

В. И. Кевлич, П. И. Кукушкина

ВЫЯВЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ ЗОЛОТА В ПРОБАХ МЕТАСОМАТИТОВ УЧАСТКА ХАТУНОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

В настоящее время одним из главных направлений развития золоторудной отрасли является освоение наиболее экономически перспективных коренных золоторудных месторождений. Однако известно (Металлогения Карелии, 1999; Чантурия, 2001), что во многих случаях коренные руды характеризуются как упорные, что обусловлено формой нахождения золота в рудах, субмикроскопическими размерами частиц, их парагенезисом. В этой связи существенное место среди известных на стадии поисково-оценочных работ золотоносных руд занимает комплекс методов изучения – минералогических, мономинеральных фракций и обогатительных методов. В настоящей работе приводятся результаты исследований четырех минералого-технологических проб № 1–4 – обнажений 0790, Х0204 (табл. 1) с участка Хатуноя.

Основная цель исследований – выявление форм нахождения, размеров и золотонесущих минералогических ассоциаций золота. Изучение вещественного состава этих пород проводилось на материале четырех технолого-минералогических проб, которые характеризуют опробованный участок метасоматитов участка Хатуноя (Ивашенко и др., 2007). Схема подготовки проб на рис 1.

Исследование состава проб и слагающих эти породы минералов осуществлялось с применением минералогического анализа и методов мономинеральных фракций. В соответствии с данными минералогического изучения (табл. 1) среди породообразующих минералов кварца в пробах – от 26,55 до 69,13%, серицита – от 14,75 до 71,20%, плагиоклаза – от 0,24 до 9,20%, сульфидов суммарно – от единичных знаков до сотых, десятых и целых процентов. Золото минералогическим анализом установлено только в одной пробе № 4 в качестве единичных знаков, в остальных трех пробах на этой крупности измельчения и детального фракционирования свободное золото не обнаружено, что свидетельствует о крайне неравномерном распределении и концентрации золота в интервале опробования. При обогащении традиционными методами золото извлекается крупнее 0,03–0,05 мм, с учетом наличия в измельченном материале проб классов крупности –0,05 мм возможны потери тонко вкрапленного золота с хвостами обогащения. В этой связи необходимо определение в руде соотношения крупных и мелких зерен, что позволяет примерно оценить долю возможных потерь и скорректировать технологическую схему. Важное значение имеет форма и состояние поверхности зерен; как свидетельствуют результаты минералогического анализа, наряду с зернами с прямолинейными границами соприкосновения, высвобождаются зерна с криволинейными, извилистыми и причудливыми границами, имеющими шероховатую, микроямчатую, микрокавернозную поверхность с наличием пленок, примазок и микровключений, в том числе и на выявленных зернах золота. В этой связи разработка методики выделения мономинеральных фракций (сфалерита, пирита, халькозина, арсенопи-

Т а б л и ц а 1

**Минеральный состав проб метасоматитов участка
Хатуноя, вес. %**

Минеральный состав	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4
Апатит	0,06	0,10	Ед. зн.	0,02
Циркон	Ед. зн.			Ед. зн.
Сфен	Ед. зн.	Ед. зн.		
Турмалин	0,05	0,06	0,10	0,04
Биотит	5,10	0,25	0,70	0,96
Серицит	14,75	71,20	43,56	63,30
Хлорит	0,35	0,10	0,02	0,96
Ярозит			Ед. зн.	
Гр. эпидота	0,07			
Кварц	69,13	26,55	54,60	31,83
Плагиоклаз	9,20	1,36		0,24
Золото				Ед.зн.
Молибденит	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.	0,01
Сфалерит	0,01	Ед. зн.	Ед. зн.	0,01
Галенит	0,15			
Борнит	Ед. зн.			
Ковеллин	Ед. зн.			
Халькозин	0,02		Ед. зн.	
Пирит		0,30	1,00	2,57
Арсенопирит	0,06	Ед. зн.	Ед. зн.	
Халькопирит	0,89			
Пирротин	0,01	0,01	Ед. зн.	0,03
Гидроокислы	0,15	0,07	0,02	0,03
Сумма, %	100	100	100	100

рита, борнита, пирротина, галенита и др.) предусматривала использование комплекса методов – гравитационных, магнитных, избирательного растворения в кислотах, центрифугирования шламов (материал менее 50 мкм) в тяжелых жидкостях (2,9...3,5–4,2 г/см) – и МГС-сепарацию продуктов разделения руд. При этом обработка классов –50...+10 микрон и классов –0,5...+0,05 мм из навесок, которые были отобраны из проб № 1–4, проводилась отдельно. В пробах № 1–4 кварц серого, светло-серого, стально-серого цвета, кварц-серицитовые агрегаты серовато-желтоватого цвета, в ассоциации с ними находятся сульфиды, содержание которых от 2,62 до 0,38% и менее (табл. 1), содержание пирита – 0,3–2,57%, халькопирита – 0,89%, арсенопирита – от ед. знаков до 0,06%, пирротина – 0,01%, молибденита и сфалерита – до 0,01%, галенита – 0,15%, халькозина – 0,03%. Рудная минерализация имеет гнездовой характер распределения в метасоматитах или приурочена к маломощным кварцевым, хлорит-кварцевым и карбонат-кварцевым прожилкам. Свободное (самородное) золото отмечается в ассоциации с халькопиритом в виде обособлений и в интерстициях, при этом, несмотря на то, что свободное золото ассоциирует с халькопиритом, максимальное его содержание характерно для интенсивно прокварцованных метасоматитов, в которых доминирует пирит (Иващенко и др., 2007). В арсенопирите, который в породе находится в ассоциации с

другими сульфидами при содержании в пробе № 1 – 0,06%, а в остальных – ед. знаки (табл. 1), установлено так называемое упорное золото, которое находится в виде тонкодисперсной вкрапленности, содержание его незначительно. По данным опробования (Иващенко и др., 2007), характер распределения золота и его размерность существенно варьируют в пределах интервала отбора проб (табл. 2).

В соответствии с количественной оценкой содержания минеральных фаз, степени их раскрытия, свойств и поведения золотоносных пород в обогатительных аппаратах в процессе выделения мономинеральных фракций осуществлялся выбор методов для рациональной схемы обогащения и последующего изучения золота в пробах участка Хатуноя.

В зарубежной и российской практике подобные руды перерабатываются по гравитационно-флотационным схемам. Наличие тонкодисперсного свободного золота установлено в пробе № 4 в виде единичных знаков с размерностью –0,5...+0,05 мм и менее 0,05 мм и не установлено в остальных пробах в процессе выделения мономинеральных фракций. Вместе с тем особенности минерального состава (табл. 1), свойств и использование обогатительных методов в схемах выделения мономинеральных фракций позволили осуществить разработку технологической схемы обогащения для определения и выделения свободного золота из пород золоторудного проявления участка Хатуноя.



Рис. 1. Схема подготовки проб для качественного и количественного изучения с участка Хатуноя

Таблица 2

Содержание золота в рудоносных метасоматитах участка Хатуноя (бороздовое опробование), г/т

№ пробы	Вид пробы	Интервал, м	Порода Обн. 0790, X0204	Содержание золота	
				1	2
1	Борозда	2,30	Кв-Хл-Сер-метасоматиты с Cu-Pb-Zn-оруденением	0,76	0,078
2	”	2,45	Кв-Сер-метасоматиты с пиритом	0,10	0,041
3	”	1,95	То же	0,24	0,053
4	”	1,90	Кв-Сер-метасоматиты с пиритом, висмутином	0,83	1,08

Примечание. Вес проб – 3–4 кг. Здесь и в табл. 3: вид анализа содержания золота: 1 – золото-пробирный (Институт геологии КарНЦ РАН), 2 – золото-спектральный (Геологический институт КНЦ РАН).

Испытания по обогащению в соответствии с разработанной схемой включали гравитационные, магнитные методы и магнитогидростатическую сепарацию. В голове схемы (рис. 2) обработка проб на кон-

центрационном столе проводилась отдельно для зернистой части $-0,5 \text{ мм} \dots +0,05 \text{ мм}$ и шламов с размером частиц $-0,05 \text{ мм}$.

Обогащение проб на концентрационном столе включало первичную обработку с углом наклона стола 10° , две перечистные операции промпродуктов с углами наклона стола 8° и 7° и одну перечистку концентрата с углом наклона стола 6° . Для шламов режим работы стола: СКЛ – 4° , частота 8–9, длина хода 8–6 – предусматривал одну основную и две перечистные операции. Полученные концентраты стола направлялись на магнитную сепарацию на индукционно-роликовом сепараторе 138Т-СЭМ в слабых (ток 0,5 А) и сильных (ток 3–5 А) полях. В магнитную фракцию в слабом поле выделяется пирротин и технологические примеси (стружка). В сильном поле в магнитную фракцию переходят биотит, серицит, хлорит, турмалин, сфалерит, частично халькопирит, минералы группы эпидота, гидроксилы железа. В немагнитную фракцию переходят кварц, плагиоклаз, циркон, апатит, золото и комплекс сульфидов (пирит, арсенопирит, молибденит, галенит и др.). С учетом достаточно высокого содержания кварца,

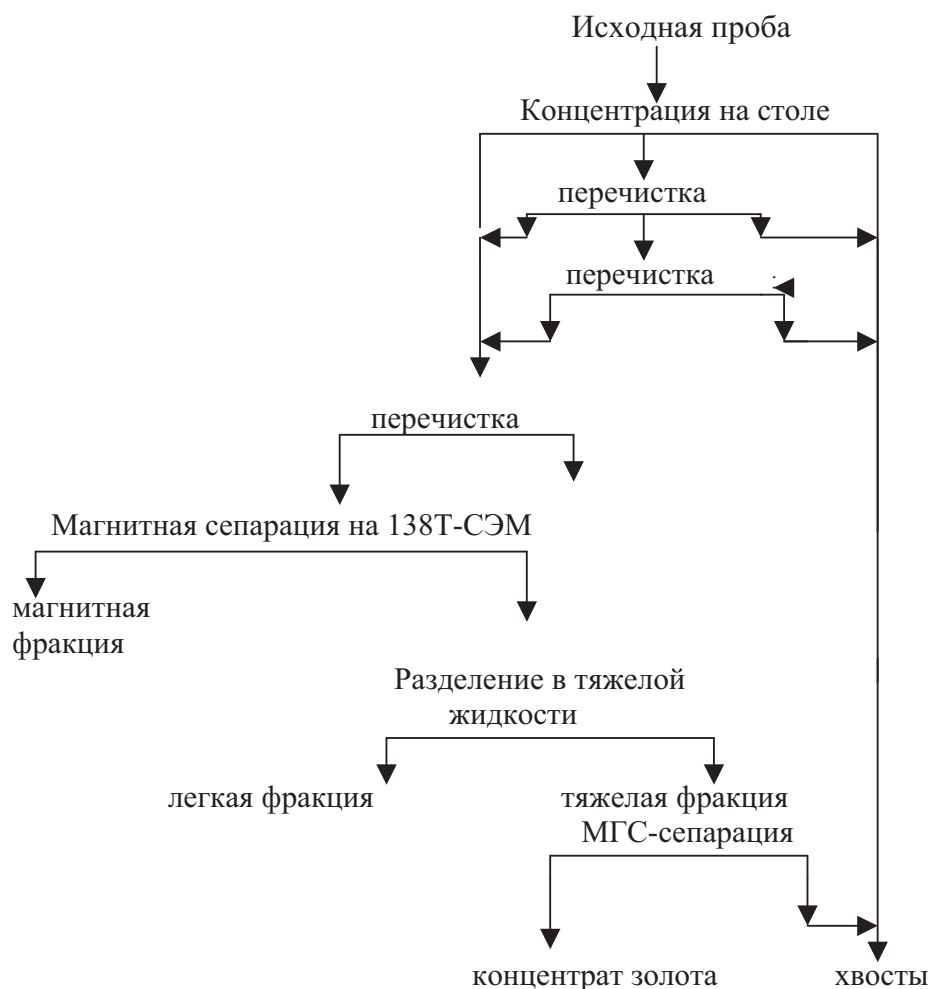


Рис. 2. Принципиальная схема обогащения проб золоторудного проявления участка Хатуноя

серицита и плагиоклаза, немагнитная фракция поступает на разделение в тяжелых жидкостях с плотностью 3,0 г/см³, что позволяет в этом цикле извлечь основную массу легких минералов – кварц, плагиоклаз, слюду и др., и в 3,7 г/см³ для удаления сфена, апатита и сростков этих минералов с породообразующими во вторую легкую фракцию. В тяжелой концентрируются сульфиды, циркон, рутил и золото. Магнитогидростатическая сепарация тяжелой фракции в парамагнитной среде (хлористый марганец плотностью 1,44 г/см³) позволяет получить коллективный продукт сульфидов в легкой

фракции и концентрат золота – в тяжелой фракции (рис. 2, табл. 3).

Преобладающей формой выделения золота, сосредоточенного как в сульфидах, так и в силикатах, являются комковидно-угловатые с ямчатой и мелкоямчатой поверхностью, удлинённые, округлые и дендритовые образования, которые могут быть отнесены к интерстиционным видам. Среди выделенных зерен золота преобладают золотины бледно-желтого и желтого цвета (рис. 3). Состав золота по данным микронзондового анализа приближает его к электрому: Au – 69,29–68,83%; Ag – 29,88–30,63%.

Таблица 3

Технологические результаты обработки проб рудоносных метасоматитов участка Хатуноя

Номер пробы	Продукты обогащения	Выход продуктов, г	Содержание золота в г/т и зернах	Размеры золотин
1	Концентрат	0,372	0,002	0,1–0,05 мм
	Хвосты	11499,628	Не обн.	
	Исходная проба	11500,000	1 – 0,76; 2 – 0,078	
2	Концентрат	0,296	4 зерна	0,05–0,1 мм
	Хвосты	13999,704	–	
	Исходная проба	14000,000	1 – 0,1; 2 – 0,041	
3	Концентрат	0,050	2 зерна	0,05–0,07 мм
	Хвосты	12199,95	–	
	Исходная проба	12200,000	1 – 0,24; 2 – 0,053	
4	Концентрат	0,140	0,003	0,05 и 0,1 мм
	Хвосты	10999,970	–	
	Исходная проба	11000,000	1 – 0,83; 2 – 1,08	

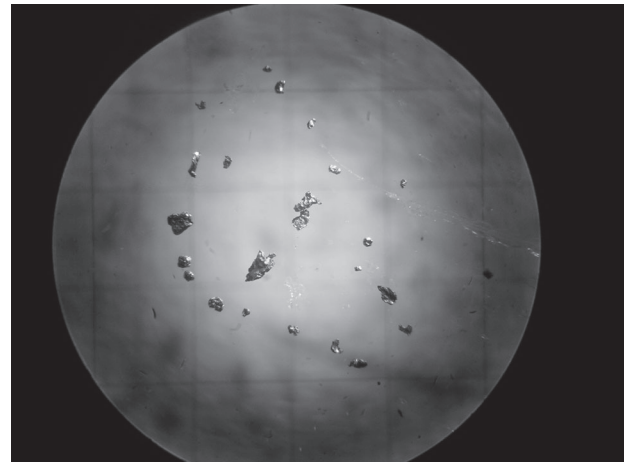
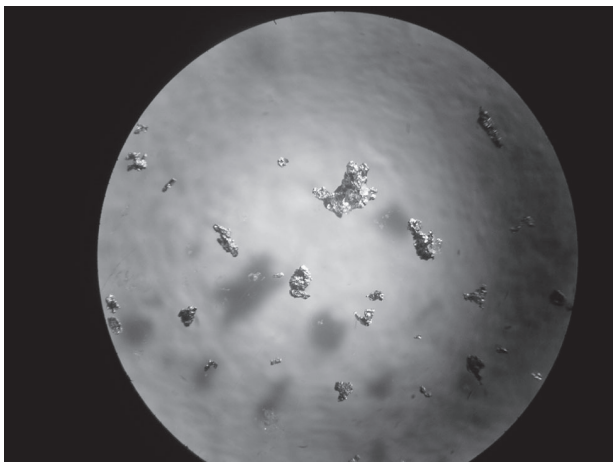


Рис. 3. Золото из проб № 1 и 4 рудоносных метасоматитов участка Хатуноя

Таким образом, характерной особенностью проб золоторудного проявления участка Хатуноя явилось наличие в них как макро-, так и микродисперсного золота, которое находится в свободном виде в интерстиционных промежутках кварца и серицита, а также ассоциировано с сульфидными минералами, главным образом с пиритом и частично с арсенопиритом.

Выполненный комплекс поисковых исследований по выявлению форм золота в рудоносных ме-

тасоматитах с применением минералогических и технологических методов (рудоподготовки, качественно-количественный минералогический анализ, методы мономинеральных фракций и др.) позволил осуществить разработку принципиальной технологической схемы обогащения руд и тем самым выявить формы, содержание золота в рудах, определить размеры и возможность извлечения золота с использованием комплекса традиционных обогатительных методов.

ЛИТЕРАТУРА

Иващенко В. И., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И., Соколов С. Я. Комплексное благороднометальное оруденение участка Хатуноя архейского зеленокаменного пояса Ялонвара – Иломанси // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск, 2007. С. 117–139.

Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И. Рудопроявление Пякюля – новый высокоперспективный тип благороднометального оруденения в докембрии Карелии // Доклады РАН. 2002. Т. 384, № 2. С. 232–237.

Иващенко В. И., Ручьев А. М., Лавров О. Б. и др. Эндогенная золоторудная система Суйстамского плутоническо-

го комплекса (Северное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 127–146.

Металлогения Карелии / Отв. ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск, 1999. С. 273–280, 296–298.

Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е. Электрохимия сульфидов. Теория и практика флотации. М., 1993.

Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Лунин В. Д. и др. Использование мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья // Обогащение полезных ископаемых. Вып. 4. Новосибирск, 2001. С. 95–106.