

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

## ПЕТРОЛОГИЯ ПОРОДНЫХ ТИПОВ И ГЕНЕЗИС БОРОВЛЯНСКОГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

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

Приведены данные по петрографии, петрологии,geoхимии и генезису магматитов боровлянского комплекса Горного Алтая. Гранитоиды отнесены к пералюминиевому I – типу Sr – не деплетированному, Y – деплетированному. Расплавы для пород боровлянского комплекса образовались в результате мантийно-корового взаимодействия со значительной модификацией мантийной составляющей путём контаминации расплавов из нижней коры. Такие расплавы могут возникать в результате термальной релаксации в нижней коре с плавлением кварцевых эклогитов и гранатовых амфиболитов LIL – обогащённого мантийного клина, а мантийно-производные компоненты – в результате адабатической декомпрессии в верхней мантии с участием большого количества летучих компонентов.

**Ключевые слова:** гранитоиды, пералюминиевые граниты, мантийно-коровое взаимодействие, контаминация, адабатическая декомпрессия

## PETROLOGY OF ROCK TYPES AND GENESIS OF BOROVLJANSKIY COMPLEX OF MOUNTAIN ALTAY

Gusev A.I.

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

Data of petrography, petrology, geochemistry and genesis of borovljanskiy intrusive complex of Mountain Altay lead in paper. Granitoids relative to peraluminium I-type Sr – non depleted and Y- depleted. Melts of rocks borovljanskiy complex derived in result of mantle-crust interaction with strong modification by contamination of melts low crust. These melts could derived in result of term relaxation in low crust with melting of quartz eclogite and garnet amphibolites LIL- reaching mantle cline, but mantle components were in result of adiabatic decompression in high mantle with big quality of volatile components.

**Keywords:** granitoids, peraluminium granites, mantle-crust interaction, contamination, adiabatic decompression

Актуальность проведенных исследований заключается в том, что с гранитоидами боровлянского комплекса Горного Алтая связаны многочисленные месторождения молибдена, вольфрама, бериллия и на их генезис существуют различные точки зрения, взаимоисключающие друг друга. Гранитоиды боровлянского комплекса выделены из состава Талицкого plutона и закартированы при крупномасштабной геологической съемке. Они приурочены к Талицкому блоку и считались синорогенными образованиями, отвечающими этапу консолидации этой структуры. В пределах рассматриваемой площади гранитоиды слагают небольшие массивы: Мяснушинский, Татарский, Медвежинский, Куртачихинский, Правощебетинский, прорывающие гранитоиды Верхнебашелакского и Казандинского массивов. Южнее и юго-восточнее располагаются Талицкий и Бровлянский массивы. По вопросу выделения фаз внедрения в массивах боровлянского комплекса не существует единого мнения, как не существует и единства на генезис их и принадлежность к стандартным типам гранитов. Согласно Легенде в описываемом ареале выделяется 3 фазы, а в недавно изданной монографии Ю.А. Туркина и С.И. Федака [4] в составе комплекса

рассматриваются вслед за В.А. Кривчиковым 2 фазы [3]. Цель исследования – выявить особенности генезиса и петрологии боровлянского комплекса.

### Результаты исследования

Нами в составе комплекса выделяются 4 фазы внедрения. Наиболее ранняя фаза представлена диоритами, выявленными в Талицком и Боровлянском массивах в их краевых частях в виде крупных ксенолитов среди гранодиоритов размерами 5–10×20–55 м.

Биотитовые гранодиориты и меланократовые граниты второй фазы обнажаются в составе Боровлянского массива. Мяснушинский, Татарский, Медвежинский, Куртачихинский, Правощебетинский массивы сложены светло-серыми средне-крупнозернистыми, нередко порфировидными биотитовыми гранитами (40%) третьей фазы и мусковитовыми лейкогранитами (60%) четвёртой фазы. Внутреннее строение массивов однородное. Диориты массивные однородные породы образуют линзовидные тела протяжённостью до нескольких десятков метров. Состав диоритов (%): плагиоклаз – 50–60, роговая обманка – 18–20, клинопироксен – 5, ортопироксен – 3–4, калиевый полевой шпат – 1–2. Структура по-

роды гипидиоморфнозернистая, местами призматически-зернистая. Интрапеллурическая фаза диоритов, кварцевых диоритов представлена крупными таблитчатыми выделениями зонального плауиклаза размерами до 1–1,5 см. В ядрах таких кристал-

лов присутствует лабрадор ( $An_{56-53}$ ), редко битовнит ( $An_{70-72}$ ). Периферическая каёмка зональных кристаллов выполнена андезином ( $An_{31-42}$ ). Центральные части зональных кристаллов часто замещены карбонатом, хлоритом, эпидотом.

**Таблица 1**  
Средние концентрации петрогенных элементов по породным типам боровлянского комплекса (масс. %)

$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	$MgO$	CaO	$Na_2O$	$K_2O$
<i>Диориты</i>									
53,36	0,94	17,78	2,33	5,89	0,17	4,96	7,39	3,83	0,63
<i>Гранодиориты</i>									
63,81	0,9	15,36	1,58	4,41	0,12	2,29	3,84	3,22	2,81
<i>Граниты</i>									
71,05	0,44	14,01	1,04	2,35	0,08	0,96	2,01	2,73	3,99
<i>Лейкограниты</i>									
74,0	0,2	13,53	0,38	1,57	0,06	0,47	1,09	2,95	4,48

Вторая генерация плауиклаза, распространённого в основной ткани породы, представлена полисинтетически сдвойникованным андезином ( $An_{34-43}$ ). Калиевый полевой шпат представлен несдвойникованным микроклином, реже – микроклин-пертитом. Среди темноцветных минералов доминирует роговая обманка, реже отмечаются клинопироксен (авгит с  $f=31,5-33,3$ ;  $l=2,0-2,1$ ) и ортопироксен (клиногиперстен с железистостью  $f=48,0-48,2$ ; глиноэмистостью  $l=1,02-1,1$ ).

Оба минерала по периферии интенсивно замещены эпидотом, хлоритом. Бурая

роговая обманка (паргасит с  $f=35,0-36,4$  и  $l=17,2-17,7$ ) имеет призматические и таблитчатые выделения. Замещается эпидотом и хлоритом. Аксессории редки и представлены апатитом, магнетитом, сфером, пиритом. По химизму это низкотитанистые породы с преобладанием натрия над калием и двухвалентного железа над трёхвалентным. В них максимальные суммарные концентрации РЗЭ (220,82 г/т); отношения тория к иттербию в диоритах минимальные среди породных типов боровлянского комплекса (табл. 2).

**Таблица 2**  
Средние составы редких и редкоземельных элементов в породных типах боровлянского комплекса (г/т)

Химические элементы и отношения	Диориты, $n=3$	Гранодиориты, $n=3$	Граниты, $n=7$	Лейкограниты, $n=9$
1	2	3	4	5
Li	52,1	51	42,2	22,5
Be	2,5	2,4	0,83	0,6
Sc	20,5	17,2	4,1	7,1
V	135,2	125,4	17,2	9,9
Cr	51,3	45,1	23,5	15,0
Co	13,7	10,2	3,3	2,6
Ni	58,1	25,6	46,5	56,2
Ga	14,1	16,4	21,8	22,5
Rb	97,2	102	126,7	112,1
Sr	304	282	204	218
Y	53,3	51,5	33,1	30,1
Zr	390,4	375	117,5	113,1
Nb	34,4	33,7	11,5	11,0
Cs	7,5	8,7	7,0	4,6
Ba	807	745	712	1102

## Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
La	98,1	44,4	18,3	29,3
Ce	69,5	66,5	30,7	33,2
Pr	11,1	10,3	8,1	8,4
Nd	17,2	15,6	7,8	8,3
Sm	5,3	4,5	2,9	1,8
Eu	1,5	1,3	0,9	0,32
Gd	4,1	3,7	0,31	0,29
Tb	0,62	0,55	0,32	0,3
Dy	4,2	3,1	2,5	1,3
Ho	1,1	0,8	0,6	0,5
Er	1,3	1,2	0,4	0,35
Tm	0,9	0,7	0,22	0,13
Yb	5,2	4,2	3,4	2,8
Lu	0,7	0,51	0,25	0,15
Pb	21,1	23,3	23,1	29,5
Th	7,2	7,7	8,2	8,1
U	1,8	2,1	2,2	2,0
Mo	13,1	13,6	5,1	1,5
Sn	6,9	6,8	6,6	4,6
F	545	833	454	305
$\Sigma P3\mathcal{E}$	220,82	157,06	82,4	86,35
La/Yb <sub>N</sub>	9,25	10,5	5,4	9,8
La/Sm <sub>N</sub>	11,34	6,02	3,87	9,96
Eu/Eu*	0,96	0,95	1,54	0,85
Th/Yb	1,38	1,83	2,41	2,89
Ce/Yb	13,36	15,83	9,03	11,96
Zr/Yb	75,07	89,3	34,5	40,4

П р и м е ч а н и е . N-нормированное проведено относительно хондритапо [4]; Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>) / 2.

Гранодиориты среднезернистые породы светло-серой окраски, иногда с розовым оттенком. Состав гранодиоритов (%): кварц – 15–22, плагиоклаз – 29–47, роговая обманка – 5–12, биотит – 4–10, калиевый полевой шпат – 10–12. Аксессории: магнетит, пирит, циркон, апатит (короткостолбчатый). Плагиоклаз образует несколько генераций. Наиболее ранняя генерация представлена зональными кристаллами (до 0,8 см в размере), ядерные части которых сложены лабрадором ( $An_{51-55}$ ) и часто интенсивно соссюритизированы. Краевые части таких индивидов сложены андезином ( $An_{31-33}$ ). Вторая генерация характеризуется полисинтетическим двойникованием и имеет также зональное строение. Плагиоклаз таких кристаллов (3–5 мм) сложен олигоклазом ( $An_{24-25}$ ) с тонкой краевой каёмкой альбита ( $An_{8-9}$ ). Роговая обманка относится к обыкновенной с умеренными величинами железистости и глинозёмистости ( $f = 54,1$ ;  $l = 24,0$ ). Листочки и чешуйки бурого био-

тита относятся к группе сидерофиллита-аннита ( $f = 55,3-55,8$ ;  $l = 31,2-32,0$ ).

Граниты состоят из кварца (37,2 %), микарклин-пертита (25,1 %), слабо зонального (до № 27 в ядре, № 11 в кайме) плагиоклаза (32,3 %), умеренно железистого ( $F = 62-73$ ) биотита (4,2 %). Вторичные минералы представлены серицитом, мусковитом, гранатом, хлоритом, акцессорные (г/т) – магнетитом (478), апатитом (110), цирконом (71), ильменитом (50), монацитом (11,5), ортитом (11), турмалином (7), сфеном (1,3). Структуры гипидиоморфнозернистая, монционитовая, порфировидная за счет мегакристаллов калиевого полевого шпата, реже плагиоклаза. Петрохимическими особенностями гранитов являются умеренная щелочность при сближенных значениях натрия и калия, высокая глиноземистость (индекс Шенда = 1,1), низкие коэффициенты агпаитности (0,58) и окисленности железа (0,24), умеренно низкой известковистостью ( $CaO = 2,1\%$ ). По содержанию элементов-

примесей (г/т) граниты близки гранит-гра-  
нодиоритовому типу ( $V - 17$ ,  $Cr - 17$ ,  $Co - 3$ ,  
 $Rb - 118$ ,  $Sr - 189$ ,  $Li - 37$ ,  $Pb - 29$ ,  $Mo - 2$ ,  
 $Sn - 7$ ), уклоняясь пониженным содержанием  
стронция и повышенным – олова к гра-  
нитам стандартного типа. Лейкогранитовые  
гранитоиды характеризуются преобладанием  
кварца над микроклин-пертитом и слабо зональным олигоклазом, присутствием  
умеренно железистого ( $f = 62-73$ ) биотита и  
аксессорных минералов, представленных  
(в г/т) магнетитом (478), апатитом (110),  
цирконом (71), ильменитом (50), монацитом  
(11,5), ортитом (11), турмалином (7),  
сфеном (1,3), гранатом; в отдельных случа-  
ях фиксируется присутствие пинита, раз-  
витого, вероятно, по кордиериту или анда-  
лузиту. По нашим данным лейкограниты  
четвёртой фазы представлены мусковитово-  
вой разностью и состоят (%): кварц (40–41),  
КПШ (ортоклаз) (25–27), альбит-олигоклаз  
(№ 10–14) (28–30), мусковит (2–5). Повсе-  
местно в полевом шпата отмечаются вrost-  
ки мелкочешуйчатого мусковита и серици-  
та, приуроченные к ядерной части зёрен.

Нередко характерны монцонитовая и порфировидная структуры за счет раз-  
вития мегакристаллов калиевого полевого  
шпата и, реже, плагиоклаза. Породы ха-  
рактеризуются повышенной глиноземи-  
стостью (индекс Шенда = 1,11), низким  
уровнем щелочности с преобладанием  
 $K_2O$  (4,2 %) над  $Na_2O$  (3, %) и низким коэф-  
фициентом окисленностью железа (0,26).  
В лейкогранитах отмечаются максимальные, в сравнении с лейкогранитами других

комплексов, содержания бария (1005 г/т), стронция (220 г/т), молибдена (3,4 г/т). Лейкограниты содержат сумму РЗЭ несколько выше, чем в гранитах (86,35 г/т). В них отношения тория к иттербию максимальны среди породных типов боровлян-  
ского комплекса (табл. 2). В то же время лейкограниты характеризуются минимальными значениями отношения  $Eu/Eu^*$ , составляющее 0,85. Средние содержания петрогенных компонентов в породных типах боровлянского комплекса представлены в табл. 1, а средние концентрации микро-  
элементов – в табл. 2.

На диаграмме ТАС (рис. 1) все породные типы боровлянского комплекса попадают в поле нормальной известково-щелочной серии в его верхней части вблизи с границей умеренно-щелочного поля. Гранитоиды формировались в мезоабиссальной обстановке. Такие минералогические особенности, как низкое содержание магне-  
тита, повышенное – монацита, присутствие в ряде случаев типоморфного кордиерита, при отсутствии в гранодиоритах роговой обманки являются типичными для А- или S-гранитов, как считает В.А. Кривчиков [3]. По мнению некоторых исследователей коровая природа расплавов боровлянского комплекса согласуется с высокой глиноземистостью (коэффициент Чаппела – 1,13; нормативный корунд) гранитоидов главной фазы. Металлогеническая специализация комплекса: месторождения и проявления жильного и грейзенового типов вольфрама и молибдена.

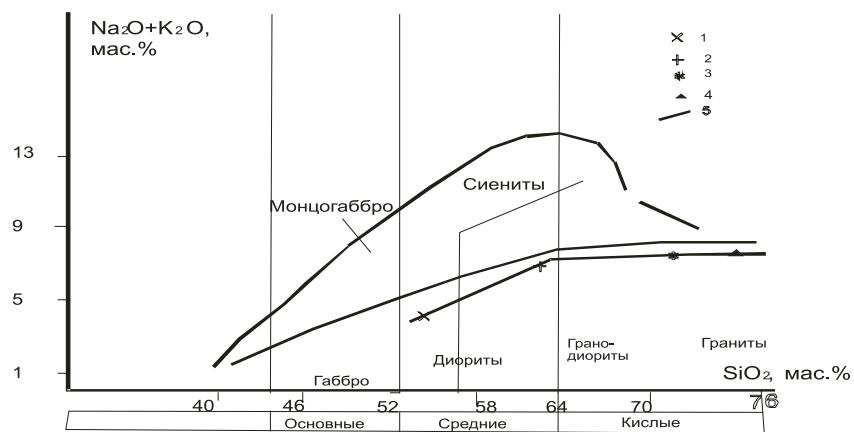


Рис. 1. Диаграмма ТАС для породных типов боровлянского комплекса:  
1 – диориты; 2 – гранодиориты; 3 – граниты; 4 – лейкограниты;  
5 – тренд породных типов боровлянского комплекса

На спайд-диаграмме все породные типы по макро- и микроэлементному составам образуют согласованные графики и ха-  
рактеризуются резким деплетированием на

уран, ниобий, неодим, иттрий (рис. 2). В то же время эта диаграмма показывает обога-  
щённость всех пород комплекса на барий, калий, стронций, фосфор, натрий. Исходя

из данных диаграммы Вайборна и др. [7] гранитоиды боровлянского комплекса можно отнести к стронций не деплелированному и иттрий деплелированному типу. Формирование таких гранитоидов предполагает верхнемантинийный источник [7]. Выплавление таких магм происходит из источника, обогащенного гранатом, что подтверждается их деплелированностью на иттрий (рис. 2), и вероятно, связано с активностью мантии при формировании магм боровлянского комплекса.

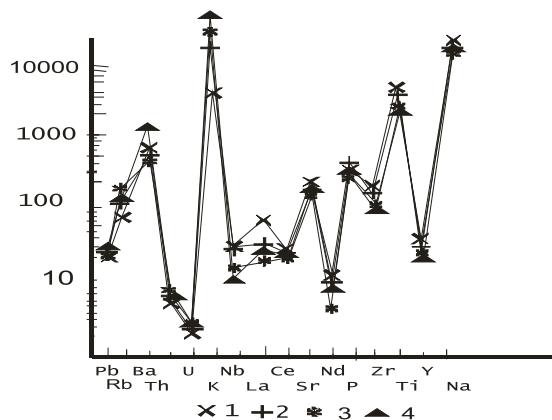


Рис. 2. Спайд-диаграмма по [7] для породных типов боровлянского комплекса:  
1 – диориты; 2 – гранодиориты;  
3 – граниты; 4 – лейкограниты

На диаграмме  $(La/Yb)_N - (Yb)_N$  породы боровлянского комплекса попадают в поле истончиков плавления ниже верхнекорового на продолжении трендов плавления кварцевых эклогитов и гранатовых амфиболитов (рис. 3), указывая на нижнекоровый источник плавления родоначальных пород.

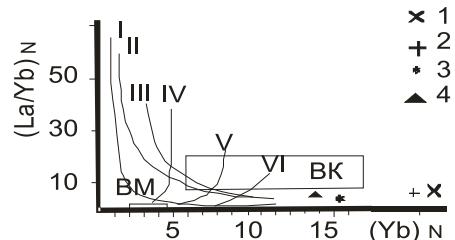
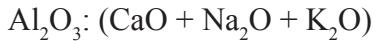


Рис. 3. Диаграмма  $(La/Yb)_N - (Yb)_N$  для пород боровлянского комплекса. Тренды плавления различных источников по [6]:  
I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранатсодержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранатсодержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранатсодержащая мантия, с содержанием граната 3%;  
BM – верхняя мантия, BK – верхняя кора.  
Остальные условные см. на рис. 2

По соотношению



(индекс ASI превышает пороговое значение 1,1) все породы массива относятся к пералюминиевому типу.

На диаграмме соотношений

$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$  все породные типы попадают в поле пералюминиевых гранитоидов (рис. 4). Высокая глинозёмистость (пералюминиевость) пород боровлянского комплекса подтверждается также наличием в их составе высокоглиноzemистых минералов: кордиерита, мусковита, граната, а также нормативного корунда. На диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$  породы боровлянского комплекса попадают в поле магнезиального типа (рис. 4)

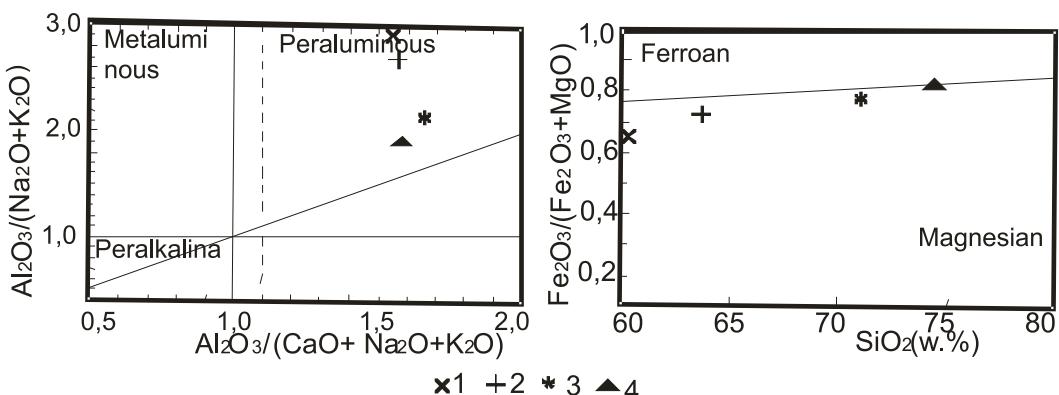


Рис. 4. а – диаграмма  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$  по [6]; б – диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$  по [5] для пород боровлянского комплекса:  
1 – диориты; 2 – гранодиориты; 3 – граниты; 4 – лейкограниты

### Заключение

Таким образом, кислые породы боровлянского комплекса отнесены к пералюминиевому типу гранитоидов, имеющих специфические условия генезиса. Близость некоторых характеристик этих гранитоидов к S- и A-типам гранитов именно и объясняется контаминацией высокоглинозёмистого материала нижней коры. Однако их следует рассматривать специфическим I- типом гранитов, образовавшимся в результате мантийно-корового взаимодействия и смешения расплавов мантийного и корового составов [2]. Такие магмы чаще всего содержат и компоненты верхней мантии, и нижней коры, что подтверждается составами пород и положением фигуративных точек анализов породных типов на диаграммах. Подобные коровые расплавы могут возникать в результате термальной релаксации в нижней коре с плавлением кварцевых эклогитов и гранатовых амфиболитов (рис. 3) LIL – обогащённого мантийного клина, а мантийно-производные

компоненты таких магм – в результате адиабатической декомпрессии в верхней мантии с участием большого количества летучих компонентов.

### Список литературы

1. Гусев Н.И., Гусев А.И. Золото-генерирующие рудномагматические системы Горного Алтая // Руды и металлы, 1998. – № 2. – С. 67–78.
2. 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.
3. Кривчиков В.А., Селин П.Ф., Русанов Г.Г. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист М-45-1.– СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. – 183 с.
4. Туркин Ю.А., Федак С.И. Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. – Томск: СТТ, 2008. – 460 с.
5. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – PP. 197–214.
6. Barbarin B. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting // Geol. Journ. – 1990. –Vol. 25. – P. 227–238.
7. Wyborn L.A.I., Wyborn D., Warren R.G., Drummond B.J. Proterozoic granite types in Australia: implications of lower crust composition, structure and evolution // Trans. Royal Edinburgh: Earth Sciences. – 1992. – Vol. 83. – P. 201–209.