УДК 552.3

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ ЖЕРНОВСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА САЛАИРА

Гусев А.И.

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

В статье приведены данные по петрографии, геохимии, петрологии и рудоносности гранитоидов жерновского комплекса Салаира. В составе комплекса выделены 5 фаз. Охарактеризованы кварцевые монцониты, монцодиориты, гранодиориты, меланограниты, граносиениты, нордмаркиты, лейкограниты, лейкограниты с флюоритом. Уран-свинцовым датированием возраст пород определён в 249,8 млн. лет. По комплексу признаков гранитоиды отнесены к шошонитовой серии. В лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом проявлен М- тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. По соотношениям изотопов стронция и неодима расплавы гранитоидов близки к мантийному источнику типа EM II. Генерация гранитоидов происходила в результате мантийно-корового взаимодействия. С массивами гранитоидов связано кварцево-грейзеновое оруденение олова, вольфрама и молибдена.

Ключевые слова: гранитоиды, шошонитовая серия, тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ, кварцево-грейзеновое оруденение олова, вольфрама, молибдена

PETROLOGY AND ORE MINERALIZATION OF GRANITOIDS SCHERNOVSKOI INTRUSIVE COMPLEX OF SALAIR

Gusev A.I.

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

Data of petrography, geochemistry, petrology and ore mineralization of granitoids schernovskoi complex of Salair lead. Five phases detached in composition of complex. Quartz diorites, monzodiorites, granodiorites, melanogranites, granosientes, nordmarkites, leucogranites, leucogranites with fluorites characterized. Age of rocks by U-Pb method defined in 249,8 mln. Years. Granitoids on complex features refer to shoshonitic series. M-type tetrad effect fractionation REE display in leucogranites, leucogranites with fluorites. Melts of granitoids are near to mantle source type of EM II on ratio of isotopes of strontium and neodium. Generation of granitoids happened in result of mantle-crust interaction. Quartz-greisen ore mineralization of tin, tungsten and molybdenium.

Keywords: granitoids, shoshonitic series, tetrad effect fractionation REE, quartz-greisen ore mineralization, tin, tungsten and molybdenium.

Покровно-складчатое Салаирское сооружение занимает крайне северо-западное положение в системе Алтае-Саянской складчатой области. В его пределах получили развитие породы самых различных возрастов и составов. Большую часть эффузивно-интрузивных комплексов Салаирского кряжа связано с салаирской фазой складчатости. Однако и после герцинского тектогенеза в этом районе проявились своеобразные интрузивные комплексы триасового возраста, включающие монцониты, кварцевые диориты, умеренно-щелочные граниты, лейкограниты, редко – нордмаркиты, объединяемые в единый жерновской комплекс [1]. В пространственной связи с гранитоидами жерновского комплекса обнаруживаются проявления и геохимические аномалии олова, свинца, цинка и других элементов.

Цель исследования – осветить петролого-геохимические особенности гранитоидов жерновского комплекса и их рудоносность.

Результаты исследований. Гранитоидные массивы жерновского комплекса распространены в пределах Салаира, где они образуют меридиональный пояс, представленный Улантовским, Жерновским, Каменским и Горновским ареалами. Улантовский ареал включает лейкократовые граниты центральной и северной части Улантовского полихронного плутона (Чемский массив), роговообманково-биотитовые граниты и реже граносиениты, слагающие восточную часть Коуракского плутона (Тарсьминский массив). Жерновский ареал состоит из одноименного массива, биотитовых и амфибол-биотитовых гранитов центральной части Выдрихинского плутона и ряда мелких тел к юго-востоку от него, Горновский – объединяет Горновский, Еландинский, Бийский (Луговской), Чемровский и Воеводский массивы. В составе комплекса резко преобладают меланограниты и граниты второй и третьей фаз, в подчиненном количестве присутствуют кварцевые монцодиориты, граносиениты и лейкограниты. Наиболее крупным является Горновский массив, площадь выхода которого на погребенной поверхности палеорельефа составляет более 712 км^2 и может классифи-

цироваться как батолит. Площади других массивов составляют от 64 (Еландинский массив) до 130 км^2 (Воеводский массив).

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 фаза – гранодиоритами. Третья фаза – умеренно-щелочные меланограниты (адамелиты), граниты и граносиениты. Четвертая фаза – биотитовые лейкограниты. Пятая фаза – лейкограниты с флюоритом.

Кварцевые монцониты и монцодиориты розовато-серые, средне – крупно зернистые, массивные. Структура: гипидиоморфнозернистая с элементами пойкилитовай, монцонитовой. Отмечаются порфировидные 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. Акцессорные 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. Акцессорные минералы (сфен, циркон, апатит, рудный) – 1%. Модель распределения РЗЭ отвечает умеренному типу фракционирования (отношения лантана к иттербию составляют 21,6). Они также характеризуются наиболее высокой суммой концентраций РЗЭ из всех пород Горновского массива и отсутствием европиевой аномалии (табл. 1).

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 вростки кварца, плагиоклаза, биотита. Характерны порфировидные выделения микроклин-пертита таблитчатой формы размером до 5х10х20 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. 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. 1).

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

Нордмаркиты розовато-серой окраски, массивные, местами гнейсоватые. Микроструктура гипидиоморфнозернистая. Минеральный состав характеризуется преобладанием микропертиового полевого шпата (70-75%), кварца (15-20%), эгирин-авгита (3-4%), амфибола (3-5%), редко биотита (1-2%). Акцессорные минералы: апатит, сфен, пирит, циркон, ортит.

Биотитовые граниты серые и розовато-серые массивные средне- крупнозернистые с гипидиоморфнозернистой гранитовой структурой. 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. 1).

Таблица 1

Содержания петрогенных компонентов (мас. %), редких и редкоземельных элементов (ppm) в породах Горновского массива (P_2-T_1).

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	74.91	75.33	75.65	69.45	74.11	58.40	68.18	66,07	70.31	74.95	76.75
TiO_2	0.18	0.14	0.15	0.42	0.22	0.75	0.43	0,42	0.42	0.18	0.11
Al_2O_3	13.07	13.06	12.88	14.84	12.64	17.81	15.37	17,76	14.08	12.48	12.98
Fe_2O_3	2.79	2.39	2.51	3.98	2.86	5.98	3.94	2,05	3.19	2.36	0.73
MnO	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.12	0.07	0,04	0.06	0.03	0.04
MgO	0.37	0.20	0.19	1.51	0.59	2.44	1.52	0,49	1.10	1.79	0.15
CaO	1.03	0.75	0.80	1.82	1.40	3.84	2.64	0,54	2.65	1.16	0.32
Na_2O	3.20	3.63	3.08	4.24	3.03	3.50	3.88	5,53	3.82	3.30	4.10
K_2O	4.09	4.57	4.44	3.88	4.87	5.08	3.85	5,76	3.02	3.32	3.98
H_2O	0.04	0.04	0.04	0.50	0.50	1.25	0.09	0,10	0.58	0.52	0.07
P_2O_5	0.03	0.03	0.03	0.01	0.08	0.38	0.16	0,33	0,05	0.07	0.10
Сумма	99.77	100.2	99.80	100.69	100.35	99.55	100.13	99,09	99.23	100.2	99.97
Cs	0.1	3.2	1.8	4.5	8.2	2.9	3.5	5,3	2.4	3.3	2.0
Rb	218	255	215	171	175	89	113	165	107	156	180
Sr	148	65	98	665	104	2021	1209	875	1063	622	10
Y	36.5	55.0	40.0	4.2	28.0	3.2	7.7	12,1	9.6	7.7	16.0
Zr	108	81	108	282	147	434	280	309	221	119	220
Nb	5.9	4.7	3.5	2.1	4.3	7.5	1.2	3,8	3.2	3.4	88
Ba	320	70	170	770	380	2700	1100	987	1100	590	25
La	19.70	15.6	19.30	39.50	26.20	57.90	58.90	55,6	47.00	19.40	3.3
Ce	33.20	26.50	30.90	58.00	44.60	100.80	92.40	88,7	69.30	30.00	37
Nd	15.50	12.50	13.70	23.60	21.20	48.90	40.20	33,5	28.20	12.90	9.0
Sm	3.50	2.80	2.95	4.70	4.80	11.30	8.50	7,8	5.67	2.70	7.0
Eu	0.38	0.30	0.32	0.84	0.57	3.15	1.50	1,57	1.44	0.72	0.14
Gd	2.36	2.78	2.37	3.10	3.54	7.67	4.00	4,5	5.00	2.40	1.0
Tb	0.47	0.56	0.47	0.44	0.63	1.12	0.62	0,7	0.73	0.37	0.91
Yb	2.84	3.56	2.94	0.58	2.30	1.81	1.21	1,3	1.18	0.65	1.5
Lu	0.460	0.58	0.480	0.074	0.350	0.240	0.164	0,17	0.160	0.090	0.2
Hf	0.04	3.3	3.4	5.1	3.8	11.0	4.9	3,9	4.6	3.3	4.6
Ta	0.9	1.0	1.1	0.7	0.9	0.5	0.6	0,55	0.6	0.5	4.8
Th	0.12	31.6	26.2	21.5	14.4	8.0	17.1	18,2	15.6	17.8	49
La/YbN	4.7	3.0	4.4	45.9	7.7	21.6	32.8	31,7	26.9	20.1	1,38
Eu/Eu*	0.4	0.3	0.4	0.6	0.4	1.0	0.7	0,72	0.8	0.8	0,005
∑РЗЭ	78.41	65.18	73.43	130.83	104.19	232.89	207.49	193,85	158.68	69.23	59,14

Примечание. 1, 5, 10 – лейкограниты, 2 – аплитовидные лейкограниты, 3 – пегматоидные лейкограниты, 4, 7 – адамеллиты , 6 – кварцевые монцодиориты, 8 – нордмаркиты, 9 – граниты, 11 – лейкограниты с флюоритом. Анализы выполнены в АЦ ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск). Нормализация некоторых РЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по [6].

Лейкограниты 4 фазы внедрения розовато-серые и светло-серые биотитовые массивные неравномернозернистые. 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 срастки кварца и калишпата размером до 2мм. Биотит по химическому составу относится к ряду истонит-сидерофиллит. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, ортит, циркон. Характеризуются небольшой суммой РЗЭ и явной отрицательной аномалией по европию (табл. 1).

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. В спектре РЗЭ наблюдается резкая европиевая отрицательная аномалия при небольшом фракционировании. При этом сумма РЗЭ из всех пород в лейкогранитах с флюоритом самая низкая (табл. 1).

Абсолютный возраст пород жерновского комплекса ($^{206}Pb/^{238}U$) составляет 250.3 ± 0.8 млн лет (возраст $^{207}Pb/^{206}Pb$ соответствует 243.8 ± 6.9 млн лет). Среднее значение возраста ($^{206}Pb/^{238}U$) 249.8 ± 1.6 млн лет (СКВО=1.2) трех проанализированных фракций согласуется с возрастом конкордантного циркона и является наиболее достоверной оценкой времени его кристаллизации и соответственно формирования лейкогранитов Еландинского массива.

По концентрациям бария, стронция, повышенной бороносности породы Горновского ареала относятся к шошонитовой серии и весьма близки к породам айского комплекса Горного Алтая [2].

В связи с тем, что в породах Горновского массива дифференциация РЗЭ проявлена не равномерно, 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 наблюдается близкое и согласованное распределение элементов, а характер кривой (выгнутой) указывает на М-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

Расчеты величины тетрадного эффекта по [5] показали, что его значения увеличиваются от лейкогранитов 4 фазы к лейкогранитам 5 фазы внедрения (от 1,38 до 1,73) (табл. 2) [4]. 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/Ho и La/Lu имеет обратный характер. С увеличением величины тетрадного эффекта происходит снижение указанных отношений (табл.2). Как видно из приведенных фактов, тетрадный эффект сопровождается изменением поведения при фракционировании и других элементов, получивших название не характерным поведением по [7, 8]. 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 [7, 8].

Таблица 2

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 [8]. $Eu^* = (Sm_N + Gd_N)/2$.

В координатах K_2O- SiO_2 все породы жерновского кмплекса попадают в шошонитовое поле, а по содержанию растягиваются от абсарокитов до банакитов через шошониты. По составу биотитов пород жерновского комплекса они также относятся к шошонитовым гранитоидам [3, 5].

Рудоносность гранитоидов жерновского комплекса. 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). Полученные значения редкометалльного индекса весьма близки к таковому в рудоносных латитовых сериях.

Следовательно, приведенные параметры гранитоидов, закономерные измене-

ния признаков рудоносности, повышенные содержания летучих компонентов, и особенно, фтора, бора и других указывают на потенциальную рудоносность изученных массивов. В пределах Яминского участка Еландинского массива обнаружено проявление олова, связанное с кварцевыми жилами и вкрапленностью касситерита, халькопирита, висмутина, пирита. Местами такие жилы сопровождаются грейзенизацией. В таких случаях появляются мусковит, цинвальдит, турмалин, берилл, пирротин, вольфрамит, арсенопирит, молибденит. Содержание олова в кварцевых жилах варьируют от 0,1 до 0,45%. В кварцево-грейзеновых жилах помимо касситерита отмечается станнин и содержание олова варьирует от 0,3 до 0,9%. В лейкогранитах этого же массива обнаружены зоны сульфидизации с медно-цинковым оруденением, а также кварцевые жилы со свинцово-серебряным оруденением. Намечаются две основные стадии минерализации – ранняя кварц-цинвальдитовая с касситеритом и более поздняя – кварц-сульфидная с преобладанием сфалерита. Температуры гомогенизации оловоносного кварца ранней стадии 345-350 °С, а более поздней – кварц-сульфидной – 210 °С.

В пределах Горновского массива в области развития лейкогранитов с флюоритом обнаружено проявление кварц-шеелитового типа с вкрапленностью шеелита, халькопирита, пирита, бисмутита. При бурении скважин в шламе 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 метасоматитам. К экзоконтакту Горновского массива приурочены жильные кварцевые проявления со свинцово-серебряным оруденением.

Интерпретация результатов. Полученные результаты показывают, что гранитоиды жерновского комплекса Салаира имеют весьма близкие характеристики к шошонитовым гранитоидам, развитым в Горном Алтае (Айский массив, Теранджикский ареал гранитоидов).

Соотношения изотопов стронция и неодима в гранитоидах Луговского массива ($\varepsilon(Nd)_t$ варьируют от 1,93 до 2,93, а $\varepsilon(Sr)_t$ – от 21,12 до 31,3) позволяют связывать их формирование с плавлением мантийного источника типа EM II (табл. 4).

Таблица 4

Значения параметров $\varepsilon(Nd)_t$ и $\varepsilon(Sr)_t$ для пород луговского интрузивного массива

Породы и фазы внедрения	$\varepsilon(Nd)_t$	$\varepsilon(Sr)_t$
Кварцевые монцодиориты	1,95	31,3
Кварцевые монцодиориты	1,93	30,2
Нордмаркиты	2,11	29,71
Граниты умеренно-щелочные	2,69	21,12
Лейкограниты	2,93	22,31

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва).

Заключение

Описанные породы по всем параметрам близки к шошонитовой серии, которая всегда характеризовалась различной минерагенической спецификой. В случае Салаирского кряжа с шошонитовыми гранитоидами жерновского комплекса связано кварцево-грейзеновое оруденение олова, молибдена, вольфрама. В лейкогранитах и лейкогранитах с флюоритом проявлен М- тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Минерагения и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.

2. Гусев А.И. Петро-геохимия и потенциальная рудоносность интрузий айского комплекса Горного Алтая // Отечественная геология, 2012. – № 1. – С. 63-70.

3. Гусев А.И. Классификация гранитоидов на основе составов биотитов // Успехи современного естествознания, 2010. – № 4. – С. 57-59.

4. Гусев А.А., Гусев А.И. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания, 2011. – № 5. – С. 45-49.

5. Gusev A.I. The shoshonitic granitoids of Altai-Sajan folded area: petrology and ore mineralization // European Journal of Natural History, 2011. – № 1. – P. 41-45.

6. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. – V.53. – Pp. 197-214.

7. 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.

8. 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.