

## КСЕНОЛИТЫ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ ОРТОГНЕЙСОВ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ГРАНИТОИДЫ ОСИНОВСКОГО МАССИВА

Е.А. Зинькова, О.Б. Азовскова, Г.Б. Ферштатер

Осиновский гранитоидный массив расположен в северо-западной части Сысертско-Ильменогорского антиклинория на Среднем Урале, среди высокометаморфизованных пород Сысертского комплекса. Ранее массив был описан Г. А. Кейльманом [Кейльман, 1958] как Сысертская гранитная интрузия. По результатам геологосъемочных работ (Ярославцев, Южаков и др., 1995) гранитоиды этого массива отнесены к раннекаменноугольным интрузивным образованиям. Более подробные данные о геологическом строении, петрографических и петрохимических особенностях пород массива читатель найдет в работе [Зинькова, Азовскова, 2003].

Гранитоиды массива прорывают вмещающие гнейсы и содержат в себе их ксенолиты. По петрографическим данным выделяется два их типа. Первый – это гипидиоморфнозернистые роговообманково-биотитовые гранодиорито-гнейсы, содержащие зерна эпидота магматического облика с ядрами ортита и в сростаниях с биотитом (рис. 1.), гранат, апатит, сфен, циркон. Второй тип – это гранат-биотит-роговообманковые гнейсы с ярко выраженной лепидогранобластовой структурой; в них отсутствуют акцессории, характерные для первой группы гнейсов: эпидот, ортит, сфен, а гранат, биотит и амфибол имеют другой состав.

Нами изучались химические составы минералов гнейсов первой группы. Данные микрозондового анализа приведены в таблицах 1 и 2. Амфибол представлен ферропаргаситом [Leake et al, 1997], плагиоклаз  $An_{22-26}$ , биотит представлен аннитом [Дир и др., 1965], гранат гроссуляр-

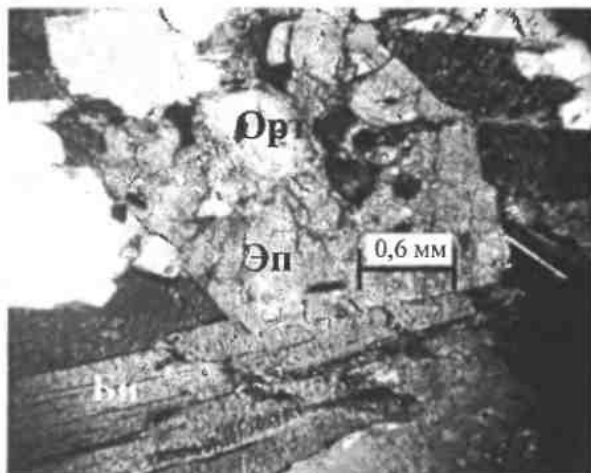


Рис. 1. Фото шлифа роговообманково-биотитового гранодиорито-гнейса. Эпидот (Эп) магматического облика с ядром ортита (Орт), в сростании с биотитом (Би). Никколи скрещены.

Таблица 1

Химический состав (мас.%) плагиоклаза (1-4), роговой обманки (5-8), биотита (9-12) из гранодиорито-гнейса Ос-3-162, включенного в гранитоиды Осиновского массива

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Pl-1	Pl-2	Pl-3	Pl-4	Hb-1	Hb-2	Hb-3	Hb-4	Bi-1	Bi-2	Bi-3	Bi-4
SiO <sub>2</sub>	61.59	61.64	61.48	61.40	39.96	40.74	41.47	41.27	37.72	37.02	36.65	37.17
TiO <sub>2</sub>					1.04	1.04	1.01	0.86	3.16	3.20	3.34	3.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.67	24.10	24.10	24.01	14.27	14.69	14.68	14.62	17.12	16.56	17.09	17.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>									0.18	0.16	0.22	0.06
FeO	0.09	0.01	0.03	0.04	21.24	20.38	20.90	21.54	22.01	22.36	22.38	21.52
MnO					0.42	0.46	0.38	0.38	0.25	0.21	0.29	0.31
MgO					6.82	7.23	7.27	7.01	9.21	9.13	9.41	9.34
CaO	5.45	5.84	4.99	4.90	11.33	11.17	11.34	11.18	0.04	0.05	0.10	0.09
Na <sub>2</sub> O	9.06	8.91	9.61	9.35	2.02	1.94	1.77	1.80	0/07	0/05	0.10	0.08
K <sub>2</sub> O	0.37	0.34	0.32	0.34	1.99	1.91	1.98	1.98	10.98	11.18	10.55	10.88
Сумма	100.24	100.94	100.54	100.04	99.15	99.57	100.89	100.72	100.73	99.92	100.13	100.14
Коэффициенты кристаллохимических формул												
Si	2.741	2.729	2.728	2.735	6.112	6.152	6.186	6.185	5.778	5.752	5.668	5.722
Ti					0.120	0.119	0.114	0.097	0.364	0.373	0.388	0.384
Al	1.242	1.256	1.261	1.261	2.574	2.615	2.581	2.583	3.093	3.033	3.116	3.153
Fe <sup>2+</sup>	0.003	0.001	0.001	0.002	2.717	2.573	2.608	2.700	2.820	2.906	2.894	2.771
Mn					0.054	0.059	0.048	0.048	0.033	0.027	0.038	0.040
Mg					1.554	1.628	1.615	1.567	2.102	2.115	2.169	2.143
Ca	0.260	0.276	0.238	0.234	1.857	1.808	1.813	1.796	0.006	0.008	0.017	0.015
Na	0.782	0.764	0.827	0.808	0.599	0.567	0.512	0.524	0.021	0.016	0.029	0.022
K	0.21	0.019	0.018	0.019	0.389	0.368	0.377	0.378	2.145	2.215	2.082	2.137
Сумма Fe/(Fe+Mg)					0.64	0.61	0.62	0.63	8.000	8.000	8.000	8.000
Al/Si	0.453	0.460	0.462	0.461	0.421	0.425	0.417	0.418	0.57	0.58	0.57	0.56

Примечание. Кристаллохимические формулы пересчитаны на атомы кислорода: 8 -- для плагиоклаза, 23 -- для роговой обманки и биотита.

Таблица 2

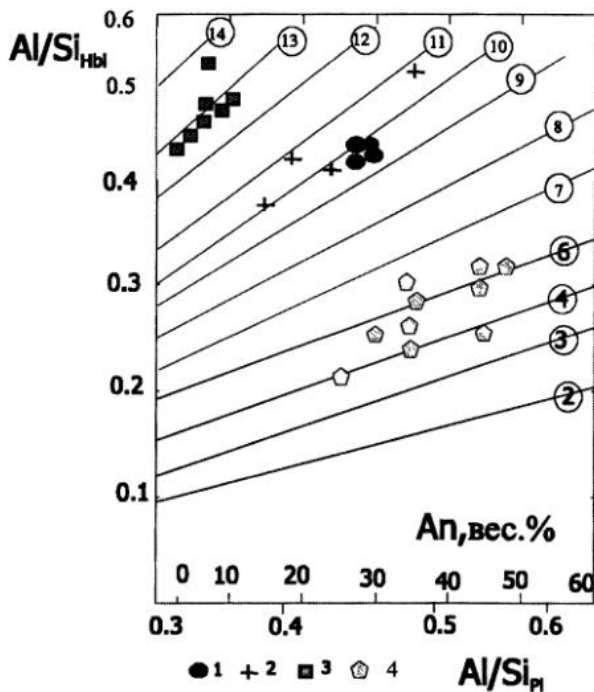
Химический состав (мас.%) граната (1-4), сфена (5-8), эпидота (9-12) из гранодиорито-гнейса Ос-3-162, включенного в гранитоиды Осиновского массива

Компонент	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
	Ga-1	Ga-2	Ga-3	Ga-4	Sph-1	Sph-2	Sph-3	Sph-4	Sph-1	Sph-2	Sph-3	Sph-4	Sph-1	Sph-2	Sph-3	Sph-4	Ep-1	Ep-2	Ep-3	Ep-4	Ep-1	Ep-2	Ep-3	Ep-4
SiO <sub>2</sub>	36.95	36.59	36.25	36.27	30.50	30.19	30.10	30.38	30.50	30.19	30.10	30.38	38.98	38.31	38.54	39.03	38.98	38.31	38.54	39.03	38.98	38.31	38.54	39.03
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.19	0.14	0.20	40.45	40.50	41.39	40.52	40.45	40.50	41.39	40.52	0.22	0.15	0.23	0.18	0.22	0.15	0.23	0.18	0.22	0.15	0.23	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.11	21.13	21.09	21.75	0.18	0.10	0.10	0.11	0.18	0.10	0.10	0.11	26.33	26.39	26.03	26.09	26.33	26.39	26.03	26.09	26.33	26.39	26.03	26.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06												
FeO*	23.41	23.51	23.12	23.29	0.61	0.72	0.69	0.65	0.61	0.72	0.69	0.65	10.49	11.51	10.45	11.53	10.49	11.51	10.45	11.53	10.49	11.51	10.45	11.53
MnO	4.72	5.01	5.28	4.67	0.03	0.19	0.14	0.08	0.03	0.19	0.14	0.08	0.24	0.24	0.26	0.21	0.24	0.24	0.26	0.21	0.24	0.24	0.26	0.21
MgO	2.24	2.28	2.39	2.28	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.11	0.11	0.09	0.09	0.11	0.11	0.09	0.09	0.11	0.11
CaO	11.62	11.62	11.47	11.37	28.24	28.35	28.05	28.01	28.24	28.35	28.05	28.01	22.71	22.74	23.24	22.93	22.71	22.74	23.24	22.93	22.71	22.74	23.24	22.93
Сумма	100.27	100.34	99.86	99.83	100.17	100.20	100.56	100.09	100.17	100.20	100.56	100.09	98.01	98.30	97.81	98.93	98.01	98.30	97.81	98.93	98.01	98.30	97.81	98.93
Коэффициенты кристаллохимических формул																								
Si	2.938	2.916	2.906	2.895	0.9162	0.9088	0.9019	0.9152	0.9162	0.9088	0.9019	0.9152	3.140	3.089	3.121	3.124	3.140	3.089	3.121	3.124	3.140	3.089	3.121	3.124
Ti	0.012	0.012	0.009	0.012	0.9138	0.9170	0.9329	0.9180	0.9138	0.9170	0.9329	0.9180	0.013	0.009	0.014	0.011	0.013	0.009	0.014	0.011	0.013	0.009	0.014	0.011
Al	1.978	1.985	1.993	2.047	0.0062	0.0034	0.0036	0.0040	0.0062	0.0034	0.0036	0.0040	2.501	2.509	2.485	2.462	2.501	2.509	2.485	2.462	2.501	2.509	2.485	2.462
Cr					0.0014	0.0015	0.0	0.0010	0.0014	0.0015	0.0	0.0010												
Fe <sup>2+</sup> (*)	1.556	1.556	1.550	1.555	0.0152	0.0181	0.0173	0.0163	0.0152	0.0181	0.0173	0.0163	0.636	0.698	0.637	0.695	0.636	0.698	0.637	0.695	0.636	0.698	0.637	0.695
Mn	0.318	0.338	0.359	0.315	0.0009	0.0049	0.0036	0.0019	0.0009	0.0049	0.0036	0.0019	0.016	0.017	0.018	0.014	0.016	0.017	0.018	0.014	0.016	0.017	0.018	0.014
Mg	0.265	0.270	0.286	0.271	0.0034	0.0034	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034	0.0035	0.0035	0.011	0.011	0.013	0.014	0.011	0.011	0.013	0.014	0.011	0.011	0.013	0.014
Ca	0.990	0.992	0.985	0.973	0.9090	0.9147	0.9007	0.9043	0.9090	0.9147	0.9007	0.9043	1.961	1.964	2.017	2.014	1.961	1.964	2.017	2.014	1.961	1.964	2.017	2.014
Сумма	8.057	8.079	8.088	8.068									20.27	21.76	20.40	22.01	20.27	21.76	20.40	22.01	20.27	21.76	20.40	22.01
Alm	0.497	0.495	0.487	0.499																				
Sps	0.102	0.107	0.113	0.101																				
Prp	0.085	0.085	0.090	0.087																				
Crts	0.316	0.313	0.310	0.312																				
Ps**																								

Примечание. Кристаллохимические формулы пересчитаны на атомы кислорода: 12 - для граната, 5 - для сфена, 13 - для эпидота, \* - для эпидота Fe<sup>3+</sup>, \*\* - Ps = Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Al)

Рис. 2. Диаграмма  $Al/Si_{Hb} - Al/Si_{Pl}$  – модифицированный роговообманковый барометр [Ферштатер, 1990].

Тонкие линии, маркированные цифрами в кружках – изобары, цифры – давление, кбар. 1 – гранодиорито-гнейс, включенный в гранитоиды Осиновского массива. Для сравнения показаны: 2 – гнейсы Кокчетавского комплекса [Перчук и др., 1995], 3 – высокобарические метаграниты района г. Белой, Чашковского гранитного массива и Харлушинского комплекса Челябинского массива [Ферштатер и др., 2002], 4 – породы Верхисетского массива.



альмандинового ряда, для сфена характерно низкое содержание глинозема; эпидот содержит 20-22% пистацитовой молекулы. Согласно роговообманково-плагноклазовому геобарометру [Ферштатер, 1990], гнейсы образовались при  $P_{\text{общ}} = 9-10$  кбар (рис.2). На диаграмме  $Al/Si_{Hb} - Al/Si_{Pl}$  они ложатся в поле гнейсов Кокчетавского комплекса и несколько уступают по давлению высокобарическим метагранитам района г. Белой, Чашковского гранитного массива и Харлушинского комплекса [Ферштатер и др., 2002]. Определения давлений формирования гнейсов нами проводились также по другим геобарометрам, что показало хорошую сходимость результатов: ~ 9,8 кбар [Hollister et al, 1987]; 9,3-9,4 кбар [Schmidt, 1992] – по содержанию глинозема в роговой обманке; 8,4-10,4 кбар [Kohn et al, 1990] – по роговообманково-гранат-плагноклазовому парагенезису.

Температуры образования гнейсов, рассчитанные по составу роговой обманки – 661-689°C [Otten, 1984], по биотит-гранатовым термометрам – 662-680°C [Bhattacharya et al., 1992] и ~ 650°C [Перчук, 1967] на наш взгляд несколько завышены. Приведенные выше данные по термобарометрии говорят о преобразовании ортогнейсов, вмещающих гранитоиды Осиновского массива, в условиях верхней амфиболитовой либо низкой эклогитовой фаций метаморфизма. Низкое содержание пистацита в эпидоте (20-22%) служит независимым и дополнительным подтверждением высокобарической природы ортогнейсов. По последним литературным данным, величина пистацитовой молекулы в эпидоте находится в обратно пропорциональной зависимости от общего давления образования как магматических [Reusser, 1999], так и метаморфических [Raquin, 1999] пород.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что полоса высокобарических пород кислого состава протягивается от широты Губенского массива (пос. Кусинская Магнитка) на юге [Бородина и др., 2002] через Уфалейский комплекс [Шардакова, Шагалов, 2003] до широты пос. Асбест на севере, то есть на протяжении более 200 км. Эта полоса фиксирует долгоживущую сутуру, залеченную разнообразными орогенными магматическими и тектоническими процессами.

Список литературы

Бородина Н.С., Ферштатер Г.Б., Прибавкин С.В. и др. Фации гранитных пород, ассоциирующихся с габброидами Кусинско-Копанской интрузии // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 95-99.

Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 3. М.: Мир, 1965. 216 с.

Зинькова Е.А., Азовскова О.Б. Петрографические и петрохимические особенности пород Осиновского массива (Средний Урал) // Ежегодник-2002. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 92-97.

Кейльман Г.А. Новые данные о геологическом строении района Сысертской гранитной интрузии // Сов. геология. 1958. № 6. С. 121-135.

Перчук Л.Л. Биотит-гранатовый геотермометр. Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 3. С. 57.

Перчук Л.Л., Янаскурт В.О., Окай А. Сравнительная петрология алмазоносных метаморфических комплексов // Петрология. 1995. № 3. С. 267-309.

*Ферштатер Г.Б.* Эмпирический плагиоклаз-роговообманковый барометр // *Геохимия*. 1990. № 3. С. 328-336.

*Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Осипова Т.А. и др.* Минеральный состав и условия формирования высокобарических метагранитов (Урал). *Записки ВМО*. 2002. Ч. СXXXI. № 3. С. 1-22.

*Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С.* Условия формирования гранитоидов Нижнеуфалейского массива (Ю. Урал): Предварительные данные // *Материалы IV-го Всероссийского совещания*. Том I. Миасс. 2003. С. 175-180.

*Bhattacharya, A., Mohanty, L., Maji, A. et al.* Non-ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg-Fe partitioning and a reformulation of the biotite-garnet geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1992. 111. P. 87-93.

*Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K. et al.* Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons / *Am. Mineralogist*. 1987. 72. P. 231-239.

*Kohn M.J., Spear F. S.* Two new geobarometers for garnet amphibolites, with applications to southeastern Vermont // *American Mineralogist*. 1990. V. 75. P. 89-96.

*Leake B. E., Woolley A. R., Apps C.E. S et al.* Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee of the Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // *Canad. Miner.* 1997. V. 35. P. 219-246.

*Otten M.T.* The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1984. V. 86. № 2. P. 189-199.

*Reusser E.* Epidote of Magmatic origin in the tonalite of the Bergell Pluton, Central Alps. *Journal of Conference Abstracts*. V. 4. № 1. Symposium L15. *Recent Advances in Studies of the Epidote-Group Minerals*. 1999.

*Paquin J. and Berger A.* Epidote relicts in amphibolite facies rocks: their importance for P-T Evolution and plagioclase compositions. *Journal of Conference Abstracts*. V. 4. № 1. Symposium L15. *Recent Advances in Studies of the Epidote-Group Minerals*. 1999.

*Schmidt M.W.* Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer / *Contrib. Mineral. Petrol.* 1992. 110. P. 304-310.