

# МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ КУМИРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

\*А.И.Гусев, \*\*Н.И. Гусев, \*И.В. Ефимова

\* Бийская академия образования, г. Бийск

\*\* ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург

## ВВЕДЕНИЕ

Кумирское рудное поле расположено в пределах Холзунско-Чуйского тектонического блока и приурочено к наложенной Коргонской вулкано-плутонической структуре (ВТС). В Коргонской ВТС вулканический разрез имеет трёхчленное строение. Нижним юнитом этого разреза является кумирская серия, включающая ергольскую и кумирскую свиты. Ергольская свита ( $D_1$ ), сложенная доминирующими пёстроцветными лавами, туфами андезитов, андезибазальтов, базальтов, редко андезидаций и дацитов. Значительно меньшие объёмы занимают пирокласто-осадочные и вулканогенно-терригенные образования. Выше залегает кумирская свита, которая сложена пестроцветными вулканомиктовыми, полимиктовыми, реже полевошпатово-кварцевыми, участками известковистыми песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами, гравелитами, конгломератами, пелитоморфными темно-серыми известняками. Обычны, хоть и встречаются не повсеместно, прослои туфов и лав андезитов, андезибазальтов, риодаций и дацитов. Свита согласно залегает на образованиях ергольской свиты и также согласно перекрывается вулканогенно-осадочными отложениями коргонской свиты.

Кумирская свита ( $D_1$ ) характеризуется значительной фациальной невыдержанностью, как по площади, так и в разрезе слагающих ее литотипов, значительными колебаниями мощности – от 500 до 2800 м. Основные особенности ее строения сводятся к следующему: эфузивные и вулканокластические породы большей частью тяготеют к низам разреза; обломочные породы в нижней части разреза преимущественно вулканотерригенные и пирокласто-осадочные, в верхней части – полимиктовые и олигоминеральные (полевошпатово-кварцевые, кварцево-полевошпатовые); отмечается общая тенденция уменьшения зернистости обломочных пород вверх по разрезу; в верхней части осадочные породы нередко известковистые, участками появляются пласти (до 20 м) пелитоморфных известняков.

В разрезах свиты в верховьях р. Топчуган выявлены отпечатки флоры: *Psilophyton princeps* Daws., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern., по р. Мендой и в районе п. Мендураакон определены споры: *Leiotriletes pullatus* Naum., *L. plicatus* (Waltz) Naum., *L. nigratus* Naum., *Trachytriletes solidus* Naum., *Acanthotriletes spinellosus* Naum., *Ac. similis* Naum., *Retusotriletes translaticius* Tschibr., *R. simplex* Naum., *R. apsogus* Tschibr., *Stenozonotriletes coriaceus* Nadl., *Archaeozonotriletes sp.* и др. Учитывая флористический комплекс и положение свиты в разрезе ее возраст определен как эмский уровня беловского и шандинского горизонтов раннего девона.

Верхним членом разреза Коргонской ВТС является коргонская свита ( $D_{1-2}$ ), представленная пёстро окрашенными сваренными и спекшимися туфами и туфоловами дацитов, риодаций и риолитов. Внутреннее строение свиты усложняется многочисленными телами вулканитов жерловой фации и субвулканическими телами (Коргонский и другие штоки), с которыми связаны месторождения железо-оксидного медно-золоторудного класса (Холзунское, Коргонское и другие месторождения) [Гусев А.И. и др., 2009]. В составе кумирской свиты также отмечаются субвулканические штоки гранит-порфиров – аляскит-порфиров, с одним из которых связано уникальное по составу Кумирское скандий-уран-редкоземельное месторождение (рис.1).

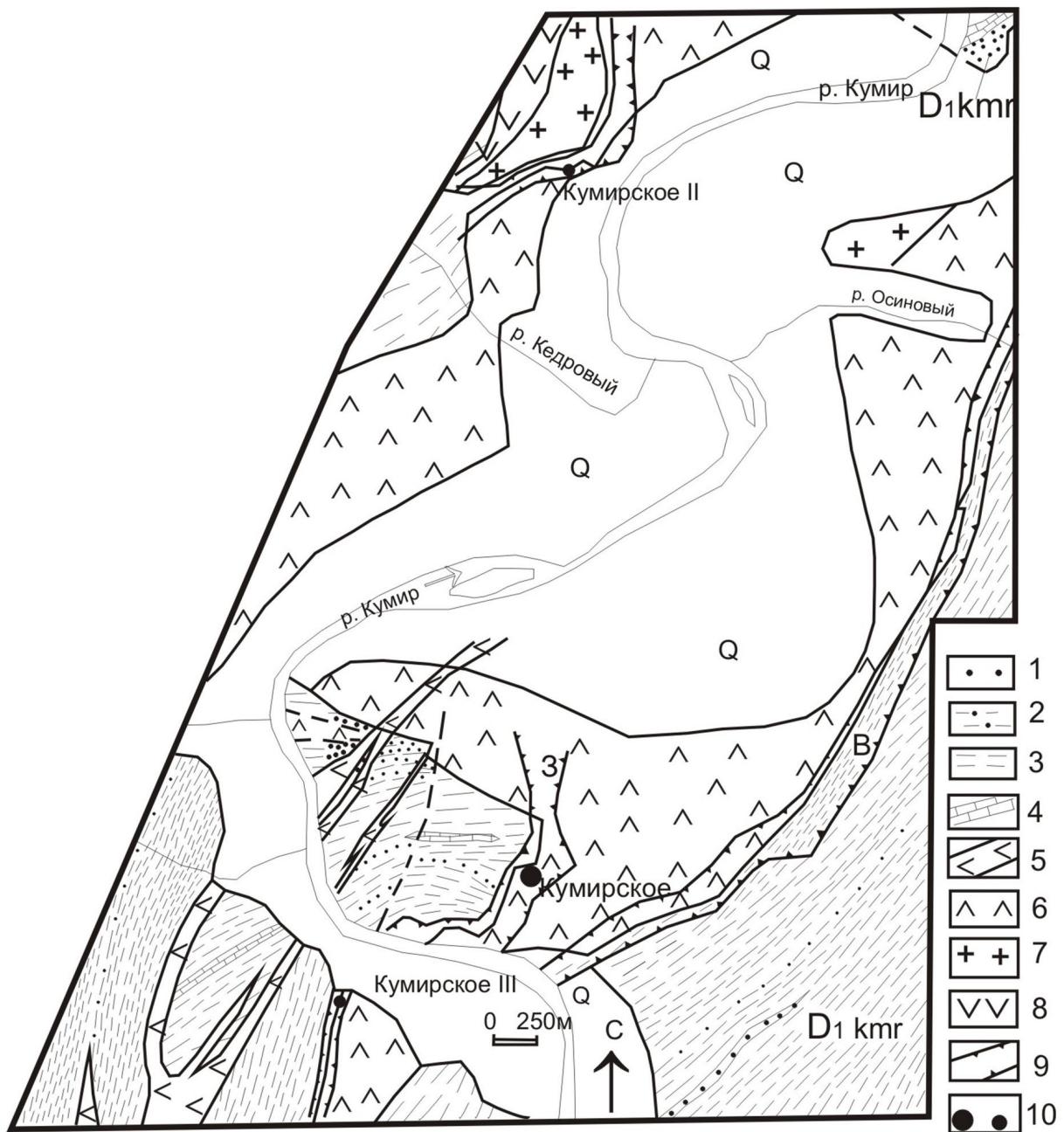


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кумирского рудного поля

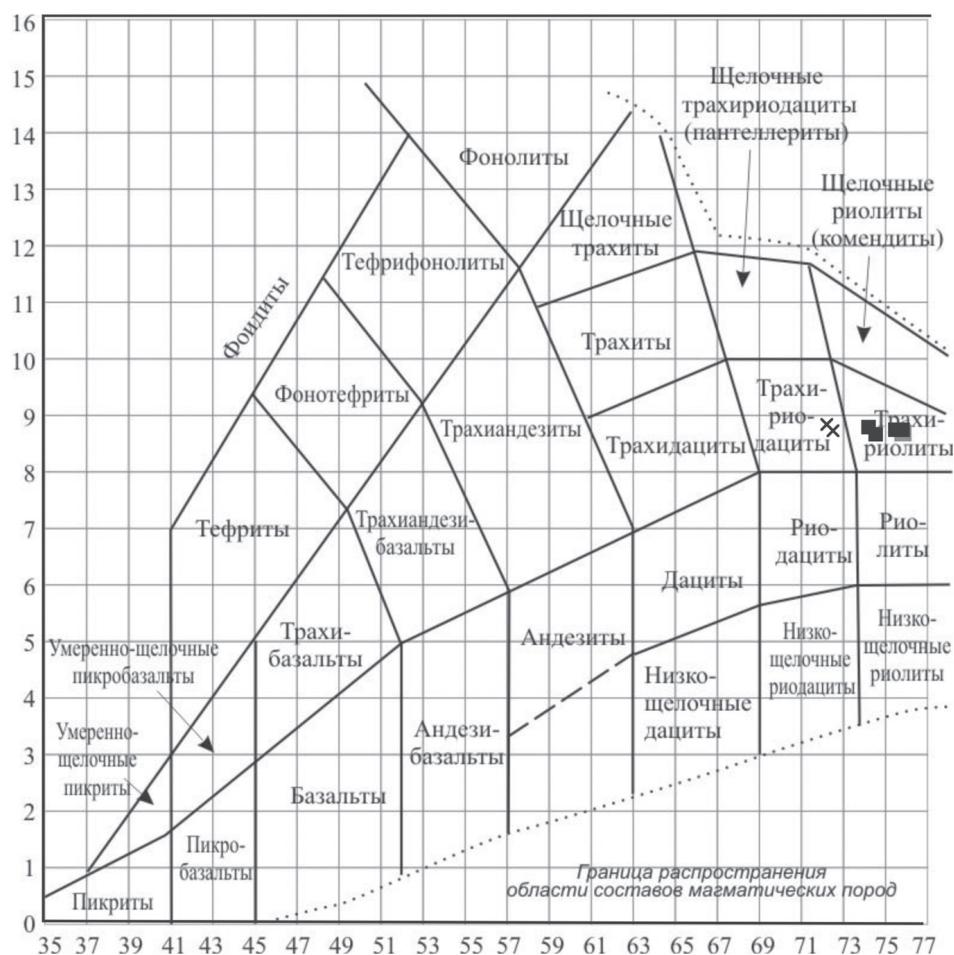
Кумирская свита: 1 – песчаники, 2 – алевропесчаники, 3 – алевролиты, 4 – мраморы; 5 – дайки фельзитов; породы Кумирского штока: 6 – субвулканические аляскит-порфиры, 7 – гранит-порфиры; 8 – андезитовые порфиры; 9 – контуры рудных зон (З – Западная, В – Восточная); 10 – скандий-уран-редкоземельные месторождения и проявления.

#### СУБВУЛКАНИЧЕСКИЙ МАГМАТИЗМ КУМИРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Интузивные породы в рудном поле представлены субвулканическим штоком гранит-порфиров и аляскит – порфиров, сформировавшихся в две последовательные фазы. Шток имеет площадь около 3 км<sup>2</sup> и вытянут в северо-восточном направлении, круто погружаясь – в западном. Породы экзоконтакта подверглись ороговикованию, скарнированию, грейзенизации, альбитизации и биотитизации. В эндоконтакте штока проявлена интенсивная альбитизация.

Гранит-порфиры ранней фазы обнажены только в северной части штока в виде небольшого тела в приконтактовой части штока размерами 50\*200 м. Это светло-серые породы с едва заметным розоватым оттенком, массивные с редкими шлировыми скоплениями эгирина и рибекита размерами до 3 см в поперечнике. В их составе преобладает призматический полевой шпат (50-50%), в значительном количестве (до 30-35%) отмечается кварц. Характерным темноцветным минералом является амфибол, равномерно распределённый в породе с редкими гломеропорфировыми скоплениями. Его содержания варьируют от 3 до 5%. Амфибол представлен средними (до 0,5 см) удлинённо-призматическими кристаллами почти чёрного цвета с буровато-синим оттенком. По оптическим показателям относится к рибекиту с отчётливым плеохроизмом от жёлтого до тёмно-синего и фиолетового. Эгирин встречается почти с такой же частотой, как и рибекит. Он образует зё尔на неправильной формы чаще всего приуроченные к интерстициям кристаллов щелочного полевого шпата и кварца. Плеохроизм в оттенках зелёного и жёлто-зелёного оттенков. Спорадически отмечается астрофиллит. Характерна гипидиоморфнозернистая структура, местами переходящая в аллотриоморфнозернистую. Аксессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, редко – пиритом.

На TAS диаграмме составы гранит-порфиров Кумирского штока попадают в поле трахиородактов (рис. 2).



**Рис. 2. Положение figurативных точек химического состава пород Кумирского штокса на TAS ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ) – диаграмме эффузивных аналогов горных пород**

1 – Гранит-порфиры, 2 – аляскит-порфиры.

По химизму гранит-порфиры относятся к умеренно-щелочным породам с преобладанием калия над натрием. Для них характерны высокие концентрации бария (до 970 г/т), стронция (до 340 г/т), сравнительно невысокие нормированные отношения лантана к иттербию (табл. 1), что свидетельствует о слабой фракционированной модели редких земель. Отношения лёгких к средним РЗЭ и урана к торию также невысокие (табл. 1).

Щелочной аляскит-порфир второй фазы имеет светлую окраску с розоватым оттенком, характеризуется массивной текстурой и сложной структурой: порфировой, а в цементирующем массиве породы – аплитовой. Аляскит-порфиры занимают основную часть штока. Лейкократовые минералы, составляющие 97% ее объема, представлены кали-натровыми полевыми шпатами (альбит, ортоклаз-микроперит, анортоклаз) – 65%, кварцем – 32%, образующими редкие идиоморфные порфировые вкрапленники, но преимущественно выполняющими цементирующую аплитовидную массу породы. Характерной особенностью аляскит-порфиров является частая встречаемость нодулей турмалина размерами от 0,5 до 1,5 см в поперечнике, а также гломеровидных скоплений фтор-биотита размерами до 0,5 см. Анализы эгирина и рибекита показали высокие концентрации фтора в указанных минералах – от 0,1 до 1,5 %), что не характерно для пироксенов и амфиболов.

Дифрактометрия полевых шпатов аляскит-порфиров позволяет относить их к варьирующему ряду от  $Ab_{45}Or_{55}$  до  $Ab_{61}Or_{39}$ . При этом в микроперитовых кристаллах отмечается несколько более высокая доля альбитовой фазы. Меланократовые минералы, составляющие порядка 1-3 % ее объема, представлены идиоморфными зернами эгирина, рибекита и редко биотита, размеры которых почти на порядок превышают размеры зерен цементирующей массы породы. Вторичные минералы представлены серицитом (2%), развитым за счет фенокристаллов щелочных полевых шпатов и образующим неравномерно рассеянные скопления в кварц-полевошпатовой массе породы. Рудные минералы представлены лейкоксенизованным магнетитом; акцессорные – апатитом, лейкоксеном.

На TAS ( $Na_2O+K_2O-SiO_2$ ) – диаграмме эффузивных аналогов фигуративные точки химических составов пород расположены в области фигуративного поля горных пород семейства трахириолитов. По совокупности петрологических параметров порода лейкократовая, крайне высокоглиноземистая ( $Al' = 13,71$ ), принадлежит к кислым плутоническим породам щелочного ряда кали-натровой серии, относится к семейству щелочных лейкогранитов, соответствует виду щелочной аляскит, разновидности – щелочной аляскит-порфир эгирин-рибекитовый. В отличие от гранит-порфиров аляскит-порфиры характеризуются значительно меньшими концентрациями бария (от 78 до 255 г/т), стронция (от 11 до 50 г/т), ванадия, никеля, кобальта, хрома и более высокими – скандия, цинка, лития, рубидия, tantalа (табл. 1). Степень фракционирования РЗЭ в них значительно выше (нормированные отношения лантана к иттербию варьируют от 2,32 до 7,48).

Гранит-порфиры и аляскит-порфиры характеризуются крайне неравномерным распределением многих элементов и в особенности редкоземельных. Об этом свидетельствуют варьирующие показатели тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, рассчитанные по В. Ирберу, 1999 (табл.2).

Оценка величины тетрадного эффекта свидетельствует о варьировании его от незначимых значений (менее 1,1) до заметных величин (от 1,16 до 1,6). При этом значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ коррелируются с величинами отношений  $Y|Ho$ ,  $La|Lu$ ,  $Zr|Hf$ ,  $Sr|Eu$ . Указанные отношения резко отличаются по своим значениям от таковых в хондритах (табл. 2).

Изотопно-геохронологическими исследованиями, выполненными в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ для аляскит-порфира, получена цифра  $421 \pm 16$  млн. лет, что отвечает лудлову (поздний силур). Эта изотопная датировка противоречит геологическому возрасту штока, который прорывает отложения нижнего девона.

Таблица 1

Содержания оксидов (в масс. %), и микроэлементов (в г/т) в субвуликанических образованиях Кумирского штока

Породы	Гранит-порфир	Гранит-порфир	Аляскит-порфир	Аляскит-порфир	Аляскит-порфир	Аляскит-порфир
№№ проб	458-10	458-13	458-15	2486	3456	3457
SiO <sub>2</sub>	72,89	73,05	74,11	74,6	75,01	75,26
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,48	12,57	14,46	14,5	14,41	14,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,53	0,32	0,48	0,52	0,49	0,46
FeO	0,46	0,28	0,41	0,46	0,45	0,41
MnO	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03
MgO	0,15	0,13	0,10	0,10	0,11	0,10
CaO	0,75	0,62	0,74	0,40	0,07	0,08
Na <sub>2</sub> O	3,05	2,99	4,23	4,4	4,47	4,51
K <sub>2</sub> O	5,94	5,9	4,37	4,07	4,10	4,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06
П.п.п.	2,1	2,08	1,04	0,84	0,61	0,48
Сумма	98,47	98,06	100,03	100,00	99,76	99,98
V	8,6	8,5	8,0	7,3	4,5	4,3
Cr	21,1	21,2	16,5	18	16	15
Ba	876	970	255	90	78	123
Ni	5,6	5,7	4,8	2,1	2,1	2,0
Co	6,0	5,8	2,8	1,1	1,0	0,9
Cu	4,5	4,2	4,0	3,5	2,5	2,3
Zn	6,4	5,0	8,0	60,0	63	50
Pb	12,3	12,0	11,9	11,3	10,2	9,8
Sn	9,4	9,5	10,3	9,6	11,5	12,1
Sc	3,1	3,0	7,7	7,2	7,13	7,5
Sr	351	340	50	11,0	11,1	45
Zr	37,8	35,1	31,3	31,1	30,4	30,1
Nb	33,1	32,4	30,7	31,2	30,9	29,8
Y	30,5	30,3	30,2	30,1	29,9	30,0
Yb	3,3	2,7	2,0	3,5	1,10	2,6
U	3,7	3,5	8,4	8,2	5,18	3,7
Th	14,9	14,6	10,5	10,4	9,96	13,8
Li	2,3	2,0	4,0	48	71,6	72,3
W	2,2	2,1	1,8	2,02	1,98	2,0
Mo	0,66	0,62	0,55	0,6	0,51	0,65
Rb	184	179	211	378	398	401
Cs	33,5	33,0	28,6	32,6	21,3	34
La	11,6	11,5	12,8	12,3	12,0	11,6
Ce	27,7	28,7	30,7	21,1	20,9	28,8
Pr	6,9	6,8	6,3	6,2	5,5	6,7
Nd	13,7	13,8	14,7	14,8	14,1	13,9
Sm	6,2	6,3	6,9	6,8	6,7	6,2
Eu	0,2	0,03	0,4	0,3	0,27	0,02
Gd	5,3	5,5	8,2	8,3	8,1	5,6
Tb	2,3	2,2	1,8	1,9	2,0	2,3
Dy	2,6	2,7	5,2	5,3	5,1	2,8
Ho	0,5	0,7	1,8	1,9	2,0	0,5
Er	1,9	1,8	3,0	3,3	3,2	1,7
Tm	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4
Lu	0,09	0,10	0,11	0,11	0,13	0,09
Hf	2,9	2,8	3,1	3,2	3,3	2,7
Ta	1,6	1,4	3,0	4,8	4,5	1,3
La/Yb <sub>N</sub>	2,32	2,82	4,22	2,32	7,48	2,94
La/Sm <sub>N</sub>	1,15	1,12	1,13	1,1	1,09	1,14
Eu/Eu*	0,076	0,0012	0,0119	0,009	0,0082	0,0008
U/Th	0,25	0,24	0,80	0,79	0,52	0,27

Примечание. Анализы выполнены в Лаборатории Института геологии и минералогии СОРАН (г. Новосибирск); N- элементы нормированы по [5].

Таблица 2

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта в субвуликанических породах  
Кумирского штока

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта	Гранит-порфир (458-10)	Гранит-порфир (458-13)	Аляскит-порфир (458-15)	Аляскит-порфир (2486)	Аляскит-порфир (3456)	Аляскит-порфир (3457)	Отношения элементов в хондрите
Y\Ho	61,0	43,3	16,8	15,8	14,9	60,0	29,0
Eu\Eu*	0,076	0,0012	0,0119	0,009	0,0082	0,0008	0,27
La\Lu	128,8	115,0	116,4	111,8	92,3	128,8	9,55
Zr\Hf	13,03	12,5	10,1	9,7	9,2	11,1	36,0
Sr\Eu	1755	11333	125	36,7	41,1	2250	83,4
TE <sub>1,3</sub>	1,59	1,46	1,16	1,03	1,01	1,60	-

Примечание. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [6]. Eu\*=(Sm<sub>N</sub>+Gd<sub>N</sub>)/2.

### ОРУДЕНЕНИЕ КУМИРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Оруденение скандия представлено гидротермально-метасоматическим типом среди пропилитов в пространственной связи с умеренно щелочными гранитоидами Кумирского штока, классифицируемыми анорогенным А-типов [Гусев А.И., 2005]. В эндо-экзоконтактовой части штока сформировалось месторождение Кумирское и проявления Кумирское II, Спартак, Кумирское III. Рудное поле локализовано на юго-восточном фланге Кумино-Кумирской вулкано-тектонической депрессии Коргонского прогиба и приурочено к тектонически нарушенным kontaktам Кумирского штока, интрудирующего вулканогенно-осадочную толщу нижнего и среднего девона [3].

Кумирское месторождение расположено в правом борту нижнего течения р. Кумир. Оно выявлено геологами ГГП «Берёзовгегология» в 1987-1988 годах при проведении ревизионных работ.

Особенности строения месторождения определяются локализацией оруденения в тектонически нарушенных экзо- и эндоконтактах штока. Западный контакт штока вмещает основное оруденение и характеризуется падением от 20-30° до 70-80° на запад. Он осложнён флексураобразными изгибами и провисанием кровли. Здесь же отмечаются осложняющие шток небольшие выступы. Восточный контакт имеет более простое строение и падает в западном направлении под углами 50-70°.

Тектонические нарушения субширотной и субмеридиональной систем в пределах месторождения представлены сериями сближенных крутопадающих тектонических швов с глинкой трещинами, суммарной мощностью до 3-5 м и амплитудой перемещения от первых десятков до 170 м.

На месторождении выявлены Западная и Восточная рудоносные зоны (рис. 1). Наиболее изучена Западная зона, которая чётко прослеживается вдоль контакта штока на 500 м при ширине 50-120 м. Она изучена канавами и скважинами по сети 80-30\*80-10 м на площади 0,56 км<sup>2</sup>, а подземными выработками по сети 70-20\*70 – 20 м на площади 0,03 км<sup>2</sup>. Поисково-оценочными работами в её пределах выделен рудный блок площадью 120\*120 м, изученный до глубины 165 м (абсолютная отметка +770 м). Рудный блок вмещает разрозненные рудные тела гнездо- и линзообразной формы мощностью десятки сантиметров – первые метры и протяжённостью – первые метры.

Восточная рудоносная зона, расположенная в 150-700 м от Западной, прослежена канавами через 20-250 м на 1900 м по простирианию и подсечена скважинами в долинах реки Кумир и ручья Осинового. Содержание скандия в рудах по бороздовому опробованию достигает 113 г/т на мощность 4 м и 300 г/т на мощность 0,54 м.

В 1500 м севернее месторождения установлена и прослежена канавами на 550 м рудносная зона проявления Кумир-II с содержанием скандия 62 г/т на мощность 1,6 м. *Проявление Кумирское-II* находится в левом борту р. Кумир. В альбитизированных риолитах СЗ эндоконтакта Кумирской субвулканической интрузии, в участках флюоритизации, выявлены U, Th, Sc в повышенных концентрациях.

*Кумирское месторождение* сложено комплексными рудами при ведущей роли скандия, образующего собственный минерал (тортвейтит) в скоплениях, представляющих промышленный интерес. Оруденение приурочено к эндо- и экзоконтактовой зоне Кумирского штока. Скандий-уран-редкометальное оруденение образует линзовидные тела и гнёзда размером до 0,5 x 1,2 x 2,5 м, контролируемые метасоматическими залежами (альбит, серицит, турмалин, кварц), обычно крутопадающими и субвертикальными. Оно накладывается на субвулканические риолиты и на ороговикованные породы кумирской свиты. На месторождении выделено два типа скандий-редкоземельных руд, различающиеся по вещественному составу и условно называемых «чёрными» и «белыми».

«Белые» руды – это светлоокрашенные мелко-среднезернистые существенно альбитовые метасоматиты с редкими прожилками турмалина, флюорита и сульфидов, локализующиеся, в основном, в аляскит-порфирах.

«Чёрные» руды – тёмноокрашенные (чёрные, тёмно-серые, фиолетово-чёрные) флюорит-биотитовые метасоматиты, тяготеющие к экзоконтактовым частям штока.

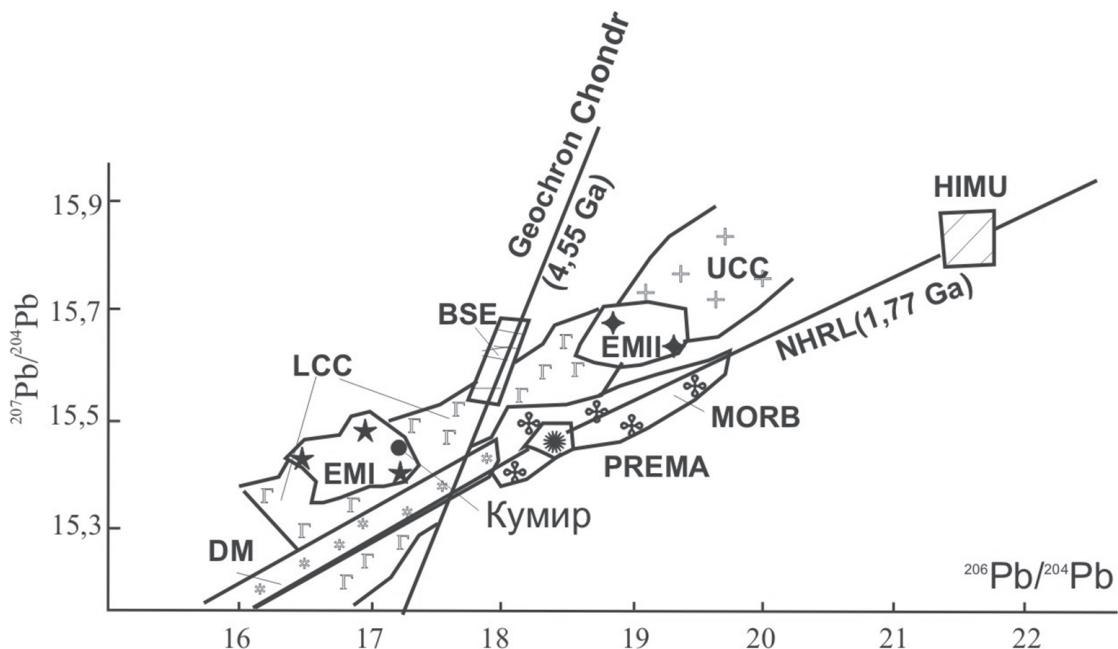
Сульфидная минерализация представлена пиритом, реже пирротином, халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом.

Скандиевая (тортвейтит) и редкоземельная (гадолинит, абакумолит, таленит, ортит, монацит) минерализация образуют мелкую (0,01-1,0 мм) вкрапленность в метасоматитах и сопровождаются урановой (уранинит, настуран, барннерит, коффинит, метацейнерит, эпиянтинит), ториевой (торит) и бериллиевой (гадолинит, берилл, берtrandит) минерализацией. Встречаются также фторапатит и топаз. Постоянное присутствие в рудах урановых и ториевых минералов обуславливает их повышенную радиоактивность.

Нами установлено, что руды Кумирского месторождения сопровождались также образованием фельдшпатолитов и кварцитов, а формирование оруденения происходило в несколько стадий минерализации. Фельдшпатолиты, представленные калиевым полевым шпатом с редкими гнёздами кварца формировались по аляскитам и гранит-порфирам. Они сохранились в виде крупных блоков, измеряемых несколькими десятками метров в зонах прилегающих рудогенерирующими аляскитам. Кварциты чаще всего образовывались по песчаникам кумирской свиты и представлены двумя разностями: белыми и тёмно-серыми до чёрных. Чёрные тона кварцитов обусловлены обилием органического материала в алевро-песчаниках.

Рудный процесс протекал в несколько стадий. Наиболее ранним агрегатом является кварц-пирит-тортвейтитовый с минералами редких земель – гадолинитом, абакумолитом, таленитом, ортитом, монацитом. В этой ассоциации отмечаются также фтор-апатит и турмалин. Температура гомогенизации газово-жидких включений в кварце этой ассоциации варьирует от 320 до 285 °С. Секущие прожилки кварца 2 генерации с бериллом, топазом, гадолинитом и берtrandитом сопровождались интенсивной флюоритизацией. Гомогенизация газово-жидких включений кварца 2 генерации происходила при температурах 240-210 °С. Самый поздний агрегат включал сидерит-кальцитовые прожилки с флюоритом 2 генерации и уранинитом, настураном, коффинитом и другими более редкими уран-ториевыми минералами. Изредка в этой ассоциации встречаются гнёзда галенита размерами до 1,5 см в поперечнике. Гомогенизация газово-жидких включений в сидерите осуществлялась при температурах 190-170 °С. Концентрации изотопов свинца в галените этой ассоциации составляют: Pb<sup>204</sup>=1,39, Pb<sup>207</sup>=21,21, Pb<sup>206</sup>=24,05, Pb<sup>208</sup>=52,05 [4]. На диаграмме соот-

ношений  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  галенит Кумирского месторождения попадает в поле EM I (рис. 3) – источник обогащённой мантии типа EM I с участием нижнекорового материала и плюмового компонента.



**Рис. 3. Диаграмма  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  в галените месторождения Кумир**

PREMA – превалирующая мантия; DM – деплетированная мантия; HIMU – компонент мантии, обогащённый радиогенным свинцом; EM I – обогащённая мантия нижнекоровым компонентом; EM II – обогащённая мантия верхнекоровым компонентом; MORB – океанические базальты; BSE – валовый состав Земли; LCC, UCC – нижне и верхнекоровый компоненты; Geochron Chondr – хондритовая геохрония; NHRL – положение изотопной корреляционной диаграммы в северной полусфере от проверочной линии.

Содержания скандия в рудах колеблются от 50 до 2400 г/т, при среднем в пределах рудного блока 205 г/т (борт 100 г/т) или 164 г/т (борт 70 г/т). Основное количество скандия сосредоточено в тортвейтите – 64% и турмалине – 27%, в слюдистых минералах, полевых шпатах и оксидах железа присутствует до 9% скандия в виде микровключений торвейтита и изоморфной примеси в алюмосиликатных минералах.

Содержания иттрия варыают от 100 г/т до 4,1 кг/т при среднем содержании около 200 г/т, оксида ниобия от десятков г/т до 300 г/т (среднее 56 г/т), рубидия от 30 до 800 г/т (среднее 236 г/т); распределение иттрия в минералах приведено в табл. 3.

В рудах месторождения отмечаются высокие концентрации редких земель, достигающие 0,5-3,3 %. По расшифровке суммы редких земель (0,6%) технологической пробы содержания (в %) составили: иттрия – 0,12, тербия – 0,103, гадолиния – 0,09, неодима – 0,087, самария – 0,0603, диспрозия – 0,039, празеодима – 0,037, эрбия – 0,024, лантана – 0,023, иттербия – 0,0057, голмия – 0,0046, тулия – 0,0031, европия – 0,00011. Количество анализов для подсчёта запасов редких земель не достаточно.

Содержания урана и тория колеблются от тысячных до первых сотых долей процента, достигая в единичных случаях 0,284 и 0,396% на мощность 0,5 и 0,1 м, соответственно.

По результатам спектральных анализов бороздовых и керновых проб в пределах рудных интервалов устанавливался бериллий в количествах 0,2-0,5%.

Таблица 3

Содержания полезных компонентов в минералах месторождения Кумир (в мас. %)

Минералы	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\Sigma$ TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Тортвейтит	64	8	0,24	-
Иттриевые силикаты	-	70	11	-
Урановые минералы	-	До 1	2	99
Турмалин	27	До 1	24	-
Слюды	3	18	17	-
Полевые шпаты	3,5	-	-	-
Оксиды железа	2,5	До 1	30	-
Редкоземельные минералы	-	-	14	-
Прочие	-	1	1,76	1

На участках с радиоактивностью свыше 30 мкР/ч (с экраном) отмечаются положительные корреляционные связи скандия с ураном (0,789), торием (0,726) и иттрием (0,763).

Запасы и прогнозные ресурсы (C<sub>2</sub>+P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>) скандия, иттрия, урана, тория, рубидия и ниobia по отдельности составляют сотни тонн. При этом запасы по категории C<sub>2</sub> (в т) составляют: скандия – 3,6, (борт скандия 70 г/т); 3,5 (борт скандия 100 г/т), иттрия – 0,9, оксида ниobia – 1,1, рубидия – 6,2, урана – 5,6, тория – 2,4.

Во ВНИИХТе (1999 год) опробованы различные методы обогащения: ситовый анализ, магнитная сепарация, гравитационное и фотометрическое разделение, радиометрическое обогащение. Ситовый анализ и гравитационное разделение не позволяют провести обогащение руд. Радиометрическое обогащение является наиболее приемлемым, так как позволяет получить концентрат – 40-50% от горной массы при потерях скандия около 25%, редких земель – около 10%.

Обработка технологических схем извлечения скандия и сопутствующих компонентов осуществлялась на технологических пробах и концентратах радиометрической сортировки во ВНИИХТе методами азотнокислого выщелачивания и сульфатизации. По азотнокислой схеме извлечение урана, иттрия и бериллия может составлять 83,2-96,4%, 76,0-92,8 и 84,9%, соответственно. Скандий по этой схеме практически весь остаётся в кеке, из которого извлечение скандия может составлять 76-99%. По схеме сульфатизации извлечение иттрия, редких земель и бериллия составляют, соответственно, 75-84%, 88-95%, 61-86%. Скандий остаётся в кеке и его извлечение составляет 88-98%.

#### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Новые данные, полученные по субвуликаническому магматизму и оруденению Кумирского рудного поля, свидетельствуют о специфических процессах становления Кумирского штока, характеризующегося обилием летучих компонентов, среди которых важную роль играли фтор (фтор-апатит, фтор-биотит, высокие концентрации фтора в эгирине и рибеките), бор (нодули турмалина). Обилие летучих компонентов и особенно фтора, вероятно, обуславливали фракционирование металлов, что сказалось на характере распределения редких земель с формированием тетрадного эффекта распределения РЗЭ. На заключительных стадиях субвуликанических процессов происходила интенсивная дегазация магматического очага

с образованием обширной серии мощно проявленных метасоматитов – от фельдшатолитов до пропилитов, приуроченных к субмеридиональным разломам и имеющих мощность до 150 м. Определения изотопного возраста становления аляскит-порфиров Кумирского штока противоречат геологическому возрасту.

Комплексное скандий-уран-редкоземельное оруденение формировалось в тесной ассоциации с указанными метасоматитами на фоне снижения температур кристаллизации последовательных трёх стадий процесса – от 320 до 170 °С. Руды месторождения богаты по содержаниям полезных компонентов, а современные технологии позволяют извлекать всю гамму металлов в количествах от 61 до 99%. Соотношения радиогенных изотопов свинца галенита Кумирского месторождения указывают на формирование его из материала обогащённой мантии типа ЕМ I с участием нижнекорового и плутонового источников.

Следует отметить, что в полосе рудоконтролирующего субширотного разлома, к которому приурочены месторождения Кумир, железорудные месторождения Коргон, Тимофеевское, Пятак и другие в рудах которых, помимо железа, присутствуют скандий (от 35 до 63 г/т), редкие земли (иттрия от 15 до 120 г/т). Все они характеризуются повышенной радиоактивностью. На указанных месторождениях при ГДП-200 закартированы штоки умеренно-щелочных гранитоидов майорского комплекса ( $D_2$ ), имеющих визуальное сходство с субвулканическими образованиями, подобными гранитоидам Кумирского и Коргонского штоков. Это позволяет переоценить весь Коргоно-Кумирский рудный узел на комплексное скандий-уран-редкоземельное оруденение Кумирского типа.

## Литература

*Гусев А.И.* Петрология редкометалльных магмо-рудно-метасоматических систем Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. Томск. 2005. № 4. Том. 308. с.43-47.

*Гусев Н.И., Николаева Л.С., Гусев А.И.* Верхнепалеозойские и мезозойские железооксидные медно-золоторудные системы юго-запада Алтае-Саянского региона Сибири // Региональная геология и металлогения, 2006. № 29. с. 88-99.

*Гусев Н.И., Гусев А.И., Пономарёв А.Л., Федак С.И.* Девонский вулканализм в юго-западном Алтае: петрологические особенности и металлогения // Региональная геология и металлогения, 2009. № 38. с. 73-84.

*Шипилов Л.Д., Тычинский А.А., Вахрушев В.А.* Изотопный состав свинца галенитов в рудных месторождениях Алтае-Саянской области / Рудные формации и генезис эндогенных месторождений Алтае-Саянской области. М., Наука, 1968, с.114-129.

*Anders E., Greevesse N.* Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989, v.53, pp. 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 Comochim Acta. 1999. v.63, №3/4, p. 489-508.