

С.В. Прибавкин, Е.В. Пушкарев, А.П. Авдеева

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КСЕНОЛИТОВ ГРАНАТОВЫХ ГНЕЙСОВ В ГРАНИТОИДАХ ВЕРХИСЕТСКОГО МАССИВА

Среди разнообразных пород, входящих в состав Верхисетского тоналит-гранодиоритового массива, давно известны гранатовые гнейсы гор Верхововская и Пуп, расположенных в 4,5–5,5 км к северо-западу от деревни Палкино (рис. 1). С конца девятнадцатого столетия эти породы являются объектом добычи коллекционного граната и входят в группу Евгение-Максимилиановских копей, минералогия которых была впервые подробно описана А.Н.Карножицким [Карножицкий, 1896]. Большинство этих копей приурочено к реакционно-метасоматическим и метаморфическим породам, образующим крупные ксеноблоки (или провесы кровли, по данным геологосъемочных работ) среди гранитоидов Верхисетского массива. Очевидно, что данные об условиях формирования и составе этих пород могут дать дополнительную информацию о генезисе и становлении вмещающих гранитоидов. Данная работа является продолжением начатого нами, а также Е.А.Зиньковой [Зинькова, 1998; Авдеева, Прибавкин, 2000], исследования ксенолитов в Верхисетском массиве.

Гнейсы горы Верхововской образуют довольно крупный ксеногенный блок среди гранитоидов Северной структуры Верхисетского массива. Искусственными выработками (Верховов-

ская копь) они вскрыты на площади 100x150 м. Породы характеризуются неравномерно-зернистой, неравномерно-полосчатой и гнейсовидной текстурой, обусловленной планпараллельной ориентировкой чешуек биотита и неоднородным количественным соотношением светлых и темных минералов. Структура пород порфиробластовая, связанная с наличием крупных кристаллов граната, заключенного в тонкозернистую лепидогранобластовую основную ткань. Азимут простираения гнейсовидности и полосчатости пород составляет 10°, падение на восток 70–75°, что совпадает с простираением вмещающих гранодиоритов. Гнейсы рассечены редкими пологими жилами гранат-мусковитовых гранит-пегматитов мощностью 20–40 см, аз. простираения 50°. Порфиробласты представлены одиночными кристаллами и пломеропорфиробластовыми параллельными сростками граната размером от первых миллиметров до 4–5 см. Реже встречаются разновидности пород, не содержащие граната. Главными породообразующими минералами гнейсов Верхововской копи, помимо отмеченного выше граната, являются: биотит, силлиманит, кварц и плагиоклаз. Среди второстепенных минералов отмечается ставролит, светлая слюда и хлорит. Аксессуары представлены кинитом, апатитом, ильменитом, пиритом.

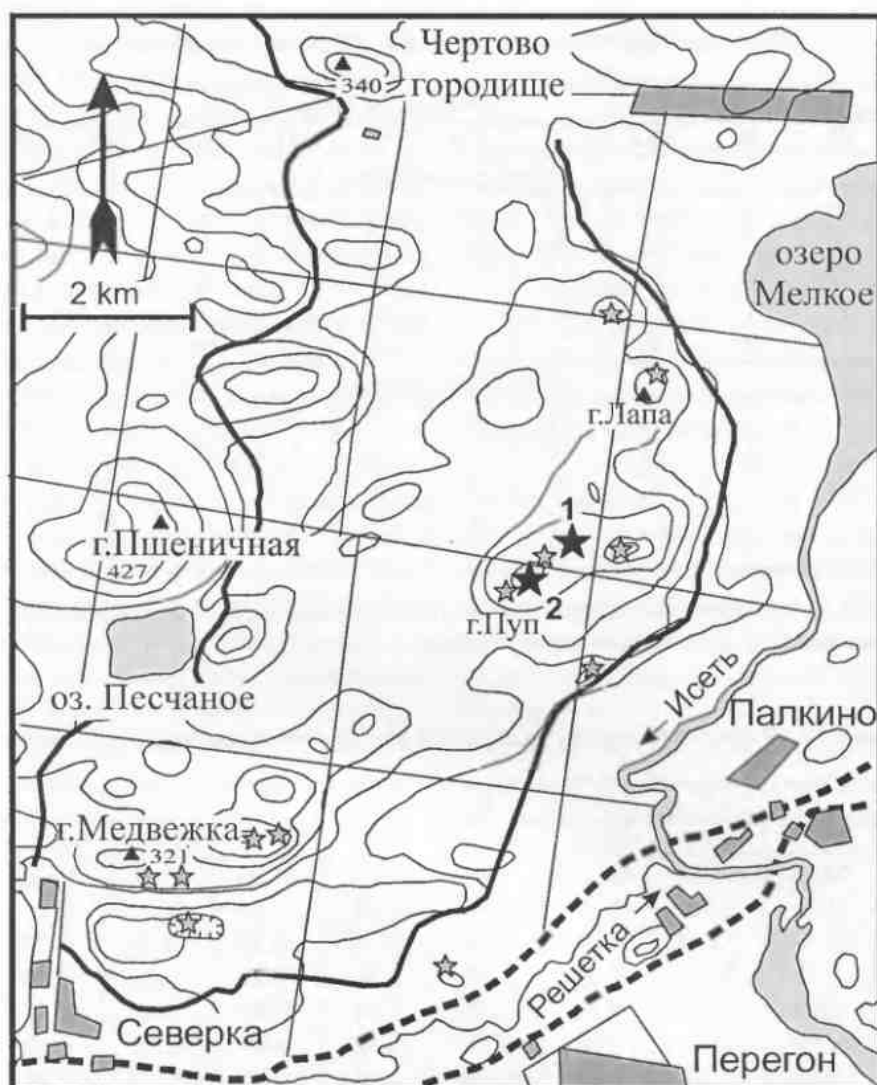


Рис. 1. Обзорная схема положения Верхоловской копи (1) и копи Карножицкого (2) в составе Евгение-Максимилиановских минеральных копей.

Другая выработка (копь Карножицкого), вскрывающая сходные гранатовые гнейсы, находится в 200 метрах на юго-запад от вершины горы Пуп и в 900 м северо-западнее копи Верхоловской. Размер выработки – 1х1х1,5 метра. Простираение гнейсовидности и полосчатости пород субмеридиональное, падение вертикальное. Гранатовые гнейсы по внешнему облику и структуре напоминают верхоловские, но отличаются от последних наличием амфибола, количество которого значительно варьирует, отсутствием ставролита и кианита.

Минеральный и химический состав (табл. 1, 2) метаморфических пород Верхолов-

ской копи указывает, что их протолитом могли быть граувакки с высокой долей пелитового и примесью карбонатного материала. По содержанию SiO_2 (53–65%) они относятся к породам среднего состава, но обладают высоким содержанием алюминия и кальция. Породы копи Карножицкого можно разделить на две группы: гранатовые гнейсы (ПС-215, 216) и метабазиты (ПС-218, 219), между которыми существует постепенный переход или зона биотитового слюдита. Отсутствие ставролита в породах копи Карножицкого, по-видимому, объясняется низким железо-магниевым отношением в породах ($\text{FeO}/\text{MgO}=1-1,5$), тогда как верхоловские гней-

Таблица 1

Минеральный состав гранатовых гнейсов и метабазитов

Шлиф №	Модальный состав, %										
	Sil	St	Qtz	Pl	Grt	Bt	Ms	Chl	Hbl	Py+Ilm	Ap
Верховловская копь											
ПС - 1	10	5	23	17	20	20	5	-	-	>1	>1
ПС - 2	15	5	20	20	20	20	5	3	-	>1	>1
ПС - 3	13	3	17	20	10	25	7	3	-	>1	>1
ПС - 4	1	1	25	34	-	35	1	1	-	>1	>1
ПС-209	-	10	20	25	-	20	8	10	-	>1	>1
Копь Карножицкого											
ПС-215	-	-	2	46	+	40	2	5	-	5	-
ПС-216	-	-	10	46	+	30	5	6	-	3	-
ПС-218	-	-	2	38	20	8	-	-	30	2	-
ПС-220	-	-	-	40	10	9	-	-	40	>1	-
ПС-219	-	-	-	38	-	-	-	-	60	>1	-

Примечание. + - минерал присутствует в аксессуарных количествах; - - минерал отсутствует в породе.
Аббревиатура минералов по [The nomenclature..., 1998].

Таблица 2

Химический состав гранатовых гнейсов (1-7) и метабазитов (8, 9) (мас.%)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обр.	ПС-1	ПС-2	ПС-3	ПС-4	340	ПС-215	ПС-216	ПС-218	ПС-219
SiO ₂	54,38	53,03	60,20	65,85	56,30	53,06	63,14	44,16	51,40
TiO ₂	0,75	0,85	0,67	0,66	0,78	1,13	0,55	3,71	1,02
Al ₂ O ₃	23,00	23,54	20,59	16,24	20,13	19,48	17,10	11,37	15,83
Fe ₂ O ₃	3,71	5,53	2,79	1,87	2,24	3,16	0,52	10,52	5,45
FeO	5,92	6,11	4,76	3,05	7,92	5,39	4,31	9,33	6,82
MnO	0,09	0,10	0,06	0,01	0,17	0,07	0,08	0,19	0,25
MgO	2,33	2,37	2,03	2,26	2,46	4,72	2,73	4,85	6,00
CaO	6,25	5,51	5,43	6,76	5,76	4,71	4,89	8,34	10,26
Na ₂ O	1,58	1,30	1,30	1,13	0,87	3,17	2,92	1,17	1,17
K ₂ O	1,03	1,12	1,15	1,56	1,00	3,30	1,66	0,60	0,17
P ₂ O ₅	0,07	0,09	0,19	0,30	0,16	0,07	0,19	0,27	0,32
ппп	0,87	1,30	1,13	0,88	1,16	1,33	2,53	4,47	1,05
Сумма	99,98	100,85	100,30	100,57	98,95	99,59	100,60	98,98	99,74
Fe/(Fe+Mg)	0,69	0,72	0,66	0,54	0,69	0,49	0,49	0,68	0,52
V (мас.%)	0,01	0,01	0,01	0,01	не опр.	0,02	0,01	0,11	0,03
Cr (мас.%)	0,02	0,03	0,02	0,02	не опр.	0,02	0,03	0,03	0,02
Rb (г/т)	16	26	31	35	не опр.	57	30	17	н/о
Sr (г/т)	317	262	285	283	не опр.	443	456	194	539

Примечание. Состав пробы N 340 приведен по данным Е.А.Зиньковой [1998].

сы характеризуются отношением, равным 2-3 [Миясино, 1976].

Следует отметить, что гнейсы пространственно ассоциированы с интенсивно скарнированными мраморами, аповулканогенными

породами, метабазитами, которые также образуют ксенолиты в гранитоидах. Непосредственный контакт гнейсов с метабазитами можно наблюдать в копи Карножицкого. Следовательно, можно предположить, что гранатовые пара-

гнейсы входили в состав вулканогенно-осадочной толщи. Породы этой толщи могли составлять гранитного массива или входить в состав кристаллического фундамента, подстилающего Верхисетский массив.

История формирования гранатовых гнейсов запечатлена в строении главного минерала – граната. Наиболее сложным строением обладают гранаты Верхововской копи. В первом приближении в них выделяется две зоны: внутреннее ядро светло-красного цвета и внешняя кайма темно-красного цвета. Ширина каймы обычно не превышает 1–3 мм. Ядро имеет сидеритовидную структуру, обусловленную наличием большого количества микровключений кварца и, в меньшей степени, плагиоклаза, рудных минералов и биотита. Структура этой зоны, особенно в крупных кристаллах, осложнена ритмичной зональностью. Иногда отмечаются явления перекристаллизации, когда включения минералов сливаются и укрупняются, приобретая амебовидную форму, а матрица граната становится более чистой. Внешняя кайма характеризуется более однородным составом и неболь-

шим количеством включений, представленных преимущественно ильменитом.

По химическому составу гранат соответствует пироп-альмандину. От центра к краю в гранате происходит рост пиропового и снижениеgrossулярового и спессартинового миналов (табл. 3), что свидетельствует о росте температуры, без повышения давления.

Гранаты из гнейсов копи Карножицкого (ПС-222) и метабазитов (ПС-218) обладают более однородным внутренним строением, меньшим количеством включений и близким к верхововским химическим составом.

Среди других типоморфных метаморфических минералов следует отметить силлиманит, образующий сноповидные и волокнистые агрегаты (фибrolит), обрастающие и частично замещающие ставролит. В безгранатовых разновидностях гнейсов силлиманит отсутствует. Ставролит образует довольно крупные зерна размером от 0,5 до 2 мм, плеохроирующие под микроскопом в желтовато-коричневаты тонах и нередко характеризующиеся присутствием двойников. Иногда ставролит образует в слан-

Таблица 3

Состав граната из гранатовых гнейсов и метабазитов (мас.%)

N	ПС-2		ПС-222		ПС-218	
	центр	край	центр	край		
SiO ₂	37,35	36,9	36,9	37,7	38,25	38,24
TiO ₂	0,03	0,03	0,10	0,02	н.о.	0,09
Al ₂ O ₃	20,83	20,6	19,8	20,45	20,99	21,14
Cr ₂ O ₃	не обн.	не обн.	0,01	не обн.	0,07	не обн.
FeO	35,84	35,1	35,3	35,1	35,24	30,40
MnO	0,61	0,51	0,76	0,56	0,84	1,90
MgO	4,05	5,12	4,31	5,26	3,98	5,25
CaO	1,75	1,65	1,99	1,8	1,64	3,83
Сумма	100,5	99,9	99,7	100,9	101	99,9
Миналы, мол.%						
Alm	78,1	74,8	76,3	74,1	77,8	64,2
Pir	15,7	19,5	16,7	19,8	15,7	19,7
Spess	1,3	1,1	1,7	1,2	1,9	4,19
Cross	5	4,5	5,5	4,9	4,6	4,6

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе JXA-5 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (аналитик В.Г. Гмыра) и на приборе Cameca MS-46 в УГГТА (аналитик В.Н. Ослоповских).

цах тонкие прожилки красновато-коричневого цвета длиной до 10 см при мощности 0,5 см, которые интенсивно замещаются фибролитом. Кианит был обнаружен в пробе ПС-209 и подтвержден рентгенографически. Он образует одиночные, не более 0,8 мм, бесцветные призматические кристаллики, иногда содержащие включения рудного минерала и обрастающие силлиманитом. Все эти высокоглиноземистые минералы были встречены в гранатовых гнейсах горы Верхововской.

Гранатовые гнейсы среди гранитоидов Верхисетского массива обладают важной общей особенностью минерального состава. Все они содержат основной плагиоклаз – битовнит и анортит в породах горы Верхововской, андезин – андезин-лабрадор в гнейсах (ПС-216, 215) и анортит в метабазах (ПС-218) горы Пуп (табл. 4). Размер зерен плагиоклаза сильно варьирует от десятых долей миллиметра до 5 мм.

Форма зерен изометричная, прямоугольная. Границы зерен округлые, неровные. Двойники плагиоклаза встречаются редко, в основном в кристаллических сланцах копи Карножицкого, там же отмечается зональный плагиоклаз. Объяснить присутствие столь основного плагиоклаза в кварцсодержащих породах среднего состава довольно сложно без проведения дополнительных исследований. Однако можно предположить, что осадочный материал, который послужил протолитом для гранатовых гнейсов был обогащен карбонатным материалом, разложение которого в процессе метаморфизма обеспечило необходимое количество кальция для формирования основного плагиоклаза. Об этом свидетельствует высокоизвестковистый состав пород.

Для определения Р-Т параметров формирования метаморфических пород нами были использованы составы сосуществующих с гранатом минералов (табл. 4) и известные двумя-

Таблица 4

Представительные анализы биотита, амфибола, плагиоклаза из гнейсов и метабазов (мас.%)

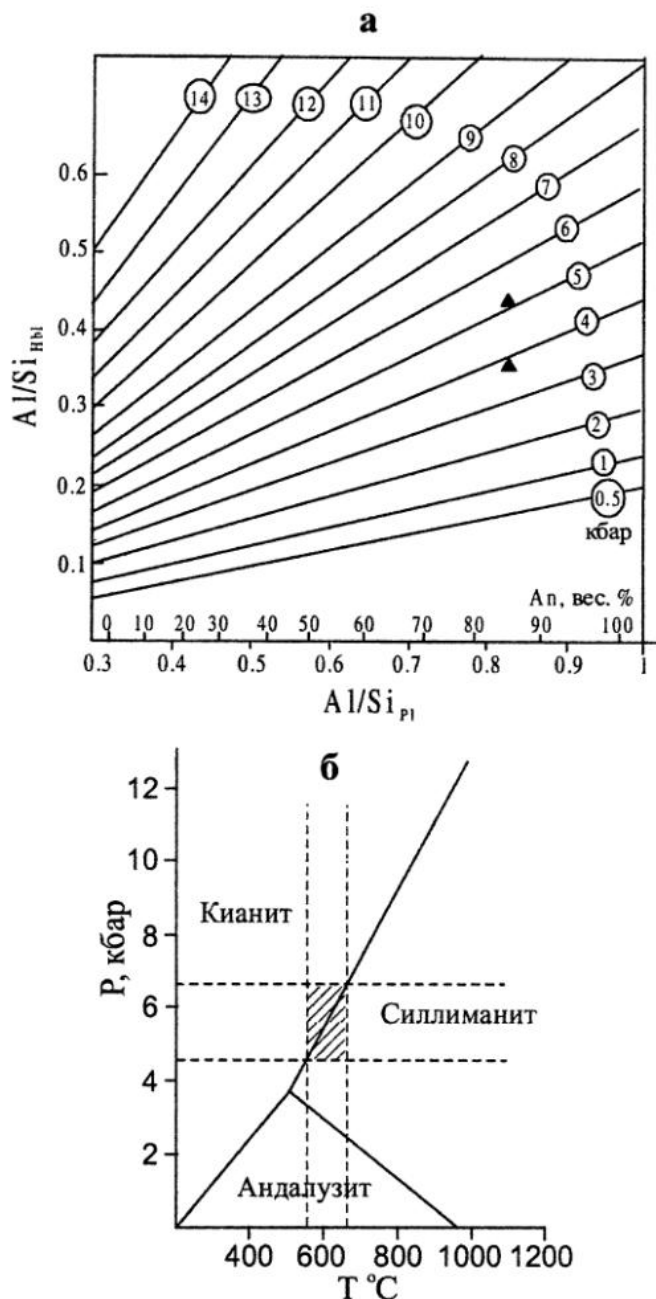
N	Биотит				Амфибол		Плагиоклаз			
	ПС-2	ПС-4	ПС-218		ПС-218		ПС-4		ПС-2	ПС-218
SiO ₂	37,4	35,7	35,7	40,5	43,85	42,7	49,87	48,89	47,87	48,62
TiO ₂	1,49	1,79	1,61	1,65	0,62	0,52	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Al ₂ O ₃	18,8	18,4	18,7	17,8	13,16	15,9	32,83	32,57	34,08	34,45
FeO	16,8	19,8	15,3	14,2	16,98	17,1	0,01	не обн.	0,22	0,13
MnO	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	0,16	0,27	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
MgO	12,7	10,6	13,5	12,1	10,09	9,15	0,03	0,03	0,02	не обн.
CaO	0,03	0,07	0,14	0,2	11,72	10,3	16,51	17,23	15,14	19,05
Na ₂ O	0,31	0,37	0,28	0,2	1,21	1,68	2,19	2,08	1,11	не обн.
K ₂ O	8,8	8,7	7,21	7,89	0,31	0,31	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Сумма	93,3	95,4	95,6	94,5	98,1	98	101,09	100,8	98,44	102,25
An							88	89	93	100

Таблица 5

Оценки температур для минеральных парагенезисов из гнейсов и метабазов

N	Парагенезис	X _{Mg} ^{Grt}	X _{Mg} ^{Bt}	X _{Mg} ^{Hbl}	K _D	T °C
ПС-2 центр	Grt-Bt	0,18	0,57	-	6,04	560
ПС-2 край	Grt-Bt	0,20	0,57	-	5,30	600
ПС-2 центр	Grt-Bt	0,18	0,57	-	6,04	560
ПС-2 край	Grt-Bt	0,21	0,57	-	4,99	610
ПС-218	Grt-Bt	0,22	0,60	-	5,32	600
ПС-218	Grt-Hbl	0,22	-	0,51	3,69	642
ПС-218	Grt-Hbl	0,22	-	0,48	3,27	673

Рис. 2. Данные амфибол-плагин-оклазового барометрии для метабазито-в копи Карножицкого (а) по [Ферш-татер, 1990] и области метаморфизма гнейсов Верхоловской копи и копи Карножицкого на диаграмме равнове-сия между полиморфными модифика-циями в системе Al_2SiO_5 (б) по [Richardson et al., 1969].



неральные (гранат-биотитовый, гранат-амфибо-ловый и амфибол-плагин-оклазовый) термобаро-метры, а также диаграмма устойчивости мета-морфических парагенезисов [Перчук, 1976; Лаврентьева, Перчук, 1989; Ферштатер, 1990]. Так, рассчитанная температура амфибол-гранат-ового равновесия составляет 640–670 °C, а гранат-биотитового – 560–610 °C (табл. 5). Равно-весное давление было определено по эмпири-ческому амфибол-плагин-оклазовому барометру и равно 4–5 кбар P_{H_2O} (рис. 2). На основе этих данных и с учетом того, что в породах присут-ствуют одновременно силлиманит и кианит, можно утверждать, что формирование гранато-вых гнейсов происходило при температурах око-

ло 600 °C и при общем давлении не ниже 5 кбар (рис. 2), что отвечает условиям амфиболито-вой фации метаморфизма, а в прогрессивной зональности граната и явлениях его перекри-сталлизации запечатлена длительная история метаморфических преобразований, которым подверглись исследуемые породы.

Геологическая позиция гранатowych гней-сов однозначно указывает на то, что они явля-ются более древними породами по отношению к вмещающим гранитоидам. Однако, абсолютный возраст метаморфических пород, определенный К-Аг методом по минеральным фракциям био-тита и равный по трем пробам 292 ± 10 млн лет (табл. 6), практически совпадает с возрастом

Результаты К-Аг-датирования пород Верхоловской копи

№ обр.	Порода	Минерал	К, %	Аг, нг/г	Т, млн лет
Пс-1	Гранатовый гнейс	Bt	6,65	150	299±10
Пс-3	Гранатовый гнейс	Bt	7,20	154	285±9
Пс-4	Гнейс	Bt	7,35	161	291±9
Пс-5	Пегматит	Mu	8,60	187	290±8
Пс-6а	Пегматит	Mu	8,65	185	285±10
Пс-6б	Пегматит	Mu	8,25	182	293±9

Примечание. Определения возраста выполнены в лаборатории радиогеологии ИГТ УрО РАН, анализ Б.А. Калеганов.

вмещающих гранитоидов, 284 ± 17 млн лет [Bea et al., 1997]. Близкие значения абсолютного возраста были получены для трех монофракций мусковита (табл. 6), выделенного из дайки мусковитовых пегматитов, секущих изучаемые гнейсы на горе Верхоловской. Наиболее простое объяснение такого совпадения возрастов связано с воздействием на ксенолиты гранитоидов Верхисетского массива.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ: 01-05-65184, 00-15-98517 и ФЦП "Интеграция".

Список литературы

Авдеева А.П., Прибавкин С.В. Внутреннее строение и состав граната из Евгение-Максимилиановских копей на Среднем Урале // Уральская Летняя Минералогическая школа-2000. Екатеринбург: УГГА, 2000. С. 11–14.

Зинькова Е.А. Ксенолиты и автолиты в гранитоидах Верх-Исетского батолита // Ежегодник-1997. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1998. С. 86–91.

Карножицкий А.Н. Евгение-Максимилиановские минеральные копи и некоторые другие, новые или малоисследованные месторождения минералов в области Среднего Урала, 1896. 89 с.

Лаврентьева И.В., Перчук Л.Л. Экспериментальное изучение амфибол-гранатового равновесия // Доклады АН СССР, 1989. Т. 306. № 1. С. 173–175.

Миясиро А. Метаморфизм и метаморфические пояса. М.: Мир, 1976. 534 с.

Перчук Л.Л. Биотит – гранатовый геотермометр // Доклады АН СССР, 1967. Т. 177. № 2. С. 411–414.

Ферштатер Г.Б. Эмпирический плагиоклаз – роговообманковый барометр // Геохимия, 1990. № 3. С. 376–385.

Bea F., Fershtater G., Montero P., Smirnov V., Zin'kova E. Generation and evolution of subduction – related batholiths from the central Urals: constraints on the P-T history of the Uralian orogen // Tectonophysics, 1997. V. 274. P. 103–116.

Richardson S.W., Gilbert M.C., Bell P.M. Experimental determination of kyanite-andalusite and andalusite-silimanite equilibria, the aluminium silicate triple point // Am. J. Sci., 1969. V. 267. P. 259–272.

The nomenclature of minerals: a compilation of IMA reports / Editor the Canadian Mineralogist, 1998. 149 p.