

А. И. Белковский, Я. А. Белковская, А. Л. Литвин

**СИНЕ-ЗЕЛЕННЫЕ И ГОЛУБОВАТО-ЗЕЛЕННЫЕ РОГОВЫЕ ОБМАНКИ МЕТАБАЗИТОВ
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО БЛОКА И ПРОБЛЕМА
РАЗРЫВА СМЕСИМОСТИ В АМФИБОЛАХ РЯДА АКТИНОЛИТ-РОГОВАЯ ОБМАНКА**

A. I. Belkovskiy, Ya. A. Belkovskaya, A. L. Litvin

**BLUE-GREEN AND BLUISH-GREEN HORNBLLENDE OF METABATHITES IN THE WESTERN
PART OF THE UFALEY METAMORPHIC BLOCK AND PROBLEM OF MIXABILITY
DISCONTINUITY IN AMPHIBOLES OF ACTINOLITE-HORNBLLENDE SERIES**

The chemical composition of blue-green and bluish-green hornblende from metagabbro-diabases of the Ukazar tectonic plate (western part of the Ufaley metamorphic block, Middle Urals) is investigated. The composition of investigated amphiboles is identical to composition of hornblende from metamorphites of disten-andalusites facial series. For the first time area of before unknown breaking of low-pressure amphiboles mixability, determined by size a_{Si} from 10 to 15 f. e., had been revealed. The proposition that in monoclinic calcic amphiboles replacement of silicon by aluminium is not accompanied essential change of unit cell volume is newly supported by precise X-ray analyses.

Западная часть Уфалейского метаморфического блока представлена сланцами основного и кислого состава, выделенными Г. А. Смирновым в указарскую свиту вендского возраста [9]. Более поздними исследованиями было установлено, что породы указарской свиты являются зеленосланцевыми бластомилонитами [1, 6] дистен-андалузитовой фациальной серии [2]. Низкобарические бластомилониты слагают обособленную тектоническую пластину, геологический разрез которой авторами изучен на широте поселка Уфимка (рис. 1—2). Пластина на западе, по Юрюзане-Зюраткульскому разлому отделена от тонкополосчатых мелкозернистых известняков саткинской (?) свиты, на востоке — по Бластинскому разлому она «контактирует» с апогаббровыми бластомилонитами центральной части Уфалейского блока. Западная часть пластины представлена серицит-альбит-кварцевыми, альбит-кварцевыми, серицит-кварцевыми бластомилонитами с редкими мелкими телами керсутитовых горнблендитов и мономинеральных плагиоклазитов, восточная — хлорит-альбитовыми, хлорит-альбит-кварцевыми, хлорит-эпидот-альбитовыми, хлорит-эпидот-альбит-кварцевыми бластомилонитами (табл. 1) и будинообразными телами (100—150 x 10—20 м) метагаббро-диабазов. Большинство изученных тел обладает зональным строением: центральные части их сложены метагаббро-диабазами, периферия — эпидот-альбит-амфиболовыми бластомилонитами.

Метагаббро-диабазы обладают нематогранобластовой, реже офитовой структурами. Текстура пород — тонкополосчатая, реже массивная. Минеральный состав метабазитов подвержен сильным колебаниям (об. %): реликтовые светло-зеленый клинопироксен и полисинтетически сдвойникованный андезин 0—5 и 0—5 соответственно, синие-зеленая и голубовато-зеленая роговая обманка 5—30 и 5—30 соответственно, эпидот (в лейстах разложенного андезина) 15—25, несдвойникованный альбит 10—15, кварц 0—5. Акцессорные минералы представлены ильменитом, лейкоксеном (по ильмениту), магнетитом, гематитом, пентландитом, борнитом, халькопиритом и пиритом. Синие-зеленая роговая обманка замещает клинопироксен ($n_g = 1.710$; $n_p = 1.686$; $n_g - n_p = 0.024$; $c: N_g = 40—44^\circ$, $+2V = 58—60^\circ$), образуя по нему гомоосевые псевдоморфозы. Химический состав и оптические свойства ее (табл. 2—4) оказались идентичными характеристикам амфиболов, типоморфных для Р-Т-условий метаморфитов дистен-андалузитовой фациальной серии: Сангиленского и Тонгулакского выступов в Алтае-Саянской области [7], китойской свиты в Восточных Саянах [10], уруштенского комплекса [11] и каньона Аманауз [5] на Северном Кавказе.

Голубовато-зеленая роговая обманка так же развивается по светло-зеленому диопсид-салиту. Максимальные содержания ее установлены в периферических частях будинообразных тел габбро-диабазов среди бластомилонитов основного состава. В них она встречается в виде длинно-призматических (2—3 x 0.2—0.3 мм) кристаллов, образующих сноповидные или звездчатые агрегаты, погру-

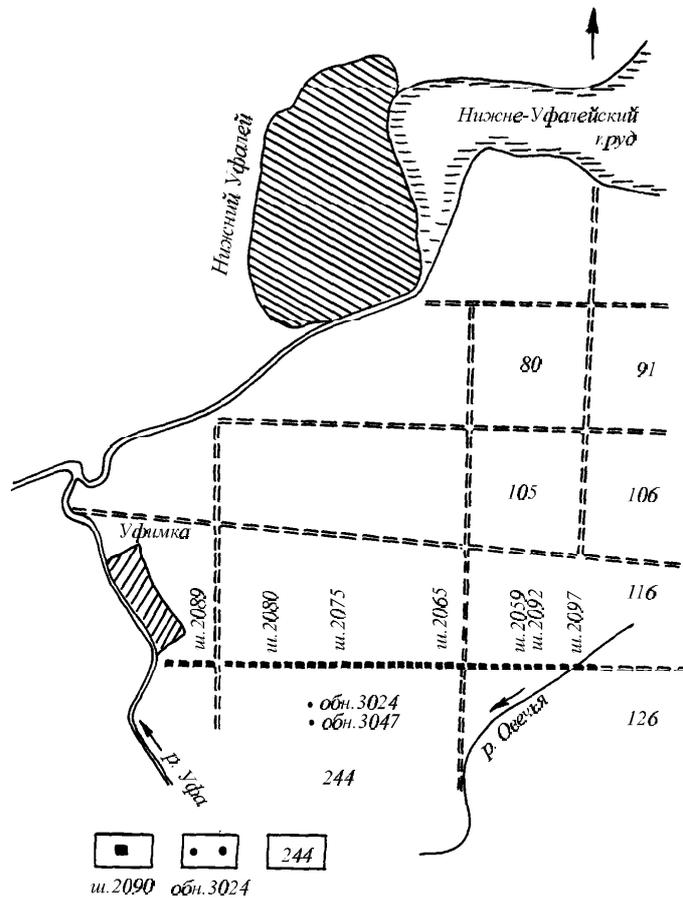


Рис. 1. Схема отбора точечных проб, из которых выделены мономинеральные фракции роговых обманок :

1 — номера горных выработок; 2 — места отбора проб; 3 — номера лесных кварталов по таксации 1957 года; масштаб: в 1 см — 670 м.

Таблица 1

Химические анализы (мас. %) blastsмилонитов

Компоненты	1	2	3	4
SiO ₂	55.10	78.56	77.52	68.42
TiO ₂	1.17	0.40	0.36	0.72
Al ₂ O ₃	15.29	8.54	9.08	13.09
Cr ₂ O ₃	0.11	0.008	0.008	Сл.
Fe ₂ O ₃	2.97	2.39	0.24	2.04
FeO	9.43	2.16	5.14	4.75
MnO	0.20	0.05	0.05	0.01
MgO	6.22	1.55	1.55	1.88
CaO	0.79	0.79	0.68	2.77
Na ₂ O	3.70	1.77	2.76	4.20
K ₂ O	0.15	1.40	1.44	0.96
V ₂ O ₅	0.22	0.03	0.03	0.03
P ₂ O ₅	0.13	0.05	0.04	0.05
П.п.пр.	4.69	1.94	1.25	1.09
Сумма	100.17	99.63	100.14	100.01
F	52.1	60.4	65.9	65.7

Примечание: 1—4 — blastsмилониты тонкополосчатые микрозернистые: 1 — альбит-хлоритовые кварцсодержащие, шурф № 2085; 2—3 — альбит-хлорит-кварцевые биотитсодержащие с аксессуарным сфеном, шурфы №№ 2151 и 2152; 4 — эпидот-хлорит-биотит-альбит-кварцевые, шурф № 2177. Анализы выполнены в Центральной химической лаборатории ПО «Уралгеология», аналитик Н. Ф. Колосова.

$$F = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}, \text{ мол. \%}$$

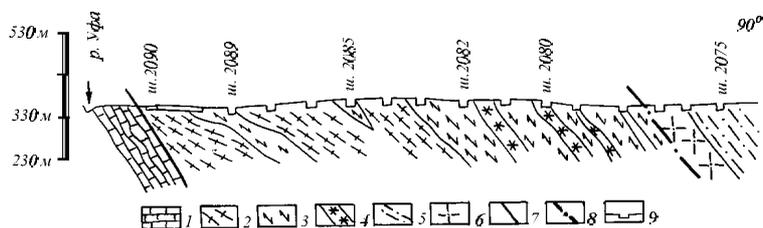


Рис. 2. Геологический разрез через указарскую тектоническую пластину (масштаб 1 : 20 000):

1 — мелкозернистые известняки, те же известняки доломитизированные, саткинская свита (?); 2 — 5 — указарская пластина (венд); 2—3 — blastомилониты серицит-кварцевые, серицит-альбит-кварцевые (2) и хлорит-альбитовые, хлорит-альбит-эпидотовые, хлорит-эпидот-кварцевые (3); 4 — пластовые тела метагаббро-диабазов; 5 — апогаббровые амфиболиты центральной части Уфалейского метаморфического блока; 6 — порфиroidные гнейсо-граниты биотит- и фенгитсодержащие; 7—8 — разломы: 7 — Юрюзане-Зюраткульский, 8 — Блаштинский; 9 — горные выработки и их номера

женные в микрозернистую эпидот-альбитовую массу. Химический состав, оптические свойства ее резко отличны от выше охарактеризованной сине-зеленой роговой обманки — для нее характерны более высокие содержания глинозема, более высокие значения величины коэффициента общей железистости F (табл. 2—4).

Таблица 2

Химические анализы (мас. %), коэффициент общей железистости (F, мол.) и коэффициент окисления (f, мол. %) роговых обманок из метагаббро-диабазов и blastомилонитов по ним

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	49.94	49.36	48.45	49.25	41.50	41.28
TiO ₂	0.50	0.50	0.36	0.45	0.75	1.22
Al ₂ O ₃	7.89	7.44	7.26	7.53	12.12	12.41
Fe ₂ O ₃	5.00	4.15	4.79	4.65	7.69	7.43
FeO	11.87	11.62	11.80	11.76	13.50	13.11
MnO	0.28	0.20	0.45	0.31	0.36	0.27
MgO	11.11	12.16	11.75	11.67	8.27	8.26
CaO	10.56	10.27	11.25	10.69	10.59	11.12
Na ₂ O	1.17	1.18	1.28	1.21	1.94	1.68
K ₂ O	0.21	0.44	0.21	0.21	0.59	1.07
H ₂ O ⁺	1.72	2.38	1.97	2.02	1.82	2.00
H ₂ O ⁻	0.07	0.24	0.31	0.21	0.44	0.00
F	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.16
Сумма	100.39	100.02	99.97	100.04	99.65	100.01
F _{2=O}	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07
Сумма	100.36	99.98	99.92	100.00	99.61	99.94
F	45.2	41.4	43.4	43.3	58.0	57.8
f	0.27	0.24	0.27	0.26	0.34	0.34

Примечание: 1—3 — сине-зеленые актинолитовые роговые обманки из метагаббро-диабазов: 1—2 — пробы отобраны из коренных обнажений №№ 3024 и 3047, 3 — из шурфа № 2082; 4 — среднее по анализам 1—3; 5 — голубовато-зеленая роговая обманка из blastомилонитов по метагаббро-диабазам; проба отобрана в 50 м на восток от шурфа № 2080 (места отбора проб см. на рис. 1); 6 — голубовато-зеленая роговая обманка из нижнепротерозойских биотит-эпидот-амфиболовых сланцев Удокано-Становой зоны [4]. Анализы выполнены в Центральной химической лаборатории ПО «Уралгеология», аналитик Н. Ф. Колосова.

$$f = \text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}), \text{ мол. \%}$$

Типохимизм ее наиболее близок к составам голубовато-зеленых роговых обманок из нижнепротерозойских роговообманко-биотит-эпидот-плаггиоклаз-кварцевых (эпидот-роговообманковая ступень) и роговообманково-биотит-плаггиоклаз-кварцевых (роговообманковая ступень) сланцев и диафторитов по пироксеновым гнейсам Удокано-Становой зоны [4], а так же к ряду образцов из различных диафторитов по апоэффузивным метабазитам [14].

На известной диаграмме Дж. Барда [12] химические составы изученных образцов сине-зеленых роговых обманок и образцов по данным [4, 14] располагаются в поле метаморфитов дистен-андалузитовой фациальной серии (рис. 3). На диаграмме (Al_{IV} + Al_{VI}, ф. е.) — F средний состав голу-

Кристаллохимические формулы (ф. е.), коэффициента a_{Si} - a_{VI} - a_{Ca} (ф. е.) синезеленых (1—4) и голубовато-зеленых (5—8) роговых обманок

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8
Si	7.17	7.17	7.09	7.14	6.34	6.26	6.25	6.29
Al _{IV}	0.83	0.83	0.91	0.86	1.66	1.74	1.75	1.71
Al _{VI}	0.52	0.44	0.34	0.42	0.52	0.48	0.47	0.53
Ti	0.05	0.05	0.04	0.05	0.09	0.14	0.14	0.05
Fe ³⁺	0.54	0.45	0.52	0.53	0.88	0.85	0.84	0.82
Fe ²⁺	1.44	1.41	1.44	1.43	1.72	1.66	1.65	2.01
Mn	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.01
Mg	2.40	2.66	2.56	2.54	1.88	1.87	1.86	1.64
Сумма	4.98	5.03	4.94	5.00	5.14	5.03	5.00	5.06
Ca	1.64	1.60	1.84	1.62	1.73	1.81	1.80	1.65
Na	0.33	0.33	0.36	0.33	0.57	0.49	0.49	0.33
K	0.04	0.08	0.15	0.05	0.11	0.20	0.22	0.11
Сумма	2.01	2.01	2.35	2.00	2.41	2.50	2.51	2.09
ОН	1.66	2.30	1.92	1.96	1.85	2.00	2.02	2.40
F	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	-
Сумма	1.70	2.34	1.96	2.00	1.89	2.06	2.08	2.40
a_{Si}	10.3	10.3	11.4	10.3	20.7	21.9	21.9	21.4
a_{VI}	22.2	18.7	18.2	19.7	29.0	29.2	29.0	27.8
a_{Ca}	18.4	20.4	21.3	20.2	28.2	27.6	28.3	21.0

Примечание: Образцы 1—3 и 5 — соответствуют нумерации таблицы 2; 4 — среднее анализов 1—3; 6—7 — голубовато-зеленые роговые обманки по данным [4, 14].

$a_{Si} = Al_{IV} / Al_{IV} + Si_{IV}$, ф. е.; $a_{VI} = Al_{VI} + Ti + Fe^{3+} / Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn + Ti + Al_{VI}$, ф. е.; $a_{Ca} = Na + K / Na + K + Ca$, ф. е.

бловато-зеленых роговых обманок отвечает P-T-условиям высокотемпературных парагенезисов амфиболитовой фации, синезеленых роговых обманок — биотитовой ступени зеленосланцевой фации (рис. 4). Следует подчеркнуть, что содержание алюминия в шестерной координации в низкобарических амфиболах ряда актинолит — синезеленая актинолитовая роговая обманка — голубовато-зеленая роговая обманка одинаковое и составляет величину 0.4—0.6 ф. е. (рис. 5), т. е. P-T-условия образования их были близки к изобарическим. Ранее было показано, что в структуре таких амфиболов заполнение тетраэдров происходит по «гастингситовой» схеме: $Si^{4+} \leftrightarrow Al^{3+} + Na$ [3], т. е.

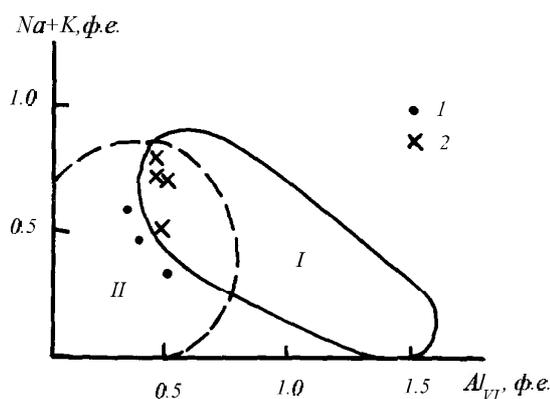


Рис. 3. Составы роговых обманок на диаграмме Дж. Барда [12].

I — II — поля составов амфиболов: дистен-силлиманитовой (I) и дистен-андалузитовой (II) фациальных серий:

1 — синезеленые роговые обманки указарской плиты, Уфалейский метаморфический блок; 2 — голубовато-зеленые роговые обманки указарской плиты, метабазитовых пород Удкано-Становой зоны [4] и диатристов по метабазитам [14]

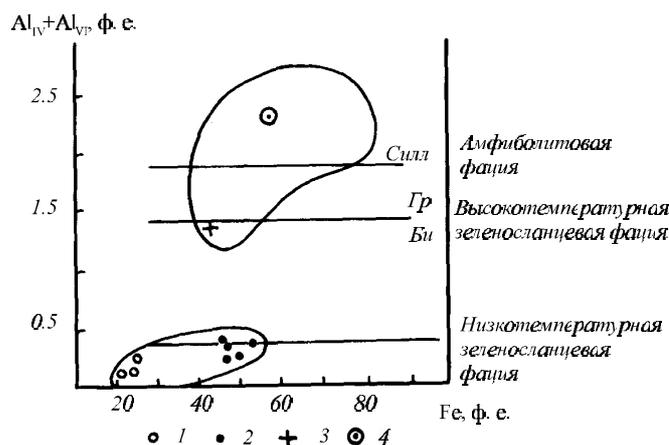


Рис. 4. Диаграмма $(Al_{IV} + Al_{VI}, \text{ ф. е.}) - (Fe, \text{ ф. е.})$ для амфиболов метаморфических комплексов дистен-андалузитового типа [3]:

1 — Восточный Отаго, Новая Зеландия [12]; 2 — Центральная и Северо-Восточная часть плато Абакума [14]; 3—4 — средние составы синезеленых (3) и голубовато-зеленых (4) роговых обманок Уфалейского метаморфического блока, Удкано-Становой зоны [4] и других метаморфических комплексов [14]

Оптические свойства и рентгеновские константы (А) роговых обманок из метагаббро-диабазов (1—4) и бластомилонитов по ним (5)

Константы	1	2	3	4	5
n_g	1.678	1.674	1.676	1.676	1.686
n_p	1.660	1.656	1.657	1.658	1.662
$n_g - n_p$	0.018	0.018	0.019	0.018	0.018
$c:N_g$, град.	18	18	20	18	18
$-2V$, град.	76	74	70	72	72
a_o , А	9.839	9.862	9.833	9.845	9.823
b_o , А	18.086	18.104	18.082	18.091	18.062
c_o , А	5.303	5.300	5.304	5.302	5.317
β град.	$10^\circ 46'$	$10^\circ 56'$	$10^\circ 54'$	$10^\circ 52'$	$10^\circ 55'$
V_o , А ³	912.4	914.4	913.0	913.3	911.3
Si_{IV}	7.17	7.17	7.09	7.14	6.34
Al_{IV}	0.83	0.83	0.91	0.86	1.74
Al_{VI}	0.52	0.44	0.34	0.42	0.48

Примечание: Номера образцов 1—3 и 5 соответствуют нумерации таблицы 2. 4 — среднее по образцам 1—3. Показатели преломления определены в мицлаборатории ПО «Уралгеология»; рентгеновские константы — в лаборатории рентгеноструктурного анализа Института геохимии и физики минералов АН Украины А. Л. Литвиным.

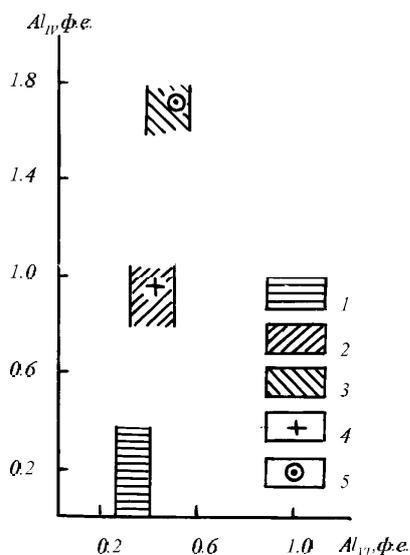


Рис. 5. Составы метаморфических амфиболов дистен-андалузитовой фациальной серии на диаграмме $Al_{IV} - Al_{VI}$ (ф. е.):

1 — актинолиты; 2—3 — синие-зеленые актинолитовые (2) и голубовато-зеленые (3) роговые обманки; 4—5 — средние составы синие-зеленых (4) и голубовато-зеленых (5) роговых обманок

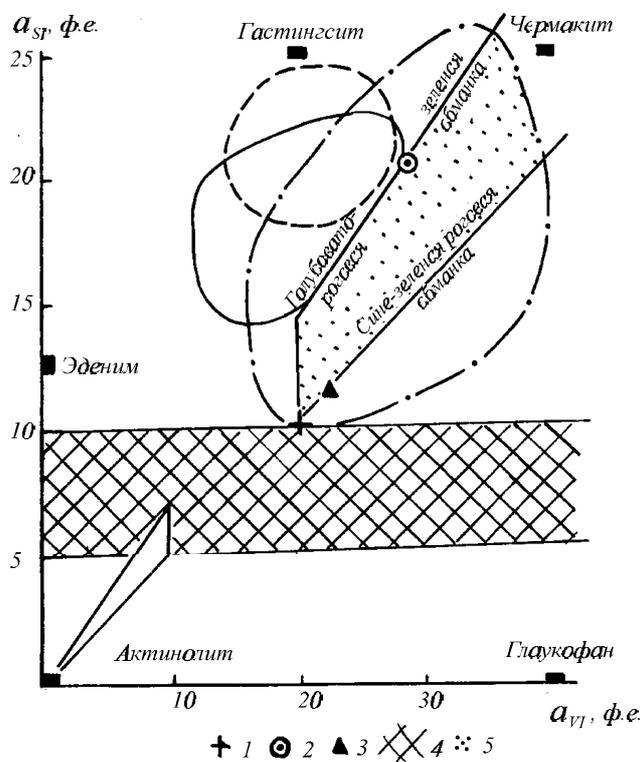


Рис. 6. Диаграмма $a_{si} - a_{VI}$ (ф. е.) для роговых обманок из метаморфических комплексов дистен-андалузитовой фациальной серии:

1—2 — средние составы синие-зеленых актинолитовых (1) и голубовато-зеленых (2) роговых обманок Уфалейского метаморфического блока, Средний Урал; 3 — средний состав «голубовато-зеленых» роговых обманок по данным [4]; 5—6 — области разрыва составов роговых обманок из метаморфитов дистен-андалузитовой фациальной серии: 5 — ряда актинолит - актинолитовая роговая обманка по данным [3]; 6 — ряда актинолитовая роговая обманка - роговая обманка по данным настоящей работы; I—III — поля составов роговых обманок: I — гранулитовой; II — амфиболитовой; III — эпидот-амфиболитовой фаций по [4]

по мере возрастания температуры метаморфизма увеличение общей глиноземистости происходит только за счет Al_{IV} . Полученный авторами новый материал позволяет выявить возможные пределы разрыва смесимости в амфиболах ряда сине-зеленая актинолитовая роговая обманка — голубовато-зеленая обыкновенная роговая обманка в метаморфитах дистен-андалузитовой серии, определяемые величиной a_{Si} от 10 до 15 ф. е. (рис. 6). Установленный разрыв смесимости составов подтверждается сосуществованием в одном теле метагаббро-диабазов как сине-зеленых, так и голубовато-зеленых роговых обманок табл. 2—4). Собственно, факт совместного существования актинолитоподобных и обыкновенных роговых обманок в виде отдельных кристаллов или отдельных фаз, последовательно обрастающих (?) или замещающих друг друга неоднократно освещался в опубликованной литературе [3—7, 10—13]. В большинстве упомянутых источников фациальная принадлежность роговых обманок не рассматривается, что в значительной мере затрудняет их использование.

Приведенный в настоящей статье материал позволяет сделать следующие выводы:

- типоморфизм химического состава сине-зеленых актинолитовых и голубовато-зеленых роговых обманок из основных пород указарской тектонической пластины характеризует эти породы как низкобарические метаморфиты дистен-андалузитовой фациальной серии;
- впервые удалось выявить ранее неизвестную область разрыва смесимости реальных составов низкобарических амфиболов, определяемую величиной a_{Si} от 10 до 15 ф. е., размеры ее в общем совпадают с размерами ранее установленной области разрыва составов для амфиболов ряда актинолит—сине-зеленая актинолитовая роговая обманка — от 5 до 10 ф. е. [3];
- выполненными исследованиями в полной мере вновь подтверждены исключительно важный вывод П. Колвилла [13] о том, что в моноклинных кальциевых амфиболах замещение кремния алюминием существенно не изменяет объема элементарной ячейки (табл. 3—4).

Становится очевидным, что необходимо изучать окраску амфиболов на количественном уровне. По известной методике [8] для сине-зеленых актинолитовых и голубовато-зеленых гастингситовых роговых обманок установленной фациальной принадлежности следует изучить широкую полосу поглощения в области 600—700 нм — полосу межзонного взаимодействия октаэдрического двух- и трехвалентного железа. Естественно, что, по мере накопления нового аналитического материала, размеры области сосуществования сине-зеленых и голубовато-зеленых роговых обманок дистен-андалузитовой серии будут уточнены.

Литература

1. Белковский А. И., Корнилов Ю. Б., Локтина И. Н. Физические свойства породообразующих гранатов уфалейского эклогит-сланцево-мигматитового комплекса. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. 100 с.
2. Белковский А. И. Низкобарические бластомилониты Цент-рально-Уральского поднятия и их металлогеническая специализация // Петрология и рудообразование. Мат. 1-го Всеросс. петрограф. сов. Уфа.: 1995. С. 27—28.
3. Дук Г. Г. Эволюция химического состава кальциевых амфиболов основных пород в различных типах метаморфизма // Изв. АН СССР. Серия геол., 1976. № 1. С. 12—23.
4. Кориковский С. П. Метаморфизм, гранитизация и постмагматические процессы в докембрии Удокано-Становой зоны. М.: Наука, 1967. 298 с.
5. Лебединский В. И. О голубовато-зеленой роговой обманке метаморфических пород // Мин. сб. Львовск. геол. о-ва, 1952. № 6. С. 221—224.
6. Ленных В. И. Метаморфические комплексы западного склона Урала // Докембрийская история Урала. Свердловск.: 1980. С. 3—40.
7. Лепезин Г. Г. Особенности химизма метаморфических амфиболов Алтае-Саянской складчатой области // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Т. X, вып. 305. Новосибирск.: Наука СО, 1976. С. 160—174.
8. Литвин М. А., Платонов А. Н., Щербаков И. Б. Колориметрические параметры роговых обманок как индикаторы фациальной принадлежности метаморфических пород // Геол. журн., 1985. Т. 40. № 2. С. 66—73.
9. Смирнов Г. А. Уфимский амфитеатр. Ч. 1. Стратиграфическое описание. М.: Наука, 1956. 174 с.
10. Хлестов В. В., Ушакова Е. Н. Метаморфизм пород китойской свиты в Восточном Саяне // Матер. по генетической и экспериментальной минерал., Т. III, вып. 31. Новосибирск: Наука СО, 1965. С. 245—286.

11. Шенгелия Д. М. Сине-зеленые роговые обманки метаморфических пород // Минералы и парагенезисы минералов магматических и метаморфических горных пород. Л.: Наука, 1975. С. 72—84.

12. Bard J. P. Composition of hornblendes forming during the Hercynian progressive metamorphism of the Arocena metamorphic belt, SW Spain // Contribs. Mineral. Petrol., 1970, Vol. 28, № 2, p. 117—134.

13. Colville P. A., Ernst W. J., Gilbert M. G. Relationship between cell parameters and chemical compositions of monoclinic amphiboles // Amer. Mineral., 1966, Vol. 51, № 11—12, p. 1350—1361.

14. Vernon R. H. Co-existing cummingtonite and hornblende in amphibolite from Duchess, Queensland, Australia // Amer. Mineral., 1962, vol. 47, № 3—4, p. 360—370.