

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

**ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ
УНИКАЛЬНОГО КУМИРСКОГО SC-U-TR МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ГОРНОГО АЛТАЯ**

Гусев А.И., Гусев Н.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Для уникального Кумирского скандий-уран-редкоземельного месторождения впервые описаны субвулканические образования, сформировавшиеся в антидромной последовательности от гранитов до долеритов. Более ранние гранит-порфиры и аляскит-порфиры слагают Кумирский шток, в контакте с которым образовались сложнее по составу метасоматиты от фельдшпатоидов до пропилитов. Гранитоиды формировались в процессе частичного плавления мантийного субстрата (кварцевые эклогиты) и относятся к А-типу (анорогенных гранитоидов), а дайки долеритов обнаруживают в своём образовании мантийно-коровое взаимодействие: смешение мантийной базальтовой магмы и корового материала.

Ключевые слова: петрология, геохимия, гранит-порфиры, аляскиты, анорогенные гранитоиды, долериты, антидромная последовательность, мантийно-коровое взаимодействие

**PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY SUBVOLCANIC FORMATIONS
UNIC KUMIRSKOE SC-U-REE DEPOSIT OF MOUNTAIN ALTAI**

Gusev A.I., Gusev A.A.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

The subvolcanic formation described for the first time for unic Kumirskoe scandium-uranium-rare earth elements deposit that it was formed in antidromic consistently from granites to dolerites. Granite-porphyrtes and alaskite-porphyrtes more early compose Kumirskii stock in the contact with it formed compose on content metasomatites from feldspathoids to propilites. Granitoids formed in the process partial of melting of mantle substrate (quartz eclogite) that it is carry to A-type (anorogenic granitoids), but dikes of dolerites fined in his of forming mantle-crust interaction: mixing mantle substrate and crust material.

Keywords: petrology, geochemistry, granite-porphyrtes, alaskites, anorogenic granitoids, dolerites, antidromic consistently, mantle-crust interaction

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. Кумирская свита сложена эффузивными и вулканокластическими породами, которые, большей частью, тяготеют к низам разреза. Субвулканическими аналогами этих эффузивов являются Кумирский шток гранитоидов и дайки долеритов, обнаруженные нами в последние годы [1, 2]. С субвулканическими образованиями парагенетически связывается формирование уникального комплексного скандий-уран-редкоземельного месторождения с редкими металлами [2].

Интрузивные породы в рудном поле представлены субвулканическим штоком гранит-порфиоров и аляскит – порфиоров, 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 и фельдшпатизация. Позднее сформировались пропиллиты.

Гранит-порфиры ранней фазы обнажены только в северной части штока в виде небольшого тела в приконтактной 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) 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 приурочены к интерстициям кристаллов щелочного полевого шпата и кварца. Плеохроизм в оттенках зелёного и жёлто-зелёного оттенков. Спорадически отмечается астрофиллит. Характерна гипидиоморфно-зернистая структура, местами переходящая в аллотриоморфнозернистую. Акцессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, редко – пиритом. В целом гранит-порфиры следует отнести к анорогенному А-типу гранитоидов, содержащим щелочные амфиболы.

На TAS диаграмме составы гранит-порфиров Кумирского штока попадают в поле трахириодацитов (рис. 1). 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 торью также невысокие (табл. 1).

Таблица 1

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

Породы	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	72,89	73,05	74,11	74,6	75,01	75,26	47,1	46,8
TiO ₂	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	1,44	1,45
Al ₂ O ₃	12,48	12,57	14,46	14,5	14,41	14,37	15,8	15,7
Fe ₂ O ₃	0,53	0,32	0,48	0,52	0,49	0,46	2,82	2,85
FeO	0,46	0,28	0,41	0,46	0,45	0,41	7,23	7,14
MnO	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,19	0,18
MgO	0,15	0,13	0,10	0,10	0,11	0,10	9,05	9,12
CaO	0,75	0,62	0,74	0,40	0,07	0,08	9,91	9,85
Na ₂ O	3,05	2,99	4,23	4,4	4,47	4,51	2,2	2,1
K ₂ O	5,94	5,9	4,37	4,07	4,10	4,15	0,73	0,77
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,25	0,24
П.п.п.	2,1	2,08	1,04	0,84	0,61	0,48	2,96	2,94
Сумма	98,47	98,06	100,03	100,00	99,76	99,98	99,67	99,9
V	8,6	8,5	8,0	7,3	4,5	4,3	220	218
Cr	21,1	21,2	16,5	18	16	15	287	272
Ba	876	970	255	90	78	123	90,4	91,7
Ni	5,6	5,7	4,8	2,1	2,1	2,0	155	146
Co	6,0	5,8	2,8	1,1	1,0	0,9	60,1	58,8
Cu	4,5	4,2	4,0	3,5	2,5	2,3	60	53
Zn	6,4	5,0	8,0	60,0	63	50	110	105
Pb	12,3	12,0	11,9	11,3	10,2	9,8	4,1	3,11
Sn	9,4	9,5	10,3	9,6	11,5	12,1	< 2	< 2
Sc	3,1	3,0	7,7	7,2	7,13	7,5	44	38
Sr	351	340	50	11,0	11,1	45	235	238
Zr	37,8	35,1	31,3	31,1	30,4	30,1	104	109
Nb	33,1	32,4	30,7	31,2	30,9	29,8	3,93	4,09
Y	30,5	30,3	30,2	30,1	29,9	30,0	26,5	27
Yb	3,3	2,7	2,0	3,5	1,10	2,6	2,11	2,15
U	3,7	3,5	8,4	8,2	5,18	3,7	0,60	0,56
Th	14,9	14,6	10,5	10,4	9,96	13,8	1,02	0,96
Li	2,3	2,0	4,0	48	71,6	72,3	43,3	42,4
W	2,2	2,1	1,8	2,02	1,98	2,0	0,5	< 0,5
Mo	0,66	0,62	0,55	0,6	0,51	0,65	0,6	< 0,6
Rb	184	179	211	378	398	401	55,1	54,7
Cs	33,5	33,0	28,6	32,6	21,3	34	2,8	2,76
La	11,6	11,5	12,8	12,3	12,0	11,6	11,9	9,76

Окончание табл. 1

Породы	1	2	3	4	5	6	7	8
Ce	27,7	28,7	30,7	21,1	20,9	28,8	23,1	22,7
Pr	6,9	6,8	6,3	6,2	5,5	6,7	3,47	3,44
Nd	13,7	13,8	14,7	14,8	14,1	13,9	15,4	15,3
Sm	6,2	6,3	6,9	6,8	6,7	6,2	4,1	4,2
Eu	0,2	0,03	0,4	0,3	0,27	0,02	1,25	1,26
Gd	5,3	5,5	8,2	8,3	8,1	5,6	5,85	4,86
Tb	2,3	2,2	1,8	1,9	2,0	2,3	0,77	0,78
Dy	2,6	2,7	5,2	5,3	5,1	2,8	4,55	4,58
Ho	0,5	0,7	1,8	1,9	2,0	0,5	0,94	0,95
Er	1,9	1,8	3,0	3,3	3,2	1,7	2,85	2,87
Tm	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,37	0,38
Lu	0,09	0,10	0,11	0,11	0,13	0,09	0,37	0,36
Hf	2,9	2,8	3,1	3,2	3,3	2,7	2,59	2,57
Ta	1,6	1,4	3,0	4,8	4,5	1,3	0,28	0,27
La/Yb _N	2,32	2,82	4,22	2,32	7,48	2,94	3,74	2,99
La/Sm _N	1,15	1,12	1,13	1,1	1,09	1,14	1,78	1,42
Eu/Eu*	0,076	0,0012	0,0119	0,009	0,0082	0,0008	0,057	0,062
U/Th	0,25	0,24	0,80	0,79	0,52	0,27	0,57	0,58

Примечание. Силикатные анализы для главных компонентов, а также микроэлементов методами ICP-MS и ICP-AES выполнены в Лабораториях Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) и ВСГЕИ (г. Санкт-Петербург); N – элементы нормированы по [3]. $Eu^* = (Sm_N + Gd_N)/2$. Породы Кумирского штока: 1 и 2 – гранит-порфиры, 3 – аляскит-порфиры; дайки: 7 и 8 – долериты.

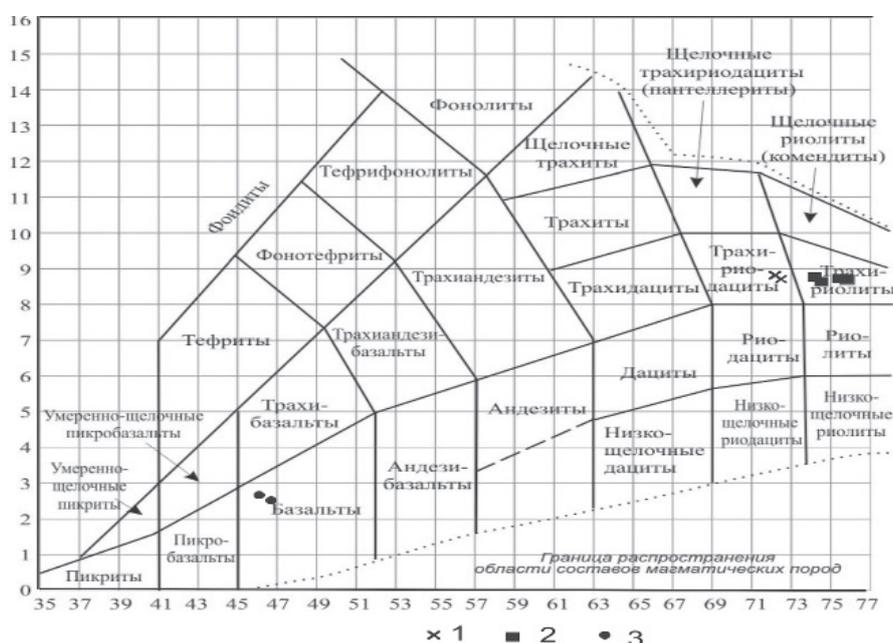


Рис. 1. Положение фигуративных точек химического состава пород Кумирского штока на TAS ($Na_2O + K_2O - SiO_2$) – диаграмме эффузивных аналогов горных пород: 1 – гранит-порфиры; 2 – аляскит-порфиры; 3 – дайки долеритов

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 кали-натровыми полевыми шпатами (альбит, ортоклаз-микропертит, анортоклаз) –

65 %, кварцем – 32 %, образующими редкие идиоморфные порфиновые 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 отнести их к варьирующему ряду от $Ab_{45}Or_{55}$ до $Ab_{61}Or_{39}$. При этом в микропертитовых 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; акцессорные – апатитом, лейкоксеном.

Дайки долеритов обнаружены нами впервые в пределах Восточной зоны по ручью Осиновому. Они субсогласны с простираемостью зоны. Мощность даек от 0,5 до 1,5 м. Дайки локализуются внутри рудной зоны и они пересекаются кварцевыми прожилками с тортвейтитом. Дайки секут ранние фельдшпатитовые метасоматиты, но на них накладываются более поздние метасоматиты пропилитового типа. Это массивные горные породы с долеритовой и долерит-офитовой структурами. Минеральный состав (%): плагиоклаз – 55, пироксен – 35, роговая обманка – 8, биотит – единичные чешуйки, акцессории включают пирит, пирротин, титаномagnetит. В случае долерит-офитовой структуры каркас породы образуют крупные идиоморфные призматические кристаллы размерами 3–4 мм (лабрадор № 51–52) и основная ткань, сложенная пироксеном и плагиоклазом второй генерации размерами 0,5–1 мм (андезин № 35–37). Обе генерации плагиоклаза характеризуются хорошо проявленной полисинтетической микроструктурой двойникования.

Пироксен образует неправильные зёрна, близкие к таблитчатой форме размерами 1,5–2 мм. Диагностируется высококальциевым салитом и салит-авгитом (Wo_{36-45} , En_{36-48} , $Fs_{1,4-1,9}$). Местами замещается зеленоватой роговой обманкой уралитового типа в виде неправильных каёмочек по периферии и пятен по площади пироксена. Биотит образует редкие чешуйки и листочки размерами 0,5–1 мм, отчётливо плеохроирующие от светло-жёлтого по Ng^1 до коричневого по Np^1 . В породе обильны акцессорные минералы, по объёму варьирующие от 1 до 2 %. Преобладают среди них правильные кристаллы пирита. В пробах-протоколках пирит наблюдается в виде правильных октаэдрических, пентагон-додекаэдрических кристаллов и комбинированных форм (пентагон-додекаэдра и октаэдра). Последовательность кристаллизации главных минералов: пироксен – плагиоклаз I – биотит-плагиоклаз II генерации.

Следует отметить, что фрагменты аналогичных даек обнаружены нами и в отвале штольни, пройденной по Западной зоне. Здесь обнаружена дайка пироксен-порфирового габбро-долерита мощностью от 20 до 50 см. Структура габбро-долерита четко долеритовая, местами габбро-долеритовая. Плагиоклаз Pl_{50-55} – (60 %) представлен двумя типами – сильно сосюритизированными крупными изометричными таблитчатыми выделениями ранней генерации и относительно свежими удлинёнными второй генерации – призматическими зернами (по ним номер плагиоклаза 50–55). Пироксен в первичной породе составлял 30 %. Сейчас это крупные бесформенные или изометричные выделения слегка буроватые в проходящем свете (авгит: $2V = 50^\circ r > v$, $Ng-Np = 0,028-0,030$). Иногда полностью замещен бледно сине-зеленой роговой обманкой переходной к актинолиту; её сейчас 20–25 %. Первичная порода была пироксен-порфировый габбро-долерит, возможно габбро-долерит. Рудный в изометричных зернах – магнетит (2–3 %). Порода пропилизирована, вторичные минералы: эпидот (5–10 %), хлорит (5–6 %), мусковитоподобный серицит (3–5 %), пумпеллиит (1–2 %).

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, 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. Дайки долеритов на диаграмме локализируются в поле базальта известково-щелочной серии (см. рис. 1).

На диаграмме распределения РЗЭ, нормированных относительно хондрита, наблюдается отчётливая негативная аномалия по европию и в гранит-порфирах, и в аляскит-порфирах (рис. 2). В последних отмечается несколько повышенные концентрации и лёгких и тяжёлых РЗЭ. В отличие от гранитоидов, в дайках долеритов не проявлена аномалия по европию (рис. 2).

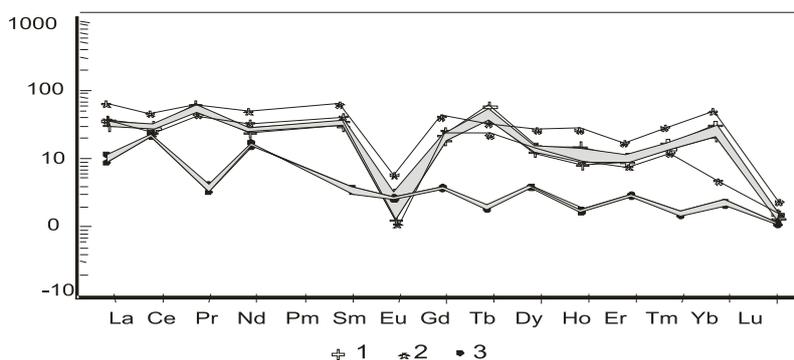


Рис. 2. Диаграмма содержаний РЗЭ в породах Кумирского штока: 1 – гранит-порфиры; 2 – аляскит-порфиры; 3 – дайки долеритов

Гранит-порфиры и аляскит-порфиры характеризуются крайне неравномерным распределением многих элементов и в особенности редкоземельных. Об этом свидетельствуют варьирующие показатели тетрадного эффек-

та фракционирования РЗЭ, рассчитанные по В. Ирберу [5] (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).

Таблица 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)	Дайка долерита (211)	Отношения элементов в хондрите
Y\Ho	61,0	43,3	16,8	15,8	14,9	60,0	28,42	29,0
Eu\Eu*	0,076	0,0012	0,0119	0,009	0,0082	0,0008	0,062	0,27
La\Lu	128,8	115,0	116,4	111,8	92,3	128,8	27,1	9,55
Zr\Hf	13,03	12,5	10,1	9,7	9,2	11,1	42,4	36,0
Sr\Eu	1755	11333	125	36,7	41,1	2250	188,9	83,4
TE _{1,3}	1,59	1,46	1,16	1,03	1,01	1,60	0,99	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект по В. Ирбер [5]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

На диаграмме La/Nb – Ce/Y более ранние гранитоиды штока тяготеют к тренду плавления мантийного субстрата, а более поздние дайки долеритов – к тренду

смешения с корой (рис. 3). На диаграмме (La/Yb_N) – Yb_N породные типы тяготеют к мантийному источнику плавления кварцевого эклогита (рис. 4).

При этом значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ коррелируют с величинами отношений $Y|Ho$, $La|Lu$,

$Zr|Hf$, $Sr|Eu$. Указанные отношения резко отличаются по своим значениям от таковых в хондритах (табл. 2).

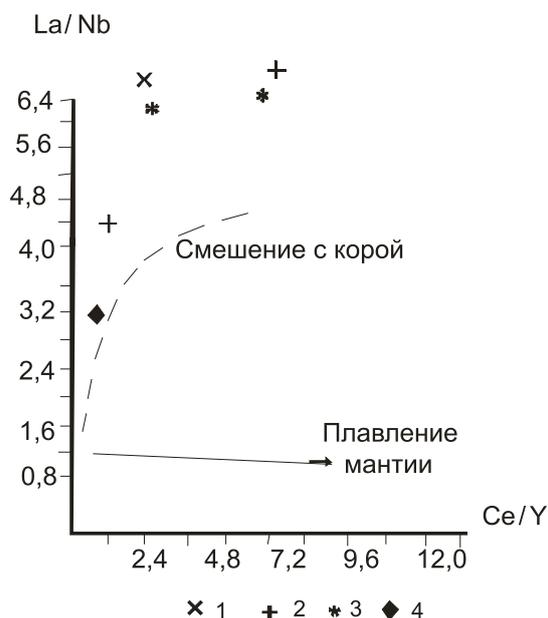


Рис. 3. Диграмма $La/Nb - Ce/Y$ по [4] для субвулканических пород Кумирского месторождения. Породы Кумирского месторождения: 1 – гранит-порфиры; 2 – аляскит-порфиры; 3 – дайки долеритов

Обсуждение полученных результатов и выводы

Приведенные новые данные по субвулканическому магматизму Кумирского месторождения позволяют сделать вывод о становлении магматизма в антидромной последовательности (от кислых пород к основным). При этом ранние гранитоиды Кумирского штока отнесены к А-типу анокригенных гранитоидов, которые генерировались при частичном плавлении мантийного субстрата, а становление поздних даек долеритов происходило в процессе смешения базальтоидной магмы с коровым матери-

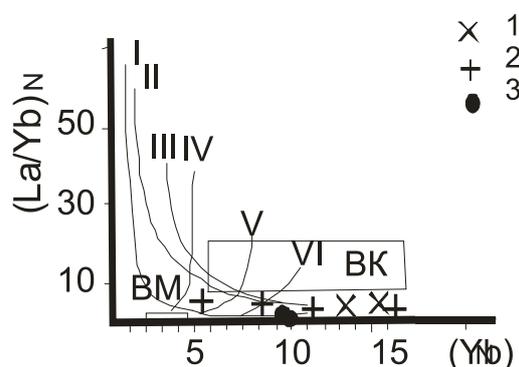


Рис. 4. Диаграмма $(La/Yb)N - YbN$ по [4] для субвулканических пород Кумирского месторождения. Тренды плавления различных источников по [5]: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 3%; BM – верхняя мантия; BK – верхняя кора. Остальные условные обозначения см. на рис. 3

алом. Основным мантийным источником плавления для родоначального базальтового глубинного резервуара были мантийные кварцевые эклогиты.

Список литература

1. Гусев А.И., Гусев Н.И., Ефимова И.В. // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 21–28.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И., Ефимова И.В., Андросова С.А., Жданова С.И., Красова А.С. // Природные ресурсы Горного Алтая. – Горно-Алтайск, 2009. – № 2. – С. 41–50.
3. Anders E., Greevesse N. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
4. Barbarin, B. // Lithos. – 1999. – Vol. 46. – P. 605–626.
5. Irber W. // Geochim Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63. – №3/4. – P. 489–508.