УДК 549.1+550.42

А.А.САВИЧЕВ, С.П.НАГАЕВА
Геолого-разведочный факультет, магистранты группы МГПм-95,
ассистенты профессора

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СТАДИЙНОСТЬ Au-Sb-W-МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРХНЕ-ЕНАШИМИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, СИБИРЬ)

Олимпиада, Оленье и другие золото-сульфидные месторождения локализованы в терригенно-карбонатных породах. Основные рудные минералы – арсенопирит, пирротин, антимонит, шеелит; редкие – вольфрамит, пирит, бертьерит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, джемсонит, гудмундит, колорадоит, цумоит, аурostибит, самородные золото и сурьма. Золото в рудах присутствует в трех различных формах: самородное (пробность 910-997) в ассоциации с шеелитом, пирротином и арсенопиритом; химически связанное в структуре арсенопирита (до 0,6 % по массе); аурostибит $AuSb_2$, сосуществующий с антимонитом и Sb-сульфосолями. Рудные элементы представлены ассоциацией (Au-As)±(Sb-Pb-Ag) на Олимпиаде и (Au-Ag-W)±Sb на Оленьем, их различия обусловлены вариациями минерального состава руд: ранние золото-арсенопиритовые и поздние серебросодержащие сульфоантимонитовые с аурostибитом (Олимпиада); ранние золото-шеелит-пирротиновые и поздние аурostибит-антимонитовые (Оленье). Au-Sb-W-минерализация сформировалась в ранний редкометальный (кварц-вольфрамитовая, кварц-шеелит-сульфидная ассоциации) и более поздний золоторудный (золото-шеелит-пирротиновая, золото-арсенопиритовая, полиметаллическая, золото-бертьерит-антимонитовая, карбонат-флюорит-пиритовая ассоциации) этапы.

The Olympiada, Olenye and other gold-sulphide deposits are located in terrigenous-carbonate rocks. The ore minerals include arsenopyrite, pyrrhotite, stibnite, scheelite as major constituents and wolframite, pyrite, berthierite, sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite, jamesonite, gudmundite, coloradoite, tsumoite, aurostibite, native antimony and gold as minor constituents. Gold is represented in three different forms: native gold (910-997 standard) associated with scheelite, pyrrhotite and arsenopyrite; chemically bound gold in arsenopyrite (up to 0,6 wt %); aurostibite $AuSb_2$, coexisting with stibnite and Sb-sulfosalts. Ore element associations include (Au-As)±(Sb-Pb-Ag) in the Olympiada and (Au-Ag-W)±Sb in the Olenye deposits. The differences in these element associations are the result of variations in mineral composition of the ores (early gold-bearing arsenopyrite and late silver-bearing sulfosalts-aurostibite-stibnite associations in the Olympiada and early gold-scheelite-pyrrhotite and late aurostibite-stibnite associations in the Olenye deposits). Au-Sb-W mineralization of Verkhne-Enashiminski ore area formatted in the early rare metal stage (quartz-wolframite, quartz-scheelite-sulphide associations) and later gold ore stage (gold-scheelite-pyrrhotite, gold-arsenopyrite, polymetallic, gold-berthierite-stibnite and carbonate-fluorite-pyrite associations).

Верхне-Енашиминский рудный узел расположен в зоне сочленения Центрального и Панимбинского антиклинориев рифейской миогеосинклинальной структурно-формационной зоны Енисейского кряжа. В состав узла входят комплексные Au-Sb-W-месторождения Олимпиада, Оленье, Тырадинское и др., а также вольфрамовое рудопроявление Высокое. Золотоносные образования локализованы в терригенно-карбонатных породах нижнего-среднего рифея и представлены сульфидизированными метасоматитами березитового типа и продуктами их близповерхностного изменения.

Олимпиада является одним из крупнейших объектов в России по запасам золота. На месторождении выделяется два природных и технологических типа руд: первичные и окисленные. Первичные руды относятся к золотосульфидным и представлены слюдисто-кварц-карбонатными и углеродсодержащими кварц-слюдистыми метасоматитами с редкой сульфидной минерализацией. Главными рудными минералами являются пирротин, арсенопирит, антимонит, бертьерит, реже встречаются пирит и шеелит. В качестве примесей присутствуют вольфрамит, галенит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит, джемсонит, гудмундит, ульманит, киноварь, теллуриды висмута и ртути, ауростибит, самородные золото и сурьма. Окисленные руды имеют глинисто-алевритовый состав. Золото в них ассоциирует с оксидами и гидроксидами железа, марганца, сурьмы (сервантит, валентинит, биндгеймит, гидроромеит, стибиоконит, трипургит) и более редкими скородитом, церусситом, англезитом, глетом, тунгститом.

Месторождение Оленье расположено в экзоконтакте крупной гранитной интрузии и в силу этого несколько отличается от Олимпиады по минеральному составу. Метасоматиты имеют существенно кварцевый состав, с незначительным количеством турмалина, цоизита, биотита, амфиболов и карбоната. Среди рудных минералов преобладают пирротин и шеелит, реже отмечены арсенопирит, пирит; примеси – антимонит, вольфрамит, халькопирит, ауростибит, золото и сурьма.

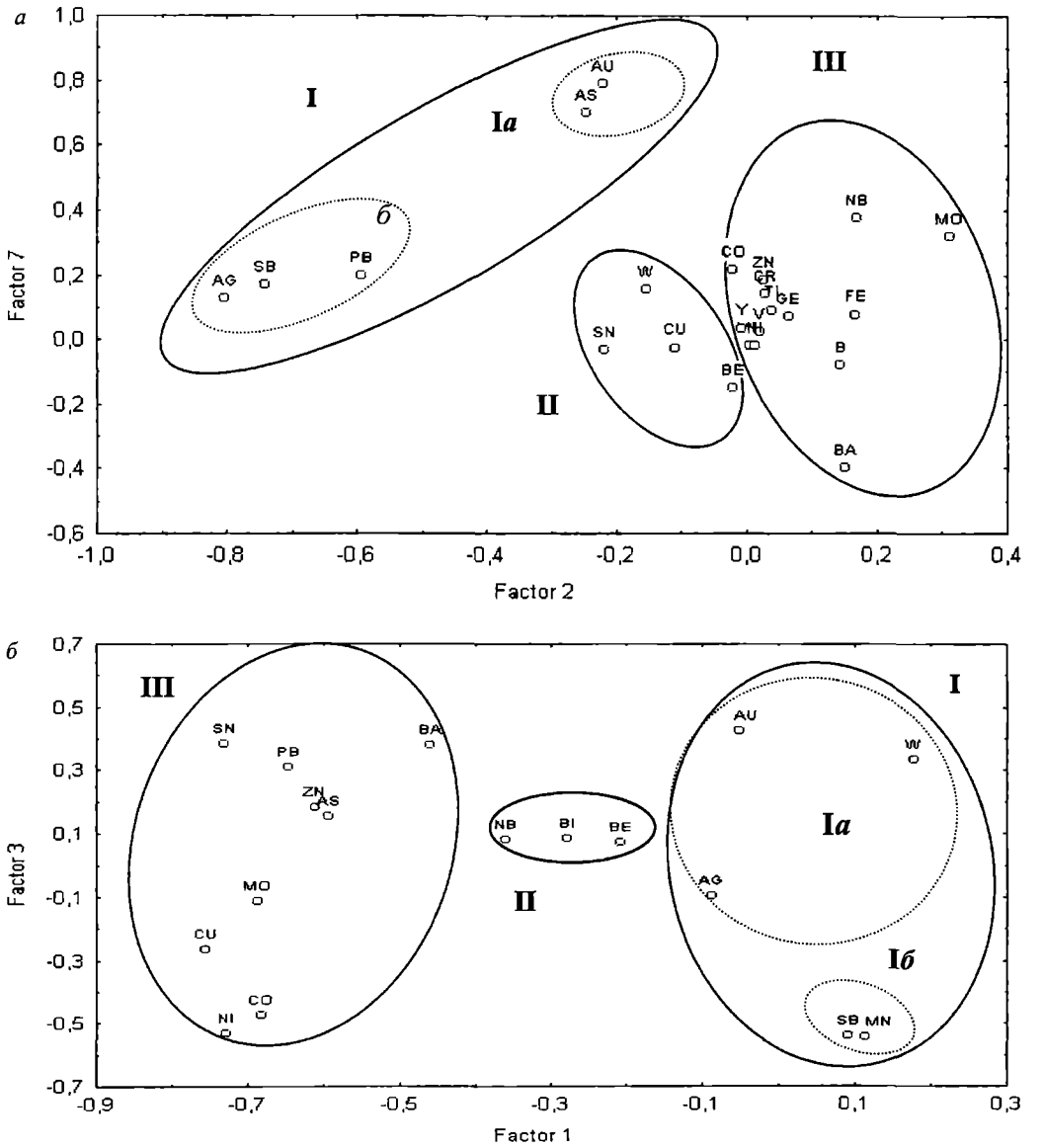
Рудопроявление вольфрама Высокое локализовано в грейзенизированных лейкогранитах татарско-аяхтинского комплекса и представлено калишпат-мусковит-кварцевыми метасоматитами с вольфрамит-кварцевыми и шеелит-сульфидными жилами. Среди рудных минералов преобладает вольфрамит, реже присутствуют шеелит, арсенопирит, пирит. В единичных знаках отмечены касситерит, висмутин, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, антимонит, киноварь, золото.

Задачами настоящего исследования явилось минералого-геохимическое изучение Au-Sb-W-минерализации месторождений с целью уточнения элементного и минерального состава руд, установления форм нахождения в них золота и выяснения последовательности и условий минералообразования.

Методами пробирного и полуколичественного спектрального анализов определены содержания золота и других элементов-примесей во вмещающих породах и рудах месторождений (табл.1).

Средние содержания некоторых элементов-примесей в рудах, г/т

Месторождение	Тип руд	Количество проб	Pb	Cu	Zn	W	As	Sb	Hg	Ag	Au
Олимпиада	Окисленные	252	261	76	139	677	681	2278	44	0,3	9,9
	Первичные	71	23	43	81	58	713	903	<10	0,1	3,2
Оленье	Первичные	63	19	48	84	498	2202	97	<10	0,2	8,4



Диаграммы факторных нагрузок на элементы-примеси первичных руд месторождений Олимпиада (*а*) и Оленье (*б*)

I – элементы, связанные с золотым оруденением (I*а* – тесно, I*б* – слабо); II – элементы, связанные с редкометальным оруденением; III – элементы, концентрирующиеся во вмещающих породах

Характер распределения компонентов изучен с помощью факторного анализа методом главных компонент и последующего полиэлементного картирования опробованных площадей.

Элементный состав первичных руд месторождений Олимпиада и Оленье имеет схожий характер. В обоих случаях четко обособляются ассоциации элементов, характерных для рудоносных метасоматитов и вмещающих пород. В контурах рудных тел происходит слабое накопление элементов, связанных с незначительно проявленным редкометальным оруденением, и резкое – ассоциирующих с золотом (см. рисунок).

Вариации в составе последних обуславливаются различиями минерального состава руд месторождений. На Олимпиаде золото имеет тесную связь с мышьяком и слабую с сурьмой, свинцом и серебром (см. рисунок, 1*а*), что подтверждается постоянным присутствием в рудах золотосодержащего арсенопирита. Ассоциация Sb-Pb-Ag±Au характерна для переменно-продуктивных сурьмянистых руд, где самородное золото и аурostибит присутствуют совместно с антимонитом, бертьеритом и сурьмянистыми сульфосолями свинца. Au-W-геохимическая ассоциация месторождения Оленье характеризуется наличием в рудах золото-шеелит-пирротинового парагенезиса (см. рисунок, 1*б*). Sb±(Au-Ag)-ассоциация незначительно проявлена в существенно карбонатных метасоматитах с повышенным содержанием марганца, где аурostибит сосуществует с антимонитом. Отсутствие Au-As-корреляции может свидетельствовать о том, что золото не входит в структуру арсенопирита на Оленьем. Серебросодержащие сульфосоли, характерные для Олимпиады, на Оленьем не обнаружены (отсутствие Ag-Sb-Pb-корреляции).

Взаимосвязь элементного состава руд с особенностями взаимоотношений минералов, изученных с помощью оптической и растровой электронной микроскопии, позволяет наметить схему последовательности образования постмагматической минерализации Верхне-Енашиминского рудного узла (табл.2).

Наиболее ранняя кварц-вольфрамитовая минеральная ассоциация наблюдается в грейзенизированных гранитах проявления Высокое. Призматические кристаллы вольфрамита, содержащие 24-37 % $MnWO_4$, присутствуют как в кварцевых прожилках, так и непосредственно в метасоматитах. Вольфрамит замещается шеелитом 1 – минералом следующей кварц-шеелит-арсенопиритовой ассоциации. Помимо псевдоморфоз по вольфрамиту шеелит отмечается и в виде самостоятельных выделений в срастаниях с арсенопиритом и пиритом. Арсенопирит 1 наблюдается в кварцевых жилах Высокого и Оленьего, образует гнездообразные агрегаты мелких (0,1-0,5 мм) коротокопризматических кристаллов и не содержит золота.

Формирование промышленного золотого оруденения золото-сульфидной стадии начинается с образования золото-шеелит-пирротиновой ассоциации, наиболее сильно проявленной в метасоматических кварцитах Оленьего. Золото 2 находится в свободной форме, часто в сростках с пирротином 2, имеет пробность 910-997. На месторождении Олимпиада ассоциация ограниченно распространена в рядовых и бедных рудах.

Основная продуктивная золото-арсенопиритовая ассоциация имеет площадное распространение на Олимпиаде и спорадически отмечается на Оленьем. Арсенопирит 2 присутствует в виде хорошо образованных длиннопризматических и игольчатых кристаллов и часто замещает пирротин 2, образуя каемки на кристаллах последнего. Золото химически связано в структуре арсенопирита (до 0,6 % по массе).

Полиметаллическая пользуется незначительным распространением. Главным минералом является пирротин 3, который часто содержит эмульсионные выделения халькопирита 2 и окаймляет кристаллы арсенопирита 2.

Золото-бертьерит-антимонитовая ассоциация пространственно приурочена к зонам разломов и часто образует рудные столбы. Также в ее состав входят более редкие джемсонит, гудмундит, ульманит, халькостибит, аурostибит, самородные золото 3 и

Схема последовательности образования эндогенной постмагматической минерализации Верхне-Енашиминского рудного узла

Этап	Редкометальный		Золоторудный				
Стадия	Дорудного кварца		Золото-сульфидная			Золото-сульфоантимонитовая	Пострудных изменений
Минеральная ассоциация	Кварц-вольфрамитовая	Кварц-шеелит-сульфидная	Золото-шеелит-пирротиновая	Золото-арсенопиритовая	Полиметаллическая	Золото-бертьерит-антимонитовая	Карбонат-флюорит-пиритовая
Рудные минералы (*курсивом выделены редкие минералы*)	Вольфрамит, *молибденит, касситерит*	Арсенопирит 1, шеелит 1, пирит 1, *висмутин, пирротин 1, галенит 1, сфалерит 1, халькопирит 1, золото 1*	Шеелит 2, пирротин 2, золото 2	Арсенопирит 2 (золотосодержащий)	Пирротин 3, халькопирит 2, сфалерит 2, пирит 2, *тетраэдрит 1, галенит 2, цумоит, колородаит*	Антимонит 1, бертьерит, *гудмундит, джемсонит, ульманит, халькостибит, аурostибит, самородная сурьма, золото 3*	Пирит 3, *пирротин 4, киноварь, антимонит 2*
Степень золотоносности	Не золотоносна	Слабо золотоносна	Золотоносна	Главная золотоносная ассоциация	Слабо золотоносна	Переменно-золотоносная ассоциация	Не золотоносна
Высокое (W)	■						
Оленье (Au, W)			■	?			
Олимпиада (Au, Sb,W)				■			

Условные обозначения:

Ассоциации: ■ преобладающая, ■■■■■ второстепенная, ——— редкая

сурьма. Эти минералы являются наиболее поздними и часто корродируют ранее образованные пирротин и арсенопирит. Пробность золота 3 низкая (647-757), в качестве примесей присутствуют серебро (15-22%) и ртуть (9-13%).

Образование постмагматической минерализации завершается в пострудную стадию выделением карбонат-флюорит-пиритовой ассоциации. Низкотемпературная минерализация, включающая киноварь и переотложенный игольчатый антимонит 2, присутствует в карбонатных прожилках, секущих золотоносные метасоматиты.

Временно-пространственные взаимоотношения между различными минеральными ассоциациями определяют характер общей зональности метасоматических образований Верхне-Енашиминского рудного узла. Ранняя редкометальная минерализация с ярко выраженной вольфрамовой специализацией, генетически связанная с гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса, преимущественно проявлена в апогранитовых метасоматитах грейзенового типа. Смена кварц-вольфрамитового парагенезиса кварц-шеелит-сульфидным происходит при повышении активности серы в минералообразующих растворах и наблюдается как в грейзенах, так и в апосланцевых метасоматитах месторождения Оленье, локализованного в экзоконтакте вышеуказанной гранитоидной интрузией. Золотое и золото-сурьмяное оруденение, образовавшееся в

следующий этап, пользуется наибольшим распространением в березитовых метасоматитах месторождения Олимпиада, расположенного на удалении от гранитоидов.

Формирование золоторудной минерализации, вероятно, связано с термальным метаморфизмом (в результате становления крупных гранитоидных интрузий) терригенных толщ сухопитской серии, которые, согласно Л.В.Ли, обладают повышенной золотоносностью. Мобилизированное из метаосадочных пород золото отлагалось в самородном виде в ассоциации с пирротином. Позднее в результате воздействия активных мышьяковистых растворов пирротин замещался арсенопиритом. Возможно, что при этом часть ранее выделившегося золота переходила в раствор, а затем связывалась в структуре арсенопирита. Образование поздней низкотемпературной золото-сурьмяной минерализации происходило при поступлении новой волны минералообразующих растворов с выделением ртутистого золота и аурostибита как реакционных минералов, замещающих арсенопирит или отлагающихся по трещинам в нем. Золото могло быть привнесено гидротермами и (или) высвобождалось под их действием из ранее образованных минералов.

Научный руководитель профессор, д.г-м.н. *В.В.Гавриленко*