

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

**ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ
КОРГОНСКОГО ШТОКА ГОРНОГО АЛТАЯ****Гусев А.И.***Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные о петрографии, петрологии и геохимии субвулканических гранитоидов Коргонского штока Горного Алтая. Шток сложен плагиогранит-порфирами и плагиолейкогранитами, редко – силекситами. Они отличаются по микроэлементному составу от адакитовых гранитоидов плагиоюрда. Породы массива формировались в результате мантийно-корового взаимодействия и в процессе смешения мантийного и корового субстратов. Плавлению подвергались амфиболиты и граувакки метавулканитов и граувакк вулканической дуги. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W – типа, предположительно связанный со смешением магматогенных флюидов с вадозными водами.

Ключевые слова: плагиогранит-порфиры, плагиолейкограниты, силекситы, мантийно-коровое взаимодействие, плавление амфиболитов и граувакк, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W- типа.

**GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY OF SUBVULCANIC FORMATIONS
KORGONSKII STOCK MOUNTAIN ALTAI****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data about petrography, petrology and geochemistry of subvolcanic granitoids of Korgonskii stock Mountain Altai lead. Stock composed by plagiogranite-porphyrtes, plagiocogranite-porphyrtes, seldom – silixites. They are differ on microelement contains from adakite granitoids plagioline series rocks. The rocks of massif formed in result mantle-crust interaction and in process mixing mantle and crust substrates. Amphibolites and graywacks of metavolcanic and graywacks volcanic arc exposed of melting. Tetrad effect fractionation of REE W-type manifest in rocks, related with mixing magmatic fluids with vadose waters presumably.

Keywords: plagiogranite-porphyrtes, plagiocogranite-porphyrtes, silixites, mantle-crust interaction, melting of amphibolites and graywacks, tetrad effect fractionation REE of W-type.

Введение

Субвулканические интрузии имеют важное значение в металлогении различных регионов мира. Не менее важная роль субвулканических интрузий и в области развития девонских вулканогенных разрезов Горного Алтая [3]. Этим и определяется актуальность изучения Коргонского штока. Собственно субвулканические (гипабиссальные) интрузии кислого состава редки. Они размещены в пределах Щербнухинской и Ночной вулкано-тектонических структур. Щербнухинский, Ночной, Сибиряковский, Коргонский и мелкие безымянные массивы сложены гранит-порфирами, мелкозернистыми гранитами, реже микрогранодиоритами. Это тела различной, чаще неправильной, формы. Интрузивы неравномерно раскристаллизованы. В них широко проявлены порфировые структуры. Взаимоотношения гранитоидных тел с экструзивными куполами неоднозначны. Так, Щербнухинский массив прорывает и ороговиковывает риолиты купола в южном экзоконтакте, а другие субвулканические тела риолитов прорывают его. Известны и постепенные переходы гранит-порфиров в риолиты [5]. Специфика Коргонского субинтрузивно-

го тела заключается в том, что как и Щербнухинский массив, и другие аналогичные субинтрузии в Когоно-Холзунском вулканогенном прогибе, относится к плагиогранит-порфирам. Цель исследования – провести геохимическое изучение пород штока и выявить его петрологические особенности.

Результаты исследований

Коргонский шток сложен, преимущественно плагиогранитами и плагиолейкогранитами, которые характеризуются неравномерной раскристаллизацией, часто имеют порфировую структуру, микрографическую структуру основной массы, а краевая фация слагаемых ими тел нередко представлена фельзитами и фельзит-порфирами. В краевой части штока отмечены также силекситы – крайне кремнекислые породы с высокими концентрациями SiO_2 (более 83 %) и низкими содержаниями Al_2O_3 (8-10 %). Иногда отмечается обилие метасоматически переработанных ксенолитов, шпир, пятен измененных роговиков. Нередко рассматриваемые породы катаклазированы, иногда имеют гнейсовидность.

Плагиограниты сложены альбитом, олигоклазом (60-70 %), кварцем (25-40 %), иногда присутствует биотит и наложенный

решетчатый микроклин (до 10%). Акцессорные минералы представлены сфеном, апатитом, магнетитом, цирконом, гранатом. По уровню кремнекислотности данные породы иногда варьируют до диоритоидов. Химический состав пород плагиогранитного ряда характеризуется высокой натриевостью ($\text{Na}_2\text{O} = 5,04-6,58\%$), низкой калиевостью ($\text{K}_2\text{O} = 0,31-1,15\%$) и глиноземистостью (Индекс Шенда = 0,98), низкими содержаниями Ta, Rb, Ba, Sr, Nb, Yb, повышенными концентрациями Sc, Zr. Породы характеризуются

дифференцированным типом распределения редкоземельных элементов (РЗЭ). Отношения La/Yb_N варьируют от 12,0 до 13,7. Повсеместно отношения U/Th в породах ниже 1, что свидетельствует об отсутствии в породах наложенных гидротермальных изменений. В отличие от адакитовых гранитоидов, плагиогранитиды Коргонского штока имеют весьма низкие отношения Sr/Y (от 0,4 до 8,9). Пространственно со штоками субвулканических пород связаны скарновые месторождения железа (табл. 1).

Таблица 1

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

Породы	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	72,22	73,1	73,72	73,84	74,1	74,3	75,91
TiO_2	0,42	0,42	0,52	0,48	0,42	0,4	0,23
Al_2O_3	14,69	13,75	12,85	13,71	14,31	14,1	13,51
Fe_2O_3	1,45	1,1	1,06	0,85	1,56	1,4	1,59
FeO	1,03	0,94	0,99	0,5	0,9	0,8	1,1
MnO	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
MgO	0,97	0,67	1,23	0,63	1,24	0,97	0,63
CaO	1,6	2,6	1,03	1,95	0,34	0,6	0,12
Na_2O	5,65	5,15	5,04	6,58	5,5	5,6	6,29
K_2O	0,73	1,15	0,74	0,43	0,7	0,75	0,31
P_2O_5	0,1	0,09	0,1	0,08	0,06	0,06	0,03
П.п.п.	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
Сумма	100,4	100,1	100,1	100,3	100,3	100,2	100,4
V	1,5	2,0	1,6	1,8	1,7	0,2	8,0
Cr	1,5	1,0	1,4	1,6	2,0	2,5	2,2
Ba	185	400	120	118	70	19	170
Ni	1,9	1,7	1,5	1,6	1,3	1,4	2,0
Co	1,8	1,6	1,4	1,7	1,1	1,0	3,0
Cu	2,5	2,2	2,1	1,9	0,9	0,4	9,0
Zn	3,6	3,2	3,0	2,6	0,9	0,3	9,1
Pb	7,6	7,0	6,4	5,6	4,5	3,5	4,0
Sn	1,2	1,3	1,1	1,0	0,9	1,1	2,0
Sc	55	58	72	70	76	75	9,9
Sr	260	270	210	220	115	97	12,5
Zr	180	200	198	165	180	156	181
Nb	10	10,1	10,3	9,5	9,8	9,7	9,2
Y	29	36	35	33	31	28	35
Yb	5,2	5,0	5,1	4,9	4,9	4,8	5,2
U	1,1	1,0	0,9	1,2	1,3	1,2	2
Th	10,1	11,2	9,7	12,1	13,2	13,1	8,5
Li	2,5	2,6	2,5	2,1	1,9	0,7	3,2
W	1,0	1,2	1,3	1,2	1,3	0,8	1,6
Mo	0,9	1,1	1,3	0,8	0,7	1,0	2,1
Rb	24	45	30	15	21	19	11,0
Cs	3,5	3,5	4,1	4,2	4,8	4,2	8,4
Ga	15	14	19	17	16,5	17	16,3

Породы	1	2	3	4	5	6	7
La	95	97	99	98	94	100	101
Ce	115	118	114	116	113	117	118
Pr	5,5	5,6	5,7	6,0	4,9	5,8	6,1
Nd	49,7	50,0	50,6	50,9	49,8	51,8	52,1
Sm	9,9	10,1	10,3	10,2	9,7	10,1	11,9
Eu	1,3	1,5	1,4	1,6	1,62	1,55	1,5
Gd	7,3	7,2	7,5	7,4	7,3	7,56	7,6
Tb	1,1	1,2	1,25	1,32	1,18	1,32	1,4
Dy	0,8	0,9	0,85	0,91	0,64	0,6	0,7
Ho	3,5	3,6	3,4	3,7	3,6	3,8	4,0
Er	0,7	0,66	0,7	0,8	0,83	0,8	0,9
Tm	2,1	2,2	2,3	2,2	2,0	2,3	2,5
Lu	0,3	0,33	0,4	0,41	0,37	0,4	0,45
Hf	6,2	6,1	6,3	6,8	6,5	5,8	6,0
Ta	0,5	0,52	0,54	0,6	0,63	0,62	0,7
La/Yb _N	12,0	12,8	12,8	13,2	12,6	13,7	12,8
La/Sm _N	5,9	5,9	5,8	5,9	5,9	6,1	5,2
Eu/Eu*	0,45	0,52	0,47	0,54	0,57	0,53	0,46
U/Th	0,109	0,089	0,093	0,099	0,098	0,092	0,23
Sr/Y	8,9	7,5	6,0	6,7	3,7	3,5	0,4

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 [6]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. Породы Коргонского штока: 1 – плагиогранит-порфир, 2-6 – плагиолейкогранит-порфиры, 7 – дайка плагиолейкогранит-порфира.

На канонических диаграммах породы Коргонского штока попадают в поля пера-люминиевых гранитоидов (рис. 1, а) и маг-незиальных разностей (рис. 1, б).

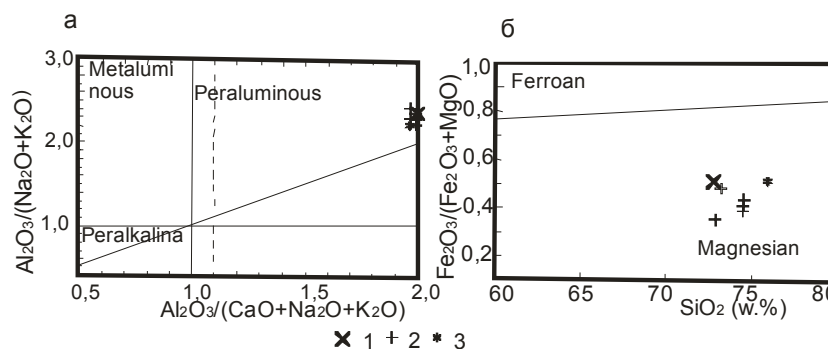


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ по [11];
б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [12] для пород Коргонского штока
1 – Плагиогранит-порфиры, 2 – плагиолейкогранит-порфиры,
3 – дайка плагиолейкогранит-порфира

В породах штока проявлен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов W – типа, варьирующий от 0,33 до 0,38 (табл. 2). В таблице 2 приведены также и характерные отношения элементов и сравнение с таковыми в хондритах. Следует отметить, что некоторые отношения элементов в породах устойчиво ниже хондритовых (Y/Ho, Zr/Hf, La/Nb, Eu/Eu*), а другие дают

разброс значений и выше, и ниже хондритовых (La/Ta, Sr/Eu, Sr/Y). Это свидетельствует о резком изменении содержаний элементов в породах, вызванных различными причинами (мантийными процессами и коровыми и мантийно-коровым взаимодействием). На диаграмме Y/Ho – TE_{1,3} выявляется тренд уменьшения значения ТЭФ РЗЭ с уменьшением отношений Y/Ho (рис. 2).

Таблица 2

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ в породах Коргонского штока

Отношения элементов и значения ТЭФ	1	2	3	4	5	6	7	Отношения в хондритах
Y/Ho	8,3	10,0	10,3	8,9	8,6	7,4	8,7	29,0
Zr/Hf	29,0	32,8	31,4	24,3	27,7	26,9	30,2	36,0
La/Nb	9,5	9,6	9,6	10,3	9,6	10,3	10,9	30,75
La/Ta	190	186	183	163	149	161	144	17,57
Sr/Eu	200	180	150	137	71	62	8,3	100,5
Eu/Eu*	0,45	0,52	0,47	0,54	0,57	0,53	0,46	1,0
Sr/Y	8,9	7,5	6,0	6,7	3,7	3,5	0,4	4,62
TE _{1,3}	0,36	0,37	0,365	0,38	0,33	0,34	0,36	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирбер [10]; Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. Значения в хондритах приняты по [6].

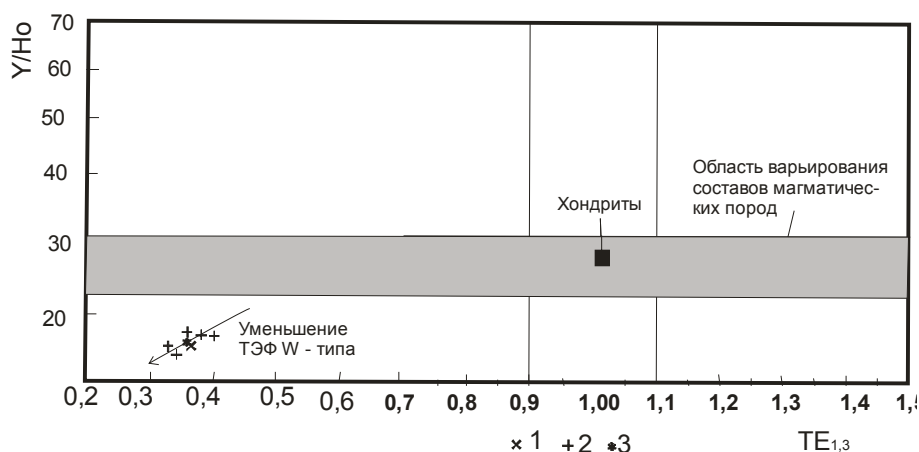


Рис. 2. Диаграмма Y/Ho – TE_{1,3} для пород Коргонского штока
TE_{1,3} – среднее значение ТЭФ между первой и третьей тетрадами по [10].
Хондритовые значения приняты по [6]. Остальные условные как на рис. 1.

На диаграммах по экспериментальному плавлению фигуративные точки пород в большинстве случаев попадают в поля плавления амфиболитов и граувакк (рис. 3, а, б, с). А по соотношению A/CNK – SiO₂ фигуративные точки пород близки с одной стороны к области плавления палеозойских граувакк и фанерозойских кратонных сланцев, а с другой – они тяготеют к тренду фракционирования известково-щелочных вулканогенных пород орогенных поясов (рис. 3, d).

На диаграмме La/Nb – Ce/Y фигуративные точки пород явно имеют признаки смешения с коровым материалом (рис. 4).

Приведенные материалы показывают, что плагиигранит-порфиры и плагіолейкогранит-порфиры Коргонского штока показывают признаки генерации за счёт плавления амфиболитов и граувакк извест-

ково-щелочной серии пород нижней коры вулканогенной дуги.

В то же время они показывают и признаки смешения с коровым материалом, скорее всего, верхне-корового уровня в результате мантийно-корового взаимодействия [1]. Проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W-типа предполагает резкое изменение состава флюидов и соотношений редкоземельных элементов. Чаще всего проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W – типа связывают с участием вадозных вод при контаминации коровым материалом [2, 4]. Вероятно, формирование плагиигранитоидов Коргонского штока происходило в результате контаминации коровым материалом и смешением магматогенных флюидов с вадозными водами, что повлияло на проявление тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ W – типа.

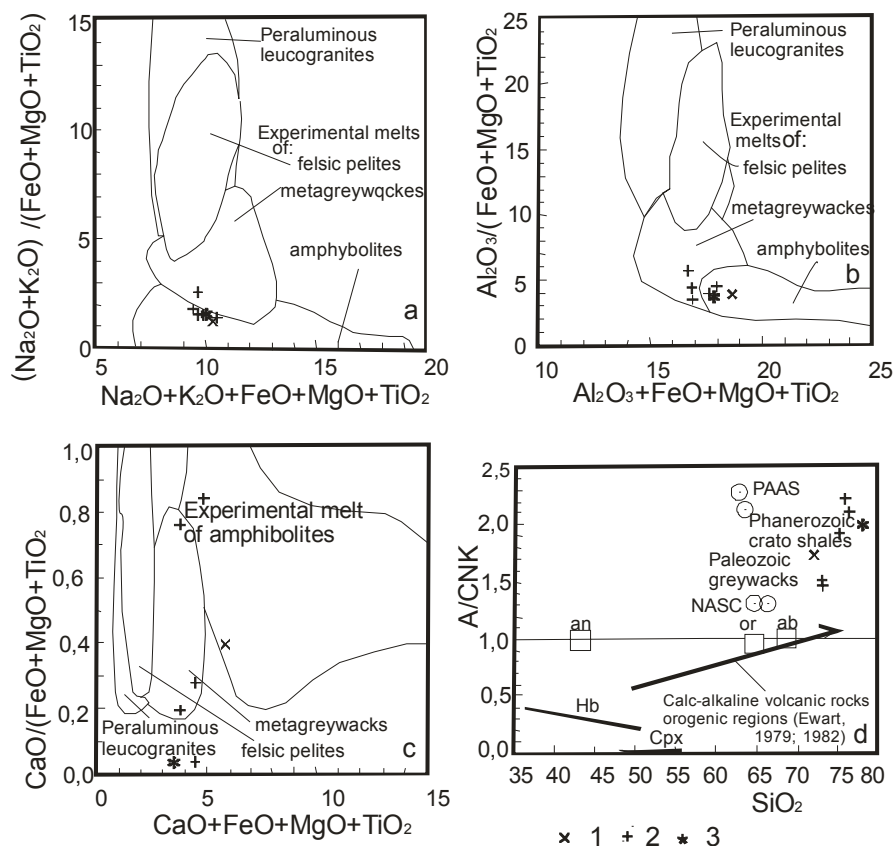


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы: (а), (b), (с) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метагравяк и амфиболитов для пород Коргонского штока; (d) – диаграмма SiO_2 – A/CNK для пород Коргонского штока. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [8, 9]. A – Al_2O_3 , CNK – Сумма CaO , Na_2O , K_2O . Остальные условные те же, что на рис. 1.

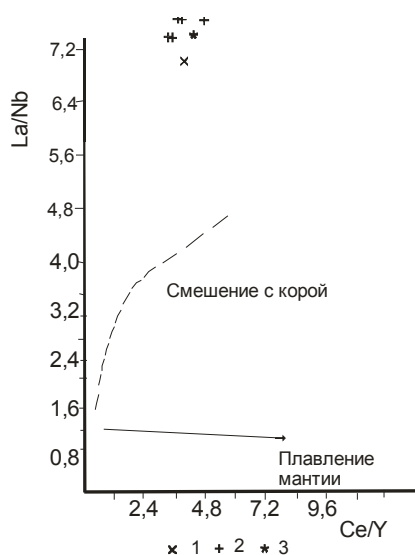


Рис. 4. Диаграмма соотношений $\text{Ce/Y} - \text{La/Nb}$ по [7] для пород Коргонского штока. Остальные условные те же, что на рис. 1.

Заключение

Плагиигранит-порфиры и плагилейкогранит-порфиры Коргонского штока формировались за счёт плавления метаморфизованных амфиболитов и граувяк нижней коры, имеющих сходство с известково-щелочными породами вулканической дуги орогенного пояса. Последующие стадии формирования пород связаны с процессами мантийно-корового взаимодействия, сопровождаемого смешением с материалом верхней коры, насыщенным вадозными водами. Породы относятся к пералюминиевому и магнезиальному типам. Породы характеризуются дифференцированным типом распределения РЗЭ. В них проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W – типа, обусловленный присутствием в магматогенных флюидах вадозных вод, вероятно, попавшим в них в результате контаминации коровым материалом.

Список литературы

1. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т 315, № 1. – С. 18-25.
2. Гусев А.А., Гусев А.И., Гусев Н.И., Гусев Е.А. Два типа тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов в шоссонитовых гранитоидах Кавказских Минеральных вод // Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – № 4. – С. 17-22.
3. Гусев А.И. Минералогия и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
4. Гусев А.И., Гусев А.А. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 5. – С.45-49.
5. Гусев А.И., Табакаева Е.М. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Коргон-Чарыш Горного Алтая. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 225 с.
6. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V.53. – Pp. 197-214.
7. Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos.* – 1999. – V. 46. – Pp. 605-626.
8. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks. – *Trondjemites, Dacites and Related Rocks.* – Amsterdam, 1979. – Pp. 13-121.
9. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. – *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks.* – Chichester, 1982. – Pp. 25-95.
10. 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. – Pp. 489-508.
11. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin.* – 1989. – V.101. – Pp. 635-643.
12. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science.* – 1998. – V. 89. – P. 113-119.