

Другой важной чертой является взаимосвязь высокотемпературных динамометаморфических преобразований в ультрабазитах и вмещающих породах. Зональность в ультрабазитах, выраженная сменой протогранулярных микроструктур порфиорокластическими и мозаичными микроструктурами, определенно связана с возрастанием степени деформации в краевой части массива. Под влиянием контактового динамометаморфизма вмещающие базальтоиды были преобразованы в мелкозернистые амфибол-плагиоклазовые породы (кытлымиты) с бластомилонитовой структурой. Явная подчиненность структуры кытлымитов конфигурации массива, а также согласная ориентировка линейности в этих породах с положением и оси мегаструктуры ультрабазитов, позволяет утверждать, что динамометаморфические преобразования носили взаимосвязанный, сопряженный характер.

Результаты проведенного структурного изучения, свидетельствуют, что становление массива не было результатом обычного магматического внедрения и расслоения «in situ». Это был достаточно длительный процесс, характеризовавшийся сложной динамикой кристаллизации и последующей деформации. В целом, Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив, характеризующийся расслоенным строением, субконцентрической плоскостной структурой с отчетливыми признаками течения пород и динамометаморфической зональностью следует относить к особому классу образований – магматическим диапирам [6 и др.], которые в процессе кристаллизации и остывания постепенно трансформируются в твердопластичные (solid-state) диапиры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Высоцкий Н.К.* Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского района на Урале // Тр. Геол. Комитета. Нов.серия., 1913. № 62. 694 с.
2. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: минералогия, петрология, генезис. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1997. 488 с.
3. *Малахов И.А., Малахова Л.В.* Нижне-Тагильский пироксенит-дунитовый массив и вмещающие его породы // Тр. Института геологии и геохимии УФАН СССР. Свердловск. 1970. 157 с.
4. *Савельев А.А., Савельева Г.Н., Бабарина И.И., Чаплыгина Н.Л.* Тектонические условия расслоения дунит-пироксенитовых тел Нижнетагильского массива Платиноносного пояса Урала // Геотектоника. 2001. № 6. С. 20-31.
5. *Шмелев В.Р.* К основным проблемам формирования Платиноносного пояса Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 144-157.
6. *Marsh B.D.* On the mechanics of igneous diapirism, stopping, and zone melting // Am. J. Sci. 1982. V. 262. P. 808-855.

УЛЬТРАБАЗИТЫ ПОЛЯРНОГО УРАЛА: МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГЕНЕЗИС

Шмелев В.Р.

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
e-mail: shmelev@igg.uran.ru*

ULTRABASITES OF THE POLAR URALS: MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGENESIS

Shmelev V.R.

*Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia
e-mail: shmelev@igg.uran.ru*

Ultrabasites of the Polar Urals ophiolite complexes are presented by lherzolites, harzburgites, dunites and meta-ultrabasites. They are characterized by some features of mineralogy and geochemistry, reflecting their polygenetic nature. Formation of ultrabasites substantial heterogeneity was produced by depletion during partial melting, refertilization under the influence of percolated melts (fluids),

reactionary transformation of harzburgites with the appearance of dunites and by metamorphism. The contribution of these processes has been different, however it is obvious, that ultrabasites have lost lines inherent in typical restites.

Мантийные ультрабазиты офиолитовых комплексов так же, как их аналоги в океанических бассейнах, характеризуются разнообразным строением и составом, которые обусловлены глубинными тектономагматическими процессами на границах литосферных плит. Выяснение значения и пространственно-временной взаимосвязи этих процессов является важнейшей задачей современных петрологических исследований. Предпринятое автором изучение ультрабазитов известного Полярноуральского офиолитового пояса [1, 2] позволило получить новые данные, уточняющие природу существующей вещественной гетерогенности.

Ультрабазиты Полярного Урала и ассоциирующие с ними породы дунит-клинопироксенит-габбрового комплекса слагают три крупных массива – Сыум-Кеу, Рай-Из и Войкарский, которые контролируются зоной Главного Уральского разлома (рис. 1). Строение массивов определяется существованием раннего лерцолит-гарцбургитового (LH) и более позднего дунит-гарцбургитового (DH) комплексов пород, разномасштабными структурами пластического течения, а также присутствием хромитовых рудопроявлений и промышленных месторождений. Детальное петрографическое и петрохимическое изучение ультрабазитов позволяет выделять в их составе лерцолиты, диопсид-содержащие гарцбургиты, гарцбургиты, дуниты и метаультрабазиты. Последние разновидности широко распространены в Райизском и Войкарском массивах, где представлены метаморфизованными ультрабазитами с амфиболом, антигоритом (клинохлором), а также вторичными гарцбургитами с равновесным оливин-энстатит-амфибол-клинохлоровым парагенезисом.

Состав изученных минералов (оливина, орто- и клинопироксена, амфибола, шпинели) ультрабазитов демонстрирует ряд важных закономерностей их эволюции. От лерцолитов к гарцбургитам и дунитам оливины и пироксены обнаруживают снижение, а шпинели возрастание железистости; при этом в последних наблюдается сопряженный рост хромистости (с 14 до 83%). В составе ортопироксенов процесс деплетирования зафиксирован падением содержания глинозема, при незначительном росте хрома, а процесс субсолидусной реэквилибрации – снижением содержаний обоих компонентов. По термобарометрической оценке становление полярноуральских ультрабазитов с безводным парагенезисом начиналось при температурах $\geq 1000^\circ\text{C}$ и давлениях порядка 1,5-2,1 ГПа и завершилось при более низких давлениях и температурах ($< 1,5$ ГПа и $850-950^\circ\text{C}$). В результате последующего высокотемпературного ($600-800^\circ\text{C}$) водного метаморфизма, наиболее отчетливо проявленного в массиве Рай-Из, происходило образование метаультрабазитов с высокомагнетизальным оливиним и энстатитом (обедненным Са, Al) в ассоциации с тремолитом и

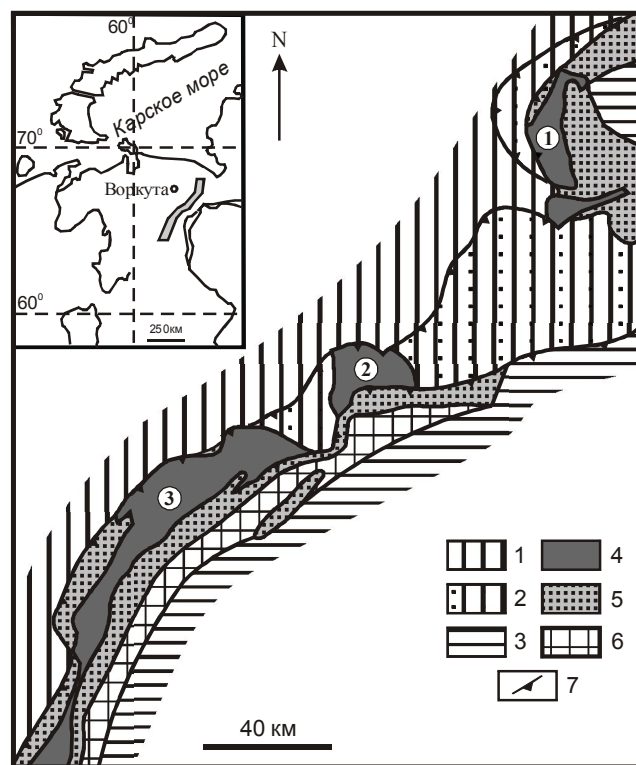


Рис. 1. Тектоническое положение габбро-ультрабазитовых массивов Полярного Урала.

1 – осадочные рифтогенно-батальные образования ($PZ_{1,2}$); 2 – метаморфизованные осадочно-вулканогенные палеозойские образования с блоками докембрийского фундамента; 3 – палеозойские вулканогенно-осадочные комплексы Войкаро-Щучьинской мегазоны; 4 – массивы мантийных ультрабазитов (1 – Сыум-Кеу, 2 – Рай-Из, 3 – Войкарский); 5 – дунит-клинопироксенит-габбровый комплекс; 6 – гранитоиды; 7 – надвиги.

клинохлором. Формирование низкотемпературных метаультрабазитов второго типа (с антигоритом, тремолитом) не сопровождалось существенным изменением состава оливина и энстатита.

В геохимическом отношении полярноуральские ультрабазиты демонстрируют особенности состава, которые на уровне первичных парагенезисов хорошо коррелируются с минералогией пород. В ряду лерцолит-гарцбургит с возрастанием хромистости шпинели (и соответственно степени истощения) происходит отчетливое снижение общего содержания редких земель, особенно средних и тяжелых лантаноидов. Наименее истощенные разновидности, представленные лерцолитами и диопсидсодержащими гарцбургитами, по своим характеристикам близки океаническим абиссальным ультрабазитам. Дуниты, несмотря на более высокую хромистость шпинели, в большинстве случаев демонстрируют сходный с гарцбургитами уровень содержания и характер распределения лантаноидов. Изученные метаультрабазиты, вне зависимости от фациального уровня, также характеризуются практически аналогичной картиной распределения РЗЭ, что указывает на их устойчивое поведение при метаморфизме. Важной отличительной особенностью полярноуральских ультрабазитов является их геохимическая дискретность, обусловленная существованием гарцбургитов и дунитов с обычным и аномальным (с отрицательной Eu-аномалией) типом распределения. Преобладающий U-образный характер распределения РЗЭ в породах обусловлен значительной ролью в их составе легких лантаноидов.

Анализ полученных данных свидетельствуют о том, что полярноуральские ультрабазиты являются по своей природе *полигенными* образованиями, в вещественном становлении которых принимали участие не только процессы частичного плавления (деплетирования), но и последующего флюидно-магматического воздействия.

В целом, принадлежность ультрабазитов к реститам с различной степенью плавления не вызывает особых возражений, учитывая закономерные вариации состава минералов. Судя по составу шпинели, степень частичного плавления составляет 5-25% в серии лерцолит-гарцбургит, поднимаясь в дунитах до крайне высокого уровня в 30-45%. Более полное представление о соответствии изученных пород ультраосновным реститам дает сравнение составов РЗЭ с расчетными составами тугоплавкого остатка в модели фракционного (либо порционного) плавления слабодеплетированной мантии.

Среди ультрабазитов модельному распределению наиболее близки составы лерцолитов, отвечающие реститу с 12% (8-16%) степенью плавления. Диопсидсодержащие гарцбургиты обычного типа имеют более высокую (18%) степень плавления, в то время как разновидности аномального типа по распределению средних и тяжелых лантаноидов, занимают промежуточное положение; они соответствуют реститам с относительно невысокой (до 15%) степенью плавления, выделяясь на их фоне обогащенностью легкими РЗЭ. В отличие от «слабоистощенных» разновидностей ультрабазитов, гарцбургиты и дуниты отвечают модельному распределению лишь на уровне тяжелых (Er-Lu) лантаноидов, соответствуя реститам с высокой (20-25%) степенью частичного плавления. В диапазоне от эрбия до лантана, в отличие от модельных составов, они обнаруживают не снижение, а напротив относительное увеличение содержаний РЗЭ. Примечательно, что дуниты из маломощных тела в лерцолит-гарцбургитовом комплексе, характеризуются отрицательными трендами распределения с очень высоким содержанием средних и легких лантаноидов. В целом, отличие составов полярноуральских ультрабазитов и модельных составов тугоплавкого остатка при частичном плавлении мантийного вещества представляется достаточно очевидным.

Установленное нетипичное для реститов обогащение ультрабазитов легкими РЗЭ, также сопровождается ростом концентраций Zr, Hf, Nb, что указывает на их взаимодействие с расплавом (флюидом), обогащенным этими элементами. Подобное поведение обычно рассматривается как свидетельство мантийного метасоматоза или магматической рефертилизации. На минеральном уровне это взаимодействие обуславливает появление равновесного амфибола и даже циркона в хромитовых рудах. В ходе данного процесса возможно образование обогащенных мобильными элементами неструктурированных (плечных) фаз на границах зерен, что подтверждается результатами анализа кислотных вытяжек при селективном выщелачивании пород.

Наряду с рефертилизацией в ультрабазитах отмечается проявление другого необычного процесса, с которым связано образование составов с отчетливой отрицательной Eu-аномалией, широко распространенных в Войкарском и Райизском массивах, но отсутствующих в массиве Сьум-

Key. Природа Eu-аномалии в мантийных ультрабазитах дискуссионна, однако, в нашем случае, очевидно, что ее появление не было обусловлено вторичными процессами, поскольку она отмечается даже в несерпентинизированных ультрабазитах. Объяснение этому «феномену» может заключаться в том, что европий существует не только в трех, но и двухвалентном (мобильном!) состоянии. В процессе флюидно-магматической инфильтрации (до рефертилизации?) европий, частично присутствующий в форме Eu^{2+} удалялся из системы, что и обусловило возникновение отрицательной аномалии.

Еще одним масштабным процессом, запечатленным в полярноуральских массивах, является формирование разнообразных по размерам и морфологии тел дунитов, которые по структурно-геологическим данным являются поздними по отношению к гарцбургитам и лерцолитам. Согласно установленным минералого-геохимическим характеристикам дуниты не могут являться продуктом деплетирования или метаморфической дифференциации. Более вероятно, что они являются результатом реакционного преобразования ультрабазитов (с растворением и выносом пироксенов) и сопряженного обогащения легкими и средними РЗЭ. Реальность данного процесса подтверждается отчетливым обогащением шпинели дунитов (и части гарцбургитов) титаном, вызванным взаимодействием с расплавами островодужной или бонинитовой природы. Принимая во внимание близость составов аксессуарной шпинели в дунитах и шпинели из околорудных дунитов и хромититов, предполагается, что их образование происходило в рамках единого процесса.

В целом, согласно полученным данным формирование вещественной дискретности полярноуральских ультрабазитов определялось следующими процессами: деплетированием в ходе частичного плавления, рефертилизацией под воздействием просачивающихся расплавов (флюидов), реакционным преобразованием гарцбургитов (и отчасти лерцолитов) с появлением дунитов и водным метаморфизмом. Вклад этих процессов был различен, однако очевидно, что уже до этапа водного метаморфизма ультрабазиты в значительной степени утратили черты присущие реститам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.
2. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / Под ред. В.Н. Пучкова и Д.С. Штейнберга. Свердловск: УрО АН СССР. 1990. 228 с.

ТЕКТОНОТЕРМАЛЬНАЯ ИСТОРИЯ БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВ ШИДИНСКОГО МАССИВА (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Юдин Д.С.*, Травин А.В.*, Владимиров В.Г.*, Мехоношин А.С.,
Владимиров А.Г.*, Хромых С.В.*, Волкова Н.И.*, Колотилина Т.Б.****

**Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия*

e-mail: dsyudin@gmail.com

***Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия*

e-mail: mekhonos@igc.irk.ru

THE TECTONOTHERMAL HISTORY OF SHIDA MAFIC-ULTRAMAFIC ROCKS (WESTERN CISBAIKALIA)

Yudin D.S.*, Travin A.V.*, Vladimirov V.G.*, Mekhonoshin A.S.,
Vladimirov A.G.*, Khromykh S.V.*, Volkova N.I.*, Kolotilina T.B.****

**Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

e-mail: dsyudin@gmail.com

***Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia*

e-mail: mekhonos@igc.irk.ru

An effective approach for decoding the geological history of collision systems is based on reconstruction *P-T-d-t* evolution of metamorphic and magmatic complexes on the basis of petrologic,