

АНТОФИЛЛИТ - ЖЕДРИТОВЫЙ СОЛЬВУС В МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МЕТАПЕЛИТАХ ПРИОСКОЛЬСКОГО УЧАСТКА, ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ

Н.Ю.Кальмуцкая

Воронежский государственный университет

В центральной части Воронежского кристаллического массива в пределах Приоскольского участка встречены магнезиальные метапелиты, содержащие сосуществующие антофиллит и жедрит. Детальное исследование составов сосуществующих ортоамфиболов показало наличие между ними разрыва смесимости по Al^{IV} , Al^{IV} , Fe^{2+} , Al^{VI} , Mg, Na и K. В более высокотемпературных породах в ассоциации с ортопироксеном присутствует, как правило, жедрит, в то время как в низкотемпературных образцах в парагенезисе с кордиеритом развит преимущественно антофиллит.

Основываясь на оценках температур, полученным по гранат-биотитовым и гранат-ортопироксеновым геотермометрам в магнезиальных метапелитах, содержащих сосуществующие ортоамфиболы, можно сделать вывод, что разрыв смесимости между антофиллитом и жедритом находится в интервале между 550 и 630^oC.

Введение. Существование разрыва смесимости в ортоамфиболах между низкоглиноземистым антофиллитом и высокоглиноземистым жедритом в различное время обсуждались многими авторами [1-6]. Несмотря на это, вопрос равновесного сосуществования антофиллита и жедрита до сих пор остается дискуссионным.

В пределах Приоскольского участка встречены магнезиальные метапелиты, содержащие сосуществующие антофиллит и жедрит.

Цель настоящей статьи - установить существует ли разрыв смесимости в сосуществующих антофиллит-жедритовых парах и определить температурный интервал антофиллит-жедритового сольвуса.

Геологическое строение исследуемой территории было детально рассмотрено нами в предыдущей работе [7].

Методы исследования. Все образцы метапелитов представляют собой керн скважин, который был детально описан при проведении полевых работ. Отобранные образцы были изучены оптически. Локальные анализы минералов проведены на микрозонде Camebax SX-50 (МГУ), ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда 1-2 нА, диаметр зонда 1-2 мкм. Точность анализов систематически контролировалась по природным и синтетическим эталонам. Кристаллохимические формулы ортоамфиболов рассчитаны на 23 атома кислорода.

Петрография. Породы, содержащие ортоамфиболы, недосыщены K_2O , они не содержат мусковита и калишпата, и единственный калиевый минерал в них представлен биотитом. В метапелитах такого состава происходит образование безкальциевых амфиболов (жедрит, антофиллит, куммингтонит), неустойчивых при избытке мусковита и калиевого полевого шпата. Если эти породы достаточно магнезиальные и глиноземистые, в них устойчивы силлиманит, ставролит, кордиерит, а амфибол представлен антофиллитом и жедритом. В пределах Приоскольского зонального метаморфического комплекса недосыщенные калием глиноземистые сланцы содержат парагенезис $Ath+Ged+Bt+Crd+Mag\pm$

Таблица 1
Минеральные парагенезисы магнезиальных метапелитов Приоскольского участка

№ обр.	Минеральные парагенезисы
5257/23.2	Qtz+Bt+Grt+Ged+Opx
5257/23.1	Ged+Ath+Crd+Mag
5257/22	Grt+Crd+Ged+Ath+Sil+Mag
5267/290	Ged+Opx+Grt+Ol+Tlc+Spl+Mag

$\pm Grt \pm Opx \pm Qtz$ (табл.1) Кроме этого, в породах такого типа встречен парагенезис $Ged+Ol+Tlc+Grt+Opx+Spl+Mag$ (образец 5267/290).

В метапелитах Приоскольского участка парагенезисы антофиллита с куммингтонитом и ортоамфиболов со ставролитом не установлены [8,9].

Фазовые равновесия в сосуществующих ортоамфиболах. Амфиболы в относительно магнезиальных метапелитах представлены широко распространенными антофиллитом и жедритом. Жедрит встречается реже, чем антофиллит. В метапелитах Приоскольского участка встречены парагенезисы жедрита с антофиллитом и кордиеритом, жедрита с ортопироксеном, а также парагенезис жедрита с ортопироксеном, оливином, тальком, шпинелью и магнетитом. Минеральные равновесия были детально рассмотрены нами в предыдущей работе [7], поэтому здесь мы акцентируем внимание только на сосуществующих антофиллитах и жедритах. По классификации Е.Лица [10] антофиллит содержит до 8% Al_2O_3 и 7,0-8,0 формульных единиц Si; жедрит - более 8% Al_2O_3 и 6,0-7,0 формульных единиц Si. Эти соотношения проиллюстрированы на рис.1. Антофиллиты представлены бесцветными и коричнево-серыми удлиненными пластинчатыми кристаллами размером до 4-6 мм по удлинению. Антофиллиты характеризуются более низкой по сравнению с жедритами железистостью (40,8-43,5%) и содержат 3-6 мас.% Al_2O_3 (табл.2.).

Жедрит образует таблитчатые кристаллы размером до 2-3 мм с ясным плеохроизмом от сероголубых до коричнево-серых тонов. Он встречается, как правило, в тесной ассоциации с антофиллитом,

Таблица 2

Представительные анализы составов амфиболов из метапелитов Приоскольского участка

№ образца	5257/23.1				5257/22								5257/23.2		5267/290
	позиция	центр	центр	край	центр	край	центр	край	центр	край	центр	край	центр	край	
	Ged-10	Ath-11	Ath-18	Ath-16	Ath-1	Ath-2	Ath-3	Ath-4	Ath-5	Ath-6	Ath-11	Ath-12	Ged-45	Ged-46	Ged-45
SiO ₂	44,50	57,23	52,90	51,30	53,80	53,57	54,92	52,92	51,46	53,28	48,12	52,35	44,83	43,70	43,86
TiO ₂	0,17	0,05	0,08	0,82	0,06	0,05	0,07	0,05	0,07	0,03	0,12	0,06	0,16	0,15	0,03
Al ₂ O ₃	14,73	5,49	4,54	5,67	3,03	2,99	3,07	3,88	6,06	3,17	9,33	3,65	15,44	16,20	17,28
Cr ₂ O ₃	0,44	0,32	0,23	0,40	-	0,10	0,05	-	-	-	0,29	0,01	0,21	0,09	0,04
FeO	20,84	18,84	21,80	21,24	23,30	23,12	22,41	22,34	22,84	22,90	23,45	22,73	22,38	22,21	19,32
MnO	0,16	0,21	0,21	0,14	0,14	0,19	0,17	0,19	0,17	0,17	0,27	0,22	0,29	0,31	0,25
MgO	13,57	17,11	17,80	16,73	17,70	17,13	17,11	17,68	17,42	16,71	14,67	17,52	14,35	14,27	16,07
CaO	0,46	0,38	0,34	0,33	0,20	0,18	0,21	0,14	0,27	0,21	0,26	0,21	0,65	0,66	0,44
ClO	0,01	-	-	-	0,15	0,04	0,27	0,11	-	-	0,05	-	0,01	-	0,09
ZnO	0,16	-	-	0,15	0,02	0,04	0,03	0,02	0,07	0,13	0,70	0,15	0,07	0,02	-
Na ₂ O	1,45	0,45	0,39	0,47	0,22	0,25	0,21	0,29	0,49	0,31	1,57	0,39	1,61	1,64	2,55
K ₂ O	-	0,03	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,07	0,02	0,01	-	0,01
сумма	96,49	96,59	98,30	97,25	98,90	97,70	98,55	97,63	98,24	97,62	98,90	97,32	100,00	99,24	99,93
Si	6,712	7,605	7,611	7,516	7,727	7,769	7,872	7,680	7,456	7,756	7,056	7,659	6,436	6,331	6,242
Ti	0,019	0,016	0,008	0,009	0,007	0,005	0,008	0,005	0,007	0,003	0,013	0,007	0,017	0,017	0,004
Al	2,506	0,999	0,769	0,979	0,559	0,512	0,519	0,663	1,035	0,545	1,612	0,630	2,614	2,766	2,897
Al ⁴	1,423	0,399	0,390	0,480	0,453	0,208	0,119	0,317	0,593	0,158	0,965	0,345	1,568	1,671	1,758
Al ⁶	1,142	0,600	0,379	0,499	0,048	0,305	0,400	0,346	0,442	0,387	0,647	0,285	1,046	1,095	1,139
Cr	0,051	0,033	0,026	0,047	-	0,012	0,005	-	-	-	0,033	0,002	0,033	0,010	0,004
Fe	2,516	2,467	2,625	2,603	2,801	2,811	2,686	2,711	2,776	2,781	2,875	2,782	2,687	2,691	2,300
Mn	0,020	0,025	0,026	0,017	0,017	0,024	0,021	0,024	0,020	0,021	0,034	0,027	0,035	0,038	0,030
Mg	2,920	3,598	3,812	3,655	3,797	3,731	3,656	3,824	3,610	3,780	3,207	3,821	3,071	3,081	3,408
Ca	0,071	0,057	0,052	0,052	0,031	0,028	0,033	0,021	0,040	0,033	0,041	0,033	0,100	0,102	0,067
Zn	0,017	-	-	0,016	0,016	0,004	0,029	0,012	-	-	0,005	-	0,007	-	-
Cl	0,003	-	-	-	0,005	0,009	0,006	0,005	0,017	0,032	0,174	0,036	0,002	0,004	0,021
Na	0,321	0,123	0,110	0,135	0,060	0,070	0,059	0,083	0,135	0,088	0,447	0,113	0,448	0,461	0,702
K	-	0,004	0,001	-	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006	0,008	0,013	0,004	0,002	-	0,002
X _{Fe}	0,463	0,407	0,408	0,416	0,420	0,430	0,424	0,414	0,435	0,424	0,473	0,421	0,467	0,466	0,403

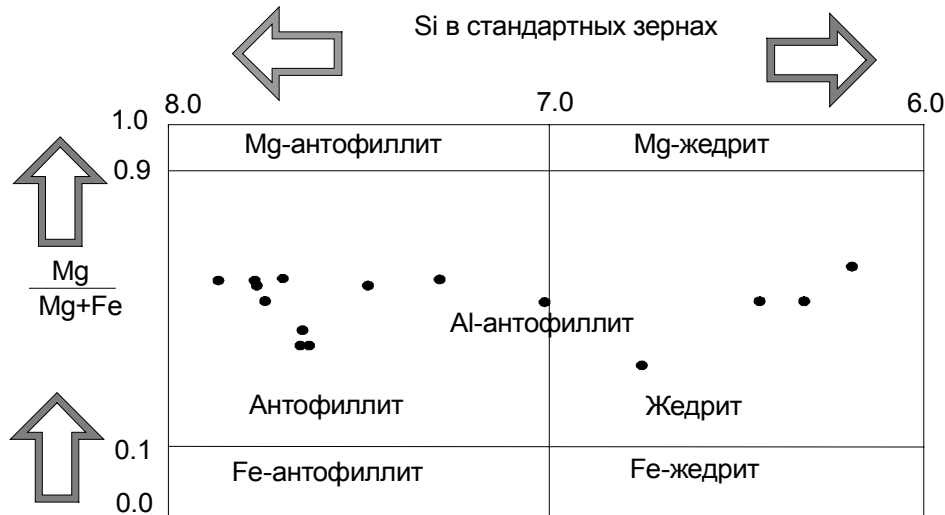


Рис. 1. Составы антофиллитов и жедритов из метапелитов Приоскольского участка на диаграмме Mg/(Mg+Fe)-Si (формульные ед.).

но в более высокотемпературных породах (обр. 5257/23.2) жедрит находится в парагенезисе не с антофиллитом, а с ортопироксеном. Железистость жедритов выше, чем антофиллитов и находится в интервале 46,3-48,8%. Железистость жедрита, находящегося в ассоциации с тальком, ортопироксеном и оливином (образец 5267/290) составляет 40,3%. Состав жедритов обнаруживает широкие вариации по содержанию Al_2O_3 от 9,33 до 17,26 мас. %.

Присутствие натрия в количестве 0,3-0,46 формульных единиц приближает проанализированные жедриты к «идеальной» для них формуле $Na_{0,5}(Mg,Fe)_{3,5}Al_{1,5}[Si_6Al_2O_{22}](OH)_2$ [3]. Эта формула представляет комбинацию эденитовой и чермакитовой составляющих в соотношении 1:3.

Изоморфизм в изученных ортоамфиболах может быть описан тремя механизмами замещения: $Fe \leftrightarrow Mg$ (Fe-Mg обмен), $Al^{VI}Al^{IV} \leftrightarrow MgSi$ (чермакитовое замещение) и $NaAl^{IV} \leftrightarrow Si$ (эденитовое замещение). Другие механизмы замещения, включающие такие компоненты как Mn, Ti, Fe^{3+} или Ca менее важны и в настоящей статье не рассматриваются.

Жедрит отличается от антофиллита, главным образом, количеством эденитовой и чермакитовой составляющей: разрыв смесимости между этими двумя минералами обусловлен различным распределением этих компонентов.

Разрыв смесимости между антофиллитом и жедритом отчетливо виден на рис.2. Содержание Al^{VI} в антофиллите составляет 0,60-0,10 формульных единиц, в жедрите – $1,4 \pm 0,2$. Содержание Al^{IV} в этих минералах составляет 0,12-0,59 и 0,97-1,42 формульных единиц соответственно.

На рис.2,а и 2,б показано соотношение Mg (рис.2,а), Fe (рис.2,б) и Al^{VI} в сосуществующих антофиллитах и жедритах: антофиллит характеризуется повышенным содержанием MgO, по сравнению с сосуществующим жедритом; жедрит имеет более высокое содержание FeO. Разрыв смесимости по железистости в сосуществующих ортоамфиболах слабо проявлен: железистость антофиллитов состав-

ляет не более 0,44 ат.%, железистость жедрита – 0,46 ат.%. Жедриты, находящиеся в ассоциации с оливином (обр. 5267/290), характеризуются относительно невысокой железистостью – 0,40 ат. %.

Рис.2,в показывает соотношение щелочей и железистости ($X_{Fe} = Fe/(Fe+Mg)$ ат.%) в сосуществующих антофиллитах и жедритах. Жедрит не содержит Na и K меньше 0,30 формульных единиц.

Соотношение щелочей и алюминия проиллюстрировано на рис.2,г: их содержание в антофиллите достигает 0,15 формульных единиц (Na+K) и ~1 формульных единиц $Al^{общ}$, жедрит содержит 0,48 формульных единиц суммы Na и K, а также 2,51 формульных единиц $Al^{общ}$. Антофиллит никогда не содержит Al_2O_3 более 4,0%, а жедрит – менее 9,0%.

На рис.2,д и 2,е показано соотношение Al^{VI} , Al^{IV} и X_{Fe} : в антофиллитах соотношение этих элементов гораздо ниже, чем в сосуществующих жедритах, что свидетельствует о существовании разрыва смесимости между сосуществующими ортоамфиболами.

В железистой области составов стабилен куммингтонит, который находится в ассоциации с альмандиновым гранатом (железистость граната 0,93 ат. %). Жедриты и антофиллиты, сосуществующие с относительно магнезиальным гранатом ($X_{Fe} = 0,79$ ат. %), имеют железистость 0,46-0,47 и 0,40-0,43 ат. % соответственно. Более магнезиальные ортоамфиболы могут сосуществовать с тальком (образец 5267/290) и кордиеритом (образцы 5267/290, 5257/23.1, 5257/22). Наиболее глиноземистые антофиллиты находятся в ассоциации с жедритами, а наиболее глиноземистые жедриты сосуществуют с кордиеритом.

Выводы. Детальное исследование составов сосуществующих ортоамфиболов: антофиллитов и жедритов показало наличие между ними разрыва смесимости по Al^{IV} , Al^{VI} , Fe^{2+} , $Al^{общ}$, Mg, Na и K. Наиболее отчетливо разрыв смесимости между сосуществующими антофиллитами и жедритами про-

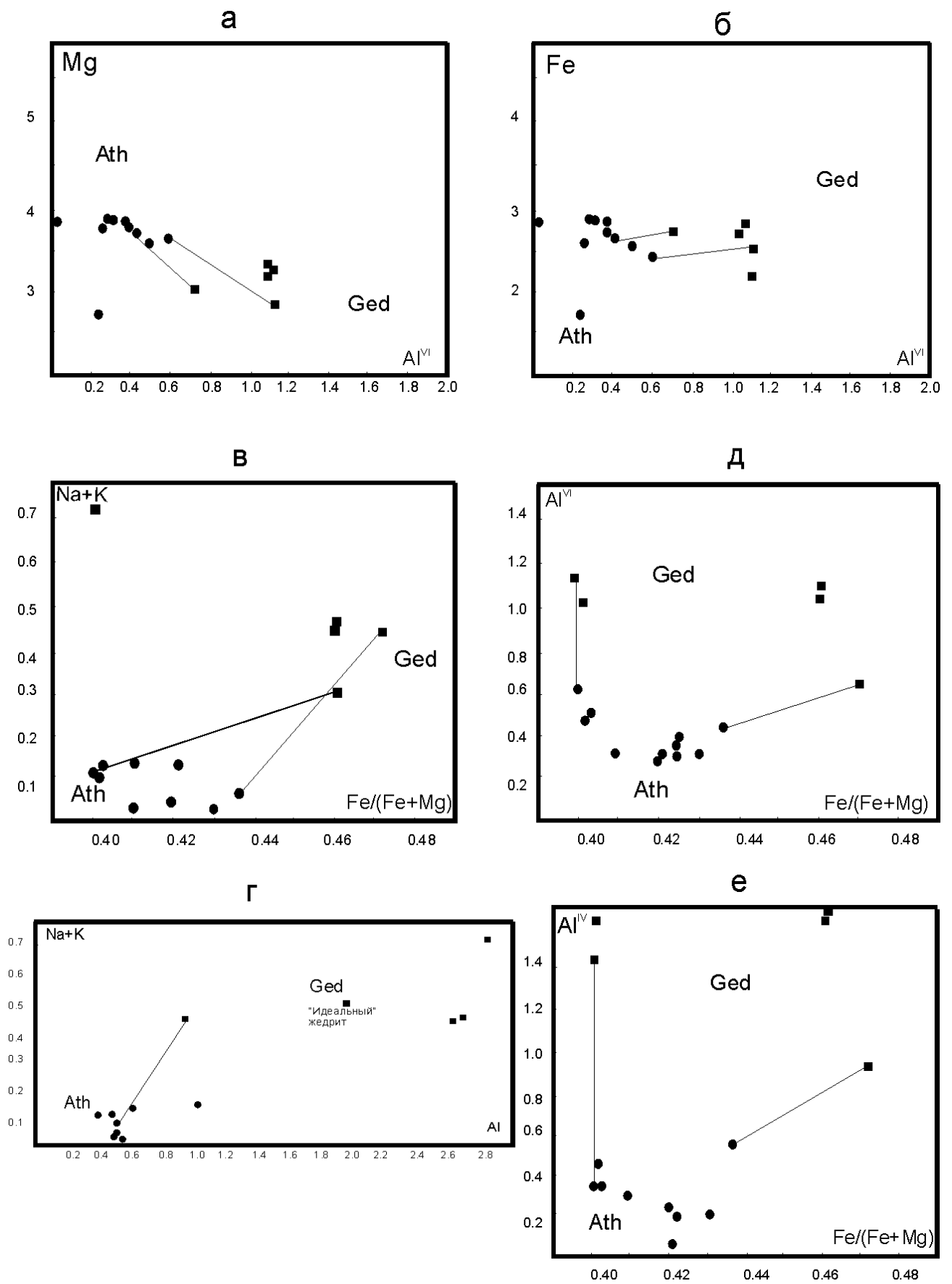


Рис.2. Соотношения основных минералообразующих компонентов в сосуществующих антофиллитах и жедритах Прискольского участка: а - соотношение Mg и Al^{VI} ; б - соотношение Fe и Al^{VI} ; в - соотношение Na+K и X_{Fe} , г - соотношение Na+K и $Al^{обм}$; д - соотношение Al^{VI} и X_{Fe} ; е - соотношение Al^{IV} и X_{Fe} .

явлен в содержаниях щелочей и алюминия, разрыв смесимости по железистости выражен не очень ярко: железистость антофиллита не более 0,44 ат.%, железистость жедрита не меньше 0,46 ат.%. Жедрит, как правило, по сравнению с сосуществующим антофиллитом, содержит больше Al^{IV} , Al^{IV} , Fe^{2+} , Na и K, антофиллит богаче Si и Mg.

В более высокотемпературных породах в ассоциации с ортопироксеном присутствует, как правило, жедрит, в то время как в низкотемпературных образцах в парагенезисе с кордиеритом развит преимущественно антофиллит.

Основываясь на оценках температур, полученным нами в предыдущей работе [7] по гранат-биотитовым и гранат-ортопироксеновым геотермометрам в магнезиальных метапелитах, содержащих сосуществующие ортоамфиболы, можно сделать вывод, что разрыв смесимости между антофиллитом и жедритом находится в интервале между $550^{\circ}C$ и $630^{\circ}C$, что хорошо согласуется с выводами, полученными Ф. Спиром [11].

Благодарности: Автор выражает глубокую признательность доктору геолого-минералогических наук К.А.Савко за помощь при написании данной работы и конструктивную критику.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Интеграция» (проект С0007/2000), гранта «Российские университеты» (проект 990087), гранта Президента РФ (проект 00-15-99397) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 00-05-64522).

ЛИТЕРАТУРА

1. Robinson P., Klein C., Ross M. Equilibrium coexistence of three amphiboles // Contrib. Mineral. Petrol. -1969. -V. 22. -P.248-258.
2. Robinson P., Jaffe H. The composition field of anthophyllite and the anthophyllite miscibility gap // Amer. Mineral. -1970. -V.55. -P.307-309
3. Robinson P., Jaffe H. Composition of the anthophyllite-gedrite series, comparisons of gedrite and hornblende, and the anthophyllite-gedrite solvus // Amer. Mineral. -1971. -V.56. -P.1005-1041.
4. Ross M., Papike J.J., Wier Shaw K. Exolution textures in amphiboles as indicators of sub-solidus thermal histories // Mineral. Soc. Am., Spec. Pap. -1969. -V.2. -P.275-299.
5. Stoddart E.F., Miller C. Chemistry and phase petrology of amphiboles and ortoamphibole-cordierite rocks, old Woman Mountains, SE California, USA // Miner. Mag. -1990. -V.54. -P.394-406.
6. Stout J.H. An electron microprobe study of coexisting orthorhombic amphiboles // Trans. Amer. Geophys. Union. -1969. -V.50. -P.359.
7. Савко К.А., Кальмуцкая Н.Ю. Фазовые равновесия и условия метаморфизма раннепротерозойских метапелитов Приоскольской структуры, воронежский кристаллический массив. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -2000. -№3(9). -С.102-119.
8. Кориковский С.П. Фации метаморфизма метапелитов. -М.,1979. -260с.
9. Elliott-Meadows S.R., Froese E., Appleyard E.C. Cordierite-anthophyllite-cummingtonite rocks from the Lar Deposit, Laurie Lake, Manitoba // The Canadian Mineralogist. -1980. -V.37. -P.375-380.
10. Leake E. Nomenclature amphiboles// Miner. Magaz. 1978. V.42. P. 533-563.Elliott-Meadows S.R., Froese E., Appleyard E.C. Cordierite-anthophyllite-cummingtonite rocks from the Lar Deposit, Laurie Lake, Manitoba //Canadian Mineralogist. -1980. -V.37. -P.375-380.
11. Spear F.S. The gedrite-anthophyllite solvus and the composition limits of ortoamphibole from the Post Pond Volcanics, Vermont // American mineralogist. -1980. -V.65. -P.1103-1118.