

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ СЕРИЙ, ТИПОВ МАГМ И ПОРОДНЫХ АССОЦИАЦИЙ НОРМАЛЬНОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ

В.С. Куликов¹, В.В. Куликова¹, Я.В. Бычкова², А.Ю. Бычков³

¹Институт геологии Карельского НЦ РАН; Петрозаводск, e-mail: vkulikova@onego.ru

²Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, e-mail: yanab66@yandex.ru;

³МГУ, Москва, e-mail: andrewbychkov@rambler.ru

Появление на земной поверхности «перегретых» (высокомагнезиальных) магматических расплавов – явление экзотическое в сравнении с преобладающими базальтовыми, андезитовыми и риодацитовыми магмами. Ограниченные масштабы проявления первых свидетельствуют об специфике состояния земных недр, а, следовательно, специфике их первичных мантийных резервуаров. Особенности «финальных» поверхностных магм, имеющих отличительные свойства от мантийных за счет контаминации последних коровым материалом, проявляются в разнообразии эффузивных мафит-ультрамафитов. Промежуточными расплавами, материнскими для вулканитов, должны бы быть глубинные расслоенные плутоны, а также среднеглубинные интрузивы небольших размеров. Практически все современные работы по описанию мафит-ультрамафитовых магматических пород содержат данные по оценке состава родоначальных мантийных магм и их принадлежности к тем или иным магматическим сериям. Ранее [Куликов, 1993; Петрохимические..., 2001 и др.] авторами были проведены исследования на предмет выявления самостоятельности ряда петрохимических высокомагнезиальных серий нормальной щелочности: анортозитовой, бонинитовой, коматиитовой, пикритовой, меймечитовой и др. на основе анализа закономерностей, заложенных в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. Было корректно установлено, что базовыми элементами для пород этих магматических серий с содержанием в породах $MgO > 9\%$ являются Mg, Al и Ti. На диаграмме В.С.Куликова $Al_2O_3 - 10xTiO_2 - MgO$ вышеуказанные серии образовали самостоятельные тренды, однако составы их исходных расплавов за счет искажений треугольника сходились в единую точку. Поиски привели к созданию идентификационных диаграмм $lg (Al_2O_3:TiO_2) - lg MgO$ (или $lg ATM$ (алюмотитановый модуль) - $lg MgO$) и $ATM - MgO$, построенных на содержаниях этих элементов в вес. % в пересчете на безводный остаток. Было установлено, что породные ассоциации (вулканиты и плутониты) выстраиваются в определенные тренды с направлением «боуэновской» эволюции в сторону уменьшения MgO , увеличения щелочей при одинаковом значении ATM . Каждая из выделенных серий на этих диаграммах отделяется от соседних минимальным объемом точек составов и устойчивым ростом FeO в последовательности от глиноземистой к ферритовой. При этом только логарифмические координаты не дают перекрытия полей составов. Названия серий авторами даны по индикаторному элементу или ключевой (эффузивной) породе, характеризующейся соответствующим значением ATM : 1) глиноземистая (из-за отсутствия на настоящее время эффузивных аналогов) ($ATM > 70$); 2) бонинитовая ($ATM = 70 - 30$); 3) коматиитовая (хондритовая) ($ATM = 30 - 10$); пикритовая ($ATM = 10 - 4$); меймечитовая ($ATM = 4-1,8$); лампроитовая ($ATM < 1,8$). Особенности минеральных ассоциаций пород каждой серии особенно в интервале содержаний $MgO = 9 - 45\%$ обусловлены исходным составом. На основании многочисленных исследований вещественного состава ксенолитов из кимберлитовых трубок авторами в настоящее время приняты для каждой следующие типоморфные минеральные ассоциации, соответственно: 1) оливины (Fo_{90-93}), плагиоклазы (An_{89-83}) и шпинелиды (хромит – магнезиально-железистый хромпикотит - герцинит, пикотит в шпинелевых троктолитах), в ультраосновной части - высокохромистый гранат; 2) оливин, оливин - ортопироксен, оливин – ортопироксен - плагиоклаз (индикаторный - шпинель) ультраосновные – пироксеновые с гранатом перидотиты; 3) для Al - необедненных (хондритовых) разностей: оливин, оливин - шпинель, оливин – ортопироксен – клинопироксен - шпинель (индикаторные минералы - шпинель и гранат), а для Al-деплезированной разности: оливин, оливин – ортопироксен - клинопироксен (индикаторный минерал - гранат) с переходом в шпинелевые и гранатизированные шпинелевые перидотиты; 3) оливин, пижонит – авгит - плагиоклаз (индикаторный минерал - магнетит) с выходом в гранатовые перидотиты; 4) два оливина (один неравновесный), два оливина -

шпинель, два оливина – ортопироксен - шпинель, два оливина - клинопироксен - ортопироксен-шпинель, оливин - мелилит, оливин – шпинель - мелилит (индикаторный минерал-?) → в карбонатизированные с биотитом перидотиты; 5) оливин - шпинель, оливин – пижонит - плагиоклаз (индикаторные минералы для камафугитовой группы - армалколит (прайдерит), для орендитовой (?)- ильменит) → в ильменит-пироповые перидотиты.

Вышеприведенные выкладки являются возможными вариантами, поскольку условия формирования конкретных магматических комплексов имеют широкий спектр. Все предположения о родоначальных мантийных расплавах строятся на исследовании конкретных интрузивных и эффузивных пород, поэтому авторы объектами верификации выдвинутых теоретических положений сделали разноглубинные фации: эффузивы, подвулканские камеры, среднеглубинные интрузивы и глубинные плутоны ЮВ Фенноскандии, а также ряд минералов (оливины, хромшпинелиды и др.) из них (рис. 1).

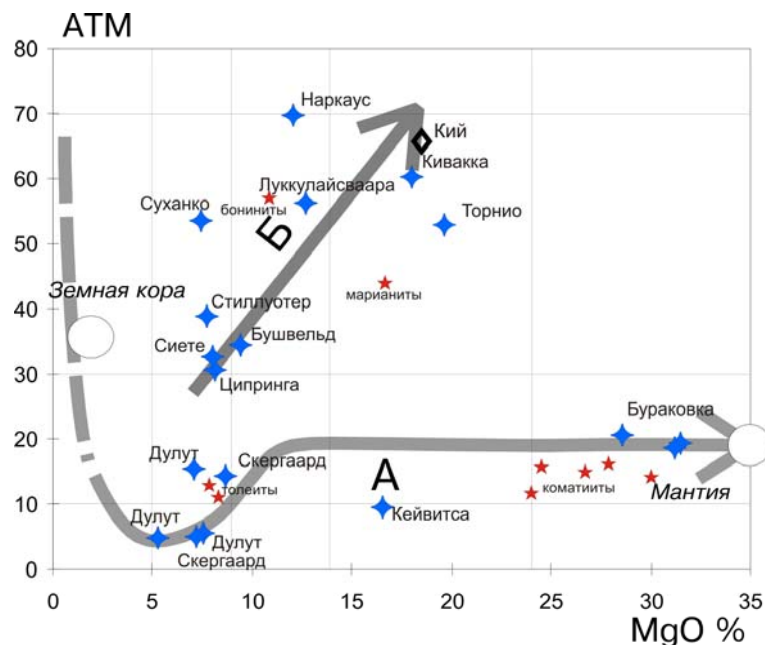


Рис. 1. Тренды выплавки из мантийного пиролита при давлении менее 10 кб (А) и изменение положения тренда при увеличении давления (Б). Стрелкой на тренде А показано увеличение степени плавления. Ромбиками обозначены средневзвешенные составы интрузивов, звездочками – эффузивные аналоги.

Для анализа составов магм в промежуточных очагах авторы в качестве базового материала использовали данные по ряду расслоенных интрузивов высокомагнезиальных мафит – ультрамафитов: на ЮВ – Бураковский и др., на С - интрузивы Олангской группы Северной Карелии (Кивакка, Ципринга, Луккулайсваара). При нанесении средневзвешенных составов расслоенных интрузивов на диаграмму (см. рис. 1) полученные точки образовали три группы: 1) в области высокого содержания Mg (~30%) и низкого ATM (~20); 2) в низкомагнезиальной области (~5% Mg) с низким ATM (5 – 15); 3) довольно широкая область с высоким ATM (от 30 до 70) и различным содержанием магния (5–20%). К интрузивам с исходными магмами бонинитового ряда с последовательностью кристаллизации: $O_l > O_l + O_rх > O_rх + P_l - O_l > O_rх + P_l + Aug$ – относятся Стиллиуотер, Бушвельд, Кивакка и Луккулайсваара, Федорово-Панские тундры, Мончегорский плутон, Имандра, Куккола-Торнио, Кеми, Портимо, Койлисмаа, Аканваара, занимая на диаграмме широкое поле с высоким ATM. Порядку кристаллизации коматиитовых магм ($O_l > O_l + Cрх > Cрх + O_rх + P_l - O_l > P_lг + Cрх + P_l - O_rх > P_lг + Cрх + P_l + M_t$) отвечают Бураковский интрузив, Койтелайнен, Кейвитса. Средневзвешенный состав этих массивов соответствует составу кумулятивной части коматиитовых потоков. На диаграмме они находятся в высокомагнезиальной области. Интрузивами с толеитовым типом (феннеровские тренды) исходной магмы являются Дулут, Скергаард (порядок кристаллизации $O_l > O_l + P_l > O_l + P_l + Aug > P_l + Aug + P_lг - O_l > P_l + Aug + P_lг + M_t$), несколько более глиноземистый – Ципрингский. Точки с их составами оказались в низкомагнезиальной области с низким ATM. Установлено, что толеитовый тип родоначальных магм оказался в самой низкоглиноземистой области тренда (минимум ATM), а коматиитовый – в магнезиальной, где значение ATM не меняется. Интрузивы с изначально

бонинитовым составом занимают область, в которую тренд смещается при повышении давления. Средние составы различных дифференциатов одного интрузива образует облако точек, принадлежащее областям, отвечающим соответствующим составам пород, а общая для всех интрузивов закономерность изменения вещества наблюдается лишь в центральной части разреза ($ATM = 5 - 40$, $MgO = 5 - 9\%$). Нижняя его часть с исходным коматиитовым составом соответствует области дунитов и коматиитов ($ATM = 4 - 20$, $MgO = 20 - 45\%$). Тот же уровень для интрузивов с бонинитовыми родоначальными магмами оказывается в области гарцбургитов и бонинитов ($ATM = 20 - 50$, $MgO = 10 - 20\%$).

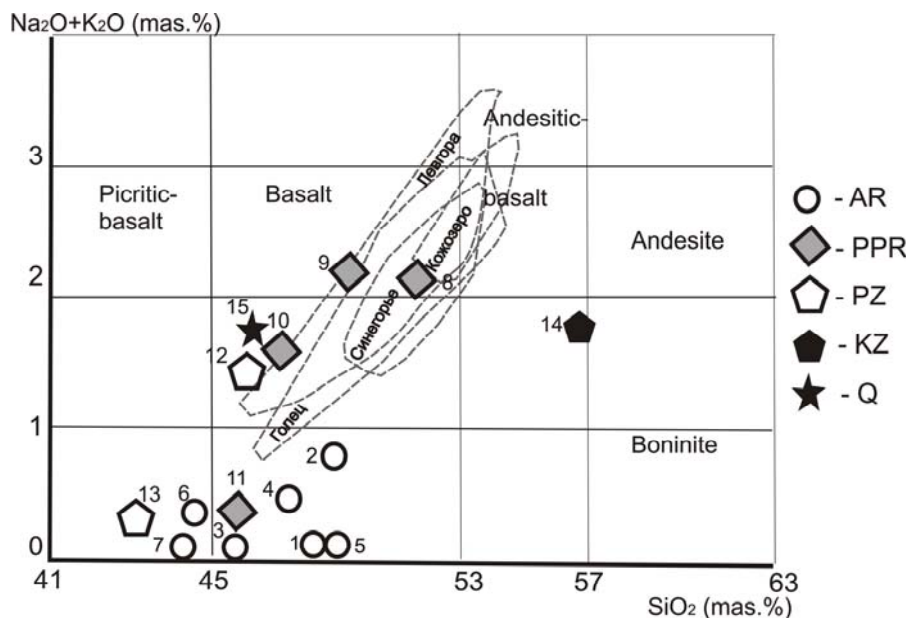


Рис. 2. Диаграмма Le Bas $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ для представительных типов высокомагнезиальных магм. I. Коматиитовый [Коматииты...1988] - в архейских зеленокаменных поясах: 1 – Барбертон, 2 –Белингве, 3 –Абитиби, 4 –Норсеман - Вилуна, 5 – Койкарский, 6 –Костамукшский, 7 – Кумбуксинский. II. «Ветренитовый» - в палеопротерозойских интракратонных рифтах [Коматииты..., 1988; Ультраосновные породы..., 1988; Arndt et al., 2008]: 8 –Ветренный Пояс (участки: Голец, Левгора, Синегорье), 9 –Гильмор (Канада) и пикритовый в отдельных структурах: 10 – Онежский, 11 – Печенгский. III. Пикритовый норильский – 12 и меймечитовый – 13 в палеозойских интракратонных рифтах [Ультраосновные породы 1988]. IV. Бонинитовый – 14 в кайнозойских вулканических дугах [Шараскин, 1987]. V. Гавайский - 15 в современных океанических о-вах (пикритовый, по [Ультраосновные породы..., 1988]).

Из эффузивных пород более всего для исследования являются хорошо изученные толщи коматиитовых базальтов свиты Ветреный Пояс: система Голец – Руйга (вулкан – подвулканная камера), лавовое озеро Виктория (Левгора) и лавы Синегорья (г. Мяндуха), а также некоторые объекты Ц.Карелии (участок Койкары), 3. Карелии (Костомукша) и др., а также Ю.Африки, Канады и др. На классической диаграмме TAS (рис. 2) все они образуют узкое индивидуальное поле составов коматиитовой серии, которое отделено от поля бонинитовой серии. Дополнительный анализ на диаграмме $Ti/Zr - Al_2O_3/TiO_2$ [Wilson, Versfeld, 1994] показал, что составы палеопротерозойских коматиитовых базальтов и здесь образуют самостоятельное поле «финальных» расплавов (рис. 3), которые имеют повышенное содержание щелочей, а также легких РЗЭ (особенно церия) [Куликова и др., 2007]. Авторы считают необходимым рассматривать этот тип контаминированных высокомагнезиальных магм ($MgO - 9 - 18\%$, $TiO_2 - 0.5 - 1\%$), слагающих край Ветреный Пояс - крупнейший в Мире район их проявления (>5000 кв. км), как «ветренитовый». Предлагаемое название объективно характеризует петрохимический тип и закономерное звено в ряду высокомагнезиальных магм: коматиитовая ($Mg > 18\%$, $TiO_2 < 1\%$), ветренитовая ($Mg - 9 - 18\%$, $TiO_2 - 0.5 - 1\%$), бонинитовая ($Mg > 8\%$, $TiO_2 < 0.5\%$), меймечитовая ($Mg > 18\%$, $TiO_2 > 1\%$) Это может также свидетельствовать о формировании в подвулканной камере специфических расплавов, сильно контаминированных неархейским коровым материалом. Они характеризуют, в первую очередь, особенности магматических камер: местоположение, вмещающие породы, активность диффузионных процессов и т.д., поэтому могут быть названы собственными (региональными) именами.

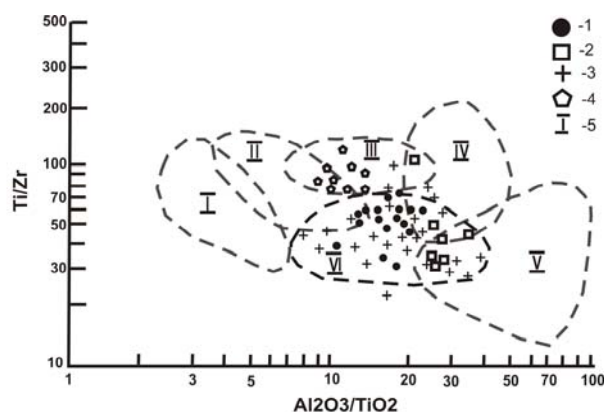


Рис. 3. Диаграмма Ti/Zr – Al₂O₃/TiO₂ [Wilson, Versfeld, 1994] для некоторых пород палеопротерозоя Фенноскандии [Коматииты, 1988; Vuollo et al., 2005]. Коматиитовые базальты свиты Ветреный Пояс, 2 – мафит-ультрамафиты интрузива Руйга, 3 – дайки «бонинитов» – габброноритов, 4 – дайки низкотитанистых толеитов Финляндии, 5 – поля вулканитов (по Вильсону): I – океанические острова, II – континентальные платобазальты, III – MORB, IV – океанические дуги, V – бониниты; VI – ветрениты – породы, образовавшиеся из «ветренитовой» магмы (по авторам)

Основным поставщиком магмы из мантии был Бураковской плутон, состав которого: SiO₂ - 49.96, TiO₂ - 0.47, Al₂O₃ - 12.08, Fe₂O₃ - 3.84, FeO - 6.09, MnO - 0.16, MgO - 16.62, CaO - 7.66, Na₂O - 2.42, K₂O - 0.32, P₂O₅ - 0.06, Cr₂O₃ - 0.099, V₂O₅ - 0.033, CoO - 0.014, NiO - 0.128, CuO - 0.03, ZnO - 0.01, Li₂O - 0.0013, Rb₂O - 0.0014, Cs₂O - 0.0007, S - 0.05 – сопоставим со средним составом вулканитов свиты Ветреный Пояс. Средний состав интрузива, возможно, не соответствует первичному расплаву за счет процессов ассимиляции коровым материалом коматиитовой магмы и насыщения (?) ее ЛРЗЭ. Вверх по разрезу интрузива отмечается закономерная смена составов оливина от Fo₉₀₋₈₅ в дунитовой зоне, Fo₈₇₋₈₄ в нижнем ритме, Fo₇₈ – в пойкилитовом перидотите. В.В. Куликовой были изучены хромшпинелиды из ряда образцов со спинифекс структурой некоторых зеленокаменных поясов Мира, из расплавных включений коматиитовых базальтов Левгоры, лав Синегорья, г. Голец, а также интрузивов: Бураковский, Выжига, Сенегозеро, Руйга, Калгачинский на микроанализаторе «INCA Enerdgy 350» на базе сканирующего микроскопа «VEGA II LSH» ИГ КарНЦ РАН (куратор – А.Н. Терновой).

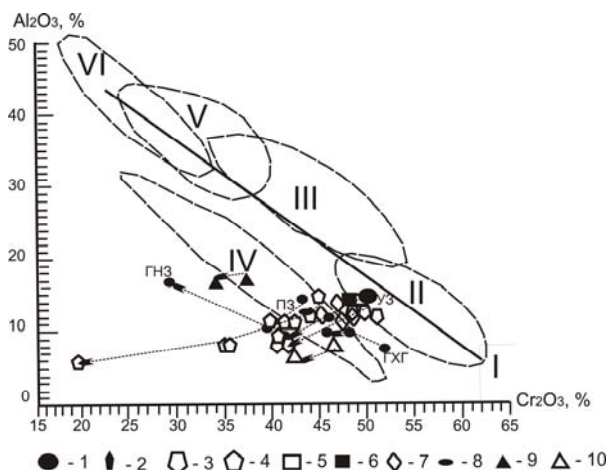


Рис. 4. Составы хромшпинелидов на диаграмме Al₂O₃ – Cr₂O₃ в мафит-ультрамафитах. Палеопротерозой. I – Бураковский глубинный плутон (зоны: УЗ – ультраосновная, ПЗ – перидотитовая, ГНЗ – габброноритовая, ГХГ – главный хромитовый горизонт). Среднеглубинные интрузивы: 2 – Выжига, 3 – Сенегозеро, 4 – подвулканная камера Руйга. Вулканиты участков: 5 – 6 Левгора (5 – в расплавных включениях, 6 – в породе), 7 – Голец, 8 – Мяндуха. Архей. Коматииты: 9 – Канада, 10 – ЮВ Фенноскандинавского щита (р. Кумбукса). Поля глубинности фаций: I алмаз-хромпироповая, II коэситовая, III – гроспидитовая, IV – катаклазированных дунитов, V шпинель-пирововая, VI – шпинель-пироксеновая [Соболев, Соболев, 1967].

С использованием ранее опубликованных материалов [Трофимов и др., 1994; Куликов и др., 2008а, б, в; Куликова и др., 2007; 2008 и др.] было установлено, что возможными фациями

глубинности формирования родоначальных мантийных магм [Соболев, Соболев, 1967] коматиитовой серии могли быть для ЮВ окраины Фенноскандии – катаклазированных дунитов (архей) и коэситовая (палеопротерозой), тогда как для ЮАР – коэситовая, а для Канады – катаклазированных дунитов (архей) (рис. 4). Эти результаты могут явиться аргументом в пользу того, что в архее мантия была значительно ближе к поверхности, чем в палеопротерозое, однако они также требуют дополнительного анализа.

Список литературы

Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита (ред. О.А. Богатиков), Л.: 1988. 197 с.

Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В. Расплавные включения в хромитах кумулатов коматиитовых базальтов Ветреного Пояса (ЮВ Фенноскандия) // XIII Всероссийская конференция по термобарогеохимии совместно с IV симпозиумом APFIS, М.: ИГЕМ РАН. 2008. С.106-109.

Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В. Расплавные включения в оливинах лавового озера Виктория палеопротерозойского рифта Ветреный Пояс (ЮВ Фенноскандия) // Материалы Международного минералогического семинара «Структура и разнообразие минерального мира», Сыктывкар.: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 57-60.

Куликова В.В., Куликов В.С., Бычкова Я.В. Расплавные включения в оливинах и хромитах коматиитовых базальтов палеопротерозойского рифта Ветреный пояс (ЮВ Фенноскандия) // RMS DPI 2008-2-21-0 Федоровская сессия 2008. Тезисы докл. Междунар. научной конфер. СПб.: 2008. С. 74– 77.

Куликова В.В., Куликов В.С., Бычкова Я.В. К вопросу о вулcano-плутонической системе “вулкан Голец – интрузив Руйга” // Геология и полезные ископаемые Карелии. Кар НЦ РАН. Вып.10. Петрозаводск. 2007. С. 69 – 81.

Куликова В.В., Куликов В.С., Бычкова Я.В., Слюсарев В.Д., Терновой А.Н. Некоторые особенности составов хромшпинелидов палеопротерозойского ультрамафит-мафитового интрузива Выжига (ЮВ Фенноскандия) // Материалы Всероссийской конференции. Петрозаводск, 12–15 ноября 2007. Карельский НЦ РАН. 2007. С. 220 – 222.

Петрографический кодекс России. ВСЕГЕИ. СПб.: 2008. 200 с.

Петрохимические серии магматических пород. Петрозаводск. 2001. 115 с.

Соболев В.С., Соболев Н.В. О хrome и хромсодержащих минералах в глубинных ксенолитах кимберлитовых трубок // Геология рудных месторождений, 1967. № 2. С. 18-37.

Типы магм и их источники в истории Земли Ч. 1 (ред. О.А. Богатиков). ИГЕМ, 2006. 398 с.

Трофимов Н.Н., Лавров М.М., Логинов В.Н., Никитин А.Н., Инина И.С. Латеральная и вертикальная изменчивость состава хромшпинелидов Бураковской расслоенной интрузии // Минералогия магматических и метаморфических пород докембрия Карелии. Карельский НЦ РАН. Петрозаводск. 1994. С. 41 – 52.

Ультраосновные породы (ред. Е.Е. Лазько, Е.В. Шарков). М.: 1988. 509 с.

Шараськин А.Я. Идзу-Бонинская, Волкано и Марианская дуги. // Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: 1987. С. 96-118.

Arndt N., Leshar C.M., Barnes S.J. Komatiite Cambridge, 2008. P. 1-467.

Le Bas M.J. IUGS reclassification of the High-Mg and Picritic Volcanic Rocks // J. Petrology, V. 15. № 10. P. 1467-1470.

Vuollo J., Kamo S., Halls H., Mertanen S., Stepanov V. U-Pb baddeleyite ages of mafic dykes swarms in the eastern Fennoscandian shield // GSF. 2005.

Wilson A.N., Versfeld J.A. The Early Archaean Nondweni greenstone belt, southern Kapvaal Craton, South Africa, Part II. Characteristics of the volcanic rocks and constraints on magma genesis // Precambrian res. V. 67. P. 227-320.