

изотопное равновесие между кальцитом и графитом не достигается, что и отражается на “показаниях” геотермометра кальцит-графит.

Литература

1. Kyser T.K. (1987): *Mineralogical Association of Canada Short Course*. **13**, 1 – 84.
2. Chacko T. *Mineralogical Association of Canada Short Course*. **21**, 357-384, 1993.
3. Northrop D.A. and Clayton R.N. *J. Geol.* **74**, 174-196, 1966.
4. Suzuoki T. and Epstein S. *Geochim. Cosmochim. Acta* **40**, 1229 – 1240, 1976
5. Wada H. and Suzuki K. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **47**, 697- 706, 1983.
6. Valley J.W. *Reviews in Mineralogy* **16** 445 – 489, 1986.
7. Urey H.C. *J. Chem. Soc. (London)*, 562-581, 1947.
8. Bigeleisen J. and Mayer M.G. *J. Chem. Phys.* **15**, 261-267, 1947.
9. Kieffer S.W. *Rev. Geophys. Space Phys.* **20**, 827-849, 1982
10. Schütze H. *Chem. Erde* **39**, 321 – 341, 1980
11. Richter R. and Hoernes S. (1988) *Chem. Erde* **48**, 1 – 18..
12. Zheng Y.-F. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**, 2299-2307, 1991.
13. Polyakov V.B. and Kharlashina N.N. *Geochim. Cosmochim. Acta* **59**, 2561-2572, 1995
14. Polyakov V.B. (1997) *Geochim. Cosmochim. Acta* **61**, 4213 – 4217.
15. Polyakov V.B. and Mineev S.D. (2000) *Geochim. Cosmochim. Acta*. **64**, 849 – 865
16. Polyakov V.B., Mineev S.D., Clayton R.N., Hu G. and Mineev K.S. (2005) *Geochim. Cosmochim. Acta* **69**, 5531–5536.
17. Scheele N. and Hoefs J. (1992) *Contrib. Mineral. Petrol.* **112**, 35-45
18. Chacko T., Mayeda T.K., Clayton R.N., and Goldsmith J.R. (1991) *Geochim. Cosmochim. Acta* **55**, 2867 - 2882.
19. Bottinga Y. (1969) *Geochim. Cosmochim. Acta* **33**, 49-64.; *Earth Planet. Sci. Lett.* **5**, 301-307.
20. Valley J.W. and O'Neil J.R. (1981) *Geochim. Cosmochim. Acta* **45**, 411-419.
21. Kitchen N.E. and Valley J.W. (1995) *J. Metamorph. Geol.* **13**, 577-594
22. Morikyo T. (1984) *Contrib. Mineral. Petrol.* **87**, 251 – 259.
23. Dunn S.R. and Valley J.W. (1992) *J. Metamorph. Geol.* **10**, 487-501.
24. Clayton R.N. and Kieffer S.W. (1991) In: *Stable Isotope Geochemistry: A Tribute To Samuel Epstein*. (eds. H.P.Taylor, Jr., J.R.O'Neil and I.R.Kaplan) pp. 3-10., Lancaster Press.
25. Becker R. H. (1971) Carbon and oxygen isotope ratios in iron-formation and associated rocks from the Hammersley Range of Western Australia and their implications. Ph.D. Thesis, University of Chicago.
26. Cole D.R., Horita J., Polyakov V.B., Valley J.W., Spicuzza M.J, and Coffey D.W. (2004) *Geochim. Cosmochim. Acta* **68**, 3569–3585.
27. Seto M., Kitao S., Kobayashi Y., Haruki R., Yoda Y., Mitsui T. and Ishikawa T. (2003) *Phys. Rev. Lett.* **91**, 185505-1–185505-4.
28. Кривдик С.Г., Загнитко В.Н., Луговая И.П. (1997) *Минерал. Журн.* **19**, 28-

ПРОБЛЕМА ГЕНЕЗИСА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД ИЛЬМЕНО-ВИШНЕВОГОРСКОЙ ЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Русин А.И. *, Краснобаев А.А. *, Русин И.А. *, Вализер П.М. **, Медведева Е.В. **, Банева Н.Н. *

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, rusin@igg.uran.ru

²Ильменский государственный заповедник УрО РАН, Миасс, hranitel@ilmeny.ac.ru

Проблема генезиса щелочных пород Ильменских - Вишневых гор наиболее активно стала обсуждаться в начале первой половины прошлого века. Поводом для дискуссии явились публикации А.Г. Жабина, Е.М. Еськовой, Н.В.Свяжина и др. об обнаружении карбонатитов, ранее известных только в связи со щелочно-ультраосновными комплексами платформ. Возможность образования карбонатитов в орогенных поясах не находила адекватных объяснений и только авторитетное заключение А.И.Гинзбурга о правомерности отнесения к карбонатитам пород Ильмено-Вишневогорской зоны стало основанием для последующих выводов о существовании самостоятельного формационного типа миаскит-

карбонатитовых комплексов, связанных с линейными зонами щелочных метасоматитов. Вначале предполагалась внутрикоровая анатектическая природа щелочных пород [11], изофациальность миаскитов глубинным гранитам и вмещающим гнейсам и сопряженность их формирования с герцинской фазой орогенной складчатости и регионального метаморфизма. Главная проблема виделась лишь в неясности причин синхронного появления наряду с обычными гранитными продуктами селективного плавления альтернативного по отношению к ним нефелин-сиенитового расплава. Публикации изохронных Rb-Sr и U-Pb датировок [3, 10 и др.] дали основания для отнесения щелочных пород Ильмен к доорогенными образованиями, связанным с континентальной рифтовой стадией развития Урала. Полученные значения ~ 450 и 240 млн. лет были интерпретированы, в соответствие с двухэтапной моделью, как время кристаллизации и охлаждения щелочных пород после завершения амфиболитовой стадии пермского метаморфизма. На основании Sr-Sr-O изотопных данных было сделано заключение, что миаскиты и карбонатиты должны быть связаны с глубинным (мантийным) источником и их формирование не могло происходить за счет вмещающих гнейсов. Для карбонатитов этот вывод был подтвержден новыми данными, в том числе и по изотопии неодима [7]. Однако наибольшую известность получила палингенно-метасоматическая модель [5], предполагающая фенитизацию исходного амфиболито-гнейсового субстрата под воздействием потока мантийных щелочно-карбонатитовых флюидов, внутрикоровый анатексис и последующее развитие процессов связанных со становлением интрузий карбонатит-миаскитового комплекса.

Все отмеченные трактовки основывались на устоявшихся представлениях о геологии и структуре района развития щелочных пород, которая рассматривалась в качестве антиклинория с раннедокембрийским амфиболит-гранулитовым ядром, протягивающимся в субмеридиональном направлении на 120-150 км при ширине в первые километры. Нами было показано [2, 8], что преобладающим типом пород "ядра антиклинория" являются не гнейсы и мигматиты, а гранитоидные бластомилониты, сформированные в условиях хрупко-пластичной деформации и характеризующие собой глубинный фрагмент регионального сдвига, прослеживающегося по простиранию на несколько сот километров. Пластичные (хрупко-пластичные) деформации отчетливо проявлены и в массивах щелочных пород, что известно давно, но не учитывалось в петрогенетических построениях. Микрозондовый анализ минеральных равновесий в матриксе бластомилонитов позволил установить [2], что трансформация пород в условиях хрупко-пластичной деформации происходила при $T=400-550^{\circ}\text{C}$ и высоком флюидном давлении (до 10-13 кбар). Такой флюид обладает повышенной растворяющей способностью по отношению к кварцу и его эволюция, контролируемая составами исходных пород, может дать ключ к пониманию механизмов развития процессов синсдвиговой фенитизации и постсдвигового пегматито- и карбонатитообразования. В гнейсовых блоках (Селянкинском и др.), не затронутых хрупко-пластичными деформациями, свидетельства фенитизации отсутствуют, поэтому распространенное мнение об экзоконтактовой природе фенитов Ильменогорского и Вишневогорского массивов представляется не очевидным. Возможность реоморфического перемещения этих массивов в верхнюю кору не обсуждалась, но оснований для рассмотрения такого механизма достаточно много. Фенитизация же гранитоидных бластомилонитов характеризуется региональным развитием и в большинстве своем обнаруживается вне связи с массивами щелочных пород. Петрохимически она выражается в десиликации и относительном увеличении содержания щелочей и, в меньшей мере, окиси кальция (рис. 1). Однако по валовому составу фениты существенно отличаются от нефелиновых и щелочных сиенитов и при плавлении могут дать только субщелочные расплавы. Другим, не менее очевидным фактом является отсутствие генетической связи большинства пегматитовых жил с ордовикскими массивами нефелиновых сиенитов. Субширотная ориентировка жил и возрастные данные (180-220 млн. лет) однозначно указывают на постсдвиговое время их формирования. Вполне вероятно, что они являются производными остаточного флюида, возникшего в процессе развития постколлизийного сдвига. Характерно, что и карбонатитовые жилы часто занимают

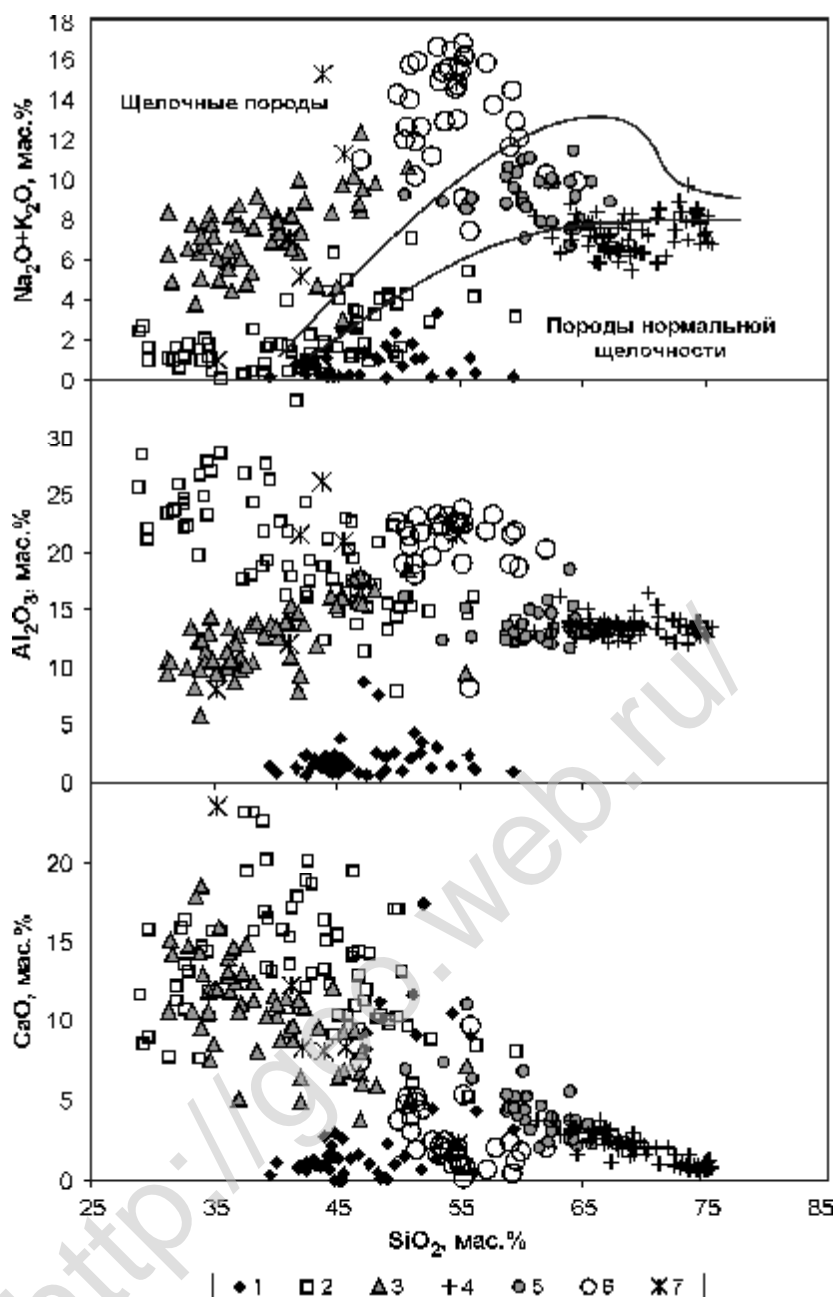


Рис. 1. Соотношения $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Al_2O_3 и CaO с окисью кремнезема в породах щелочно-ультраосновной ассоциации Ильмено-Вишневогорской зоны.

1 - метагипербазиты, 2 - метабазиты, 3 - меланократовые включения в миаскитах и фенитах, 4 - вмещающие гранитоидные blastsмилониты, 5 - фениты, 6 - миаскиты и сиениты, 7 - средние типы пород щелочно-ультраосновного комплекса Ice River (Британская Колумбия).

секущее положение по отношению к тектонической расслоенности вмещающих пород. Несмотря на то, что карбонатитовый материал в процессе формирования сдвиговой зоны испытывал неоднократную ремобилизацию, в его изотопном составе сохранились свидетельства, указывающие, по мнению [7], на сходство в развитии карбонатитового процесса со щелочно-ультраосновными комплексами платформ. Однако объективные данные для возрастного подразделения и диагностики карбонатитов, связанных собственно с магматическим этапом формирования щелочного комплекса пока отсутствуют.

В современном эрозионном срезе Ильмено-Вишневогорской зоны с большой достоверностью реконструируются события, относящиеся к истории формирования постколлизийного сдвига. Увидеть в них свидетельства процессов, отражающих последовательные стадии формирования щелочных пород, якобы проявляющиеся в

"подынтризивном", "интризивном" и "надынтризивном" субкомплексах [5], можно лишь на основе очень существенного домысливания. В то же время априорное исключение из рассмотрения мафит-ультрамафитовых ассоциаций и многообразие мнений о их формационной принадлежности [1, 4, 5, 11] препятствовали объективной оценке их роли в генезисе щелочных пород.

Нами приводилась аргументация того, что многочисленные метабазит-гипербазитовые блоки, широко распространенные в осевой зоне сдвига и кварцито-сланцевых толщах чехла, могут представлять собой дезинтегрированные фрагменты сложно построенной платформенной интрузии центрального типа [9]. В пользу такой трактовки свидетельствуют, в первую очередь, петрохимические данные (рис. 1), наглядно демонстрирующие вещественную общность всех плутонических пород сдвиговой зоны, которые с определенной условностью могут подразделяться на три ассоциации: ультрамафит-метабазитовую, щелочноультраосновную (якупирангит-ийолитовую) и миаскит-карбонатитовую. Такое подразделение согласуется с выводами [7], основанными на изотопных данных, о связи карбонатитов с двумя мантийными источниками - умеренно деплетированным (DM) и обогащенным (EM 1) и указывают на полифазность формирования исходной щелочно-ультраосновной интрузии. Эволюционная направленность развития магматического процесса отчетливо выражена в геохимической специализации породных ассоциаций. Обогащенность Sr, Ba, Zr, Hf, Nb, Ta, U, Th и другими редкими элементами, слабо дифференцированный тренд редких земель и очень высокое их суммарное содержание (рис. 2), часто превышающее сумму TR+Y в миаскитах и щелочных сиенитах, можно

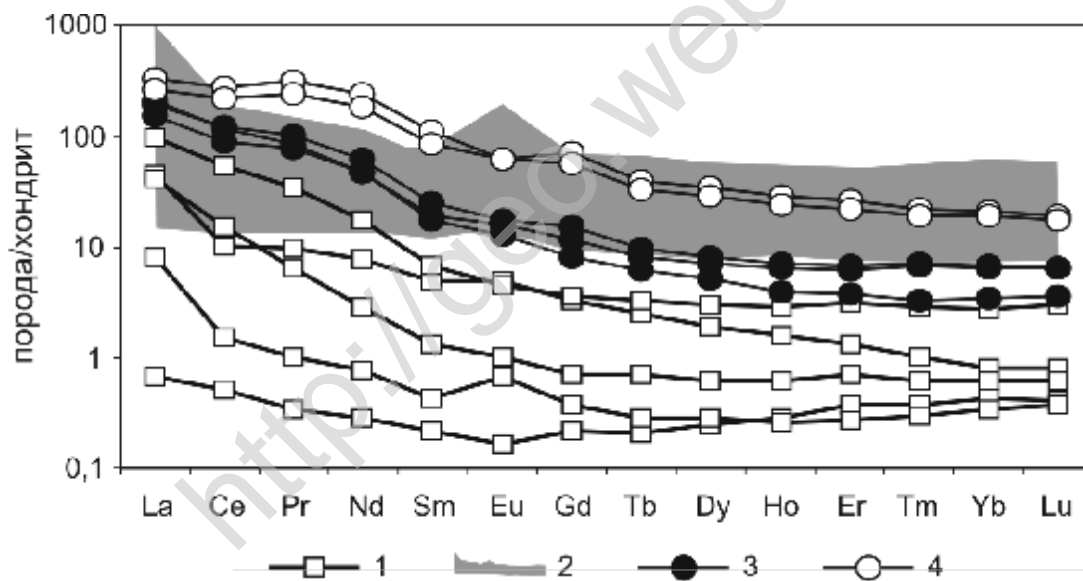


Рис. 2 Диаграмма распределения редких земель в породах щелочно-ультраосновной ассоциации Ильмено-Вишневогорской зоны.

1 - метагипербазиты, 2 - метабазиты, 3 - миаскиты, 4 - сиениты

объяснить только генетическими причинами. Если к этому добавить данные о пироклоровом типе минерализации и наличии в ультрамафитах тетраферрифлогопита, считающихся типоморфными минералами щелочно-ультраосновных комплексов платформ, то станет очевидным, что к рассуждениям об отсутствии связи миаскит-карбонатитовой ассоциации Ильмено-Вишневогорской сдвиговой зоны с мантийным мафит-ультрамафитовым магматизмом следует относиться критически и рассматривать их как несоответствующие современному уровню знаний.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ(07-05-96020-Р_урал_а), Программы ОНЗ РАН № 6, Интеграционного проекта УрО - СО РАН и гранта Президента РФ (НШ-4210.2006.5).

Литература

1. Варлаков А.С., Кузнецов Г.П., Кораблев Г.Г., Муркин В.П. Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 195 с.
2. Ворожук Д.В., Русин А.И. Опорный геологический разрез средней части Ильменогорско-Сысертской полиметаморфической зоны // Путеводитель геологических экскурсий. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 64-95.
3. Кононова В.А., Донцова Е.И., Кузнецова Л.Д. Изотопный состав кислорода и стронция ильмено-вишневогорского щелочного комплекса и вопросы генезиса миаскитов // Геохимия. 1979. № 12. С. 1784-1795.
4. Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. Новое в геологии, петрографии и минералогии Ильменских гор. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 102 с.
5. Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С. и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 274 с.
6. Макагонов Е.П., Баженов А.Г., Вализер Н.И. и др. Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. 180 с.
7. Недосекова И.Л., Прибавкин С.В. Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса: геология, вещественный состав, возраст, геохимия, источники вещества // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Миасс: УрО РАН, 2006. С. 167-173.
8. Русин А.И., Краснобаев А.А., Вализер П.М. Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы // Тр.ИГЗ УрО РАН, Миасс, 2006. С.3-19.
9. Русин А.И., Краснобаев А.А., Русин И.А. и др. Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских-Вишневых гор // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Миасс: УрО РАН, 2006. С. 222-227.
10. Чернышов И.В., Кононова В.А., Крамм У., Грауэрт Б. Изотопная геохронология щелочных пород Урала в свете данных уран-свинцового метода по цирконам // Геохимия. 1987. №. 3. С. 323-328.
11. Штейнберг Д.С., Левин В.Я. Основные проблемы геологического строения, истории формирования и состава Ильменогорского комплекса метаморфических и магматических горных пород // Тр. Ильменского гос. заповедника. Вып. IX. Свердловск: УФАН СССР, 1971. С. 6-22.

МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССОВ КИМБЕРЛИТООБРАЗОВАНИЯ

Рябчиков И.Д.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва
iryab@igem.ru*

Состав кимберлитов существенно отличается от выплавов из не содержащих летучие перидотитов: кимберлиты характеризуются более высокими отношениями катионов-модификаторов к катионам-сеткообразователям. Это объясняется высокими содержаниями CO_2 в протокимберлитовых расплавах. CO_2 присутствует в форме карбонатов: доломитоподобных расплавов при равновесии с лерцолитом [1, 2, 3, 4] и более магнезиальных карбонатов в случае гарцбургитов. Сравнение отношений $(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca})/(\text{Si}+\text{Al})$ в кимберлитах группы 1А и в близсолидусных выплавках из не содержащего летучие пиролита при условии, что избыток этого отношения отвечает присутствию доломитоподобного компонента, показывает, что исходные кимберлитовые расплавы содержали около 20% CO_2 (оценено из экспериментальных данных при 5 ГПа) или 15% CO_2 (оценено для 5 ГПа). Сходное значение оценивается и для насыщенного в отношении CO_2 расплава, равновесного с гарцбургитовой минеральной ассоциацией: расплав состава кимберлита группы 1А сосуществует с оливином и ортопироксеном при 4.5 ГПа и 1650°C, что отвечает 15% CO_2 в расплаве. Таким образом, первичные кимберлитовые магмы являются промежуточными между силикатными и карбонатными расплавами.

Оцененные высокие содержания CO_2 в кимберлитовых магмах не требуют аномальной обогащенности летучими их источника. Кимберлиты сильно обогащены не