

ГОРНОВСКОЙ АРЕАЛ ГРАНИТОИДОВ: ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ

Е.А. Дзагоева, А.И. Гусев, Е. С. Горбунова

Бийский педагогический государственный университет, г. Бийск

Изученные массивы гранитоидов относятся к жерновскому монцонит-граносиенит-гранит-лейкогранитовому мезоабиссальному комплексу ($P_2 - T_1 z$). В пределах Салаирского Кряжа породы указанного комплекса имеют широкое распространение и представлены наиболее крупными интрузивными массивами, объединенными в несколько ареалов. Исследуемые объекты входят в состав южного ареала - Горновского. Здесь закартировано пять интрузивов – Горновский, Еландинский, Бийский (Луговской), Чемровский и Воеводский, контролируемые Яминским глубинным разломом (рис.1). Массивы почти полностью перекрыты чехлом рыхлых образований и изучены по единичным обнажениям и керну картировочных скважин. Степень изученности массивов неравномерная. Наиболее полно изучены Еландинский и восточная часть Горновского массивов. Западная половина Горновского массива, Луговской, Чемровский и Воеводский массивы вскрыты единичными скважинами и оконтурены в основном по геофизическим данным. В северной части Горновского массива имеется несколько обнажений, а также карьеров по отработке крошки гранитов для отсыпки дорог. Уран-свинцовым датированием по циркону для лейкогранитов Еландинского массива получена цифра $249,8 \pm 1,2$ млн. лет. В то же время для лейкогранитов Горновского массива, по данным А.Г. Владимирова, В.В. Крука и других (2002), получена цифра $373,1 \pm 2,1$ млн. лет, указывающая на то, что в составе Горновского массива присутствуют позднедевонские лейкограниты.

Формы тел преимущественно грибо- и штокообразные, сужающиеся с глубиной в корневых частях. В плане – округлые, слабо вытянутые в северо-восточном направлении. Горновский массив имеет два подводящих канала и соединяется с Чемровским массивом, не выходящим на палеоповерхность субгоризонтальным штоком, установленным по расчетному геофизическому профилю. Контакты тел преимущественно крутые, выполаживающиеся с глубиной. Северная часть Бийского массива в виде клина полого погружается в северо-западном направлении с постепенным выклиниванием.

Размеры тел неодинаковы. Наиболее крупным является Горновский массив, площадь выхода которого на погребенной поверхности палеорельефа составляет более 712 км^2 и может классифицироваться как батолит. Площади других массивов составляют от 64 (Еландинский массив) до 130 км^2 (Воеводский массив).

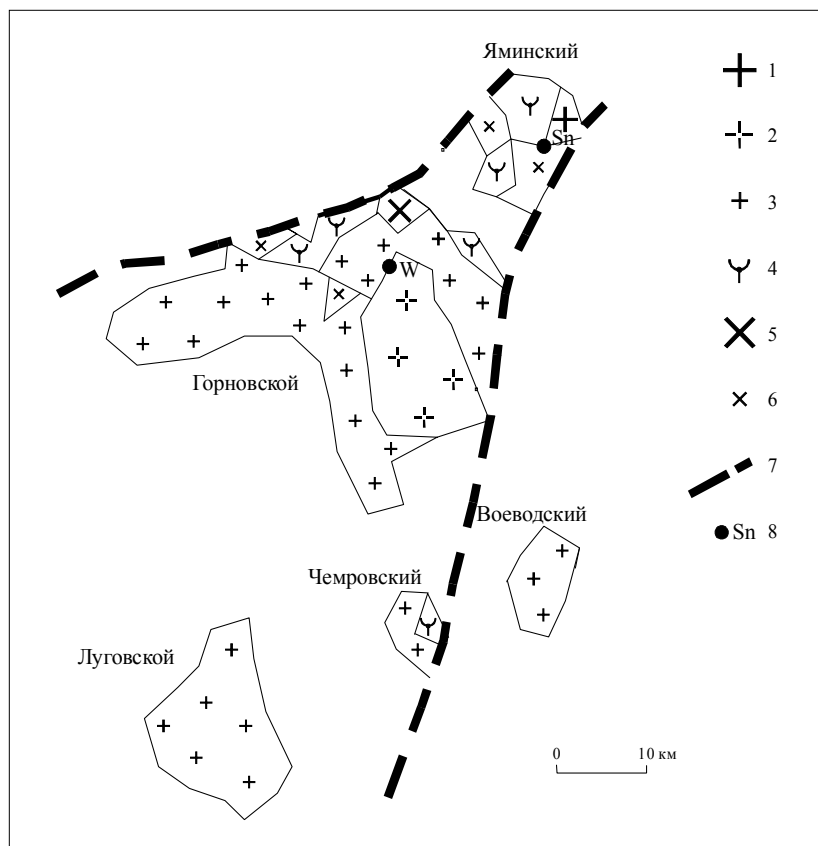


Рис. 1. Схема размещения массивов Горновского ареала.

1 - лейкограниты с флюоритом 5 фазы внедрения; 2 - лейкограниты 4 фазы внедрения; 3 - граниты 3 фазы; 4 - граносиениты 3 фазы; 5 - гранодиориты 2 фазы; 6 - монцониты, монцодиориты первой фазы; 7 – разломы; 8 - проявления олова и вольфрама.

Еландинский массив прорывает и метаморфизует породы маслянинской толщи позднедевонско – раннекарбонического возраста, чебуринской свиты позднекембрийско-раннеордовикского возраста и шалапского меланжевого комплекса, в том числе и серпентинитовой его составляющей. Все другие массивы внедрены в тектонический аллохтон, сложенный вулканогенно-осадочными породами чебуринской свиты позднекембрийско – раннеордовикского возраста.

Контактные изменения наиболее детально изучены на Яминском поисковом участке в экзоконтакте Еландинского массива. Здесь контактовому воздействию подвержены вулканогенно-осадочные породы мартыновской толщи и образования шалапского полимиктового меланжевого комплекса. Ширина полосы контактового воздействия - до 1 км . В экзоконтактах массивов развиты роговики амфибол-роговиковой (силлиманитовая и андалузитовая субфации) и мусковит-роговиковой фаций. Из гидротермальных изменений наиболее широко проявлено окварцевание в виде мелких зон с убогой сульфидной минерализацией и маломощных непротяженных жил, а также кварцтурмалиновых метасоматитов. Кроме

того, турмалинизация широко проявлена в зоне ороговикования и за ее пределами, образуя ореол тонкой рассеянной минерализации шириной до 3- 5 км.

Экзоконтактовые породы Горновского, Чемровского и Луговского массивов представлены биотитовыми, амфибол-биотитовыми и мусковитовыми роговиками. Ширина полосы ороговикования достигает 0.7-1 км, несколько расширяясь при выполаживании контактов. Экзоконтактовые роговики не характеризуются повышенной магнитностью, в то время как эндоконтактовые части массивов нередко обогащены рассеянной магнетитовой минерализацией.

Тектоническая нарушенность интрузивных тел неодинакова и зависит от их близости к полосе шалапского меланжевого комплекса и крупным тектоническим нарушениям. Наиболее нарушенными являются Еландинский и Воеводский массивы, разбитые на крупные тектонические блоки. Интенсивный катаклиз и грубая рассланцовка наблюдаются в северной части Горновского массива, приуроченной к субширотной зоне Хомутинского сброса. Повышенная нарушенность массива, вплоть до появления милонитов, наблюдается в его восточном контакте в зоне Яминского глубинного разлома.

Массивы жерновского комплекса хорошо выражены в геофизических полях. На карте остаточных аномалий силы тяжести им соответствуют интенсивные отрицательные значения (до -8 – -10 мгл в эпицентрах). Исключением является Воеводский массив, который проявлен седловинным понижением в поле остаточных аномалий, что свидетельствует, по-видимому, о его “безкорневом” характере.

В аэромагнитном поле массивы сопровождаются дифференцированными значениями магнитности от -1 до +10 мЭ. Максимальные значения наблюдаются в крайних приконтактовых зонах массивов в виде узких линейных аномалий. Они отмечаются в восточной части Еландинского и Горновского массивов и в южной части Бийского массива. Для Воеводского массива характерно повышение магнитности от периферии к его центру, причем здесь отмечены максимальные значения для комплекса. Чемровский массив, также как и большая часть Горновского массива, характеризуется спокойным аэромагнитным полем интенсивностью -1 - +1 мЭ.

По имеющимся петрохимическим и петрографическим материалам гранитоиды жерновского комплекса подразделяются на 5 фаз внедрения.

Первая фаза представлена кварцевыми монцонитами, монцодиоритами и, редко, кварцевыми диоритами; вторая – гранодиоритами; третья - умеренно-щелочными меланогранитами (адамелитами), гранитами, нордмаркитами и граносиенитами; четвертая – биотитовыми лейкогранитами; пятая – лейкогранитами с флюоритом.

Кварцевые монцониты и монцодиориты розовато-серые, средне – крупнозернистые, массивные. Структура гипидиоморфнозернистая с элементами пойкилитовой, монцонитовой. Отмечаются порфириовидные разности. Размер зерен слагающих минералов - от 0,8 до 2,5 мм. Минеральный состав кварцевых монцонитов: калиевый полевой шпат - 27-35 %, плагиоклаз - 45-60 %, роговая обманка - 0-15 %, кварц - 10 %. Роговая обманка по составу отвечает переходной разности между эденитом и обыкновенной роговой обманкой (табл. 1). Аксессуарные минералы: апатит, сфен, магнетит и редко циркон. Калиевый полевой шпат пелитизирован, наблюдается слабо выраженная пятнистая микропертитовая структура.

Минеральный состав монцодиоритов: калиевый полевой шпат - 27-35 %, плагиоклаз - 37-42 %, биотит - до 10 %, роговая обманка - до 18 %, в единичных шлифах моноклинный пироксен (до 20%), по составу отвечающий диопсиду (табл. 1). Аксессуарные минералы (сфен, циркон, апатит, рудный) - 1%. Модель распределения РЗЭ отвечает умеренному типу фракционирования (отношения лантана к иттербию составляют 21,6). Они также характеризуются наибо-

1. Представительные анализы темноцветных минералов из пород Горновского массива

Компоненты	Клинопироксен (Монцодиорит)	Амфибол (Граносиенит)	Амфибол (Нордмаркит)	Биотит (Гранит умеренно- щелочной)	Биотит (Лейкогранит)	Биотит (Лейкогранит с флюоритом)
SiO ₂	50,87	38,54	45,10	36,78	36,96	39,21
TiO ₂	0,53	1,69	1,11	3,95	2,21	1,71
Al ₂ O ₃	2,05	12,06	7,61	12,94	16,92	11,42
Fe ₂ O ₃	5,45	13,55	5,72	12,05	9,35	8,42
FeO	4,47	6,98	10,02	13,10	10,0	6,02
MgO	11,40	8,11	11,99	8,07	9,85	12,90
MnO	0,61	0,66	0,72	0,47	0,6	1,83
CaO	22,10	10,55	11,59	0,01	0,01	0,33
Na ₂ O	0,96	2,01	2,67	0,22	0,23	0,23
K ₂ O	0,02	2,35	1,15	9,11	9,46	9,65
F	0,36	1,08	1,45	1,50	2,11	4,31
Cl	0,02	0,07	0,12	0,14	0,17	0,08
H ₂ O ⁺	0,05	0,55	1,25	1,39	2,08	2,95
Сумма	98,89	98,20	100,5	99,93	99,95	98,98

2. Содержания петрогенных компонентов (мас. %), редких и редкоземельных элементов (г/т) в породах Горновского массива

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	74.91	75.33	75.65	69.45	74.11	58.40	68.18	70.31	74.95	76.75
TiO ₂	0.18	0.14	0.15	0.42	0.22	0.75	0.43	0.42	0.18	0.11
Al ₂ O ₃	13.07	13.06	12.88	14.84	12.64	17.81	15.37	14.08	12.48	12.98
Fe ₂ O ₃	2.79	2.39	2.51	3.98	2.86	5.98	3.94	3.19	2.36	0.73
MnO	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.12	0.07	0.06	0.03	0.04
MgO	0.37	0.20	0.19	1.51	0.59	2.44	1.52	1.10	1.79	0.15
CaO	1.03	0.75	0.80	1.82	1.40	3.84	2.64	2.65	1.16	0.32
Na ₂ O	3.20	3.63	3.08	4.24	3.03	3.50	3.88	3.82	3.30	4.10
K ₂ O	4.09	4.57	4.44	3.88	4.87	5.08	3.85	3.02	3.32	3.98
H ₂ O	0.04	0.04	0.04	0.50	0.50	1.25	0.09	0.58	0.52	0.07
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.01	0.08	0.38	0.16	0,05	0.07	0.10
Сумма	99.77	100.18	99.80	100.69	100.35	99.55	100.13	99.23	100.16	99.97
Cs	0.1	3.2	1.8	4.5	8.2	2.9	3.5	2.4	3.3	2.0
Rb	218	255	215	171	175	89	113	107	156	180
Sr	148	65	98	665	104	2021	1209	1063	622	10
Y	36.5	55.0	40.0	4.2	28.0	3.2	7.7	9.6	7.7	16.0
Zr	108	81	108	282	147	434	280	221	119	220
Nb	5.9	4.7	3.5	2.1	4.3	7.5	1.2	3.2	3.4	88
Ba	320	70	170	770	380	2700	1100	1100	590	25
La	19.70	15.6	19.30	39.50	26.20	57.90	58.90	47.00	19.40	3.3
Ce	33.20	26.50	30.90	58.00	44.60	100.80	92.40	69.30	30.00	37
Nd	15.50	12.50	13.70	23.60	21.20	48.90	40.20	28.20	12.90	9.0
Sm	3.50	2.80	2.95	4.70	4.80	11.30	8.50	5.67	2.70	7.0
Eu	0.38	0.30	0.32	0.84	0.57	3.15	1.50	1.44	0.72	0.14
Gd	2.36	2.78	2.37	3.10	3.54	7.67	4.00	5.00	2.40	1.0
Tb	0.47	0.56	0.47	0.44	0.63	1.12	0.62	0.73	0.37	0.91
Yb	2.84	3.56	2.94	0.58	2.30	1.81	1.21	1.18	0.65	1.5
Lu	0.460	0.58	0.480	0.074	0.350	0.240	0.164	0.160	0.090	0.2
Hf	0.04	3.3	3.4	5.1	3.8	11.0	4.9	4.6	3.3	4.6
Ta	0.9	1.0	1.1	0.7	0.9	0.5	0.6	0.6	0.5	4.8
Th	0.12	31.6	26.2	21.5	14.4	8.0	17.1	15.6	17.8	49
(La/Yb) _N	4.7	3.0	4.4	45.9	7.7	21.6	32.8	26.9	20.1	1,38
Eu/Eu*	0.4	0.3	0.4	0.6	0.4	1.0	0.7	0.8	0.8	0,005
Сумма РЗЭ	78.41	65.18	73.43	130.83	104.19	232.89	207.49	158.68	69.23	59,14

Примечание: 1, 5, 9 - лейкограниты, 2 - аплитовидные лейкограниты, 3 - пегматоидные лейкограниты, 4, 7 - адамеллиты, 6 - кварцевые монцодиориты, 8 – граниты, 10 – лейкограниты с флюоритом. Анализы выполнены в АЦ ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск). Нормализация РЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по [2].

лее высокой суммой концентраций РЗЭ из всех пород Горновского массива и отсутствием европиевой аномалии (табл.2).

Меланограниты крупно-среднезернистые с гипидиоморфнозернистыми гранитовыми структурами в разной степени катаклазированные. Минеральный состав меланогранитов: плагиоклаз (альбит-олигоклаз) - 25-30 %, калиевый полевой шпат (микроклин-пертит) - 27-35 %, кварц - 25-30 %, биотит - 10-12 %. Плагиоклаз - альбит-олигоклаз удлиненно-призматический, иногда незначительно серицитизированный, а по краям зерен альбитизированный. Микроклин-пертит обычно свежий, редко слабо пелитизированный. Нередко в нем содержатся вросстки кварца, плагиоклаза, биотита. Характерны порфириовидные выделения микроклин-пертита таблитчатой формы размером до 5x10x20 мм. Кварц, как правило, сильно трещиноват, раздроблен, обладает резко выраженным волнистым и блоковым угасанием. Темноцветные минералы представлены биотитом. Крупные и мелкие листочки биотита изогнуты, расщеплены, часто содержат в себе мелкий короткостолбчатый апатит и игольчатый рутил. По составу относится к ряду истонит-сидерофиллит (табл. 1). Акцессорные минералы - апатит, сфен, магнетит, реже пирит, а в единичных случаях - ортит. Редкоземельные элементы в меланогранитах и адамеллитах показывают высокую степень дифференцированности - нормированные к хондриту отношения (La/Yb)_N варьируют от 32,8 до 45,9 (табл. 2).

Граносиениты - массивные неравнозернистые порфировидные и порфировые, состоят из крупных и мелких зерен пелитизированного микроклин-микрпертита (30-50 %), олигоклаз-андезина (25-30 %), часто включенного в калишпат, кварца с волнистым угасанием (20-25 %), амфибола (1-3 %) и мелких чешуй биотита (1-5 %). Переходы от меланогранитов к граносиенитам постепенные. По характеру зернистости и структурно-текстурным особенностям породы практически не отличаются.

Нордмаркиты - массивные, местами гнейсоватые породы серой, розовато-серой окраски с гипидиоморфнозернистой структурой. В минеральном составе характерен микропойкилитовый полевой шпат (70 %), кварц (15-20 %), эгирин-авгит (3-6 %), роговая обманка (2-5 %), редко биотит. Из акцессориев присутствуют апатит, сфен, циркон, пирит, ортит. Роговая обманка представлена феррогастингситом.

Биотитовые граниты - серые и розовато-серые массивные средне-крупнозернистые с гипидиоморфнозернистой гранитовой структурой породы. Сложены они призматическим альбит-олигоклазом (30-40 %), микроклин-пертитом (30-40 %), кварцем (25-30 %), биотитом (5 %). Изредка отмечается зеленая роговая обманка (до 1-2 %). Акцессорные минералы - апатит, магнетит - до 1 %. Они характеризуются сравнительно меньшей суммой РЗЭ, чем породы первой и второй фаз внедрения, повышенной дифференцированностью РЗЭ и слабо выраженной европиевой отрицательной аномалией (табл. 2).

Лейкограниты 4 фазы внедрения - розовато-серые и светло-серые биотитовые массивные неравнозернистые. Вблизи контакта лейкогранитов с биотитовыми гранитами - порфировидные. Редко отмечаются участки пойкилитовых структур. Состав: микроклин-пертит - 25-40 %, кварц - 30-40 %, альбит-олигоклаз - 30-35 %, биотит - 1-3 %, редко встречается мусковит. Присутствуют микрографические сростки кварца и калишпата размером до 2 мм. Биотит по химическому составу относится к ряду истонит-сидерофиллит. Акцессорные минералы - апатит, магнетит, ортит, циркон. Породы характеризуются небольшой суммой РЗЭ и явной отрицательной аномалией по европию (табл.2).

Лейкограниты с флюоритом 5 фазы - розовато-желтоватой окраски, аналогичны лейкогранитам 4 фазы, но отличаются от них наличием микропегматоидных структур, а также миароловых пустот с флюоритом, биотитом, редко шеелитом, сульфидами. Биотит лейкогранитов 5 фазы содержит максимальную мольную долю фторбиотита (до 26%). В спектре РЗЭ наблюдается резкая европиевая отрицательная аномалия при

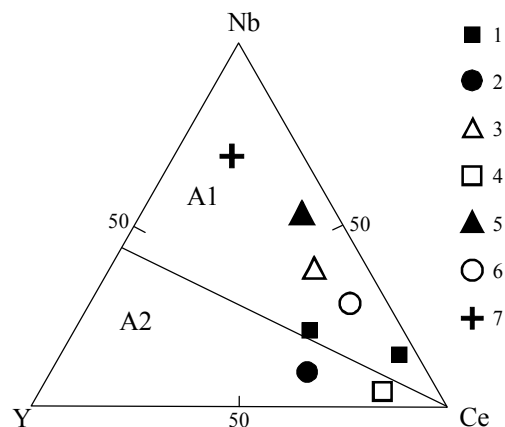


Рис.2. Диаграмм Y-Nb-Ce по [3] для гранитоидов Горновского массива.

Анорогенные гранитоиды по G.N. Eby [3]: A₁ – гранитоиды горячих точек или плюмов; A₂ – гранитоиды постколлизионных обстановок. Гранитоиды Горновского массива: 1- монцодиориты 1 фазы, 2- монцониты 1 фазы, 3- гранодиориты 2 фазы, 4- граниты 3 фазы, 5- лейкограниты 4 фазы лейкограниты, 6- граносиениты 4 фазы, 7- лейкограниты с флюоритом 5 фазы.

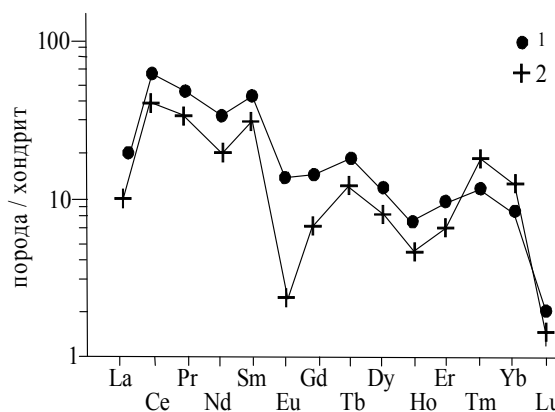


Рис.3. Спектры распределения РЗЭ в лейкогранитах 4 и 5 фаз внедрения Горновского массива.

Концентрации РЗЭ нормированы по хондриту [2]. 1- лейкограниты 4 фазы, 2- лейкограниты с флюоритом 5 фазы внедрения.

3. Отношения некоторых РЗЭ и значения тетрадного эффекта

Отношения элементов	Лейкограниты 4 фазы	Лейкограниты с флюоритом 5 фазы
Y/Ho	133.3	76.19
Eu/Eu*	0.03	0.005
La/Lu	74.8	16.5
Zr/Hf	42,7	47,8
Sr/Eu	46,1	71,4
TE _{1,3}	1.38	1.73

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект по В. Ирбер [5]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

минимальном значении фракционирования ($La/Yb_N = 1.38$). При этом сумма РЗЭ из всех пород в лейкогранитах с флюоритом самая низкая (табл.2).

По концентрациям бария, стронция, повышенной бороносности породы Горновского ареала относятся к латитовой серии и весьма близки к породам айского комплекса [1]. Гранитоиды Горновского массива по минеральному и химическому составу классифицируются анорогенным А-типом гранитов. На диаграмме Y–Nb–Ce (рис.2) доминирующая часть пород попадает в область A_1 - типа гранитов, генерация которых осуществляется в обстановках плюмов и горячих мантийных точек по [3].

В связи с тем, что в породах Горновского массива дифференциация РЗЭ проявлена неравномерно, а наибольший интерес в отношении рудоносности представляют заключительные фазы внедрения в интрузиях латитовой серии, рассмотрим более детально поведение лантаноидов в лейкогранитах 4 и лейкогранитах с флюоритом 5 фазы внедрения.

В спектре распределения РЗЭ в анализируемых лейкогранитах (рис.3) наблюдается близкое и согласованное распределение элементов, а характер кривой (выгнутой) указывает на М-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Весьма изрезанная кривая распределения РЗЭ указывает на значительные величины тетрадного эффекта в лейкогранитах массива. Расчеты величины последнего по [5] показали, что его значения увеличиваются от лейкогранитов 4 фазы к лейкогранитам 5 фазы внедрения (от 1,38 до 1,73) (табл.3). Параллельно с этим происходит увеличение отношений Zr/Hf, Sr/Eu и уменьшение почти на порядок значения отношений Eu/Eu* в породах заключительной фазы. Поведение отношений Y/No и La/Lu имеет обратный характер. С увеличением величины тетрадного эффекта происходит снижение указанных отношений (табл.3). Как видно из приведенных фактов, тетрадный эффект сопровождается изменением поведения при фракционировании и других элементов, получивших название не характерным поведением по [3, 6], резко отличающимся от концентраций и соотношений элементов в хондритах. Такое поведение наблюдается в высоко эволюционировавших магматических системах, которые обогащены H_2O , CO_2 , а также такими элементами, как Li, B, F, Cl. Анализируемые системы могут считаться переходными от чистых силикатных расплавов к водным флюидным [3, 6].

Анализ поведения редких элементов, фтора и значений редкометалльного индекса показывает, что от ранних фаз внедрения к заключительным происходит закономерное их изменение с увеличением концентраций олова, вольфрама и редкометалльного индекса в лейкогранитах с флюоритом (до 58142,8) (табл.4).

4. Концентрации редких элементов и значения редкометалльного индекса в породах Горновского массива (F - в масс. %, остальные элементы - в г/т)

Породы	F	Li	Rb	Sr	Ba	Sn	Be	W	$F(Li+Rb) / (Sr+Ba)$
Монзониты	0,05	20,8	105	2710	1980	2	8,1	1,5	13,4
Монцодиориты	0,06	22,3	115	1250	1120	2,4	6,3	1,8	34,7
Диориты	0,09	28,4	120,5	970	850	2,7	6,0	1,7	73,63
Гранодиориты	0,15	35,2	134,8	480	410	5,2	5,0	3,3	286,5
Кварцевые сиениты	0,11	20,0	110	7250	1970	6,8	4,0	3,2	15,5
Граносиениты	0,12	28,6	80,3	750	805	6,7	6,5	4,7	84,0
Граниты	0,18	52,0	150	290	340	7,1	5,5	8,3	577,1
Лейкограниты	0,25	10,5	170	30	50	11,2	7,0	10,1	5640,6
Лейкограниты с флюоритом	1,10	15,0	180	10	25	20,6	1,2	18,7	58142,8

Полученные значения редкометалльного индекса для лейкогранитов с флюоритом весьма близки к таковому в рудоносных латитовых сериях. Следовательно, приведенные параметры гранитоидов, закономерные изменения признаков рудоносности, повышенные содержания летучих компонентов и особенно фтора, бора и других указывают на потенциальную рудоносность изученных массивов. Наибольшее значение имеют осложняющие выступы гранитоидов, сложенные лейкогранитами с флюоритом 5 фазы. В пределах Яминского участка Еландинского массива на участке развития указанных лейкогранитов обнаружено проявление олова, связанное с кварцевыми жилами и представленное вкрапленностью касситерита, халькопирита, висмутита, пирита. В лейкогранитах этого же массива обнаружены зоны сульфидизации с медно-цинковым оруденением, а также кварцевые жилы со свинцово-серебряным оруденением.

В пределах Горновского массива в области развития лейкогранитов с флюоритом обнаружено проявление кварц-шеелитового типа с вкрапленностью шеелита, халькопирита, пирита, висмутита. При бурении скважин в шламe установлены касситерит, пирит, халькопирит. С восточной частью Горновского массива совпадают шлиховые ореолы касситерита, а также первичные геохимические ореолы олова (0,0012%), сурьмы (0,2%), меди (0,05-0,3%), свинца (0,03-0,4%), цинка (0,01-0,3%), приуроченные к контактовым роговикам и кварц-турмалиновым метасомати-

там. К экзоконтакту Горновского массива приурочены кварцевые проявления со свинцово-серебряным оруденением. Следует отметить, что области распространения гранитоидов Горновского ареала сопровождаются многочисленными источниками с повышенными концентрациями серебра (Бехтемирский, Малоенисейский, Боровой, Луговской, Воеводский, Верхне-Шубинский, Чемровский и другие источники), обладающие оптимальными бальнеологическими свойствами.

Литература

1. Емельянова Ю.В., Гусев А.И. Петрология и рудоносность интрузий айского комплекса // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. Горно-Алтайск, 2005, № 2, с. 62-68.
2. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1989, v.53, pp. 197-214.
3. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996, v.123, pp. 323-333.
4. Eby G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications // *Geology.* 1992. V.20, pp. 641-644.
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 granitic suites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1999, v. 63, pp. 489-508.
6. London D. Internal differentiation of rare-element pegmatites: effect of boron, phosphorus and fluorine // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1987, v. 51, pp. 403-420.