

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МАГМАТИЗМУ И ОРУДЕНЕНИЮ КОЛЫВАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

А.И. Гусев, Е.М. Табакаева

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, г. Бийск

Колыванское месторождение со времени его открытия (1723 г.) считалось вначале медным. В 1723 г. рудоискательной партией А. Демидова месторождение рассматривалось как медное и почти 100 лет разведывалось с перерывами в 10 лет и более. Палиас и Рекованц (1792 г.) описывали его как медное, но у последнего впервые упоминается о “черном шерле”. Позднее в процессе его изучения были открыты кварцево-грейзеновые зоны с вольфрамитом и молибденитом, которые особенно были востребованы во время Великой отечественной войны (1941-1945 гг.), когда требовались металлы для получения брони. Последующая история разведки и эксплуатации месторождения связаны с жильным кварцево-грейзеновым вольфрамит-молибденитовым типом оруденения, а медные руды не изучались. В связи с небольшими запасами вольфрама и молибдена в рудах к месторождению был потерян интерес.

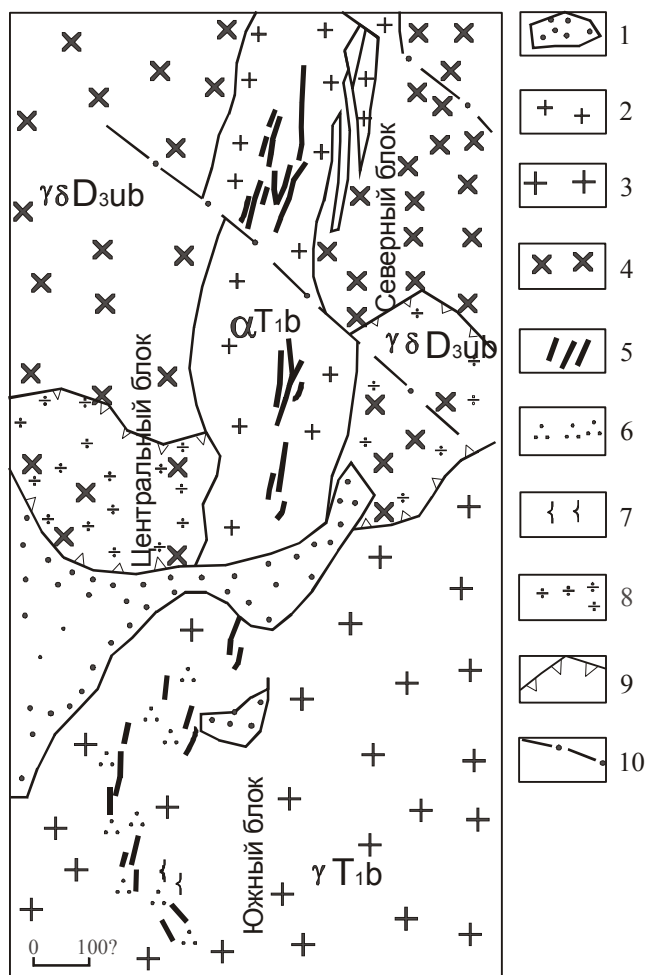
В процессе проведения поисковых работ в рамках ГДП-200 (2005-2008 гг.) получены новые данные по геологическому строению района, интрузивному магматизму и оруденению Колыванского месторождения, а также соседних районов. К северо-западу от Колыванского месторождения выявлен новый тип оруденения железо-оксид-медно-золоторудный Локтевского рудного узла, сопоставляемый с типом Клонкарри в Австралии (Гусев, Гусев, 2007).

### Магматизм района Колыванского месторождения

Колыванское месторождение образовалось в зоне влияния долгоживущей Северо-Восточной зоны смятия, которая не только разграничивает Рудно-Алтайские и Горно-Алтайские структуры, но и контролировала размещение интрузивных массивов Колыванского (верхнедевонский усть-беловский комплекс) и Синюшинского (поздней перми – нижнего триаса). Месторождение локализуется в области влияния обоих массивов (рис. 1). Такая его позиция и определяла весь ход формирования месторождения.

Установлено, что массивы усть-беловского комплекса формировались в разных тектонических блоках Горного Алтая (Чарышском, Талицком, Бийско-Катунском) и с ним и связаны различные типы оруденения. Как правило, это многофазные интрузивы, в составе которых рассматривается 5 фаз: 1 - габбро, габбродолериты; 2 - диориты, кварцевые диориты; 3 - гранодиориты; 4 - граниты и меланограниты; 5 - лейкограниты. В составе Колыванского массива нами выявлены все породные типы вышеуказанных фаз. Характерной особенностью пород Колыванского массива является развитие порфировых разновидностей - гранодиорит-порфиров, гранит-порфиров 4 и 5 фаз внедрения, которые особенно широко распространены в юго-западной части массива, вблизи вольфрам-молибденового кварцево-грейзенового Колыванского месторождения.

*Габброиды первой фазы* образуют мелкие (до 1,5 кв. км) тела неправильной формы, залегающие в контактах Колыванского массива. Строение тел неоднородное, в центральной части распространены габбронориты, периферия сложена габбро и габбродиоритами. Габбронориты – серые до темно-серых мелко- и среднезернистые массивные породы. Микроструктура габбровая, иногда слабо порфировидная. Породы сложены (%) битовнитом №85-90 – 45-50, гиперстеном и авгитом (обрастает гиперстен или образует самостоятельные зерна) – 35-45, роговой обманкой – 5-10, акцессорными магнетитом - до 1 и сфеном. В габбро увеличивается количество плагиоклаза (лабрадор № 55-60), ромбический пироксен отсутствует. Вторичные минералы представлены уралитовой роговой обманкой, цоизитом, эпидотом, кальцитом. По химическому составу габброиды относятся к низкотитанистым



**Рис. 1. Схематическая геологическая карта Колыванского месторождения (составлена автором с учётом данных В.М. Чекалина).**

1 – ороговикованные песчано-глинистые образования суеткинской свиты верхнего кембрия-нижнего ордовика; гранитоиды Синюшинского массива: 2 - аплитовидные граниты; 3 - биотитовые порфировидные граниты; 4 - биотит-роговообманковые гранодиориты усть-беловского комплекса; 5 - кварцевые жилы с вольфрамитом, молибденитом; 6 - грейзенизация; 7 - пегматиты с молибден-вольфрамобериллиевым и тантал-ниобиевым оруденением; 8 - медно-молибден-порфировое оруденение; 9 - границы распространения порфирового оруденения; 10 - разломы.

умеренножелезистым ( $FeO^*/MgO = 1,4-1,5$ ) известково-щелочным породам.

Характерной чертой гранитоидных тел последующих фаз внедрения является их концентрически зональное строение. Внешняя оторочка шириной 500-1500 м представлена кварцевыми диоритами и диоритами второй фазы кристаллизации, внутренняя - гранодиоритами третьей фазы кристаллизации. Резкие переходы между зонами не наблюдались, однако в

породах проявляется дискретность по содержанию  $SiO_2$  (отсутствуют различия в интервале 61,5-63 %). Преобладающие гранодиориты – средне-, реже мелко- и крупнозернистые породы гипидиоморфнозернистой, участками монзонитовой структуры, массивной и шпировой текстуры (шпирсы сложены мелкозернистыми меланократовыми кварцевыми диоритами, сиенито-диоритами и гранодиоритами). Состоят (%) из зонального плагиоклаза – 45-50, микроклин-пертита – 10-15, кварца – 25-30, биотита - 10-15, роговой обманки - 5-10, единичных зерен моноклинного пироксена. В кварцевых диоритах роговая обманка преобладает над биотитом, содержание калиевого полевого шпата и кварца уменьшается, соответственно, до 5-10 и 10-15 %. Вторичные минералы гранитоидов - серицит, хлорит, соссюрит, эпидот; акцессорные - магнетит, сфен, апатит, циркон, гранат.

Породы 4 фазы слагают мелкие секущие тела в гранитоидах Колыванского массива и представлены мелкозернистыми биотитовыми и аплитовидными гранитами.

Гранитоиды комплекса характеризуются высокой анортитовостью ( $c = 0,84$  в кварцевых диоритах,  $0,35$  - в гранитах), пониженной глиноземистостью ( $Shand = 0,98-1,03$ ), низкими железистостью ( $FeO^*/MgO = 2,4-2,9$ ) и щелочностью при сближенных содержаниях  $Na_2O$  и  $K_2O$ . Большая часть элементов примесей в них содержится в околочларковых количествах, понижены - Y, Yb, Ba, Sr, Ga, Th, La, U, повышены - Pb, Nb, Sn, Mo. По петрохимическим особенностям и редкоэлементному составу гранитоиды относятся к I-гранитам и соответствуют тоналит-гранодиоритовой формации. Ведущая металлогеническая специализация комплекса золото-серебряная. С ним связаны скарновые и кварцево-жильные проявления Cu, Pb, Zn, Ag, Au.

Лейкограниты 5 фазы встречены нами в правом борту р. Белой, а также в юго-западном контакте массива в районе Колыванского месторождения, где они образуют несколько небольших тел размерами 50x100-200 м. Форма тел лейкогранитов неправильная, местами

## 1. Химический состав пород Синюшинского массива

Порода	Фаза	n	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Гранодиорит	1	7	64,79	1,03	15,06	6,17	0,36	1,56	3,36	3,42	3,81	0,24
			2,26	0,44	1,70	2,49	0,54	1,22	1,28	0,5	3,0	0,14
Граносиенит		4	65,45	0,75	15,64	4,88	0,12	0,99	2,36	3,61	5,77	0,23
			1,73	0,37	1,70	2,51	0,01	0,61	0,90	0,99	3,14	0,1
Кварцевый сиенит	1	2	64,05	0,60	16,32	3,68	0,13	0,93	2,74	3,70	5,80	0,26
Гранит	2	38	71,71	0,42	13,94	3,00	0,09	0,64	1,94	3,11	4,20	0,14
			2,37	0,21	0,78	1,35	0,04	0,30	0,81	0,41	0,9	0,17
Субщелочной гранит		9	73,75	0,27	13,28	2,18	0,05	0,39	1,16	3,43	5,1	0,08
			2,64	0,23	0,69	1,13	0,03	0,29	0,54	0,67	1,09	0,02
Лейкогранит		16	75,38	0,23	12,53	2,45	0,07	0,27	1,02	3,21	4,23	0,1
			1,07	0,11	0,46	0,62	0,03	0,18	0,37	0,42	0,40	0,17
Субщелочной лейкогранит		21	74,82	0,20	12,87	2,11	0,06	0,33	0,75	3,65	4,86	0,05
			0,90	0,08	0,33	0,56	0,02	0,15	0,34	0,77	0,27	0,02
Лейкогранит	3	3	75,93	0,24	12,30	2,84	0,10	0,24	1,02	3,08	3,88	0,08
			0,52	0,09	0,14	0,55	0,03	0,20	0,21	0,23	0,45	0,06
Субщелочной Лейкогранит с флюоритом	4	3	75,49	0,14	12,70	1,98	0,06	0,26	0,72	3,89	4,54	0,11
			0,41	0,06	0,21	0,38	0,01	0,18	0,11	0,49	0,20	0,13

Примечание. В числителе – средние содержания компонентов, в знаменателе – стандартное отклонение; n- количество проб.

амёбообразная, паукообразная. Нередко в них отмечают ксенолиты гранодиоритов, кварцевых диоритов и меланогранитов размерами от 3 до 12 см в поперечнике. Лейкограниты 4 фазы во всех встреченных участках распространения представляют собой порфировидные породы светлой окраски с розоватым оттенком. Состав (%): кварц – 29-34, плагиоклаз – 20-40, калиевый полевой шпат – 30-33, биотит – 1-3. В отличие от гранитов плагиоклаз имеет более кислый состав (An<sub>15-17</sub>) в индивидах основной ткани породы. А в порфировидных выделениях, отчётливо зональных, он сменяется от олигоклаза (An<sub>24-25</sub>) к более кислому олигоклазу (An<sub>13-14</sub>). Ядерные зоны таких кристаллов нередко серицитизированы. Микроклин-пертиты распада имеют неотчётливую решётчатую микроструктуру и, как правило, пелитизированы. Биотит лейкогранитов коричневый, буро-коричневый, отличается высокой железистостью (f=85.2-86.3), умеренной глинозёмистостью (l=29.6-30.6), низкой магnezальностью и относится к сидерофиллит-аннитовому ряду, что указывает на кристаллизацию этих пород в условиях невысокой активности щелочей.

В составе Синюшинского массива выделяются три фазы внедрения: 1) биотит-роговообманковые кварцевые монцодиориты, калиевые гранодиориты и граносиениты; 2) порфировидные роговообманково-биотитовые граниты, субщелочные граниты, лейкограниты и субщелочные лейкограниты; 3) равномернозернистые биотитовые лейкограниты и субщелочные лейкограниты. Дайковые породы представлены аплитовидными гранитами, аплитами, риолитами и, в единичных случаях (Саввушинский массив), - диорит-порфиритами. Кроме того, отмечают пегматитовые жилы, в том числе берилло- и ортитоносные.

Розовато-серые порфировидные (калишпат) *гранодиориты первой фазы* слагают отдельные тела размерами от 10x80 до 20x120 м и мелкие ксенолиты среди гранитоидов последующих фаз внедрения. Это средне-крупнозернистые порфировидные породы с вкраплениями калишпата и слабозонального альбита (до 3-5 см), состоящие из микроклин-

2. Микроэлементный состав (в г/т) породных типов Синюшинского массива

Компо- ненты	Породы					
	1	2	3	4	5	6
Li	54,1	38,0	25,0	55,0	19,0	12,8
Rb	134,0	129,0	320,0	319,0	25,2	21,2
Cs	3,8	2,9	9,7	12,8	2,1	2,1
Ba	350	760	330,0	300,0	36	27,1
Sr	485	640	180,0	177	19,0	15,2
Zr	250,0	245,0	80,0	127,0	130,0	205,0
Hf	7,0	7,9	4,8	5,4	4,6	4,8
Nb	24,0	34,0	22,0	20,2	34,0	65,0
Ta	3,2	2,2	4,7	2,2	3,6	4,6
Th	28,0	24,1	38,2	59,0	43,1	48,0
U	8,0	9,6	7,0	21,6	15,1	14,0
Y	32,0	19,4	19,0	22,0	25,0	17,9
La	32,0	73,1	59,0	63,40	50,0	81,1
Ce	96,0	87,0	65,8	86,20	67,1	67,2
Pr	6,9	6,5	11,1	12,3	12,0	12,1
Nd	26,0	24,1	22,2	27,20	21,3	22,1
Sm	25,5	24,1	22,2	3,80	20,7	13,2
Eu	7,0	1,2	0,61	0,84	10,56	11,4
Gd	3,7	3,4	3,4	4,00	11,1	17,1
Tb	0,61	0,55	0,56	0,58	10,55	12,5
Dy	24,5	3,3	3,7	12,6	22,6	23,6
Ho	0,8	0,78	0,7	0,9	6,8	7,8
Er	3,3	2,9	0,44	0,39	12,1	14,9
Tm	3,7	1,23	0,46	0,37	2,1	2,4
Yb	3,6	2,7	2,8	3,01	5,0	11,1
Lu	0,64	0,45	0,52	0,65	1,43	1,61
Co	9,3	9,1	2,2	1,8	3,0	1,1
Cr	24,0	23,5	18,0	13,3	21,0	5,2
Sc	21,0	19,5	8,5	7,1	10,0	1,3
Ga	22,2	23,6	22,8	22,9	18,4	18,6
Cu	18,9	20,0	15,1	14,9	18,3	8,8
Sn	3,4	1,9	4,9	4,7	5,1	5,3
W	2,9	1,5	2,8	2,9	3,3	3,8
Mo	2,5	0,9	3,2	3,3	3,0	3,4
Be	2,8	1,9	4,4	4,3	9,0	3,7
Th/U	3,5	2,5	5,45	2,73	2,85	3,43
(La/Yb) <sub>N</sub>	5,87	18,59	13,91	13,9	6,6	4,82
TE <sub>1,3</sub>	1,85	0,85	1,03	1,33	1,58	1,43

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории ИМГРЭ методом ICP-MS (г. Москва). Породы Синюшинского массива: 1 - гранит, 2 - граносиенит, 3 - лейкогранит, 4 - лейкогранит, 5 - лейкогранит с флюоритом, 6 - лейкогранит с флюоритом. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер (Irber, 1999). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по (Anderse, Grewesse, 1989).

пертита, плагиоклаза, кварца, биотита сидерофиллит-аннитового ряда с повышенным содержанием  $TiO_2$  и F ( $f = 46-49\%$ ), роговой обманки ( $f = 52\%$ ), аксессуарных сфена, апатита, циркона и магнетита. В гранодиоритах отмечаются биотиты с более высокими концентрациями магния, а в гранитах – алюминия и меньшими содержаниями магния. Основная масса гипидиоморфнозернистая с элементами мирмекитовой.

Мелано-, мезо- и лейкократовые *гранитоиды второй фазы* образуют крупные куполообразные и штокообразные тела с крутопадающими контактами, прорывающие и метаморфизирующие стратифицированные образования широкого возрастного диапазона. Меланократовые разности более характерны для южной части массива, лейкократовые - для слабо эродированных куполов и апофиз, локализованных в районе Колыванского месторождения. Для средне-крупнозернистых разностей характерна крупноглыбовая матрацевидная отдельность, для мелкозернистых - тонкоплитчатая. Направление падения пластовых трещин совпадает с направлением поверхностей контактов массивов, а в центре последних - субгоризонтальное. Крутопадающие трещины имеют, как правило, субширотное и субмеридиональное простирание.

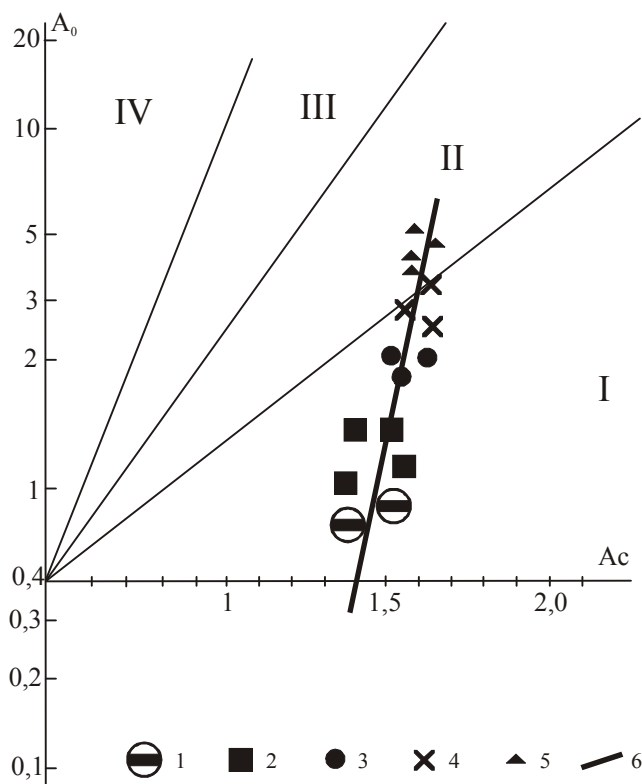
Гранитоиды обладают значительной структурной неоднородностью и варьируют по степени зернистости основной массы и количеству мегакристаллов калишпата. Последние составляют от 5-10% до 40% объема породы и достигают весьма крупных размеров (до 8 см по удлинению). Вдоль западного и северного контактов массива обычно прослеживается оторочка (мощностью до нескольких сотен метров) мелкозернистых порфировидных лейкогранитов. Породы имеют гранитовую и гипидиоморфнозернистую структуру, сложены (%) кварцем - 25-30, калишпатом - 30-35, слабо зональным плагиоклазом (олигоклаз №18-25, иногда андезин № 35-37) - 30-37, биотитом - 5-7. В меланократовых разностях количество биотита может достигать 10-15%, а роговой обманки до 10%. Для пород характерен широкий набор аксессуарных минералов. В одних и тех же пробах отмечаются высокие концентрации магнетита и ильменита, сфена, ортита и флюорита – индикаторы резко различных условий среды минералообразования. Для глубоко эродированных массивов комплекса характерно развитие раннемагматических морфотипов цирконов с максимумом в районе групп  $S_{23}, S_{25}$ , с расчетной температурой кристаллизации расплава  $800-900^\circ$  и асимметричным смещением поля морфотипов в сторону плюмазитовой ветви эволюции. Для слабо эродированных куполов и апофиз, локализованных на площади Колыванского месторождения, отмечается слабый максимум в области раннемагматических морфотипов ( $S_{24}$ ) и интенсивный максимум в области позднемагматических морфотипов ( $G_1, G_2, G_3$ ) с ориентировочной температурой кристаллизации расплава  $550-650^\circ$ . Значительность остывания обусловлена высокой водо- и флюидонасыщенностью расплава. Отделение флюидной фазы от расплава, фиксирующееся сокращением числа морфотипов в вертикальном температурном тренде и последующим расширением количества морфотипов циркона, характерно для рудоносных массивов. Гранитоиды характеризуются повышенной железистостью ( $FeO^*/MgO = 4,8 - 6,6$ ), невыдержанностью глиноземистостью ( $Shand =$  от 0,96 в субщелочных лейкогранитах до 1,07 в лейкогранитах), анортитовостью ( $c =$  от 0,06 в субщелочных лейкогранитах до 0,18 в гранитах) и щелочностью ( $K_{ар} =$  от 0,7 в гранитах до 0,92 в субщелочных лейкогранитах) при устойчивом преобладании  $K_2O$  над  $Na_2O$ . По редкоэлементному составу умеренно глиноземистые разности слабо эродированных куполов уклоняются к А-гранитам редкометалльно-плюмазитового типа. Они обогащены редкими щелочами, редкими землями, Be, Th, U, W, Sc, Mo, Zn, Pb, В, обеднены Ba, V, Mn. Характерны повышенные значения парных коэффициентов Н.Н. Амшинского ( $Be/Ba=0,12-0,16$ ,  $Be/Co=1,95-2,04$ ) в отличие от пород глубокоэродированных массивов ( $Be/Ba=0,0022$ ,  $Be/Co=0,46$ ). С гранитными куполами, в которых присутствуют и лейкограниты, связаны парагенетически грейзеновые, скарновые, кварцево- жильные вольфрам-молибден-бериллиевые, тантал-ниобиевые месторождения и рудопроявления.

Лейкократовые гранитоиды с флюоритом третьей фазы слагают основную часть массива и особенно развиты в северной и северо-западной частях Синюшинского массива, где ранее они описывались в качестве дайки аплитовидных гранитов мощностью до 300 м (Чекалин, 1999). Это розовато-серые массивные, равномернозернистые, средне-крупнозернистые, реже мелкозернистые породы, состоящие (%) из кварца - 30-35, плагиоклаза - 20-25, калишпата - 40-45, биотита - 3-5, флюорита, турмалина (0,5-1). По петрохимическим особенностям они сходны с лейкократовыми гранитоидами второй фазы (несколько обеднены щелочами), при этом существенно (в 2-2,5 раза) обеднены редкими щелочами, тяжелыми РЗЭ, Y, слабо обогащены Zr, Nb, Ta, Hf и легкими РЗЭ.

Для лейкогранитов Колыванского месторождения характерны нодулы турмалина размерами от 0,5 до 5 см в поперечнике, которые широко распространены в районе апофиз и локальных выступов в районе месторождения. Наличие нодул турмалина и редко – флюорита размерами от 0,5 до 1,5 см в диаметре указывает на формирование лейкогранитов в этой части массива в закрытой системе. Кристаллизация ранних фаз Синюшинского массива происходила в условиях слабой насыщенности летучими компонентами, что приводило к накоплению летучих в самых поздних дериватах массива при кристаллизации лейкогранитов. При этом происходило накопление таких летучих, как бор, вода, фтор. Для лейкогранитов характерно ещё более ярко выраженный максимум развития морфотипов цирконов позднематематической стадии кристаллизации ( $G_1, G_2, G_3$ ), указывая на повышенную потенциальную рудоносность поздних высоко эволюционированных и насыщенных летучими компонентами. Формирование нодул турмалина происходило путём вскипания на глубине магматогенных флюидов и их поднятия к поверхности с последующей кристаллизацией турмалина и флюорита в нодулах каплевидной формы. О закрытой системе при формировании лейкогранитов свидетельствуют останцы провесов кровли ороговикованных песчано-сланцевых пород суеткинской свиты (позднего кембрия - раннего ордовика) в Южном блоке месторождения. Они служили экраном для поднимающихся флюидов, обогащённых бором и другими летучими компонентами, которые попадая в остывавшие и кристаллизующиеся лейкограниты приповерхностных уровней формировали своеобразные капли-нодулы турмалина и редко – флюорита.

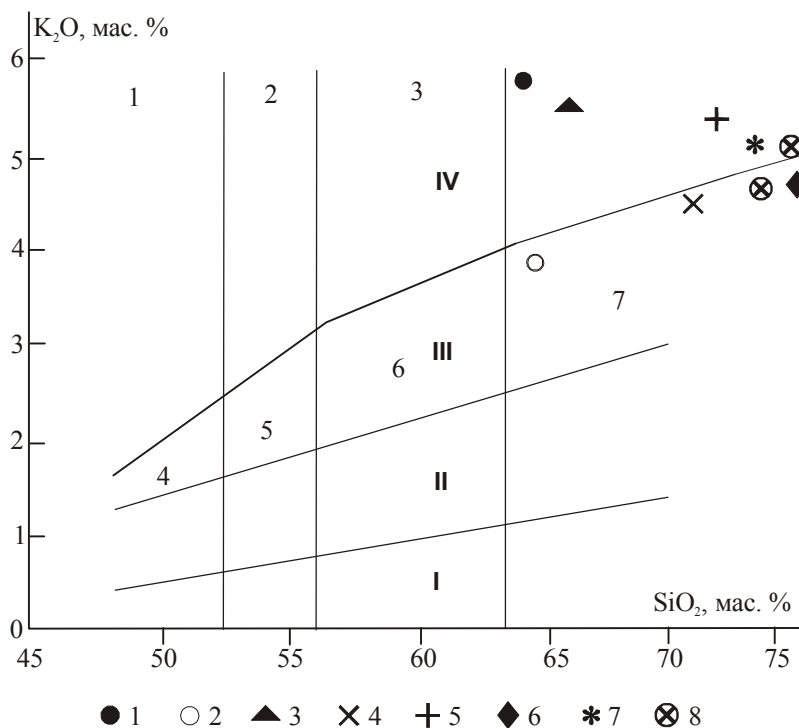
Химический состав пород представлен в табл. 1.

На диаграмме Л.С. Бородина в координатах  $A_0 - A_c$  фигуративные точки пород разных массивов показывают близкое положение. Породы Синюшинского массива не содержат ранних фаз внедрения, представленных габброидами и монцонитами, и почти целиком по-



**Рис. 2. Петрохимическая диаграмма в координатах  $A_c - A_0$  Л.С. Бородина (Бородин, 1981) для пород Синюшинского массива.**

Петрохимические серии: I – известково-щелочная, II- умеренно-щелочная, III –щелочная, IV- высокощелочная. Породы Синюшинского массива: 1- кварцевые сиениты, 2- граниты, 3- граниты умеренно-щелочные, 4- лейкограниты, 5- лейкограниты умеренно-щелочные, 6- породный тренд Синюшинского массива.



**Рис. 3. Диаграмма  $K_2O - SiO_2$  для породных типов Синюшинского массива.**

Поля пород: 1 – абсарокит; 2 – шошонит; 3 – банацит; 4 – высоко-К базальт; 5 – высоко-К андезибазальт; 6 – высоко-калиевый андезит; 7 – высоко-К дацит. Серии пород: I – толеитовая; II – известково-щелочная; III – высоко-К известково-щелочная; IV – шошонитовая. Породные типы Синюшинского массива: 1 - кварцевый сиенит, 2 - гранодиорит, 3 - граносиенит, 4 - гранит, 5 - умеренно-щелочной гранит, 6 - лейкогранит, 7 - умеренно-щелочной лейкогранит, 8 – лейкогранит с флюоритом.

отношениями тория к урану, превышающие 1 (от 2,5 до 5,45), указывающие на слабые гидротермальные изменения пород. Во всех проанализированных породах наблюдаются повышенные значения отношений  $(La/Yb)_N$ , свидетельствующие о сильно дифференцированном распределении редкоземельных элементов. В гранитах, лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом выявлен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов M-типа (значение  $TE_{1,3}$  превышает 1,1), что указывает на высокую обводненность Синюшинского массива и максимально высокие концентрации летучих компонентов (и в первую очередь - фтора и бора) в магматогенных флюидах. Об этом свидетельствуют часто встречающиеся умеренно-щелочные лейкограниты с флюоритом, а также обильные нодулы турмалина размерами от 1 до 5 см в поперечнике. В гибридной породе – граносиените - слабо проявлен W-тип тетрадного эффекта (значение  $TE_{1,3}$  менее 0,9), указывающий на значительную роль вадозных вод, заимствованных из вмещающих пород, при формировании этих пород.

Следует отметить, что шошонитовые гранитоиды Синюшинского массива характеризуются высоко дифференцированным типом распределения редкоземельных элементов, высокой обводненностью и обогащенностью летучими компонентами, что весьма благоприятно для формирования различных типов оруденения. Действительно, пространственно и парагенетически с гранитоидным массивом связаны скарновые месторождения вольфрама и молибдена (Кремлёвское и Плитнинское) и ряд рудопроявлений (Горный участок, Северный участок, Восточное, Каменское, Средне-Рябиновское, Вороновское, Ленинградское); кварцево-грейзеновые медно-висмут-вольфрамовые месторождения (Очаровательное I, Очаровательное II, Колыванское I, Колыванское II, Шеелитовое, Майское). Возможно, пространственно с гранитоидами Синюшинского массива связаны проявления железоз-

падают в поле известково-щелочной серии, а заключительные лейкограниты – в поле умеренно-щелочной серии и образуют тренд почти перпендикулярный общей кислотности пород (рис. 2). На диаграмме  $K_2O-SiO_2$  породные типы Синюшинского массива попадают в поля шошонитовой серии и высококалиевой известково-щелочной (рис. 3).

Микроэлементный состав породных типов Синюшинского массива представлен в табл. 2.

Следует отметить, что в наиболее дифференцированных лейкогранитах с флюоритом наблюдаются более высокие концентрации Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Yb, Lu и низкие концентрации Sr, Ba, Li, Rb. Все породные типы характеризуются высокими от-

оксидного-медно-золоторудного класса типа Клонкарри, локализующиеся к северо-западу и к югу от массива (Локтевское рудное поле и другие, где существенную роль играют гематитовые руды с халькопиритом, борнитом, халькозином). В этих рудах отмечаются повышенные концентрации редких земель иттриевой группы. Хотя основную роль для проявлений Локтевского рудного поля имеет сдвиговая Северо-Восточная зона смятия, тем не менее здесь отмечаются редкие дайки шошонитового типа от кварцевых сиенитов до лейкогранитов с флюоритом. Эти дайки сопровождают Синюшинский массив гранитоидов, маркирующих на глубине крупный глубинный магматический очаг, дериватом которого являются Синюшинский массив и сопровождающие его дайковые комплексы.

Гранитоиды формировались в мезоабиссальной обстановке. На это указывают значительная ширина ореолов контактово измененных пород, большие размеры Синюшинского и других интрузивов, распространенность крупно-среднезернистых, обычно, порфировидных (с мегакристами калишпата) структур, отсутствие в массивах зон закалки, наличие пегматитов. Определение U-Pb методом по цирконам из гранитов Синюшинского массива ( $251,1 \pm 4,6$  млн лет) даёт раннетриасовый возраст.

### Типы оруденения Колыванского месторождения

В пределах месторождения выделяются три геолого-промышленных типа оруденения: медно-молибден-порфировый, связанный с гранитоидами усть-беловского комплекса (массив Колыванский) ( $D_3$ ), кварцево-грейзеновый молибден-вольфрамовый и пегматоидный молибден-вольфрам-бериллиевый, связанные с гранитоидами Синюшинского массива ( $T_1$ ).

#### *Медно-молибден-порфировый тип оруденения.*

Этот тип оруденения, по нашим данным, локализуется в южной оконечности Колыванского массива и соредоточен среди биотитовых гранит-порфиров заключительной фазы этого массива на площади 600x700 м по обе стороны от секущей дайки лейкогранитов синюшинского комплекса. Биотитовые граниты повсеместно претерпели пропилитизацию, а местами березитизацию. В гранит-порфирах медно-молибден-порфировое оруденение образует прожилково-вкрапленные выделения кварца с сульфидами.

Вкрапленность пирита и халькопирита размерами от 0,5 до 2-5 мм также сопровождается оторочками кварца, редко биотита и гидробиотита. Местами помимо сульфидов присутствует вкрапленность магнетита неправильной формы размерами от 1 до 4 мм. Магнетит сопровождается каёмками кварца с серицитом и хлоритом. Отмечено, что вблизи контакта с поздней дайкой лейкогранитов магнетит и пирит приобретают кристаллическое строение в результате перекристаллизации. Пирит в таких участках даёт комбинированные формы октаэдра и куба, а магнетит кристаллизуется в виде правильных кубических кристаллов и сростков кристаллов. В таких приконтактных участках с поздней дайкой лейкогранитов синюшинского комплекса среди гнёзд хлорита наблюдаются зёрна граната размерами от 1 до 3 мм.

На участках березитизации гранит-порфиров Колыванского массива проявлено прожилковое оруденение в виде гетерогранобластового кварца 1 генерации мощностью от 3 до 15 мм и секущих их прожилков кварца 2 генерации мощностью от 2 до 5 мм, сопровождающихся мусковитом и аллоториоморфными выделениями молибденита и халькопирита, редко пирита, пирротина, сфалерита и шеелита размерами от 1 до 3 мм. При этом кварц 1 генерации характеризуется резко волнистым угасанием, указывающим на значительные деформации. Местами березиты содержат от 30 до 50 % мусковита. Среди таких мусковитовых участков наблюдаются редкие гнёзда и прожилки сульфидов – халькопирита, пирита, редко молибденита, борнита и халькозина. В прожилково-вкрапленных порфировых рудах по результатам штучного опробования концентрации компонентов варьируют (%): меди от 0,3 до 1,5, молибдена от 0,05 до 0,2, висмута от 0,05 до 0,2, цинка от 0,1 до 0,5, золота от 0,5 до 2 г/т. Порфировое оруденение требует доизучения, так как масштабы его не ограничиваются той площадью, которая указана выше.



*Кварцево-грейзеновый молибден-вольфрамовый тип оруденения.*

В 1869 г. Бек В. и Гейх Н. опубликовали химические анализы вольфрамита. Минеральный состав руд подробно изучен П.П. Пилипенко в 1915 г. В 1917, 1930-1934 гг. месторождение изучалось на вольфрам. В 1934 году оно было передано Колыванскому РУ, с 1935 по 1960 годы – эксплуатировалось. Разработка велась с поверхности и подземными горными выработками до глубины 200-240 м. Добыто около 650 тыс. т руды (2,5 тыс. т вольфрамового концентрата). Параллельно с эксплуатацией Колыванское РУ проводило разведочные работы. Общая длина рудной площади, разделенной на три участка – Северный, Центральный и Южный, около 2 км. Месторождение приурочено к дайкообразному телу, сложенному аплитовидными биотитовыми гранитами, гранит-порфирами и аплитами синюшинского комплекса. Представлено серией кварцевых жил субмеридионального простирания. Известно около 26 промышленных жил. На Северном и Центральном участках кварцевые жилы относительно выдержаны и сопровождаются грейзенизацией по зальбандам. На Южном участке кварц образует уже преимущественно линзы и гнезда внутри широко развитых грейзенизированных пород. Кварцевые жилы месторождения нередко кулисообразно заходят одна за другую как по простиранию, так и по падению.

На месторождении имели место пострудные нарушения. Наиболее ясно выражен “Большой взбросо-сдвиг”, по которому рудные тела Северного участка перемещены относительно Центрального к северо-западу. Горизонтальное смещение также значительное. Известны нарушения с амплитудой смещения порядка 0,5-6,0 м.

Кварцевые жилы месторождения имеют небольшую мощность (0,15-1,0 м, средняя 0,35 м). Рудные жилы мощностью 0,2-0,7 м имеют протяженность 50-450 м. По своему строению они неоднородны. В некоторых центральная часть сложена кварцем, сменяющимся к периферии кварцево-слюдистой породой. Окварцевание, постепенно затухая, переходит через грейзенизированную породу в неизмененный микроаплит.

По характеру минерализации месторождение может быть отнесено к медно-висмуто-вольфрамовому при решительно преобладающей роли вольфрама. Минералогический состав руд (в порядке выделения минералов): кварц, магнетит, вольфрамит, пирит (I), арсенопирит, молибденит, шеелит, айкинит, виттехенит, висмут, пирит (II), халькопирит, куприт, азурит, малахит. Кроме того, в рудах встречались слюда, турмалин, флюорит, полевой шпат, гранат (данные Ю.А. Спейта, А.М. Новоселова). Вольфрамит, молибденит, висмутовые минералы и арсенопирит имеют мелко гнездовый характер распределения. Вольфрамит обычно встречается в виде мелких зерен от 1 до 10 мм, создавая агрегативные скопления размером до 15-20 см в диаметре. Размер отдельных кристаллов не превышает 5-7 см. По составу вольфрамит нормальный и марганцовистый (гюбнерит). При этом гюбнерит ассоциирует с флюоритом.

На Южном участке нами отмечены, кроме грейзенов, фельдшпатолитовые метасоматиты. Это от крупно- до гигантозернистых метасоматитов с гипидиоморфнозернистыми выделениями микроклин-пертита (1-20 мм) и более редкими скоплениями идиоморфного альбит-олигоклаза (0,6-1 мм). Такие участки фельдшпатолитов имеют размеры от 1 до 2,5 м в поперечнике. Местами среди фельдшпатолитов отмечены гнезда турмалина шерл-дравитового ряда и вкрапленность шеелита, пирита, арсенопирита.

Грейзены на месторождении имеют, преимущественно, кварц-альбит-микроклин-мусковитовый состав с пиритом в виде вкрапленности и гнезд аллотриоморфных выделений и призматических кристаллов вольфрамита, вкрапленников арсенопирита размерами от 1 до 6 мм. Отмечаются также грейзены с турмалином, пиритом, вольфрамитом. В таких грейзенах наблюдаются системы разновозрастных прожилков. Ранние из них представлены кварцем 1 генерации «льдистого» серого цвета мощностью от 2 до 7 см. Поздние прожилки кварца 2 генерации белого, местами прозрачного с турмалином, пиритом, вольфрамитом, арсенопиритом, редко – пирротинном, халькопиритом, висмутином. Кварцевые жилы мощностью от 5 до 15 см, залегающие среди грейзенов, как правило, зональные. В центре таких жил локализуется серый, тёмно-серый «льдистый» кварц 1 генерации крупнокристаллический с ред-

### 3. Содержания элементов-примесей в вольфрамитах и гюбнерите (г/т)

Элементы	Номера проб вольфрамитов		Номера проб гюбнеритов	
	3559-5	3478-4	3486-7	3486-9
Be	8,11	1,2	2,26	2,1
Ti	216	156	295	304
V	36,0	32,3	37,2	36,9
Cr	44,3	38,4	24,2	21,2
Mn	98351	86538	150345	165206
Fe	126313	127507	57895	56798
Co	3,69	3,27	6,93	7,08
Ni	149	0,002	14,0	14,1
Cu	1632	1022	34,7	33,9
Zn	168	162	156	158
Ga	11,3	7,17	11,1	10,2
Rb	16,7	6,15	9,51	8,93
Sr	49,4	100,0	45,0	45,8
Y	119	212	6,3	6,1
Zr	15,7	24,6	20,2	21,3
Nb	166,7	166,0	71,3	70,3
Mo	22,8	26,3	27,7	25,9
Cd	0,062	0,032	0,081	0,092
Cs	13,3	3,73	5,02	5,2
Ba	88,2	89,4	88,9	88,7
La	5,65	1,61	3,78	3,65
Ce	16,9	3,73	7,22	6,34
Pr	1,56	0,429	0,711	0,87
Nd	5,54	1,91	2,53	2,45
Sm	2,14	1,74	0,731	0,654
Eu	0,401	0,349	0,299	0,207
Gd	5,04	9,07	1,03	1,02
Tb	1,96	4,0	0,389	0,354
Dy	22,0	47,1	4,07	4,12
Ho	6,82	14,6	0,981	0,945
Er	29,4	59,0	4,39	3,45
Tm	6,97	12,5	1,47	1,34
Yb	60,1	97,3	16,5	15,9
Lu	10,5	15,9	3,03	2,98
Hf	0,854	0,929	0,904	0,901
Ta	2,25	3,5	2,07	2,12
Pb	1017	1860	902	897
Th	6,98	2,76	3,72	3,68
U	119	13,6	10,8	10,3
U/Th	17,0	4,9	2,9	2,8

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-MS в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

кой вкрапленностью пирита и пирротина. В зальбандах отмечается кварц 2 генерации более мелкокристаллический с вкрапленностью и гнёздами пирита, халькопирита, вольфрамита, арсенопирита, висмутина, самородного висмута, пирротина. Неясное положение занимают жилки кварца белого, почти прозрачного с вкрапленностью и гнёздами флюорита и гюбнерита. Взаимоотношений с кварцем, содержащим вольфрамит, нами не обнаружено.

Составы элементов-примесей вольфрамитов и гюбнеритов представлены в табл. 3.

Сравнение составов элементов-примесей в вольфрамитах и гюбнеритах показало, что в вольфрамитах наблюдаются более высокие концентрации таких элементов как хром, кобальт, медь, ниобий, уран и меньше – кадмий, титан. При этом в вольфрамитах в сравнении с гюбнеритами ощутимо преобладают средние и тяжёлые редкоземельные элементы: иттрий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций (табл. 3). Вольфрамиты характеризуются и более высокими отношениями урана к торью.

### *Пегматоидный тип оруденения.*

Отмечен нами на Южном участке, где наблюдаются пегматоиды кварц-полевошпатового состава с турмалином, редко – с турмалином, пиритом, вольфрамитом, халькопиритом. Мощности пегматоидов от 10 до 30 см. Иногда отмечаются блоковые разности пегматитов с отчётливым кварцевым ядром и крупноблоковой периферической частью. При этом различаются альбитовые блоки с турмалином, пиритом, вольфрамитом, молибденитом, бериллом, халькопиритом и микроклин-пертитовые - с гранатом и танталит-колумбитом. Содержания полезных компонентов в пегматоидном типе руд составляют (%): вольфрама от 0,05 до 0,2, молибдена от 0,03 до 0,1, бериллия от 0,05 до 0,2, меди от 0,06 до 0,2. Зона окисления на месторождении достигает глубины 50 м. Частичному изменению вольфрамит подвержен только в зоне интенсивно окисленных руд. Среднее содержание полезных компонентов в рудах по месторождению (на 1.01.58 г.) составляет: трехокси вольфрама – 0,66 %; висмута – 0,13 % и меди – 1,54 %. В вольфрамовом концентрате содержится : меди – 4,25 %, свинца – 0,27 %, цинка – 0,33 %, молибдена – 0,038 %, вольфрама – 18,0 %, селена – 0,0077 %. В сульфидном концентрате: меди – 14-16 %, железа – 29-30 %, цинка – 1-3 %, висмута – 0,8-1 %, молибдена – 0,002-0,2 %, трехокси вольфрама – 0,2-0,3 %, свинца – 0,2 %, селена – 150-160 г/т, индия – 30-100 г/т, серы до 4,3 %. Состояние запасов на 1.04.60 г. выражается следующими цифрами: трехокси вольфрама категории В – 494 т и  $C_1 + C_2$  – 1404,0 т; висмута категории В – 79 т и  $C_1 + C_2$  – 229 т; меди категории В – 863 т и  $C_1 + C_2$  – 2363 т. Перспективные запасы, прирост которых возможен за счет Южного участка и глубоких горизонтов Северного и Центрального участков, выражаются цифрой 2,0-2,5 тыс. т трехокси вольфрама. Определенный интерес представляют также медь, висмут, молибден, индий, теллур, селен, т.е. по минеральному и химическому составу руды являются комплексными. Прирост запасов по меди может быть осуществлён за счёт изучения южной периферии Колыванского гранитного массива и оценки медно-молибден-порфирового оруденения.

Таким образом, на Колыванском месторождении распространены разновозрастные комплексы: позднедевонский усть-беловский и раннетриасовый Синюшинский массив, относящийся к белокурухинскому комплексу шошонитовых гранитоидов (Гусев, Гусев, Табакаева, 2008; Гусев, Гусев, 2011). По генезису месторождение относится к комплексным объектам. В нём выделяется: 1 - более раннее медно-молибден-порфировое оруденение, связанное с гранитоидами Колыванского массива усть-беловского комплекса; 2 - пневматолито-гидротермальное высокотемпературное вольфрам-молибденовое и 3 – пегматитовое вольфрам-молибден-бериллиевое, а также тантал-ниобиевое, связанные с Синюшинской интрузией гранитов белокурухинского комплекса.

### **Литература**

- Бородин Л.С.* Геохимия главных серий изверженных пород. – М.: Недра, 1981. – 217 с.
- Гусев А.И., Гусев А.А.* Шошонитовые гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Москва: Изд-во РАН, 2011. – 125 с.
- Гусев А.И., Гусев Н.И.* Железо-оксид-медно-золоторудный класс месторождений западной части Алтае-Саянской области и прилегающих территорий // Природа и экономика Кузбасса. Региональный сборник научных статей. Вып. 11. Т. 1. - Новокузнецк, 2007. - С.10-14.
- Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М.* Петрология и рудоносность белокурухинского комплекса Алтая. – Бийск: БПГУ, 2008.-193 с.
- Чекалин В.М.* Колыванское месторождение висмут-медно-вольфрамовых руд в Горном Алтае // Руды и металлы, 1999, № 4, с. 22-30.
- Anders E., Greevesse N.* Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta., 1989, v. 53, p. 197-214.
- Irber W.* The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim. Cosmochim Acta., 1999, v. 63, p. 489-508.