

УДК 552.11:552.13

**ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И РУДОНОСНОСТЬ
УСТАУРИХИНСКО-БЕРЁЗОВСКОГО ШТОКА ГОРНОГО АЛТАЯ****Гусев А.И.***Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены данные по вновь выявленному Устаурихинско-Берёзовскому штоку и его рудоносности. Шток сложен породами 3 фаз: 1 – двуслюдяными гранитами, 2 – двуслюдяными лейкогранитами, 3 – умеренно-щелочными мусковитовыми лейкогранитами. Ранние двуслюдяные граниты и лейкограниты формировались за счёт дифференциации мантийных расплавов частичного плавления гранатовых лерцолитов, контаминированных граувакками, а поздние умеренно-щелочные мусковитовые лейкограниты – за счёт дифференциации расплавов большей степени частичного плавления шпинелевых лерцолитов и контаминированных граувакками и пералюминиевыми лейкогранитами.

Ключевые слова: граниты, лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты, плавление мантийных магм, дифференциация, контаминация коровым материалом, пегматиты

**PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND ORE MINERALIZATION
OF USTAIKHIINSKO-BEREZOVSKII STOCK OF MOUNTAIN ALTAI****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on new open Ustaurikhinsko-Berezovskii stock and its ore mineralization lead in paper. Stock composed by rocks of 3 phases: 1) two micas granite, 2) two micas leucogranites, 3) muscovite moderate-alkaline leucogranites. The early two micas granite, two micas leucogranites form in result of differentiation mantle melts of partial melting garnet lherzolites, contaminating by graywackes, but late moderate-alkaline muscovite leucogranites – in result large degrees of melting spinel lherzolites, contaminating by graywackes and peraluminous leucogranites.

Keywords: granites, leucogranites, moderate-alkaline leucogranites, melting of mantle magmas, differentiation, contamination by crustal materials, pegmatites

В пределах Белокурихинского плутона выявлено несколько штоков гранит-лейкогранитового состава (Осокинский, Курановский, Черновской), с которыми связано вольфрам-молибденовое и редкоземельное оруденение [1]. Гранитоидный Устаурихинско-Берёзовский шток и пегматитовое проявление Раиса обнаружены в 2015 году при прокладке дороги на Сухую гриву при строительстве объекта Белокуриха 2 к западу от курорта Белокуриха. *Актуальность изучения* вновь выявленного штока и связанного с ним оруденения не вызывает сомнения. *Цель исследования* – выявление геохимических, петрологических особенностей штока и связанных с ним проявлений пегматитов.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Ранее Устаурихинско-Берёзовский шток не выделялся, хотя он имеет значительные размеры. Он простирается от горы Сухая Грива на востоке до урочища Устаурихи (слияние рек Малой и Большой Сычёвки) на западе и с севера на юг от ручья Провальная Падь до верховьев реки Малой Сычёвки. Общая площадь штока составляет 20

км². Он сложен породами трёх фаз: 1) гранитами двуслюдяными, 2) двуслюдяными лейкогранитами и 3) лейкогранитами умеренно-щелочными мусковитовыми.

Граниты двуслюдяные, слабо порфировидные, состоят из решетчатого микроклин-пертита (40-50%), слабозонального олигоклаза (20-30%), кварца (20-30%), биотита (2-8%), мусковита (2-4%). Вкрапленники калишпата достигают иногда размеров 1 см по удлинению, часто характеризуются неоднородным пятнистым угасанием и тенями замещенных полисинтетических двойников плагиоклаза. Структура основной массы гипидиоморфнозернистая. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, ортит, циркон, сфен, пирит.

Лейкограниты и субщелочные лейкограниты мусковитовые весьма схожи.

Лейкограниты розовато-серые и светло-серые двуслюдяные массивные неравнозернистые породы. Вблизи контакта лейкогранитов с биотитовыми гранитами – порфировидные. Редко отмечаются участки пойкилитовых структур. Состав: микроклин-пертит – 25-35%, кварц – 30-35%, альбит-олигоклаз – 25-30%, биотит – 5-3%, редко встречается мусковит (1-2%). При-

сутствуют микрографические сростки кварца и калишпата размером до 2 мм. Бiotит по химическому составу относится к ряду истонит-сидерофиллит. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, ортит, циркон.

Умеренно-щелочными лейкограниты мусковитовые отличаются присутствием низко железистого ($f = 37-44\%$) биотита (до 2%) с повышенными содержаниями F (4% и более), MnO (2,8-3%), мусковита (5-8%) и иногда акцессорного флюорита (до 100 г/т) и турмалина (до 120 г/т), на-

личием миароловых текстур и пегматоидных прожилков и жил. Флюорит и турмалин в породах образуют вкрапленность размерами от 0,5 мм до 0,4 см. Изредка флюорит и турмалин отмечается в миароловых пустотах, указывая на то, что их кристаллизация связана с поздними стадиями становления пород под влиянием позднемагматических флюидов. Из других акцессориев присутствуют магнетит, сфен, циркон. Химический состав пород штока приведен в таблице.

Представительные анализы Устаурихинско-Берёзовского штока
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	72,7	74,12	74,02	74,0	74,84	76,6	75,2	76,9
TiO ₂	0,23	0,18	0,17	0,18	0,13	0,07	0,07	0,06
Al ₂ O ₃	13,71	13,75	13,73	13,4	13,43	13,0	13,3	13,4
Fe ₂ O ₃	0,75	0,7	0,73	0,95	0,75	0,52	0,51	0,5
FeO	1,3	1,2	1,25	0,66	0,6	0,33	0,39	0,35
MnO	0,05	0,08	0,07	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04
MgO	0,41	0,3	0,28	0,45	0,34	0,21	0,24	0,25
CaO	0,9	0,83	0,81	0,55	0,6	0,3	0,35	0,33
Na ₂ O	2,8	3,3	3,2	4,6	3,95	4,28	4,3	4,2
K ₂ O	4,9	4,65	4,61	4,55	4,87	4,2	4,3	4,5
P ₂ O ₅	0,09	0,1	0,11	0,05	0,2	0,03	0,03	0,04
Сумма	99,8	99,85	99,9	99,88	99,9	100,05	100,0	99,95
Mo	1,2	1,1	1,2	1,1	2,8	2,5	2,7	2,5
Be	6,5	5,7	5,5	1,7	0,6	1,0	1,5	1,4
V	11,7	9,5	9,2	9,1	9,8	9,2	9,1	9,0
Cr	12,6	10,5	11,5	9,8	9,3	9,5	9,2	8,7
Ga	23,3	23,4	23,8	21,2	23,8	23,5	23,8	23,3
Rb	297	301	312	140	172	165	174	182
Sr	143	82	95	205	8,5	10,1	15,1	16,5
Y	20,5	16,2	16,1	10,8	19,2	11,3	11,1	10,9
Zr	45	35	38	225	215	195	197	201
Nb	22	24	23	62,2	77	68,5	66,5	62,7
Cs	16,1	19,1	19,0	3,8	2,1	2,5	2,6	2,2
Ba	375	310	313	250	35	45	55	48
Th	23,5	8,9	9,2	9,0	47	35	34	31
U	9,7	3,9	3,7	4,3	4,1	5,2	5,7	5,5
Ag	1,3	1	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1,3
Co	5,0	4,87	4,85	1,43	2,89	1,9	1,95	1,5
Ni	7,0	7,1	7,12	3,3	4,18	3,8	3,5	3,3
Zn	67,9	70,1	65,1	34,7	9,19	10,5	13,5	14,1
Pb	40,2	34,5	35,1	13,7	7,48	7,3	9,3	8,7
Li	141	167	172	122	48,3	49,9	49,3	50,7
Sc	3,1	2,72	2,8	3,49	2,4	2,5	2,5	2,3
Ge	1,6	1,1	1,2	1	1,1	1,3	1,4	1,5
Cu	14,6	13,7	14,5	6,92	16,6	15,1	17,1	16,9
Hf	7,5	7,3	7,2	7,8	4,5	5,1	5,3	5,2

Окончание таблицы								
Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
Ta	2,9	5,4	5,5	5,5	4,8	4,5	4,6	4,4
W	4,2	3,9	4,5	4,3	4,1	4,0	4,3	4,5
Sn	8,1	7,3	7,1	7,4	10,2	8,5	8,3	9,1
La	38,0	27,8	28,1	3,08	5,64	4,5	4,0	5,1
Ce	96,5	60,1	58,1	6,73	15,2	7,1	10,1	14,9
Pr	7,1	6,8	6,9	0,93	1,87	1,05	1,0	1,1
Nd	34,1	25,4	23,4	3,15	7,11	4,1	4,2	5,8
Sm	6,4	4,61	4,6	1,11	2,25	1,8	1,9	2,0
Eu	0,7	0,49	0,45	0,06	0,03	0,12	0,13	0,11
Gd	4,7	3,89	3,8	1,24	2,17	1,5	1,9	2,0
Tb	0,9	0,55	0,65	0,27	0,46	0,35	0,3	0,5
Dy	3,2	3,01	3,1	1,77	2,87	2,05	2,1	2,2
Ho	0,8	0,51	0,5	0,32	0,61	0,5	0,7	0,8
Er	1,5	1,48	1,42	0,98	1,88	1,2	1,2	1,3
Tm	0,3	0,22	0,23	0,16	0,34	0,2	0,2	0,23
Yb	1,9	1,5	1,4	1,37	1,43	1,41	1,5	1,4
Lu	0,24	0,2	0,21	0,21	0,38	0,28	0,25	0,23
∑TR	216,84	152,76	148,32	32,18	61,44	37,46	40,58	48,57
TE _{1,3}	0,99	1,04	1,09	1,17	1,15	1,08	0,92	0,98
U/Th	0,41	0,44	0,4	0,48	0,09	0,15	0,17	0,18
Nb/La	0,58	0,89	0,82	20,2	13,6	15,2	16,6	12,3

Примечание. Анализы выполнены в Институте минералогии, кристаллографии, геохимии редких элементов (ИМГРЭ, г. Москва) методом ICP-MS. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов, как среднее между первой и третьей тетрадами по [5]. Породы Берёзовского штока: 1 – гранит двуслюдяной, 2–3 – двуслюдяные лейкограниты, 4-8- лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые.

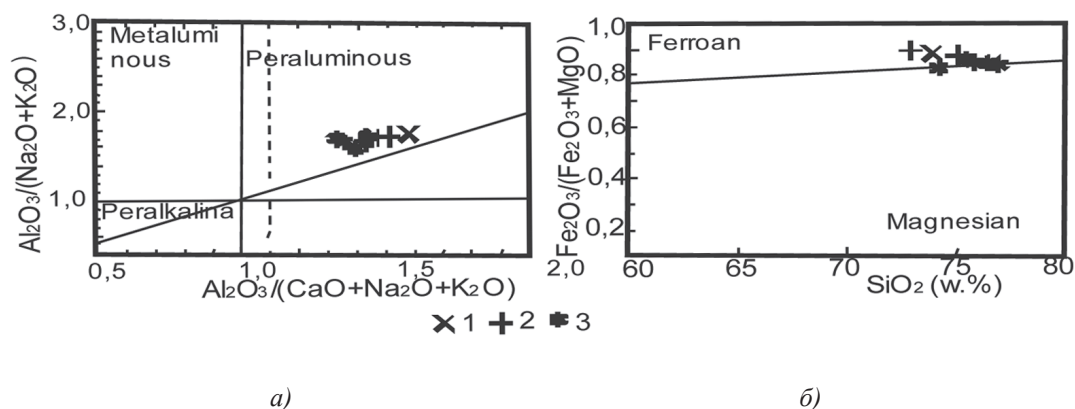


Рис. 1. а – диаграмма $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ по [6], б – диаграмма $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ по [7] для пород Устаурихинско-Берёзовского штока. Породы штока: 1 – гранит двуслюдяной, 2 – двуслюдяные лейкограниты 3 – лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые

На канонических диаграммах фигуративные точки составов пород попадают в поля пересыщенных глинозёмом (рис. 1, а) и железистых (рис. 1, б) пород.

Все породы характеризуются низкими отношениями U/Th, указывающими на относительно свежие породы, не претерпев-

шие наложенных процессов. Суммарные содержания редких земель в них умеренные и варьируют от 32,18 до 216,84 г/т. Большие концентрации свойственны более ранним фазам.

Рудоносность штока. В последнее время в пределах северной периферии Бе-

локурухинскогно плутона обнаружено несколько новых проявлений пегматитов. Они располагаются по реке Берёзовка и её притокам и объединены в **Берёзовское пегматитовое поле**. В пределах этого пегматитового поля локализуется Устаурихинско-Берёзовский шток двуслюдяных гранитов и лейкогранитов, к которому и приурочены пегматитовые проявления: Устаурихинское, Карьерное, Правая Берёзовка и Раиса. Все они, за исключением Карьерного, приурочены к штоку, а Карьерное – к экзоконтакту штока с порфирированными гранитами главной фазы Белокурухинского плутона. Карьерное проявление локализуется в порфирированных гранитах главной фазы Белокурухинского плутона, и в отличие от всех остальных проявлений, характеризуется интенсивно проявленной эпидотизацией.

Проявления пегматитов Карьерное и Правая Берёзовка локализируются в бортах ручьёв Карьерный и Правая Берёзовка. На каждом из проявлений обнаружены по несколько пегматитовых тел мощностью от 1,5 до 3,5 м и протяжённостью в несколько десятков метров. Пегматиты дифференцированы и состоят из кварца, ортоклаза, альбита, мусковита, турмалина, граната, эпидота, редко – тантало-ниобатов, ортита. Все они относятся к числу камерных пегматитов, локализующихся в лейкогранитах, с которыми они пространственно связаны. Проявления слабо изучены и требуют вскрытия канавами.

Устаурихинское проявление пегматитов локализуется в двуслюдяных гранитах и лейкогранитах в самом урочище Устауриха, а также в бортах Малой и Большой Сычёвки. Мощности пегматитов варьируют от 10 до 80 см, видимые протяжённости от 15 до нескольких десятков метров. В наиболее крупных телах пегматитов отмечается зональность с кварцевым ядром, крупноблоковой частью и мелко-агрегатными микропегматитовыми оторочками. Состав: кварц нескольких генераций, мусковит, биотит, калиевый полевой шпат, альбит, реже гранат, турмалин, тантало-ниобаты.

Проявление пегматитов Раиса находится в правом и левом бортах ручья Берёзовка. Выявлено Раисой Ивановой в 2015 году. Проявление обнаружено при прокладке дороги на Сухую гриву при строительстве объекта Белокуруха 2.

Пегматиты уникальные. Они приурочены к Берёзовскому штоку двуслюдяных гранитов и лейкогранитов площадью более 20 км². Пегматиты образуют пегматитовое поле и вскрыты по вертикали более чем на 400 м. В нижней части пегматиты пронизывают гранитоиды штока в виде жил мощно-

стью от 10 см до 1,1 м с субширотным простиранием и падением на юг. Пегматитовых жил насчитывается более 50. А в верхней части пегматиты образуют своеобразный штокверк, где более мощные тела образуют субгоризонтальные жилы мощностью от 0,5 до 1,5 м, от которых ответвляются субвертикальные и вертикальные жилы. Создаётся впечатление, что пегматиты здесь наследуют трещины отдельности, образовавшиеся при застывании гранитоидов. В местах сочленений разнонаправленных жил пегматитов образуются раздувы до 10 м. Пегматиты сложены среднезернистыми и крупнозернистыми пегматоидными породами, состоящими из розового микроклина, дымчатого кварца, альбита, часто принадлежащего клеветландитовой разновидности, зеленоватого и белого мусковита, чёрного биотита, редко турмалина, граната, эпидота, монацита, танталита, колумбита, пироклора, циркона. Местами отмечаются хорошие участки с письменной текстурой. Изредка отмечаются зональные пегматиты с кварцевым ядром, крупноблоковой полосой и мелкопегматитовой оторочкой. В этой части пегматитов реки Берёзовки обнаружены кварц-турмалиновые и кварц-гранатовые шпирьеры размерами от 5 до 7 см. Среди таких шпирьеров отмечены графические сростания граната с кварцем и цирконом. Здесь гранат образует специфические удлинённые выделения до 2-3 см в длину. Изредка среди пегматитов отмечаются «инее-подобные» сростания мусковита. Содержания элементов по штурфным пробам составляют: тантала и ниобия от 0,05 до 0,7%, циркония от 0,1 до 0,5%, церия от 0,1 до 1,2%, иттрия от 0,2 до 1,3%. Пегматиты требуют доизучения, так как содержат повышенные концентрации редких и редкоземельных элементов.

Граниты двуслюдяные и лейкограниты двуслюдяные обогащены легкими РЗЭ и в сочетании с повышенными содержаниями Nb (> 20 г/т) и высокими отношениями Nb/La ppm = 0,58-0,89 (таблица), относятся к дериватам, образовавшимся за счёт плавления обогащенных Nb базальтоидов (NEB-типа).

Лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые характеризуются ещё более высокими концентрациями ниобия (62,2 – 77 г/т) и максимальными отношениями Nb/La ppm = 12,3-20,2, что позволяет их рассматривать в качестве выплавки высокониобиевых базальтов (HNB-типа). Для высоко-Nb базальтов считается, что их источник находится в астеносферной мантии [3].

На диаграмме соотношений La/Sm – La фигуративные точки составов пород попадают на различные кривые плавления родоначальных источников базальтоидов (рис. 2).

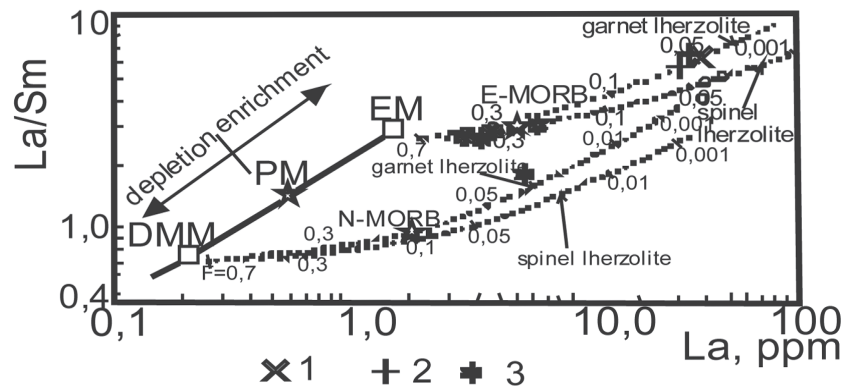


Рис. 2. Диаграмма $La/Sm - La$ по [2] для пород Устаурихинско-Берёзовского штока. DMM – деплетированный мантийный источник MORB. PM – примитивная мантия; EM – обогащённый мантийный источник; E-MORB – и N-MORB – составы обогащённых (E) и нормальных (N), базальтов срединно-океанических хребтов; точечные линии – тренды плавления источников DMM и EM, засечки с цифрами на точечных линиях – степень частичного плавления для соответствующих мантийных источников. Породы штока: 1 – гранит двуслюдяной, 2 – двуслюдяные лейкограниты 3 – лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые

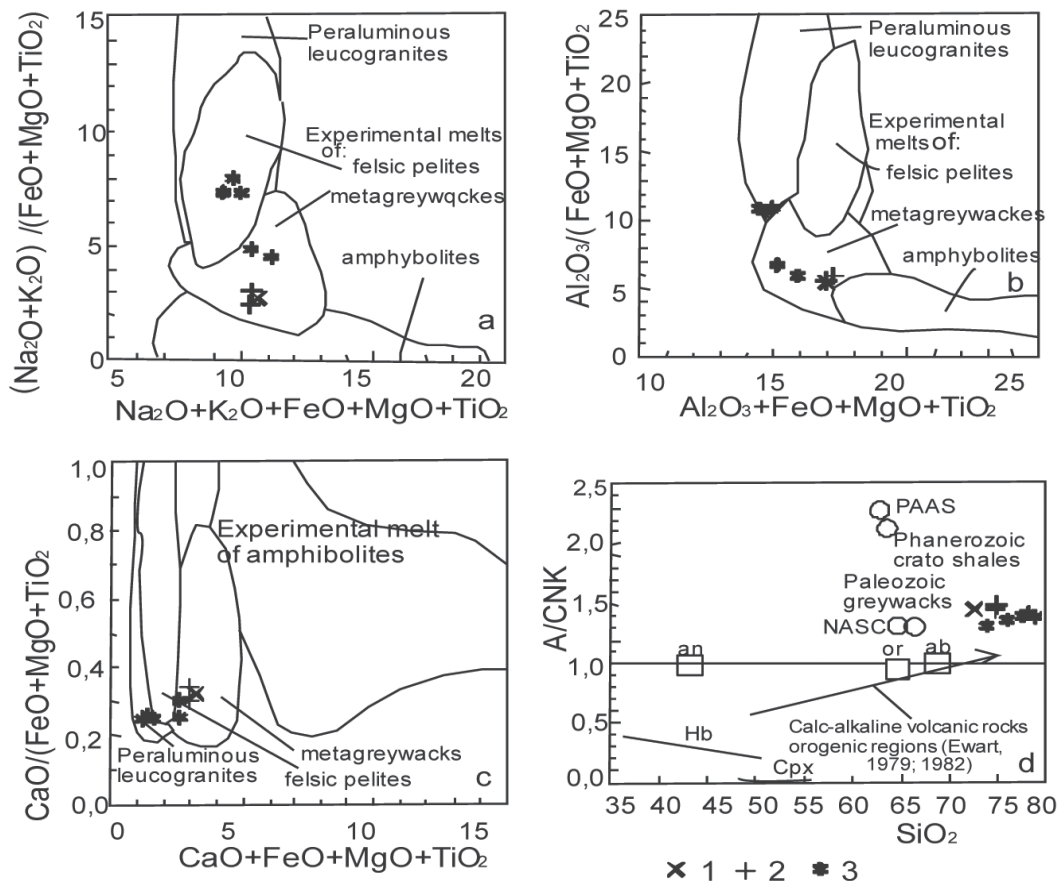


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы: (a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусковитовых сланцев), метагравяк и амфиболитов для пород Устаурихинско-Берёзовского штока; (d) – диаграмма $SiO_2 - A/CNK$ для пород штока. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов по [4]. A- Al_2O_3 , CNK – сумма CaO, Na_2O , K_2O . Остальные условные те же, что на рис. 1

Все породы попадают на кривые плавления обогащённой мантии. Однако, если двуслюдяные граниты и лейкограниты отвечают очень низкой степени частичного плавления гранатового лерцолита, то лейкограниты умеренно-щелочные мусковитовые отвечают высокой степени частичного плавления шпинелевого лерцолита и локализируются вблизи среднего состава базальтоидов E-MORB) (рис. 2).

Проверка на возможность контаминации коровым материалом и выяснение возможных источников плавления проведена с использованием экспериментальных данных (рис. 3).

Такая контаминация коровым материалом подтверждается приведенными анализами и осуществлялась за счёт плавления метаграувакков (для двуслюдяных гранитов и двуслюдяных лейкогранитов) и пералюминиевых лейкогранитов для мусковитовых умеренно-щелочных лейкогранитов (рис. 3).

Выводы

1. Формирование Устаурихинско-Берёзовского штока проходило в рамках сложного сценария – на первом этапе за счёт низкой степени частичного плавления и дифференциации гранатового лерцолита, а для поздних мусковитовых умеренно-щелочных лейкогранитов – за счёт большей степени частичного плавления шпинелевых лерцолитов и последующей дифференциации расплава.

2. На позднем этапе расплавы в области нижней коры были контаминированы коровым материалом. Для двуслюдяных гранитов и лейкогранитов таким контаминатором были граувакки, а для умеренно-щелочных мусковитовых лейкогранитов – граувакии и пералюминиевые лейкограниты.

3. Завершение магматического процесса ознаменовалось генерацией редкометалльных пегматитов с тантало-ниобатами.

Список литературы

1. Кривчиков В.А., Селин П.Ф., Русанов Г.Г. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист М-45-1 (Солонешное). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. – 183 с.
2. Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia, Turkey // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2000. – V. 102. – P. 67-95.
3. Castillo P.R. Origin of the adakite – high-Nb basalt association and its implications for postsubduction magmatism in Baja California, Mexico // *GSA Bull.*, 2008. – V. 120. – № 3-4. – P. 451-462.
4. 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. – P. 25-95.
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 // *Geochim Comochim Acta*. 1999. – V. 63 – № 3/4. – P. 489-508.
6. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin*, 1989. – V.101. – P. 635-643.
7. Villaseca C., Barnero 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.