

Г.Ю. Шардакова

ГЕОХИМИЯ ГРАНИТОИДОВ КАМЕНСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Каменский массив приурочен к области сочленения окраинно-континентальной и континентальной зон С-З мегаблока, располагаясь преимущественно в пределах последней [5]. Общая площадь массива около 170 км², он имеет изометричную, вытянутую в плане форму, субмеридиональное простирание. В возрастном положении массив занимает место между среднедевонскими массивами аверинско-рефтинского пояса и более молодым адуйским (290-275 млн лет) комплексом [2]. С запада вмещающими массив породами являются рифейские плагиогнейсы, амфиболиты, кварциты, с востока - преимущественно вулканогенно-осадочные породы S_2-D_1 , в южном экзоконтакте распространены туфопорфиры и вулканы основного состава S_1ln-w , среди которых залегают тела ультрабазитов, габброидов, плагиогранитоидов (рис. 1).

По данным геофизики, массив вырисовывается как асимметричный пологонаклонный на юго-восток пластообразный плутон со сложноскладчатым строением кровли. Отмечено его зональное строение с широким развитием во внутреннем ореоле ксенолитов амфиболитов, роговиков, плагиогнейсов. На глубине обогащенная ксенолитами зона сменяется относительно однородными гранитоидами [1, 2].

Гранитоиды Каменского массива представлены породами двух фаз (по М.С. Рапопорту): I (синкинематическая [2]) - тоналиты, гранодиориты, адамеллиты; II (посткинематическая) - адамеллиты, граниты. Они четко дифференцируются по структурно-текстурным особенностям: породы I фазы гнейсовидные до шлирово-полосчатых; II - массивные, редко - порфировидные, деформированные слабо. Жильная ассоциация представлена лейкогранитами, аплитами, пегматитами.

Наиболее распространены на территории массива породы I фазы, имеющие близкий минеральный состав, различия лишь в количественных соотношениях (см. табл.1). Породы порфировидные (ПВ-плагиоклаз, реже - калишпат), гнейсовидные, в ряде обнажений имеют мигматовидный облик, выражающийся в разделении породы на лейко- и меланосому, состав и оптические свойства минералов в пределах которых идентичны. Состоят из кварца, олигоклаза, биотита, роговой обманки, небольшого количества калишпата; аксессуарные минералы представлены сфеном, апатитом, магнетитом; ортит и циркон редки. В гранодиоритах и адамеллитах встречаются линзы и неправильной

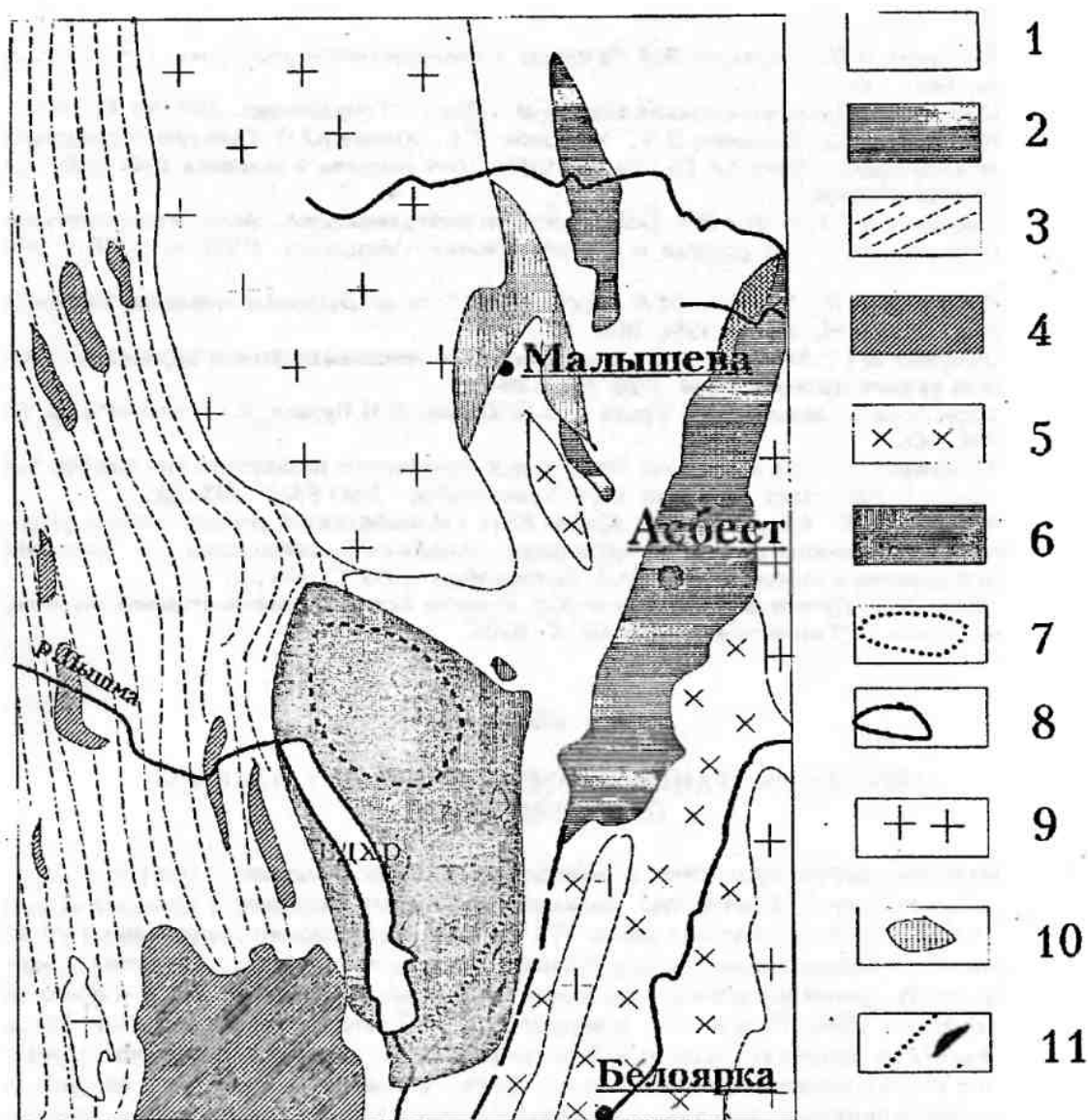


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Каменского массива и его обрамления
(по М.С.Рапопорту и др. [2]).

1 - зеленые сланцы, амфиболиты, диабазы; 2 - гипербазиты Баженовского массива; 3,4 - гнейсы биотит-амфиболовые (3) и инъекционные (4); 5 - плагитогранитоиды; 6-8 - породы Каменского массива: 6 - гнейсовидные тоналиты, гранодиориты, адамеллиты I фазы, 7 - поле развития массивных адамеллитов II фазы, 8 - граниты; 9 - граниты Адуйского массива и мелкие тела; 10 - граниты Малышевского массива; 11 - ореол ксенолитов

формы тела резко обогащенных сфеном диоритов, генезис которых не вполне ясен, вероятно, реликты субстрата. Адамеллиты и граниты II фазы варьируют от мезо- до лейкократовых разностей, отличаясь от пород I фазы повышенным количеством калишпата (до 10-15%), преобладанием среди феррических минералов биотита, а также наличием мусковита в гранитах. Акцессорная ассоциация та же.

Существенную роль в формировании пород I фазы играли процессы гранитизации гнейсо-амфиболового субстрата, чем и обусловлен их переменный состав и шпирово-полосчатый облик. Практически идентичные составы темноцветных минералов в гранитоидах и породах субстрата [4] - дополнительный аргумент в пользу образования каменных гранитоидов *in situ*. Наряду с этим, наличие остроугольных ксенолитов гнейсов и амфиболитов, секущих гнейсовидность в гранитоидах, всегда резкие контакты последних с вмещающими породами, присутствие порфировидных эндоконтактовых фаций [2]

Содержания петрогенных элементов (мас. %) и минеральный состав (%) гранитоидов Каменского массива

Компонент	308	314	311	315	319	316	312	301	309	302
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	55,51	59,46	62,56	63,95	66,22	69,10	69,38	72,25	74,68	74,87
TiO ₂	1,88	0,78	0,74	0,57	0,49	0,33	0,29	0,26	0,19	0,14
Al ₂ O ₃	19,83	17,11	16,55	16,77	16,69	16,42	16,52	14,76	14,02	14,06
Fe ₂ O ₃	0,96	1,55	2,22	1,55	1,80	1,08	1,22	0,61	0,04	0,32
FeO	6,10	3,59	2,87	2,51	1,44	1,44	1,25	1,44	1,44	0,72
MnO	0,09	0,08	0,08	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02
MgO	3,10	2,96	2,53	2,39	1,52	1,26	1,14	0,99	0,70	0,70
CaO	5,17	4,49	3,50	3,48	2,59	2,60	2,08	1,50	1,11	0,90
Na ₂ O	2,61	5,68	6,16	5,68	5,68	5,68	5,03	5,21	4,26	4,50
K ₂ O	2,09	1,87	2,21	2,12	2,93	2,15	3,03	3,12	4,05	4,24
P ₂ O ₅	0,38	0,37	0,21	0,18	0,20	0,06	0,07	0,05	0,03	0,00
П.п.п.	1,37	0,62	0,61	0,47	0,33	0,23	0,44	0,42	0,23	0,00
Минеральный состав										
Кварц	18,7	8,4	25,2	15,3	17,3	22,4	24,3	26,4	28,3	30,5
Плаг	44,4	59,6	56,5	58,0	57,0	60,0	51,1	52,0	49,0	52,6
Кпш	4,0	2,9	4,7	4,4	9,8	5,5	11,0	14,5	14,0	12,0
Биот	19,9	13,1	7,9	13,3	13,5	10,4	9,9	6,4	6,9	4,3
Амф	8,1	13,5	4,6	6,8	0,6	0,0	3,0	0,0	0,9	0,0
Магн	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Акц	4,6	2,3	1,0	2,1	1,7	1,5	0,6	0,6	0,8	6,5

Примечание. I - меланократовый тоналит; I фаза: 2 - меланосома, 3 - гнейсовидный порфировидный мезократовый тоналит; 4 - лейкосома шлирово-полосчатого тоналита; 5 - гранодиорит; 6 - адамеллит; II фаза: 7 - слабогнейсовидный адамеллит; 8-10 - порфировидные граниты.

свидетельствует о существовании гранитоидного расплава. Из этого расплава, полученного в результате селективных анатектических выплавов, образовались адамеллиты и граниты II фазы, на что указывают малые размеры слагаемых ими тел, инъекции в мигматитовом ореоле по западному контакту, наличие наряду с резкими контактами постепенных переходов к гнейсовидным синкинематическим гранитоидам.

По сравнению с породами тоналит-гранодиоритовой серии, например, верхисетской [3, 5], каменные гранитоиды обеднены CaO, FeO*, MnO; по содержаниям K₂O занимают промежуточное положение между окраинно-континентальными и континентальными гранитоидами; содержания остальных элементов близки к верхисетским. По степени насыщения алюминием (ASI) породы I фазы относятся к субалюминиевому типу, II - к пералюминиевому; на диаграмме Q-Ab-Or располагаются в поле трондьемитов. По содержанию Rb и Sr попадают в поле производных базальтовой повышенной щелочности, андезитовой, латитовой магм. Давление, при котором происходило становление массива, по амфибол-плаггиоклазовому геобарометру оценивается в 5,5 кбар; температурный режим 640-660° C [2, 4].

В пределах текстурно однородных гранитоидов (тоналит-гранодиорит-адамеллит-гранит) с ростом SiO₂ понижаются содержания V, Co, Sc (табл. 2), плавно уменьшаются концентрации Zn и Ga, большинство из которых сосредоточены преимущественно в феррических минералах, что подтверждается корреляцией с FeO* и MgO, причем уровень содержаний понижен относительно большинства массивов окраинно-континентальной зоны С-З мегаблока [5]. Достаточно стабильны концентрации Li, Cs, Ba, приуроченных к полевым шпатам; а также Nb, Ta, Hf, Zr и U/Th; с ростом SiO₂ слабо возрастают содержания Rb, Pb, причем рост Rb примерно соответствует росту содержаний

Содержания редких элементов в гранитоидах Каменского массива, г/т

Элемент	308	314	311	315	319	316	312	301	309	302
	1*	2	3	4	5	6	7	8	10	11
Li	36,07	36,74	25,64	31,75	30,63	39,81	28,92	55,23	26,05	27,40
Rb	31	51	28	41	45	49	60	105	52	202
Cs	1,65	1,38	1,55	1,86	1,43	1,80	1,90	3,54	0,94	3,92
Be	1,11	1,64	2,21	1,67	1,89	1,66	2,02	2,37	0,94	3,57
Sr	825	836	695	752	465	483	399	309	202	245
Ba	605	669	607	712	680	883	652	564	558	1092
Sc	13,70	13,81	8,78	8,46	5,09	3,58	5,51	3,61	1,41	0,75
V	138,52	117,74	78,19	66,94	44,44	31,19	42,37	23,04	14,78	11,54
Cr	11,28	95,87	34,86	40,59	118,99	9,33	17,96	9,98	224,20	4,32
Co	16,91	16,21	10,00	9,07	5,84	4,06	5,27	2,87	2,46	0,89
Ni	6,71	44,09	15,50	26,33	4,93	12,49	5,34	3,26	7,08	21,73
Cu	31,99	73,52	20,72	30,18	15,97	41,63	0,41	14,11	9,27	35,17
Zn	109,81	127,77	135,60	85,60	55,15	58,78	27,66	57,22	118,36	82,59
Ga	21,39	21,77	19,89	19,39	18,58	18,53	17,14	17,67	14,20	15,03
Y	15,57	19,86	9,21	12,95	9,01	6,58	8,77	5,69	3,11	4,83
Nb	5,83	10,50	5,37	5,89	7,43	3,27	5,46	5,76	2,94	2,38
Ta	0,30	0,89	0,35	0,45	0,58	0,31	0,45	5,03	0,26	0,18
Zr	20,62	93,57	68,38	86,57	97,85	96,96	82,41	53,44	39,49	55,63
Hf	0,72	2,10	1,70	2,25	2,32	2,50	2,56	1,81	1,20	1,47
Mo	0,43	0,47	0,19	0,23	0,54	0,68	0,09	1,10	0,65	1,51
Sn	2,19	4,32	1,90	2,27	1,92	1,92	1,64	1,82	0,93	3,82
Tl	0,43	11,45	1,01	1,96	0,49	1,30	0,45	1,54	0,39	1,79
Pb	13,24	26,23	11,72	20,07	14,33	17,32	16,13	25,22	20,98	31,78
U	0,60	1,70	1,58	2,28	1,22	2,24	2,42	1,43	0,75	0,96
Th	2,54	4,45	4,19	4,44	3,98	6,84	7,33	6,07	2,75	3,10
La	18,17	37,73	22,40	24,01	19,18	23,30	17,31	13,76	7,59	10,98
Ce	42,87	85,13	43,80	50,52	39,51	44,04	35,88	26,48	17,85	26,50
Pr	5,60	10,65	5,27	6,31	4,37	4,95	4,02	2,92	1,68	2,80
Nd	23,50	40,33	19,62	24,70	15,85	17,23	14,37	9,56	5,68	9,91
Sm	4,93	7,20	3,44	4,57	2,90	2,88	2,60	1,65	0,98	1,97
Eu	1,49	1,82	1,03	1,27	0,83	0,86	0,82	0,49	0,29	0,78
Gd	4,17	5,55	2,56	3,56	2,21	2,05	2,08	1,29	0,72	1,45
Tb	0,58	0,73	0,34	0,48	0,31	0,25	0,29	0,18	0,10	0,21
Dy	3,04	3,81	1,79	2,47	1,60	1,25	1,52	1,16	0,54	1,01
Ho	0,59	0,74	0,34	0,46	0,32	0,24	0,31	0,21	0,11	0,20
Er	1,52	1,80	0,94	1,29	0,83	0,61	0,79	0,58	0,33	0,58
Tm	0,21	0,27	0,14	0,19	0,13	0,09	0,12	0,09	0,06	0,08
Yb	1,21	1,59	0,82	1,13	0,76	0,54	0,78	0,56	0,32	0,46
Lu	0,17	0,21	0,12	0,16	0,11	0,08	0,12	0,08	0,05	0,06
La/Yb	14,96	23,79	27,32	21,27	25,11	43,47	22,11	24,35	23,36	23,72
Eu/Eu*	1.00	0.88	1.08	0.96	1.00	1.08	1.07	1.03	1.06	1.41

П р и м е ч а н и е. В полевых работах по отбору проб принимали участие Г.Б.Ферштатер и Ф.Беа. Анализы выполнены в Университете Гранада (Испания) методом ICP-MS под руководством проф. Ф.Беа. Минеральный и химический состав пород приведен в табл. 1.

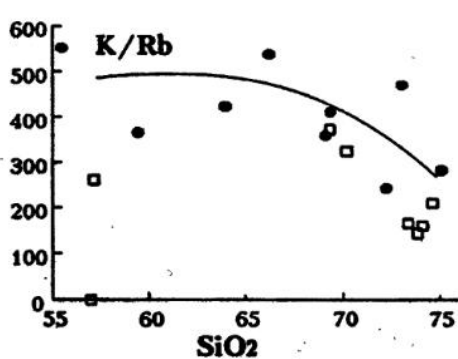
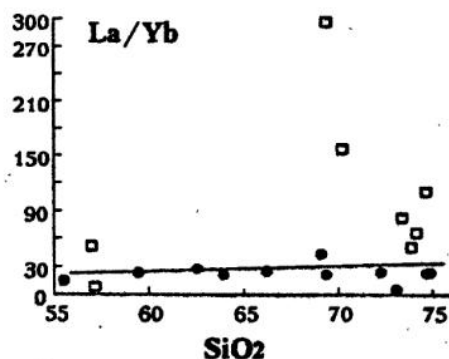
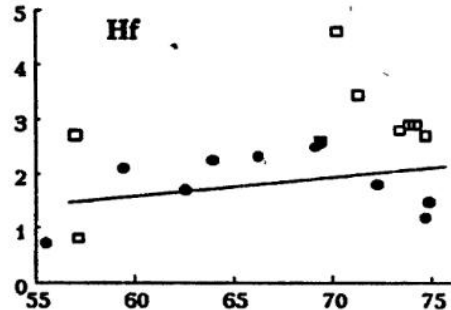
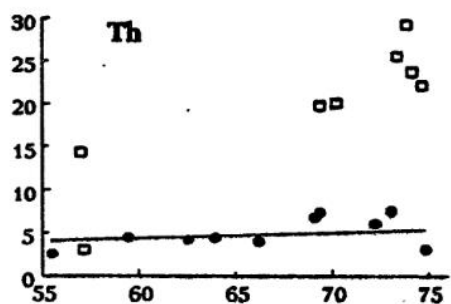
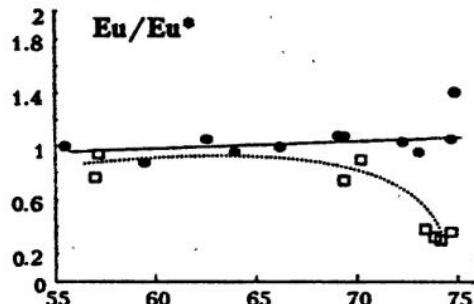
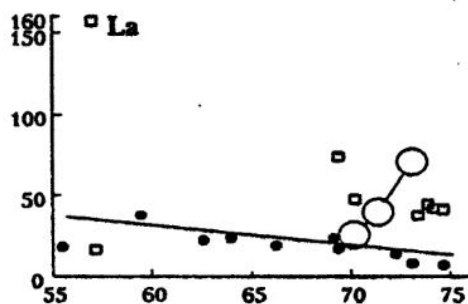
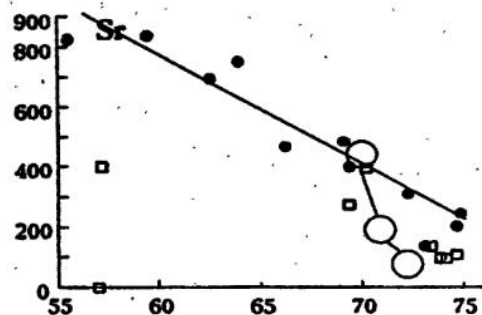
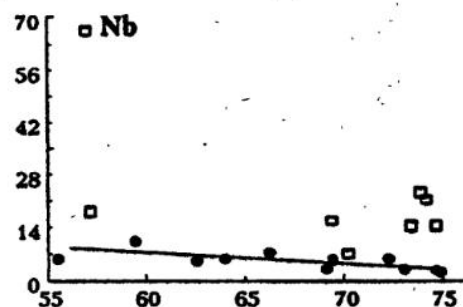
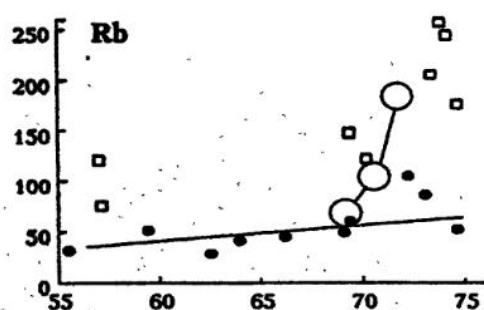
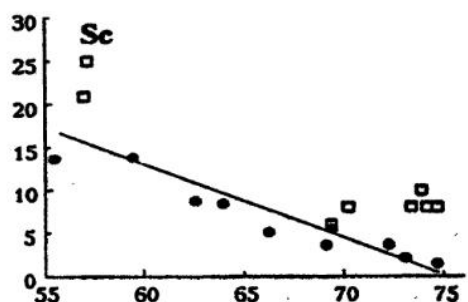


Рис. 2. Харкеровские диаграммы для гранитоидов Каменского (залитые кружки) и Мурзинского (квадраты) массивов.

Крупными кругами показано модельное положение мурзинских гранитов, образованных при частичном плавлении гнейсового субстрата [6]

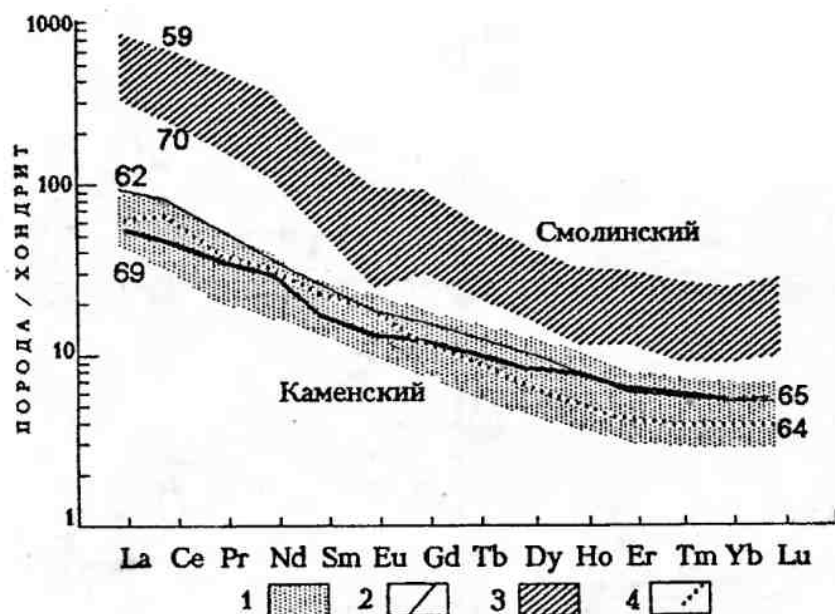


Рис. 3. Распределение РЗЭ в породах Каменского массива (1).

Для сравнения приведены тренды гранитоидов Смолинского (2), Шарташского (3) и Верхисетского (4) массивов. Цифры на рисунке - номера проб

K_2O , потому K/Rb отношения устойчивы и довольно высоки; содержания Sr падают (рис. 2). В шлирово-полосчатых разностях, по составу соответствующих тоналитам-гранодиоритам (см. табл.1), меланосомы укладываются в тренд серии как наиболее основной ее член по большинству элементов; лейкосома также находится на месте пород соответствующей кислотности. По сравнению с верхисетскими каменские гранитоиды характеризуются большим разбросом содержаний Cr , Ni , Sn ; в них более высокие содержания Zr и Zr/Hf отношение, повышенные, особенно в гранитной части, концентрации Li , Rb ; более резко снижаются содержания Sr .

С ростом SiO_2 понижаются концентрации Y и РЗЭ. Тренд распределения в РЗЭ в каменных гранитоидах имеет вид плавной пологонаклонной кривой с преобладанием элементов легкой части спектра; отношение La/Yb относительно устойчиво от средних до кислых членов (23-30); породы обеих фаз образуют единое поле. Для каменных гранитоидов характерно отсутствие аномалии Eu во всем ряду пород, что обычно является следствием специфических окислительно-восстановительных условий магмогенерации в надсубдукционных зонах и областях, к ним приближенных [5, 6]. Отсутствие аномалии Eu в заключительных членах свидетельствует в об их палингенном происхождении *in situ*; анатектические граниты, подобно породам Мурзинского массива [5, 7], должны иметь отрицательную Eu -аномалию. Усредненный тренд распределения РЗЭ в лейко- и меланосоме близок к тренду мезократового тоналита (рис. 3). Наиболее лейкократовый гранит (пр. 302) также укладывается в общий тренд серии, но имеет положительную Eu -аномалию.

Следует отметить, что концентрации редких элементов в гранитах Каменского массива отличны от их содержаний в гранитах Мурзинского массива (см. рис. 2) - последние резко обогащены Sc , Rb , Nb , Th , Hf , La . Этот факт не отвергает гипотезу о том, что каменские гнейсо-гранитоиды являлись мигматитовыми корнями гранитных массивов Мурзинско-Адуйской зоны [1, 4, 7], но свидетельствует в пользу того, что каменские и мурзинские граниты сформировались, скорее всего, в результате процессов различного типа. Для образования первых вероятно преимущественная роль кристаллизационной дифференциации, для вторых - частичного плавления гнейсового субстрата.

Тренды распределения РЗЭ в гранодиоритах Каменского массива близки к трендам известных тоналит-гранодиоритовых серий (Шарташской, Верхисетской, см. рис. 3), хотя для Каменского массива, как более удаленного от шовной зоны, следовало бы ожидать повышенных концентраций, так как для гранодиоритовых plutонов характерен рост содержаний редких элементов по мере удаления от сутуры; а Каменский массив расположен практически в континентальном секторе. Однако особенности морфологии массива, структурные характеристики пород, геохимические свойства подтверждают

сложную историю его становления, отличную от стандартных раннеорогенных тоналит-гранодиоритовых серий, в формировании которых приоритетную роль играли процессы кристаллизационной дифференциации. Каменский массив в системе латеральной геохимической зональности УПП образует свой собственный тренд, близкий к положению окраинно-континентальных гранитоидов, расположенных к сuture достаточно близко.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 95-05-14280).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минкин Л.М., Рапопорт М.С., Соколов Б.С.. Геология южной части Мурзинско-Адуйского гнейсового комплекса и его обрамления / Геология метаморфических комплексов Урала // Тр. Свердл. горн. ин-та. 1974. Вып. 108. С. 10-21.
2. Отчет Белоярского геологосъемочного отряда по геологическому доизучению площади за 1970-1974 гг. М.С. Рапопорт, И.А. Медяков, Р.Д. Калугина и др. Свердловск: УПГО, 1974.
3. Бушляков И.Н., Соболев И.Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М.: Наука. 1976. 339 с.
4. Грабежев А.И., Покровский П.В., Григорьев В.А. и др. Отчет по хозяйственной теме "Минералогические особенности гранитов и месторождений района Адуйской интрузии в связи с вопросами редкометальной металлогении". Свердловск: ИГ и Г УНЦ АН СССР. 1973.
5. Орогенный гранитоидный магматизм Урала. Г.Б. Ферштатер, Н.С. Бородина, М.С. Рапопорт и др. Миасс: ИГТ УрО РАН, 1994. 247 с.
6. Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / Под ред. Ф.Баркера. М.: Мир, 1983. С. 204-222.
7. Ферштатер Г.Б., Беа Ф. Геохимические особенности уральских гранитоидов, производных разных по составу магм // Геохимия. 1993. N 11. С. 1579-1599.