гравитации, (г/т), $\beta_{хв}$ – содержание золота в хвостах гравитации (г/т).

Фазовый анализ рудного золота даёт возможность выявить формы нахождения золота (свободное амальгамирующееся, в сростках, с кислоторастворимыми покрытиями, заключённое в сульфиде и кварце) и характер его связи с рудообразующими компонентами.

При низких содержаниях в руде полностью изучить золото в шлифах практически невозможно, поэтому оно предварительно выделяется из шлихов, полученных путём промывки остатков хвостов обработки бороздовых и керновых проб, из которых составлены групповые пробы. В этом случае представляется возможным изучить размеры и формы частиц крупного и мелкого золота, структуру частиц, химический состав золота, определить пробу отдельных частиц, состояние поверхности частиц, включения в золоте, наличие сростков, размеры сростков и виды сростаний.

Макросостав самородного золота изучается с применением микрозондового анализа и использованием микрорентгеноспектрального анализатора. Анализируются монтированные аншлифы. Для изучения внутреннего строения зёрен в монтированных аншлифах используется структурное травление среза золотин «царской водкой». Анализ распределения основных примесей в самородном золоте и определение состава микровключений осуществляются с помощью сканирующего электронного микроскопа с анализирующей приставкой.

По результатам проведённых исследований определяются наличие и промышленная значимость основных и попутных полезных компонентов, вредных примесей, а также степень окисления руд. С учётом данных петрографических и минераграфических исследований, фактического или теоретического содержания элементов в минералах расчётным путём уточняется количество минералов, в том числе носителей золота с составлением предварительного баланса распределения основных и попутных полезных компонентов, вредных примесей в руде по формам минеральных соединений.

Описанная методика позволяет объективно и качественно изучить золотосодержащие руды,

оконтуренные даже в единичных пересечениях, с получением их предварительной промышленной характеристики. Возможно, уточнённая и дополненная, она будет востребована для изучения любых золотосодержащих руд при поисковых, оценочных и разведочных работах.

Для исследования технологических свойств руд на поисковой стадии стандартом Российского геологического общества [2] рекомендуется малообъёмное технологическое опробование (МТО). «Задачей МТО является предварительное определение технологических свойств потенциальных руд с целью оценки промышленной значимости объектов и выбор наиболее перспективных для дальнейшего изучения. В зависимости от изученности объекта, в т.ч. установленной изменчивости вещественного состава полезного ископаемого, его масштаба, для МТО отбираются малые технологические (по всему объекту или его части без предварительной оценки вещества) и/или минералоготехнологические (по природным разновидностям полезного ископаемого) пробы» [3, с. 18]. Масса одной пробы на поисковой стадии может составлять 5–10 кг [2].

Число проб должно соответствовать числу природных типов руд, выделенных по результатам изучения их вещественного состава. Надо полагать, что на поисковой стадии при наличии одного, наиболее распространённого, типа руд достаточно двух малообъёмных проб. Отбор одной пробы возможен бороздовым способом из окисленных руд, вскрытых канавами. Другая проба отбирается из второй половинки керна скважин, вскрывших первичные руды.

В заключение следует отметить, что представленная методика не нова, но может быть использована для разработки методик изучения на поисковой стадии любых руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Золото рудное.* – М.: ФГУ ГКЗ, 2007.
2. *Стандарт Российского геологического общества. СТО Рос Гео 09-001-98. Твердые полезные ископаемые и горные породы. Технологическое опробование в процессе геологоразведочных работ. Общие требования.* – М.: Рос Гео, 1998.
3. *Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд.* – М.: Недра, 1978.
4. *Логвиненко О.В., Тимкин Т.В. Вещественный состав и последовательность минералообразования рудопроявления Лог 26 Топольнинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Вестн. Томского гос. ун-та. 2014. № 383. С. 212–220.*
5. *Методика гравитационного концентрирования свободного золота при подготовке к анализу проб руд благородных металлов / А.И.Романчук, А.И.Никулин, В.В.Жарков и др. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2009.*
6. *Окулов А.В., Шатилова Л.В., Рожченко В.А. Минералого-геохимическая характеристика золоторудных проявлений Топольнинского рудного поля // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 52–62.*
7. *Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая / А.И.Гусев, Н.И.Гусев, Е.М.Табакаева и др. – Бийск: АГАО им. В.М.Шукшина, 2013.*

THE METHODOLOGY OF GOLD-BEARING ORE STUDY IN PROSPECTING – AN EXAMPLE FROM LOG 26 OCCURRENCE OF THE TOPOLNINSKY ORE FIELD, ALTAI TERRITORY

V.A.Rozhchenko (Gorno-Altai Expedition)

The existing methodical recommendations on the study of gold-bearing ores are given. The study results for ores and host rocks of the Log 26 occurrence, which served as the basis for a method study gold-bearing ores in prospecting, are considered and generalized.

Keywords: methodical recommendations, gold-bearing ores, Log 26 occurrence, prospecting, study methods.