УДК 552.16:552.48 + 549.6

ВКЛЮЧЕНИЯ ОМФАЦИТА, ГЛАУКОФАНА И ФЕНГИТА В РУТИЛЕ УЛЬТРАМАФИТОВ БУЛДЫМСКОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

П. М. Вализер¹, А. И. Русин², А. А. Краснобаев², Н. Н. Банева²

¹Ильменский государственный заповедник им. В. И. Ленина УрО РАН, Миасс
valizer@ilmeny.ac.ru

²Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург
rusin@igg.uran.ru, krasnobaev@igg.uran.ru, atlantida21@mail.ru

Выполнено минералогическое изучение серпентинизированного дунита Булдымского массива (Ю. Урал). Установлен широкий спектр минералов: оливин, энстатит, серпентин, хромшпинелиды, пирит, рутил, чермакит — роговая обманка, корунд, доломит, плагиоклаз, барит, гранат. В рутиле определены микровключения омфацита, глаукофана, фенгита и титанита. Такая ассоциация микровключений в акцессорном рутиле ультрамафитов обнаружена впервые. Равновесие ассоциации $\text{Omp} + \text{Gln} + \text{Ph} + \text{Ttn}$ определяется параметрами $T = 500\text{—}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P \geq 15$ кбар, отмечающими, вероятно, промежуточную стадию эволюции щелочно-ультраосновной породной ассоциации.

Ключевые слова: Булдымский массив, ультрамафит, омфацит, глаукофан, фенгит.

OMPHACITE, GLAUCOPHANE AND PHENGITE INCLUSIONS IN RUTILE FROM THE BULDYMS ULTRAMAFIC MASSIF (SOUTH URAL)

P. M. Valizer¹, A. I. Rusin², A. A. Krasnobaev², N. N. Baneva²

¹Ilmeny State Reserve UB RAS, Miass

²Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg

Mineralogy of the Buldymskiy serpentized dunite massif (South Ural) was studied. A wide variety of minerals including: olivine, enstatite, serpentine, Cr-spinelles, pyrite, rutile, tschermakite — hornblende, corundum, dolomite, plagioclase, barite and garnet was identified. The omphacite, glaucophane, phengite and titanite inclusions were determined in rutile for the first time. The equilibrium $\text{Omp} + \text{Gln} + \text{Ph} + \text{Ttn}$ assemblage is caused by T from 500 to 600 $^{\circ}\text{C}$ and $P \geq 15$ kbar, that probably marks an intermediate evolution stage of alkaline-ultramafic rock association.

Keywords: Buldym massif, ultramafic rocks, omphacite, glaucophane, phengite.

Ильмено-Вишневогорский комплекс представляет собой уникальный геологический объект, мировую известность которому принесли богатейшая самоцветная и редкометаллическая минерализация пегматитов, а также широкое развитие щелочных пород — нефелиновых сиенитов. При значительной степени изученности комплекса вопрос о природе щелочного магматизма до сих пор остается дискуссионным. Известная палингено-метасоматическая модель образования миаскит-карбонатитовой ассоциации

[5] отрицает ее связь с глубинным мантийным магматизмом. В то же время геохимические особенности мафит-ультрамафитовых пород и данные по изотопии Nd и Sr [1, 7, 8] со всей определенностью свидетельствуют об их принадлежности к щелочно-ультраосновной ассоциации [11], глубинным источником вещества которой являлись обогащенные мантийные резервуары типа EM-1 и EM-2. Сохранность в основных метафоидалитах реликтовых гроспидитовых парагенезисов [9] позволила на основе эксперименталь-

ных данных зафиксировать давление в 22—27 кбар. Впервые обнаруженный высокобарический парагенезис микровключений в рутилах ультрамафитов дает дополнительную информацию об условиях декомпрессионного подъема глубинного блока, предшествующих его включению в нижнюю кору.

Краткая геологическая характеристика комплекса

Ильмено-Вишневогорский комплекс, представленный различными

метаморфическими и магматическими образованиями, слагает узкую субмеридиональную зону от Ильменских до Вишневых гор протяженностью более 100 км (рис. 1). Метаультрамафиты и ассоциирующие с ними мафиты широко развиты как в осевой зоне комплекса, так и в его восточной части среди кварцитосланцевых толщ сайтовской серии. Они образуют крупные серпентинитовые массивы (Няшевский и другие) или представлены мелкими будинообразными и линзовидными телами оливин-энстатитовых, энстатитовых, тальк-антофиллитовых, тальк-карбонатных, тремолит-антофиллитовых пород и разнообразных амфиболитов. В 70-е годы сформировалось представление о принадлежности этих тел к раннегеосинклинальной офиолитовой ассоциации. Позже, в работах А. С. Варлакова [3 и др.], было выдвинуто предположение о позднедокембрийском рифтогенном генезисе мафит-ультрамафитовой ассоциации, а В. Я. Левин с соавторами [5] допускали возможность отнесения гипербазитов к стратиформным аповулканическим образованиям («метакоматиитам»). В наших работах [1, 9, 11] ультрамафиты, ассоциированные с высокobarическими метафойдалитами, рассматриваются как фрагменты щелочно-ультраосновной интрузии центрального типа, дезинтегрированной в зоне Ильмено-Вишневогорского постколлизийного сдвига.

Булдымский массив представлен крупными ультрамафитами, залегающими в фенитизированных бластомилонитах, выделявшихся ранее в вишневогорскую «метаосадочную свиту» [7, 8]. Массив имеет изометричные очертания и линзовидную форму размером до 1 км и мощностью до 250 м (рис. 1). Сложен оливиновыми и энстатит-оливиновыми породами с вкрапленностью флогопита и тремолита и вторичными лизардитовыми серпентинитами [3]. В экзоконтактах отмечаются гранат-амфиболовые породы, а к его средней части приурочена зона развития слюдитов с флогопит-рихтеритовыми метасоматитами и карбонатитами. Изохронный Sm-Nd-возраст метасоматизированных ультрамафитов и карбонатитов Булдымского массива составляет 602 ± 24 млн лет [8]. В единичных зернах цирконов ультрамафитов сохраняются реликтовые мезопротерозойские (1352 ± 14 млн лет) и силурийские (428.9 ± 2.1 млн лет) датировки. Отчетливо проявлен возрастной кластер (250—270 млн лет), отмечающий

время формирования постколлизийного сдвига [4].

Методика исследований

Микрозондовый анализ состава минералов выполнен на растровом микроскопе РЭММА-202М с микроанализатором в лаборатории физических методов анализа минерального вещества Института минералогии (аналитик В. А. Котляров). Ускоряющее напряжение 20 КВт, ток на образце $H \cdot 10^{-10}$ А. Стандарты: AstJMEscientific Limited MJNM 25—53 Mineral Mount serial № 01—044. Содержания петрогенных элементов в ультрамафите определено рентгенфлуоресцентным методом на CPM — 18.25, VRA — 30, P3Э и PЭ на масс-спектрометре с индуктивно

связанной плазмой ELAN — 9000 в ЦКП ИГГ УрО РАН «Геоаналитик».

Минералогия

Серпентинизированный ультрамафит желтовато-зеленого цвета, массивной текстуры, пятнистой структуры, пятна образованы оливином и пироксеном. Структура основной массы петельчатая. Сложен оливином (5 %), пироксеном (5 %), антигоритом, хризотилом и серпофитом (86 %), хлоритом (2 %), карбонатом и магнетитом (2 %).

Редкие минералы представлены рутилом, включениями в нем омфакита, глаукофана, фенгита и титанита, амфиболами, гранатом, корундом, плагиоклазом и баритом.

Рис. 1. Схематическая геологическая карта района Ильменских — Вишневых гор (а): 1 — Селян-кинский комплекс — амфиболит-гнейсово-плагиомигматитовый, 2 — массивы миаскитов, 3 — бластомилониты гранитоидного и сиенитового состава, 4 — милониты Кыштымского сдвига-надвига, 5 — «еланчиковская серия плагиосланцев и мигматитов инъекционного типа», 6 — сайтовская метатерригенная серия, 7 — зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон, 8 — Увильдинский монзонит-гранитный комплекс, 9 — гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса, 10 — метাগаббро. Схема геологического строения Булдымского массива гипербазитов (б): 1 — гнейсы, кварциты, амфиболиты Вишневогорской свиты; 2 — карбонатиты и ассоциирующие с ними флогопитовые и флогопит-рихтеритовые породы; 3 — миаскиты; 4 — серпентинизированные энстатит-оливиновые, оливиновые породы; 5 — послерудные разломы; 6 — местоположение, номер пробы

Оливин наблюдается в виде неправильных зерен размером 0.4–0.5 мм. Магнезиальность варьирует от 0.90 до 0.94, содержание никеля до 0.01 к. ф. (см. таблицу). Зерна чаще всего серпентинизированы, в отдельных зернах по оливину развит доломит ($Mg_{46}Ca_{52}$). А. С. Варлаков с соавторами [3] подчеркивает его вторичную природу, т. е. образование в процессе оливинитизации.

Энстатит образует призматические зерна размером 0.6–0.8 мм, замещается серпентином и хлоритом. Отмечаются включения чермакита (рис. 2, а). Он характеризуется колебанием магнезиальности от 0.88 до 0.91, содержит до 0.08 к. ф. алюминия и до 0.07 к. ф. хрома.

Серпентин развит по оливину и пироксену, замещая их. В основном представлен мелкими пластинчатыми

зернами антигорита, по трещинкам в оливине и пироксене соответствует хризолиту, а в центре серпентинитовых петель встречается серпофит. По составу антигорит высокомагнезиальный ($\# Mg = 0.96–0.94$), содержит алюминий (до 0.14 к. ф.).

Рутил — кристаллы и округлые зерна с разной интенсивностью окраски, темно-светло-коричневого цвета,

размером от 0.1 до 1.2 мм. В его составе регистрируются колебания содержания: Cr_2O_5 — от 0.03 до 1.26 мас. %; V_2O_5 — от 0.45 до 1.92 мас. %; Nb_2O_5 — до 1.53 мас. %. Содержит включения титанита, циркона, омфакита, глаукофана, фенгита (рис. 2, б, с, d).

Титанит во включениях в рутиле содержит оксид алюминия (до 1.1 мас. %), в основной массе породы содержание

Рис. 2. Микрофотографии зерна энстатита с включениями чермакита (а) и зерен рутила с включениями омфакита, глаукофана, фенгита, циркона и титанита (б–d) из серпентинизированного дунита Булдымского массива

Результаты микрозондового анализа минералов серпентинизированного дунита

Оксиды	Rt	Omp		Rt	Gln		Ph	Ol		Mgs	En	Ttn	
SiO ₂		55.7	56.3		56.5	55.4	49.6	41.2	41.7	0.00	57.4	30.4	28.6
TiO ₂	99.3	1.79	0.84	98.6	0.00	1.80	3.05	0.00	0.00	0.00	0.05	37.3	43.1
Al ₂ O ₃		15.5	15.9		12.7	12.0	26.6	0.00	0.00	0.00	1.06	3.10	1.14
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
FeO	0.19	6.57	6.62	0.32	12.1	11.6	3.31	8.94	8.65	1.46	6.26	0.57	0.08
MnO		0.00	0.00		0.00	0.00	0.10	0.21	0.05	0.00	0.17	0.00	0.00
MgO		4.51	3.91		9.76	9.75	3.34	49.2	48.9	19.4	34.6	0.00	0.00
CaO		5.71	5.79		0.75	0.69	0.10	0.00	0.18	31.0	0.17	28.3	26.5
Na ₂ O		9.95	10.2		6.43	6.62	0.56	0.00	0.00		0.19	0.00	0.00
K ₂ O		0.00	0.00		0.00	0.14	9.89	0.00	0.00		0.05	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.39			0.42				0.44	0.00				
Nb ₂ O ₅				0.41									0.16
Σ	99.90	99.73	99.56	99.78	98.24	98.00	96.55	99.99	99.48	51.86	99.97	99.67	99.58

(Продолжение таблицы)

Оксиды	En	Ts		Hbl			Srp		Grt		Pl		
SiO ₂	58.2	46.7	43.8	46.7	53.0	48.6	44.4	44.1	38.3	39.5	61.90	53.8	58.2
TiO ₂	0.00	0.22	1.22	0.54	0.08	0.15	0.00	0.00	0.33	0.05	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.37	11.7	11.9	11.6	5.71	10.2	0.61	1.19	14.9	18.9	24.1	29.3	26.2
Cr ₂ O ₃	0.00	0.61	0.00	0.47	0.33	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	5.70	4.83	16.1	5.00	3.41	4.84	3.85	3.05	11.0	5.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.11	0.02	0.14	0.00	0.00	0.00	0.12	0.20	0.49	0.03	0.00	0.00	0.00
MgO	35.4	19.7	10.5	19.4	22.5	20.3	40.2	40.8	0.58	0.57	0.00	0.00	0.00
CaO	0.16	12.0	12.5	11.8	12.2	12.1	0.25		34.4	35.0	5.71	11.7	8.47
Na ₂ O	0.00	2.19	1.06	1.90	0.91	1.63	0.00		0.00	0.00	7.52	4.70	6.31
K ₂ O	0.00	0.11	1.07	0.13	0.07	0.13	0.00		0.00	0.00	0.46	0.13	0.20
V ₂ O ₅													
Nb ₂ O ₅													
Σ	99.94	98.08	98.29	97.54	28.21	98.51	89.43	89.34	100.0	99.05	99.69	99.53	99.38

Примечание. Индексы минералов: En — энстатит, Gln — глаукофан, Grt — гранат, Hbl — роговая обманка, Mgs — магнезит, Ol — оливин, Omp — омфакит, Ph — фенгит, Pl — плагиоклаз, Rt — рутил, Srp — серпентин, Ttn — титанит, Ts — чермакит.

оксида алюминия более высокое (до 3.1 мас. %).

Включения **омфациита** (до 8—15 мкм) прямоугольной формы характеризуются высоким содержанием жадеитового (60—71 %) и низким акмитового (5—7 мол. %) компонентов (см. таблицу). По составу сопоставимы с омфациитами жадеитсодержащего эклогита и жадеит-кварц-альмандиновой породы максютовского комплекса и омфациитами кианитовых «корундовых» эклогитов марункеуского комплекса.

Включения **глаукофана** имеют округлую или прямоугольную форму размером до 12—15 мкм. Для его состава характерно невысокое содержание Si^{4+} (7.47—7.65 к. ф.) и Al^{VI} (1.46—1.67), железистость от 39 до 41 %. Позиция А вакантна, В не заполнена (см. таблицу). По составу сопоставим с глаукофаном гранат-глаукофановых зон Урала и другими.

Для **фенгита** отмечается низкое содержание Si^{4+} (3.27—3.29 к. ф.), вариации натрия — от 0.07 до 0.11 к. ф. и железистости — от 23 до 36 % (см. таблицу).

Амфиболы представлены чермакитом и роговой обманкой. Чермакит развит в виде включений в энстатите, для его состава характерна низкая железистость ($F = 13$ %) и повышенное содержание натрия (до 0.6 к. ф.). В ассоциации с титанитом амфибол представлен железистой разновидностью (46 %). Для роговой обманки характерна низкая железистость ($F = 9—12$ %), вариации содержания алюминия — от 0.03 до 0.08 к. ф. и натрия — до 0.44 к. ф. Часто по роговой обманке развивается серпентинит.

Плагноклаз по составу соответствует олигоклаз-анортиту ($\text{Ab}_{42-78}\text{An}_{57-19}$).

Гранат представлен андрадит-гроссуляром ($\text{Py}_2\text{Alm}_2\text{Sps}_1\text{Ca-comp}_{95}$), $F = 83—92$ %, неоднороден с замещением $\text{Al} \rightarrow \text{Fe}$ от центра к краю зерна (см. таблицу).

Условия формирования

Включения в рутиле омфациита, глаукофана, фенгита и титанита, вероятно, представляют раннюю минеральную ассоциацию, которая типоморфна для глаукофансодержащих пород высокobarических комплексов Урала. Р—Т-параметры ее образования по содержанию жадеитового компонента в омфациите [12], кремнезема

и натрия в фенгите [2, 13] определяются температурой более 600 °С и давлением не менее 14—15 кбар. Для чермакита из включений в энстатите по амфиболовому термобарометру [6] рассчитана температура от 650 до 675 °С при давлении 8.5—8.7 кбар. Образование оливина и энстатита, по данным А. С. Варлакова с соавторами, отвечают условиям гранулитовой и амфиболитовой фаций [3]. Область формирования роговой обманки определяется температурой 550—620 °С при давлении 5.5—7 кбар.

Выводы

Обнаружение высокобарической ассоциации микровключений в ультрамафитах Булдымского массива важно для реконструкции термодинамических параметров формирования щелочно-ультраосновной ассоциации Ильмено-Вишневогорской зоны. Принято считать, что становление интрузий центрального типа происходит в гипабиссальных условиях, а генерация исходных расплавов — в глубинных мантийных резервуарах, что подтверждается изотопно-геохимическими данными. Анализ парагенезисов Уразбаевской щелочно-ультраосновной ассоциации Ильмен позволил сделать вывод о гробидитовом уровне генерации исходных расплавов [9—11]. Новые данные по Булдымскому массиву могут быть интерпретированы как свидетельство декомпрессионного подъема ультрамафитового материала из глубинного мантийного источника.

Литература

1. Банева Н. Н., Медведева Е. В., Русин А. И. Геохимические особенности ультрамафитов Ильменогорской сдвиговой зоны // Ежегодник-2008. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 115—119.
2. Вализер П. М. Светлая слюда максютовского эклогит-глаукофан-сланцевого комплекса (Южный Урал) // ЗРМО. 2012. № 2. С. 52—64.
3. Варлаков А. С., Кузнецов Г. П., Корблев Г. Г., Муркин В. П. Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 195 с.
4. Краснобаев А. А., Вализер П. М., Русин А. И., Бушарина С. В., Медведева Е. В. О цирконах гипербазитов Бул-

дымского массива // Ежегодник—2012: Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2013. Вып. 160. С. 300—302.

5. Левин В. Я., Роненсон Б. М., Самков В. С., Левина И. А., Сергеев Н. С., Киселев А. П. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 274 с.

6. Мишкин М. А. Амфиболовый геотермобарометр для метабазитов // Докл. АН СССР, 1990. Т. 312. № 4. С. 944—946.

7. Недосекова И. Л. Новые данные о возрасте, источниках вещества и генезисе ультрабазитов и карбонатитов Булдымского массива (Ильмено-Вишневогорский комплекс, Урал) // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. Т. 2. С. 70—72.

8. Недосекова И. Л. Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Урал, Россия): Геохимические и изотопные Rb—Sr, Sm—Nd, U—Pb, Lu—Hf данные // Литосфера. 2012. № 5. С. 77—95.

9. Русин А. И., Вализер П. М., Краснобаев А. А., Банева Н. Н., Медведева Е. В., Дубинина Е. В. Природа гранат-анортит-клинопироксен-амфиболовых пород Ильменогорского комплекса (Ю. Урал) // Литосфера. 2012. № 1. С. 91—109.

10. Русин А. И., Краснобаев А. А., Вализер П. М. Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы // Тр. ИГЗ УрО РАН. Миасс, 2006а. С. 3—19.

11. Русин А. И., Краснобаев А. А., Русин И. А., Вализер П. М., Медведева Е. В. Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских — Вишневых гор // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Миасс: УрО РАН, 2006б. С. 222—227.

12. Holland T. J. B. The experimental determination of activities in disordered and short-range ordered jadeitic pyroxenes // Contrib. Miner. Petrol., 1983. V. 82. P. 214—220.

13. Massonne H. J., Schreyer W. Phengite geobarometer based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite and quartz // Contrib. Miner. Petrol., 1987. V. 96. № 2. P. 212—224.

Рецензент

д. г.-м. н. А. Б. Макеев