

КУМИРСКАЯ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

А.И.Гусев, ¹Н.И. Гусев, И.В. Ефимова, С.А. Андросова, С.И. Жданова,
А.С. Красова

Бийский педагогический государственный университет, г. Бийск
ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург

Введение

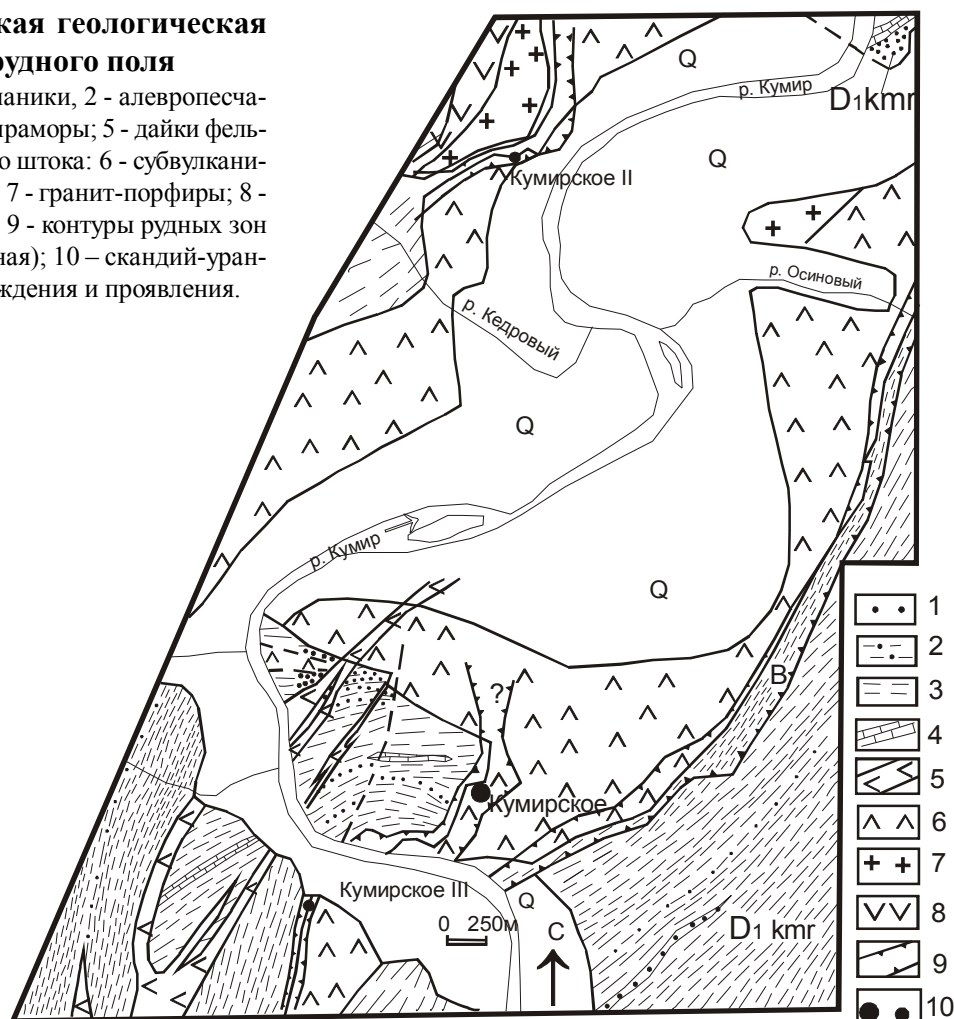
Кумирское рудное поле расположено в пределах Холзунско-Чуйского тектонического блока и приурочено к наложенной Коргонской вулcano-плутонической структуре (ВТС). В Коргонской ВТС вулканический разрез имеет трёхчленное строение. Нижним юнитом этого разреза является кумирская серия, включающая ергольскую и кумирскую свиты. Ергольская свита (D_1) сложена доминирующими пёстроцветными лавами, туфами андезитов, андезибазальтов, базальтов, редко андезидацитов 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, прослойки туфов и лав андезитов, андезибазальтов, риодацитов 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: эффузивные 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 пласты (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. Мендурсакон 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 пёстроокрашенными сваренными и спекшимися туфами и туфолавами дацитов, риодацитов 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 и др., 2006, 2009). В составе кумирской свиты также отмечаются субвулканические штоки гранит-порфиров – аляскит-порфиров, с одним из которых ранее связывалось 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 порфириды; 9 - контуры рудных зон (З - Западная, В - Восточная); 10 – скандий-уран-редкоземельные месторождения и проявления.



В процессе проведения полевой геологической практики студентов географического факультета Бийского педагогического государственного университета в 2009 году на Кумирском месторождении и близлежащих месторождениях – Тимофеевском железорудном, Владимирском кобальтовом - нами получены новые данные, заслуживающие огласки широкому кругу специалистов.

Субвулканический магматизм Кумирского рудного поля

Интрузивные породы в рудном поле представлены субвулканическим штоком гранит-порфиров и аляскит – порфиров, сформировавшихся в две последовательные фазы. Шток имеет площадь около 3 км² 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 размерами 50 x 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 сред-

1. Содержания оксидов (в масс. %), и микроэлементов (в г/т) в субвулканических 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 ₂	72,89	73,05	74,11	74,6	75,01	75,26
TiO ₂	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	12,48	12,57	14,46	14,5	14,41	14,37
Fe ₂ O ₃	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 ₂ O	3,05	2,99	4,23	4,4	4,47	4,51
K ₂ O	5,94	5,9	4,37	4,07	4,10	4,15
P ₂ O ₅	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 _N	2,32	2,82	4,22	2,32	7,48	2,94
La/Sm _N	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 (Anders, Greevesse, 1989).

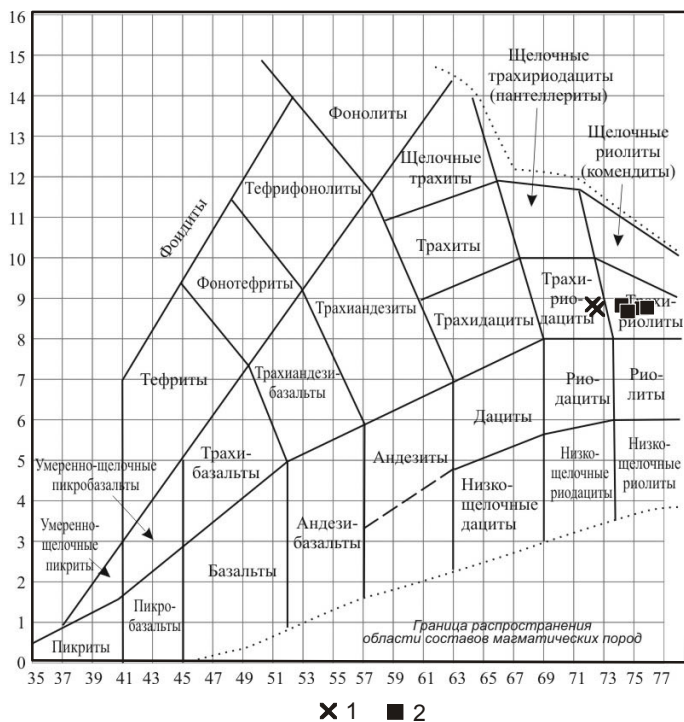


Рис. 2. Положение фигуративных точек пород Кумирского штока на TAS ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$) - диаграмме эффузивных аналогов горных пород 1 - гранит-порфиры, 2 - аляскит-порфиры.

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 цементирующей массе породы – аплитовой. Аляскит-порфиры занимают основную часть штока. Лейкократовые минералы, составляющие 97% ее объема, представлены калии-натровыми полевыми шпатами (альбит, ортоклаз-микрпертит, 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 фторбиотита 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 $\text{Ab}_{45}\text{Or}_{55}$ до $\text{Ab}_{61}\text{Or}_{39}$. При этом в микрпертитовых 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 лейкоксенизированным магнетитом; аксессуарные – апатитом, лейкоксенном.

ними (до 0,5 см) удлиненно-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 зёрна неправильной формы, чаще всего приуроченные к интерстициям кристаллов щелочного полевого шпата и кварца. Плеохроизм в оттенках зелёного и жёлто-зелёного цветов. Спорадически отмечается астрофиллит. Характерна гипидиоморфнозернистая структура, местами переходящая в аллотриоморфнозернистую. Аксессуарные минералы представлены магнетитом, апатитом, редко – пиритом. На TAS-диаграмме составы гранит-порфиров Кумирского штока попадают в поле трахириодацитов (рис. 2). По химизму гранит-порфиры относятся к умеренно-щелочным породам

2. Отношения элементов и значения тетрадного эффекта в субвулканических 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/No	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 _{1,3}	1,59	1,46	1,16	1,03	1,01	1,60	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект по (Irber, 1999). Eu*=(Sm_N+Gd_N)/2.

На TAS (Na₂O+K₂O – SiO₂) - 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 (Al³⁺=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, тантала (табл. 1). Степень фракционирования РЗЭ в них значительно выше (нормированные отношения лантана к иттербию варьируют от 2,32 до 7,48), чем в гранит-порфирах. На диаграмме распределения РЗЭ, нормированных относительно хондрита, наблюдается отчётливая негативная аномалия по европию и в гранит-порфирах, и в аляскит-порфирах (рис. 3). В последних отмечается несколько повышенные концентрации и лёгких, и тяжёлых РЗЭ.

Гранит-порфиры и аляскит-порфиры характеризуются крайне неравномерным распределением многих элементов, в особенности редкоземельных. Об этом свидетельствуют варьирующие показатели тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, рассчитанные по В. Ирберу (Irber, 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/No, La/Lu, Zr/Hf, Sr/Eu. Указанные отношения резко отличаются по своим значениям от таковых в хондритах (табл. 2).

На петрохимической диаграмме Л.С. Бородина (1981) породы штока преимущественно располагаются в поле щелочной серии, и лишь один анализ аляскит-порфира оказался в поле умеренно-щелочной серии (рис. 4). Диаграмма CaO – MgO – Al₂O₃, связывающая силикатные и мафические компоненты магматических горных пород, предложена Д.С. Штейнбергом (1988). На

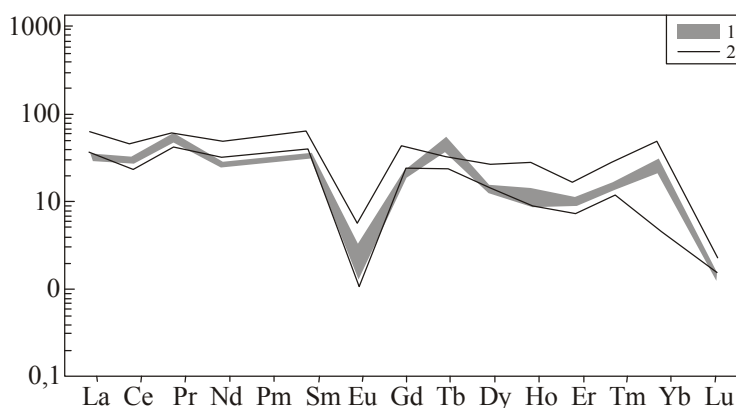


Рис. 3. Диаграмма содержаний РЗЭ в породах Кумирского штока

1 – гранит-порфиры, 2- аляскит-порфиры

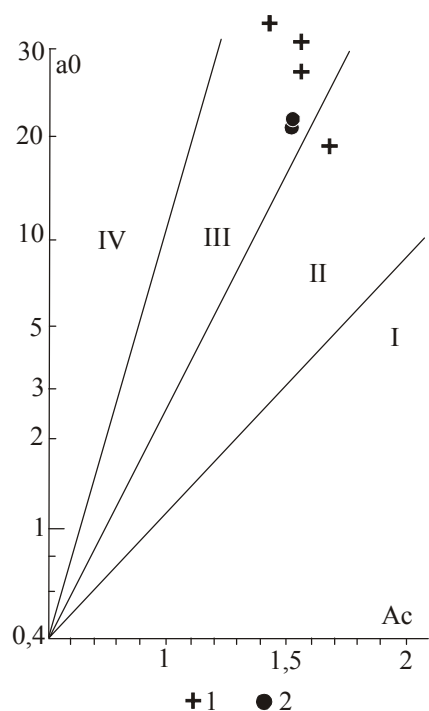


Рис. 4. Петрохимическая диаграмма в координатах Ac – a₀ (Бородин, 1981) для пород Кумирского штока

1 - гранит-порфиры, 2 - аляскит-порфиры. Петрохимические серии: I – известково-щелочная, II - умеренно-щелочная, III – щелочная, IV - высокощелочная.

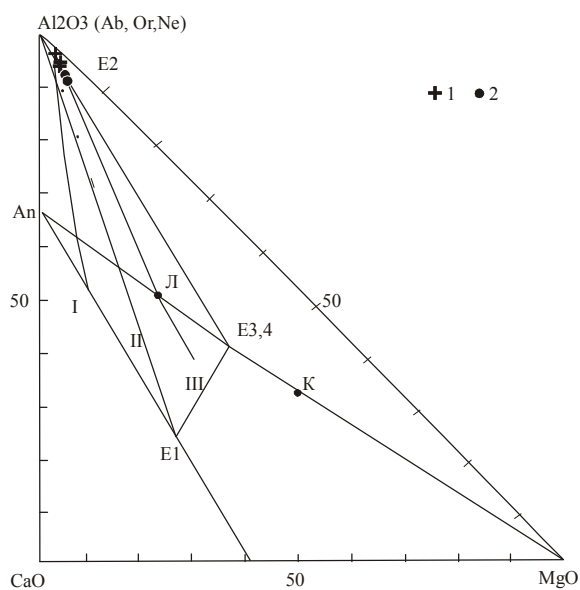


Рис. 5. Эволюционные тренды породных типов Кумирского штока на диаграмме CaO – Al₂O₃ – MgO

1 - гранит-порфиры, 2 - аляскит-порфиры. I, II, III – серии по (Штейнберг, 1988): толеитовая, известково-щелочная, субщелочная; E1, E2, E3, E4 – экспериментальные эвтектики. Эвтектики: Di-An, Di-An-Ab, An-Tn (Fo).

этой диаграмме все породы штока тяготеют к углу Al₂O₃ и совпадают с трендом умеренно-щелочной серии пород (рис. 5).

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

Оруденение Кумирского рудного поля

Оруденение скандия представлено гидротермально-метасоматическим типом среди пропилитов в пространственной связи с умеренно щелочными гранитоидами Кумирского штока, классифицируемые анорогенным А-типом (Гусев и др., 2006). В эндо-экзоконтактовой части штока сформировалось месторождение Кумирское и проявления Кумирское II, Спартак, Кумирское III. Рудное поле локализовано на юго-восточном фланге Кумино-Кумирской вулcano-тектонической депрессии Коргонского прогиба и приурочено к тектонически нарушенным контактам Кумирского штока, интродуцирующего вулканогенно-осадочную толщу нижнего и среднего девона (Гусев и др., 2006).

Кумирское месторождение расположено в правом борту нижнего течения р. Кумир. Оно выявлено геологами ГПП «Берёзовгеология» 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 флексурообразными изгибами и провисанием кровли. Здесь же отмечаются ос-

ложняющие 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 глиной трения, 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 x 80-10 м на площади 0,56 км², а подземными выработками по сети 70-20 x 70-20 м на площади 0,03 км². Поисково-оценочными работами в её пределах выделен рудный блок площадью 120 x 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 простиранию и подсечена скважинами в долинах реки Кумир и ручья Осинового. Содержание скандия в рудах по бороздovому опробованию достигает 113 г/т на мощность 4 м и 300 г/т на мощность 0,54 м. Следует отметить, что в процессе рекогносцировки, проведенной нами в 2009 году, в обеих зонах отмечены дайки долеритов мощностью от 0,5 до 3 м, располагающиеся среди метасоматитов. Дайки ранее не отмечались предшественниками в рудном поле. Судя по наложенным метасоматитам пропиловитового типа, дайки можно отнести к внутрирудным образованиям, с которыми может быть и связано раннее скандиевое оруденение. Отнесение даек к конкретному магматическому комплексу требует дополнительных исследований. В 1500 м севернее месторождения установлена и прослежена канавами на 550 м рудоносная 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 экзоконтактной 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 пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом. Скандиевая (тортвейтит) и редкоземельная (гадолинит, абукумолит, таленит, ортит, монацит) минерализация образует мелкую (0,01-1, 0 мм) вкрапленность в метасоматитах и сопровождается урановой (уранинит, настуран, барннерит, коффинит, метацейнерит, эпипантинит), ториевой (торит) и бериллиевой (гадолинит, берилл, бертрандит) минерализацией. Встречаются также фторапатит и топаз. Постоянное присутствие в рудах урановых и ториевых минералов обуславливает их повышенную радиоактивность.

Нами установлено, что руды Кумирского месторождения сопровождалась также образованием фельдшпатолитов и кварцитов, а формирование оруденения происходило в не-

сколько стадий минерализации. Фельдшатовиты, 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 к рудогенерирующим аляскитам. Кварциты чаще всего образовывались по песчанникам кумирской свиты и представлены двумя разновидностями: белыми и тёмно-серыми до чёрных. Чёрные тона кварцитов обусловлены обилием органического материала в алевропесчанниках.

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 фторапатит и турмалин. Температура гомогенизации газовой-жидких включений в кварце этой ассоциации варьирует от 320 до 285°C. Секущие прожилки кварца 2 генерации с бериллом, топазом, гадолинитом и берtrandитом сопровождалась интенсивной флюоритизацией. Гомогенизация газовой-жидких включений кварца 2 генерации происходила при температурах 240-210°C. 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 газовой-жидких включений в сидерите осуществлялась при температурах 190-170°C. Концентрации изотопов свинца в галените этой ассоциации составляют: $^{204}\text{Pb}=1,39$, $^{207}\text{Pb}=21,21$, $^{206}\text{Pb}=24,05$, $^{208}\text{Pb}=52,05$ (Шипилов и др., 1968). На диаграмме соотношений $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ галенит Кумирского месторождения попадает в поле EM I (рис. 6) – источник обогащённой мантии типа EM I с участием нижнекорового материала и плюмового компонента.

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 варьируют 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 %.

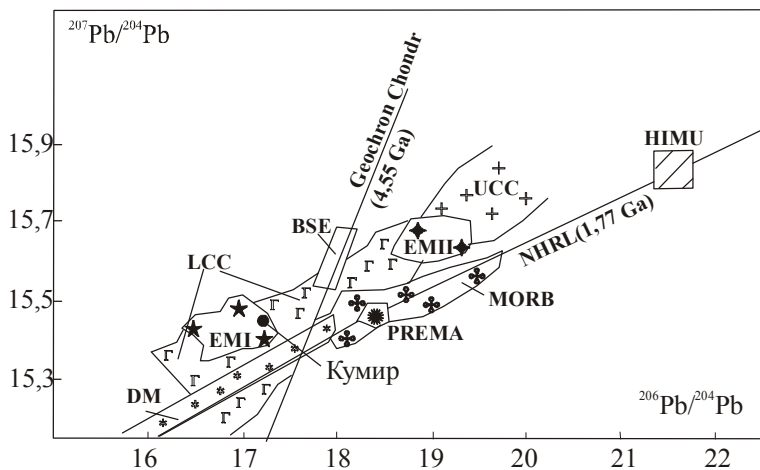


Рис. 6. Диаграмма $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ по [9] в галените месторождения Кумир

PREMA- превалярующая 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 геохронона; NHRL - положение изотопной корреляционной диаграммы в северной полусфере от проверочной линии.

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,

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

Минералы	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	TR ₂ O ₃	U ₃ O ₈
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

празеодима – 0,037, эрбия – 0,024, лантана – 0,023, иттербия – 0,0057, гольмия – 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 %. 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 (C₂+P₁+P₂) скандия, иттрия, урана, тория, рубидия и ниобия по отдельности составляют сотни тонн. При этом запасы по категории C₂ (в т) составляют: скандия – 3,6, (борт скандия 70 г/т); 3,5 (борт скандия 100 г/т), иттрия – 0,9, оксида ниобия – 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 результатов и рекомендации

Новые данные, полученные по субвулканическому магматизму и оруденению Кумирского рудного поля, свидетельствуют о специфических процессах становления Кумирского штока, характеризующегося обилием летучих компонентов, среди которых важную роль играли фтор (фторapatит, фторбиотит, высокие концентрации фтора в эгирине и рибеките), бор (нодулы 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

субвулканических процессов происходила интенсивная дегазация магматического очага с образованием обширной серии мощно проявленных метасоматитов – от фельдшатовитов 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°C. 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 EM I с участием нижнекорового и плюмового источников. Такие характеристики радиогенных изотопов наводят на мысль о не оцененной ранее роли даек долеритов, имеющих внутрирудный характер и располагающихся внутри рудоносных зон, на которые накладываются прожилки кварца с сульфидами. Известно, что скандий предпочитительно ассоциирует с основными магмами мантийной природы. Следует отметить, что в полосе рудоконтролирующего субширотного разлома, оперяющего Чарышско-Теректинский глубинный дизъюнктив, 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), также обнаруживаются дайки долеритов. Все выше отмеченные месторождения характеризуются повышенной радиоактивностью. На указанных месторождениях при ГДП-200 закартированы штоки умеренно-щелочных гранитоидов майорского комплекса (D₂), 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, а возможно и железо-оксидно-медно-золоторудного, обогащённого редкими землями (Гусев и др., 2006).

Литература

- Бородин Л.С.* Геохимия главных серий изверженных пород. - М.: Недра, 1981. – 217 с.
- 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 вулканизм в юго-западном Алтае: петрологические особенности и металлогения // Региональная геология и металлогения, 2009. - № 38. – С. 73-84.
- Шпилов 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.
- Штейнберг Д.С.* О классификации магматитов. – М.: Наука, 1988. – 160 с.
- 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. - №3/4. - P. 489-508.
- Rollinson H.* Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. – London, 1993. – 345 p.