



УДК 552.3:550.4(571.151)

ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ТЕЛ КУМИРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев*, Н. И. Гусев**

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 сложные 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 в образовании даек долеритов наблюдается 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 OF SUBVOLCANIC BODIES OF KUMIRSKOYE DEPOSIT, GORNY ALTAI

A. I. Gusev, N. I. Gusev

Subvolcanic bodies formed antidromically from granites to dolerites in Kumirskoye scandium-uranium-rare-earth deposit have been described for the first time. Granite-porphyry and alaskite-porphyry formed earlier build up Kumir stock, in contact with which complex metasomatites originated, from feldspathoids to propylites. Granitoids were formed controlling by partial melting of mantle substance (quartziferous eclogites) and relate to A-type (anorogenic granitoids), and dolerite dykes formation is characterized by mantle-crust interaction: amalgamation of mantle basaltic magma and crust material.

Keywords: petrology, geochemistry, granite-porphyry, alaskite, anorogenic granitoids, dolerites, antidromic succession, mantle-core interaction.

Кумирское рудное поле расположено в пределах Холзунско-Чуйского тектонического блока и приурочено к наложенной Коргонской вулканоплутонической структуре. Строение вулканического разреза здесь трехчленное. Нижним членом этого разреза является кумирская серия, включающая эргольскую и кумирскую свиты. Последняя сложена эффузивными и вулканокластическими породами, которые большей частью тяготеют к низам разреза. Субвулканические аналоги этих эффузивов – Кумирский шток гранитоидов и дайки долеритов, обнаруженные нами в последние годы [1, 2]. С субвулканическими образованиями парагенетически и пространственно связывается формирование уникального комплексного скандий-уран-редкоземельного месторождения с редкими металлами [2].

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 и фельдшпатизация. Позднее сформировались пропилиты.

*АГАО (Бийск); ** ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург)

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 шпировыми скоплениями эгирина и рибекита размерами до 3 см в поперечнике. В их составе преобладает призматический полевой шпат (50 %), в значительном количестве (до 30–35 %) отмечается кварц. Характерный темноцветный минерал – амфибол (3–5 %), равномерно распределенный в породе с редкими гломеропорфировыми скоплениями и представленный удлиненно-призматическими кристаллами (до 0,5 см) почти черного цвета с буровато-синим оттенком. По оптическим показателям относится к рибекиту с отчетливым плеохроизмом от желтого до темно-синего и фиолетового. Эгирин встречается почти с такой же частотой, как рибекит, и образует зерна неправильной формы, чаще всего приуроченные к интерстициям кристаллов щелочного полевого шпата и кварца. Плеохроизм в оттенках зеленый и желто-зеленый. Спорадически отмечается астрофиллит. Характерна гипидиоморфнозернистая структура, местами переходящая в аллотриоморфнозернистую. Акцессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, редко пиритом. В целом гранит-порфиры следует отнести к анорогенному А-типу гранитоидов, содержащему щелочные амфиболы.



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 – дайки долеритов; 9 – андезитовые порфиристы; 10 – контуры рудных зон (З – Западная, В – Восточная); 11 – скандий-уран-редкоземельные месторождения и проявления



На TAS-диаграмме составы гранит-порфи-ров 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 легких к средним РЗЭ и урана к торию также невысокие (см. табл. 1).

Щелочные аляскит-порфиры второй фазы имеют светлую окраску с розоватым оттенком;

им свойственны массивная текстура и сложная структура: порфировая, а в цементирующей массе породы – аплитовая. Аляскит-порфиры занимают основную часть штока. Лейкократовые минералы, составляющие 97 % ее объема, представлены калинатовыми полевыми шпатами (альбит, ортоклаз-микрпертит, анортоклаз) – 65 %, кварцем – 32 %, образующими редкие идиоморфные порфировые вкрапленники, но преимущественно выполняющими цементирующую аплитовидную массу породы. Характерная особенность аляскит-порфи-ров – частая встречаемость нодулей турмалина (0,5–1,5 см в поперечнике) и гломеровидных скоплений фтор-биотита (до 0,5 см). Анализы эги-



Таблица 1

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

Оксид, элемент	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
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

Примечания. 1. Силикатные анализы для главных компонентов, а также микроэлементов методами ICP-MS и ICP-AES выполнены в лабораториях ИГМ СО РАН (Новосибирск) и ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург).

2. N – элементы нормированы по [3].

3. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

4. Породы Кумирского штока: 1, 2 – гранит-порфиры, 3 – аляскит-порфиры; 4–6 – лейкограниты умеренно-щелочные; дайки: 7, 8 – долериты.

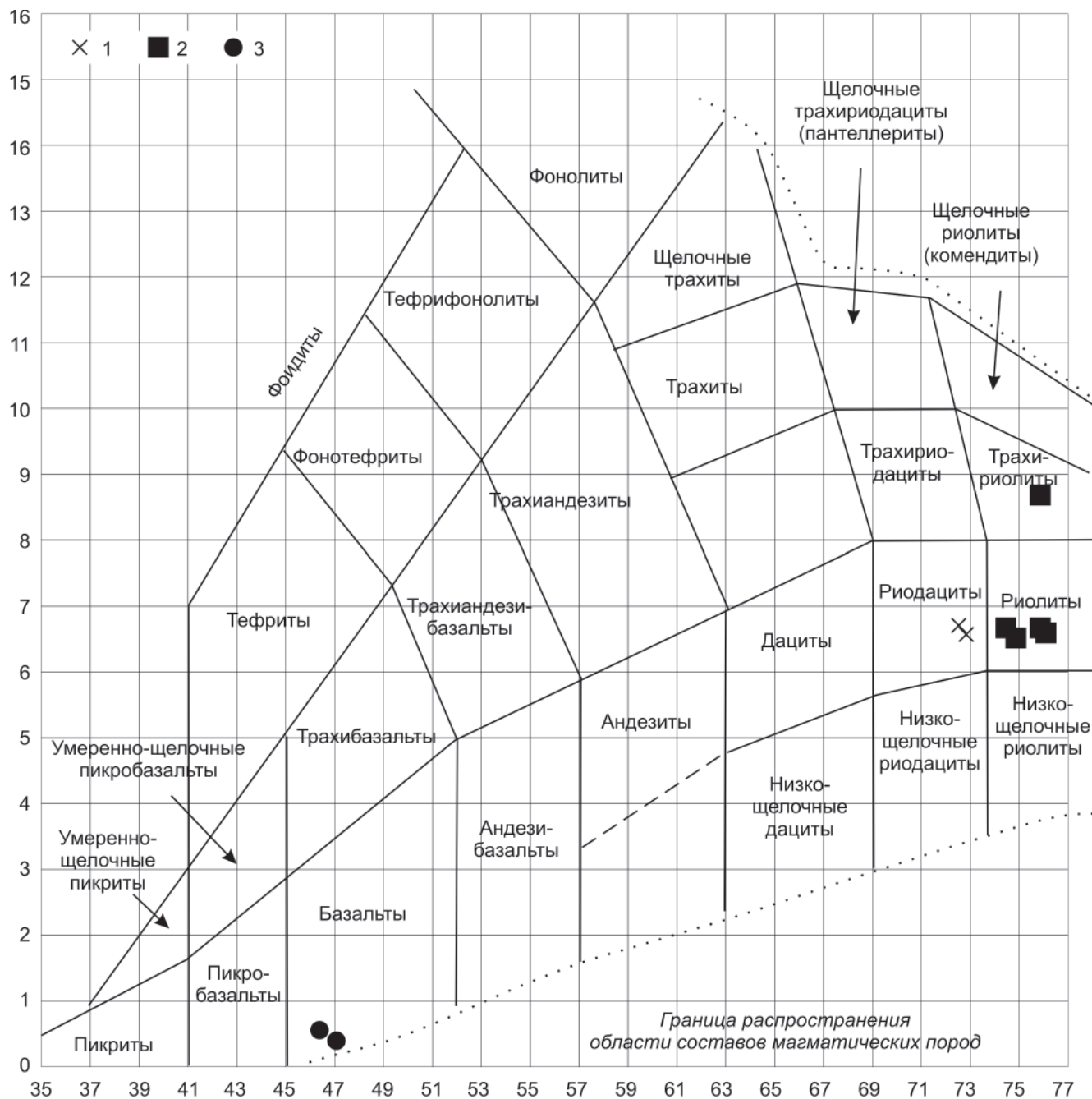


Рис. 2. Положение фигуративных точек химического состава пород Кумирского штока на TAS-диаграмме $(Na_2O + K_2O - SiO_2)$ эффузивных аналогов горных пород
1 – гранит-порфиры, 2 – аляскит-порфиры, 3 – дайка долерита

рина и рибекита показали высокие концентрации фтора в указанных минералах – от 0,1 до 1,5 %, что не типично для пироксенов и амфиболов орогенных гранитоидов.

Дифрактометрия полевых шпатов аляскит-порфиров позволяет относить 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 (1–3 % ее объема) представлены идиоморфными зернами эгирина, рибекита и редко биотита, размеры которых почти на порядок больше, чем 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 мощностью 0,5–1,5 м обнаружены нами впервые в пределах Восточной зоны по руч. Осиновый. Они субсогласны с простиранием зоны, локализируются внутри рудной зоны и пересекаются кварцевыми прожилками с тортвейтитом. Дайки секут ранние фельдшпатовые метасоматиты, но на них накладываются более поздние метасоматиты пропилитового типа. Это массивные горные породы с долерит-



товой и долерит-офитовой структурами, содержат плагиоклаз (55 %), пироксен (35 %), роговую обманку (8 %), единичные чешуйки биотита; акцессории включают пирит, пирротин, титаномагнетит. При долерит-офитовой структуре каркас породы образуют крупные идиоморфные призматические кристаллы размерами 3–4 мм (лабрадор № 51–52) и основная ткань, сложенная пироксеном и плагиоклазом второй генерации размером 0,5–1 мм (андезин № 35–37). Обе генерации плагиоклаза характеризуются хорошо проявленной полисинтетической микроструктурой двойникования.

Следует отметить, что фрагменты аналогичных даек обнаружены нами и в отвале штольни, пройденной по Западной зоне, например, дайка пироксен-порфиривого габбро-долерита долеритовой структуры (мощность 20–50 см). Плагиоклаз Pl_{50-55} (60 %) представлен двумя типами: сильно сосюритизированными крупными изометричными таблитчатыми выделениями ранней генерации и относительно свежими удлиненными II генерации – призматическими зернами (по ним номер плагиоклаза 50–55). Пироксен в первичной породе составлял 30 %. Сейчас это крупные бесформенные или изометричные вы-

Таблица 2

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта в субвулканических породах Кумирского штока

Отношения элементов и тетрадный эффект	Гранит-порфир		Аляскит-порфир			Дайка долерита (211)	Отношения элементов в хондрите	
	(458-10)	(458-13)	(458-15)	(2486)	(3456)			(3457)
Y/No	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	–

Примечания. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по [5]; Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. В скобках – номера проб.

Пироксен образует неправильные зерна (1,5–2 мм), форма их близка к таблитчатой. Диагностируется по высококальциевому салиту и салит-авгиту (Wo₃₆₋₄₅, En₃₆₋₄₈, Fs_{1,4-1,9}). Местами замещается зеленоватой роговой обманкой уралитового типа в виде неправильных каемок по периферии и пятен по площади пироксена. Биотит образует редкие чешуйки и листочки (0,5–1 мм), отчетливо плеохроирующие от светло-желтого по Ng¹ до коричневого по Np¹. В породе обильны акцессорные минералы (1–2 % от объема) с преобладанием правильных кристаллов 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.

деления, слегка буроватые в проходящем свете (авгит 2V = 50° r>v, Ng-Np = 0,028–0,030). Иногда пироксен полностью замещен бледно-сине-зеленой роговой обманкой, переходящей в актинолит (20–25 %). Первичной породой был пироксен-порфиристый габбро-долерит, возможно габбро-долерит. Рудный минерал в изометричных зернах – магнетит (2–3 %). Порода пропилитизирована, вторичные минералы – эпидот (5–10 %), хлорит (5–6 %), мусковитоподобный серицит (3–5 %), пумпеллиит (1–2 %).

На TAS-диаграмме (Na₂O + K₂O – SiO₂) эффузивных аналогов фигуративные точки химических составов пород расположены в области фигуративного поля горных пород семейства трахириолитов (рис. 2). По совокупности петрологических параметров порода лейкократовая, крайне высокоглиноземистая (Al' = 13,71), принадлежит к кислым плутоническим породам щелочного ряда калинатовой серии, семейству щелочных лейкогранитов, виду щелочных аляскитов, разновидности щелочных аляскит-порфиристых эгиринрибекитовых. В отличие от гранит-порфиристых аляскит-порфирных характеризируются значительно меньшими концентрациями бария (78–255 г/т), стронция (11–50 г/т), ванадия, никеля, кобальта,

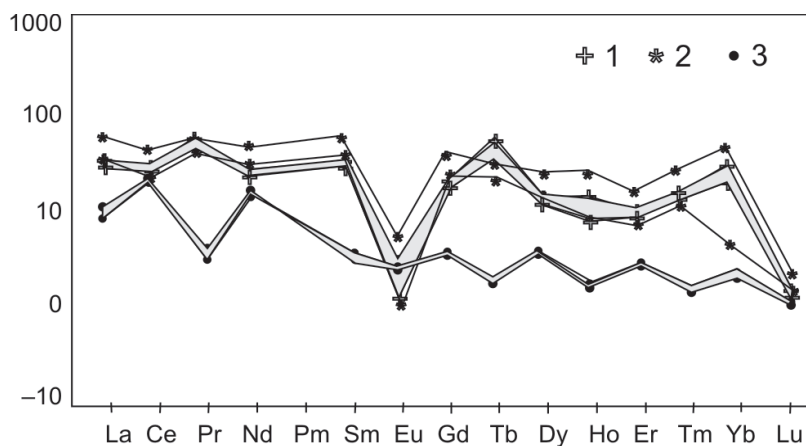


Рис. 3. Диаграмма содержаний РЗЭ в породах Кумирского штока и дайках долеритов

Усл. обозн. см. на рис. 2

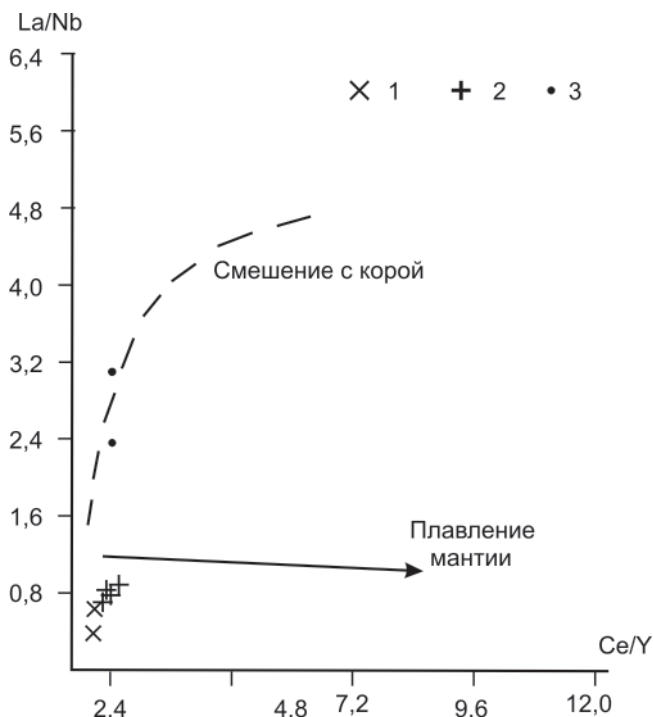


Рис. 4. Диграмма La/Nb – Ce/Y по [4] для субвулканических пород Кумирского месторождения
Усл. обозн. см. на рис. 2

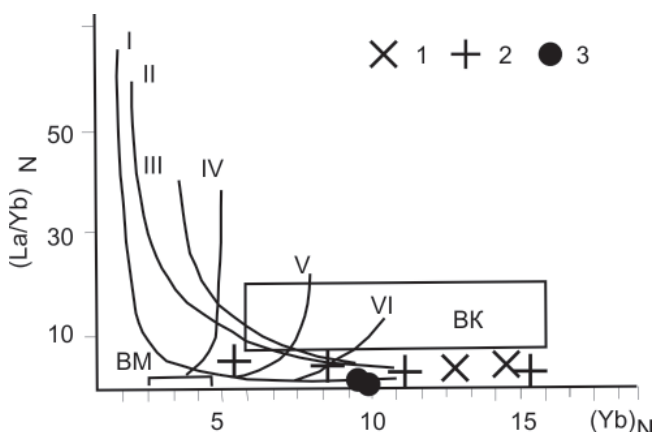


Рис. 5. Диаграмма (La/Yb_N) – Yb_N по [4] для субвулканических пород Кумирского месторождения

Тренды плавления различных источников по [4]: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; гранатосодержащая мантия с содержанием граната: IV – 10 %, V – 5 %, VI – 3 %; ВМ – верхняя мантия; ВК – верхняя кора. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2

хрома и более высокими – скандия, цинка, лития, рубидия, тантала (см. 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 отчетливая негативная аномалия по европию и в гранит-порфирах, и в аляскит-порфирах (рис. 3). В последних отмечаются несколько повышенные концентрации легких и тяжелых РЗЭ.

В отличие от гранитоидов, в дайках долеритов не проявлена аномалия по европию (см. рис. 2).

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 [5] (табл. 2). Оценка тетрадного эффекта свидетельствует о его варьировании от несущественных (< 1,1) до заметных значений (1,16–1,6).

При этом значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ коррелируются с отношениями Y/No, La/Lu, Zr/Hf, Sr/Eu. Указанные отношения резко отличаются по своим значениям от таковых в хондритах (см. табл. 2).

Определения абсолютного возраста гранитоидов Кумирского штока весьма противоречивы. Так, датировка абсолютного возраста по монофракции уранинита термоизохронным методом (240 млн лет) позволила Л. В. Чеснокову связать уран-редкоземельное оруденение Коргонского блока с гранитами позднего палеозоя – раннего мезозоя. Е. П. Пичугин и др. считают надежными определения возраста по шести валовым рудным пробам по уран-свинцовым и торий-свинцовым отношениям 402 ± 10 и 393 ± 7 млн лет соответственно, т. е. начало раннего девона, что не увязывается с палеонтологическими датировками коргонской свиты, включающей покровные фации коргонского комплекса. Изотопно-геохронологическими исследованиями аляскит-порфира, выполненными в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, получен возраст 421 ± 16 млн лет, т. е. лудлов (поздний силур), что противоречит геологическому возрасту штока, который прорывает отложения нижнего девона.

Выводы

Приведенные новые данные по субвулканическому магматизму Кумирского месторождения позволяют сделать вывод о проявлении магматизма глубинного очага в антидромной последовательности (от кислых пород к основным). При этом ранние гранитоиды Кумирского штока отнесены к А-типу анорогенных гранитоидов, которые генерировались при частичном плавлении мантийного субстрата, а становление поздних даек долеритов происходило в процессе смешения базальтоидной магмы с коровым материалом. Основным мантийным источником плавления для родоначального базальтового глубинного резервуара были мантийные кварцевые эклогиты (рис. 4, 5).

Неоднозначные абсолютные датировки, полученные разными исследователями, дают весьма широкий разброс и противоречат геологическим взаимоотношениям вмещающих пород и субвулканических интрузий Кумирского месторождения. Здесь необходимы дополнительные



работы по определению абсолютного возраста гранитоидов и долеритов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гусев, А. И.** Магматизм и оруденение Кумирского рудного поля, Горный Алтай [Текст] / А. И. Гусев, Н. И. Гусев, И. В. Ефремова // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 21–28.

2. **Кумирская** магмо-рудно-метасоматическая система (Горный Алтай) [Текст] / А. И. Гусев, Н. И. Гусев, И. В. Ефремова [и др.] // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2009. – № 2. – С. 41–50.

3. **Anders, E.** Abundances of the elements: meteoric and solar [Text] / E. Anders, N. Greevesse // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.

4. **Barbarin, B.** A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [Text] / B. Barbarin // Lithos. – 1999. – Vol. 46. – P. 605–626.

5. **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 [Text] / W. Irber // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63. – № 3/4. – P. 489–508.

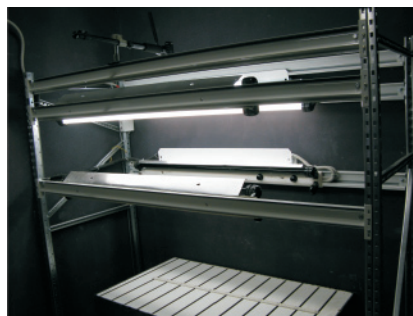
© А. И. Гусев, Н. И. Гусев, 2013

КЕРНОХРАНИЛИЩЕ ФГУП «СНИИГГиМС»



ПРОВОДЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ВИДЫ РАБОТ:

- Прием и оформление керна. Информационное сопровождение
- Фотосъемка керна и отдельных образцов в видимом и УФ-диапазоне
- Профильная гамма-спектрометрия. Гамма-спектрометрия отдельных образцов
- Продольная и поперечная распиловка керна
- Изготовление образцов для петрофизических исследований
- Изготовление петрографических шлифов
- Изготовление аншлифов
- Хранение керна



Отдел обработки и хранения каменного материала
Завотделом Ю. А. Чульжанов
Тел. 335-71-41, e-mail: chul@sniiggims.ru