

Сумийские (2.55-2.40 млрд.лет) андезибазальтовые ассоциации центральной Карелии

Голубев А.И., Светов С.А. (ssvetov@krc.karelia.ru), Светова А.И.

Институт Геологии, КарНЦ РАН, г.Петрозаводск

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ,
гранты: 98-05-03543, 01-05-64228, 02-05-65052.

Обширная палеопротерозойская провинция пород андезибазальтового ряда с магнезиальностью ($5 < \text{MgO} < 10$ мас.%) сформировалась в пределах Карельского кратона в интервале 2.55-2.40 млрд.лет. Изучены сумийские разрезы Центральной Карелии, с реконструированной мощностью $< 1650\text{м}$, фациально доминируют массивные, миндалекаменные, вариолитовые, подушечные лавы. Вулканиды по содержанию SiO_2 , MgO , Ni , Cr близки к бонинитам, однако по $\# \text{Mg}$, TiO_2 , Hf , Ta , Zr , топологии РЗЭ спектров существенно от них отличаются. Модельные расчеты показали малоглубинный характер зарождения первичных магм, что свойственно вулканитам субдукционных обстановок, геохимическая характеристика ассоциаций позволяет сопоставлять их с породами активных континентальных окраин Андского типа.

Введение

В последние годы активно обсуждается проблема выделения «бонинитоподобных» вулканических серий как в пределах разрезов архейских зеленокаменных поясов мира Нондвени, Ю.Африка [1], Абитиби, Канада [2], Фенноскандии – Ириногорской и Хизоваарской структурах [3,4], так и в зеленокаменных поясах и структурах нижнепротерозойского [5,6] возраста – Ветреного пояса (В.Карелия), Печенги, Имандра-Варзуги (Кольской полуостров) и других объектах [7].

В статье авторами приводятся новые данные РЗЭ систематики андезибазальтовых ассоциаций из представительных сумийских разрезов (под сумийской вулканогенной ассоциацией в работе понимается нижняя часть сумийско-сариолийского осадочно-вулканогенного комплекса [8]) Центральной Карелии – район д.Красная речка - д.Койкары – р.Семчь - Кумсинская структура, корректно характеризующих обширную палеопротерозойскую магматическую провинцию Карельского кратона с целью выяснения первичной геохимической природы сумийских лав, их сериальной принадлежности (бониниты?) и, как следствие, возможного геодинамического режима образования.

Геологическая характеристика ассоциации

Вулканиды сумийского возраста изучались на территории Центральной Карелии в районе Кумсинской структуры, д.Красная речка - р.Семчь – д.Койкары (Рис.1), где они формируют мощную лавовую толщу представленную переслаиванием большого числа лавовых потоков, покровов общей мощностью до 1500-1650м. [9-14].

Сумийская вулканическая ассоциация с угловым несогласием перекрывает лопийские отложения с зоной элювиально-делювиальных брекчий в основании-Семченская и Койкарская структуры, с осадочной пачкой (150м) сложенной алевrolитами, песчаниками в основании - Кумсинская структура и ложится на кору выветривания гранитов в районе д.Красная речка. При этом сумийский разрез перекрывается мощными толщами полимиктовых конгломератов, песчаников и гравелитов сариолийского возраста во всех структурах.

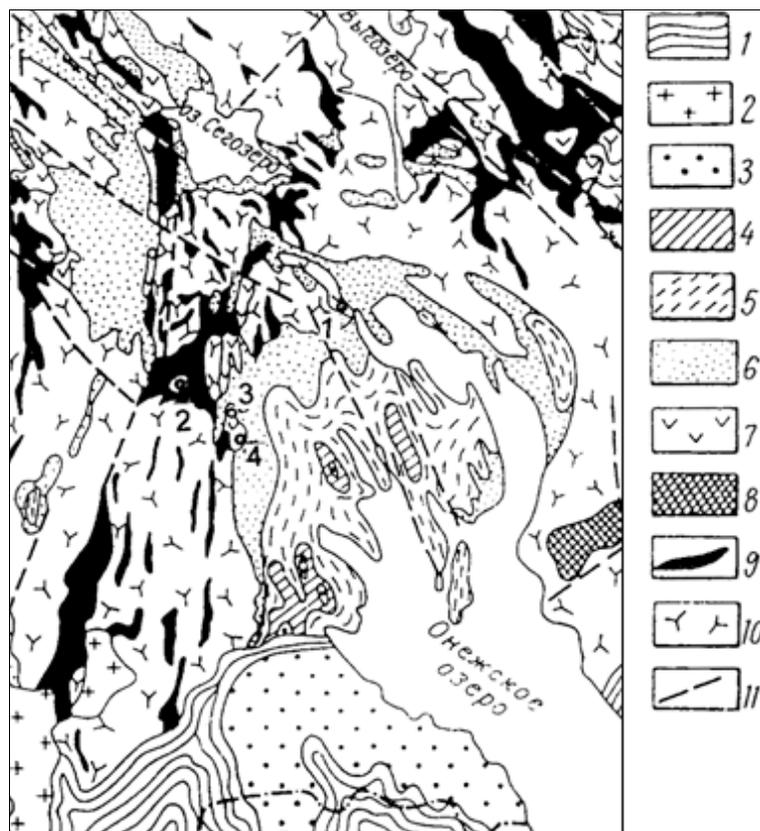


Рис.1. Схема расположения опорных разрезов сумийского комплекса [8]. Условные обозначения: 1- отложения венда, 2-граниты-рапакиви, 3-отложения вепсия, 4, 5-людиковый: 4- суйсарский комплекс, 5- заонежский комплекс, 6-ятулийский комплекс, 7- сумийско-сариолийский комплекс, 8-расслоенные интрузивы, 9-архейские зеленокаменные пояса, 10- нерасчлененные образования архея, 11-разломы. Номера на схеме – положение опорных разрезов сумия в структурах: 1- Кумсинской, 2- Семченской, 3- Койкарской, 4- Красная речка.

Литогеохимический анализ вулканитов позволяет описать стратифицированный характер разрезов и выделить стадийность в лавовых излияниях, проявленную в циклической смене химического состава вулканитов (от базальтов до андезитов) в пределах разрезов Кумсинской и Краснореченской структур. Следует особо подчеркнуть, что характер породной ассоциации постоянен для всех рассматриваемых структур.

Лавовые толщи представлены: в Кумсинской структуре 35 лавовыми потоками общей мощностью 1200м. [9,13,14], в Семченской структуре 21 потоком общей мощностью 560м., в Койкарской структуре 18 потоками общей мощностью 630м и в районе д.Красная речка 18 потоками формирующими 270 метровый вулканический разрез.

В фациальном плане доминируют массивные, миндалекаменные, вариолитовые лавовые потоки мощностью от 9-12 до 40-45м. (Рис.2). Туфы проявлены в виде прослоев незначительной мощности (0.5-4.5м) между потоками лавобрекчий и характерны для верхних частей разрезов. В Семченской структуре со средней части разреза увеличивается количество пирокластики, здесь выявлена линза агломератовых туфов андезибазальтов мощностью 42-50м., в которой на участке р.Дейя-Оя наблюдается реликт шлакового вторичного конуса, сложенного глыбовыми спекшимися туфами андезибазальтов различных структур - массивных, миндалекаменных и вариолитовых. [12, 14]. Подробное описание строения сумийских вулканогенных разрезов для районов Ц.Карелии приводится в работах [12,13,10,11], поэтому авторы приводят лишь краткую характеристику наиболее полного разреза сумийской вулканогенной ассоциации Кумсинской структуры.

В разрезе ассоциации выделяется семь вулканических стадий, объединяющих около 36 лавовых потоков и покровов, при этом излияние каждой фазы чаще всего начинают более кислые расплавы.

Для первой вулканической стадии излияния характерными являются мощные (до 50 м) лавовые потоки андезибазальтов. Подошвенные зоны в потоках представлены

массивной, тонкозернистой породой и лишь в кровельных зонах появляются миндалекаменные структуры с большим количеством хлорит-кальцитовых и кварцево-эпидотовых миндалин (иногда серповидных) (Рис.2., фото 1, 2).

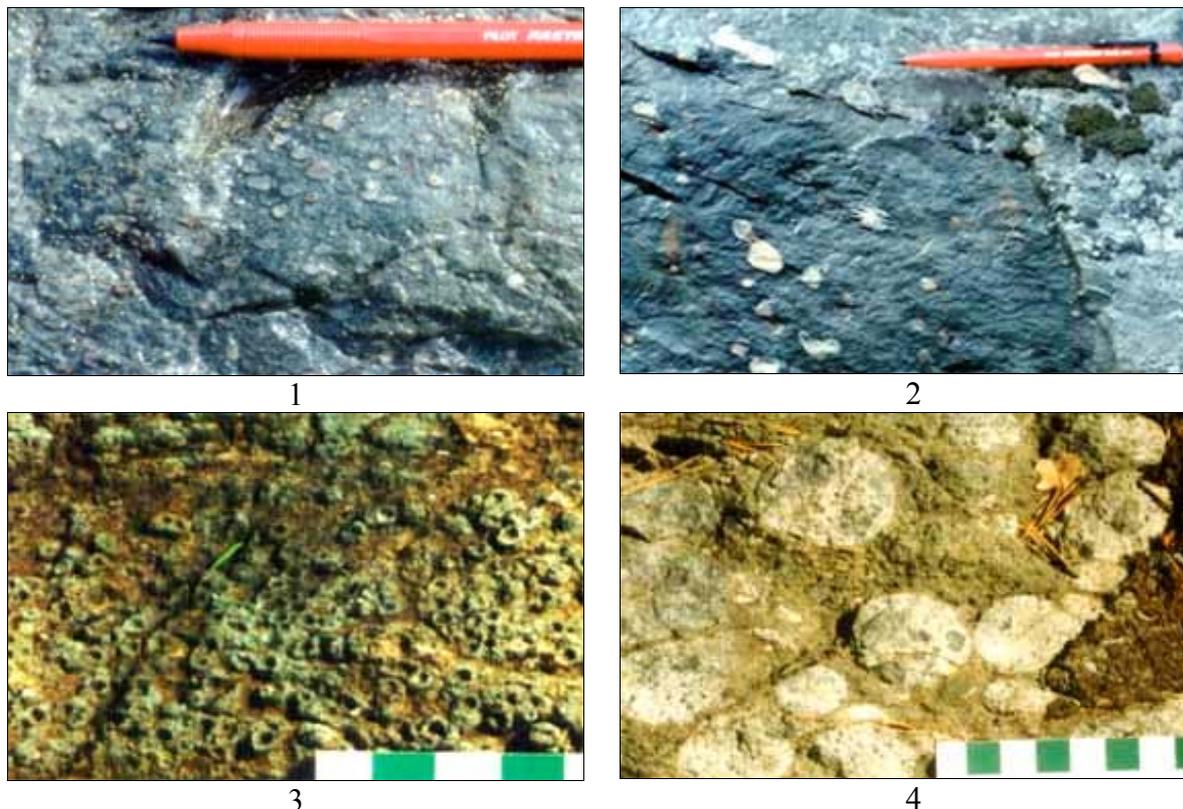


Рис.2. 1, 2- миндалекаменные лавы андезибазальтов Семченской структуры, 3,4-вариолитовые лавы андезибазальтов (кровля потока) Койкарской структуры.

Излияния проходили в спокойных условиях, о чем свидетельствует значительная мощность образований и их латеральная однородность. Общая мощность пачки (2 лавовых потока) составляет 90м.

Лавовая толща, относимая ко второй вулканической стадии, представлена серией лавовых потоков с дифференцированным внутренним строением. В основании пачки залегает мощный лавовый покров (силл) (до 150 м.), для которого характерна микровариолитовая структура, являющаяся результатом позднего ликвационного разделения расплава с образованием химически контрастных (риолит) глобул размером от 0,2 до 0,5 см. Вариоли образуют линзовидные скопления в центральных частях потока, а ближе к кровле развиты по всей площади. На отдельных участках в лавовых потоках наблюдаются следы остаточного ламинарного течения расплава. В следующих выше 4 лавовых потоках, мощностью от 10 до 30м., наблюдаются вариоли размером 1-6 см, как в виде разрозненных глобул, так и в виде скоплений, для этих же потоков характерны мелкие миндалины кварц-альбитового и альбитового состава (Рис.2., фото 3, 4). Текстурная уникальность данных образований позволяет использовать их в качестве маркеров при латеральном изучении ассоциации. Подобные потоки, сложенные микровариолями, характерны также для Койкарской структуры и редки на Семче и Красной речке. Общая мощность пачки (6 лавовых потоков) составляет 250м.

Для третьей вулканической стадии характерны лавовые потоки массивного, однородного строения мощностью от 10 до 100 м. с мелкими миндалинами в кровле. Реже встречаются крупные кварцевые или слоистые миндалины (13 поток). Общая мощность пачки (8 потоков) составляет 285м.

Четвертая стадия сформирована 5 лавовыми потоками, имеющими порфиновую структуру, обусловленную таблитчатыми, игольчатыми вкрапленниками альбита, альбит-олигоклаза, размером до 0.5см, равномерно распределенных по всей мощности потока, при этом в кровельных частях потоков встречаются мелкие кварцевые миндалины. Эта пачка служит надежным маркером и встречена во всех изучаемых разрезах. Общая мощность пачки – 105м.

Группа лавовых тел относимых к пятой стадии характеризуется преобладанием брекчированных текстур в кровле потоков и появлением в разрезе потоков полностью сложенных лавобрекчий. Общая мощность пачки состоящей из 8 лавовых потоков составляет 265м.

Следующая шестая стадия сложена 4 потоками, мощностью от 18 до 30м, вариолитовых лав. Вариоли, размером 1-5 см., распределены по всей мощности потока, иногда образуя скопления, пятна, в кровле также развиты мелкие кварцевые миндалины. Общая мощность пачки составляет 95м. Второй уровень вариолитовых лав характерен так же для верхней части Семченского разреза, но при этом отмечены локальные проявления ликвационных процессов и в средней части разреза.

Завершает разрез серия из двух лавовых потоков лавобрекчий общей мощностью 65м. Выше вулканическая ассоциация перекрывается толщей туфокогломератов, полимиктовых конгломератов с прослоями песчаников и гравелитов.

Важно подчеркнуть, что выделяемые в частных разрезах идентичные маркеры (потоки вариолитовых лав, плагиоклазовых порфиритов) лишь на уровне пачек коррелируют разрезы в пределах удаленных структур.

Породы изучаемой ассоциации претерпели изменения в условиях от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Минеральный парагенезис представлен в основной массе роговой обманкой (актинолитом), хлоритом, эпидотом, биотитом, плагиоклазом (альбит, альбит-олигоклаз), акцессорные минеральные фазы- магнетитом, сфеном, пиритом, халькопиритом.

К сожалению на сегодняшний момент не существует датировок сумийской ассоциации Ц.Карелии, однако для данного стратиграфического уровня В.Карелии свиты Ветренный пояс получены значения 2448 ± 42 млн.лет в нижней и 2410 ± 34 млн.лет в верхней частях разреза (Sm-Nd метод [15, 16]). Примерно такой же возраст имеют комагматичные интрузивы Карельского кратона –2.45-2.435 млрд.лет [17]. На Кольском геоблоке сумийские базальты распространены в основании Имандра-Варзугского комплекса, проявлены так же в разрезах Кеулика и Кинирима, сменяясь к верхам разрезов андезибазальтами. Возраст их составляет 2442 ± 1.7 млн.лет [17].

Методы исследования

Геохимический анализ - определение петрогенных и редких элементов, выполнено рентген-флюоресцентным методом VRA-33 в Институте Геологии КарНЦ РАН. Погрешность составляет <2% для элементов с концентрациями > 0.5 мас.%, 5% при концентрациях <30 ppm. и 3% при концентрации >30 ppm. Редкие и РЗ элементы определены методом индукционно связанной плазмы в лаборатории ИГЕМ РАН, погрешность определения элементов <3%. При геохимическом описании сумийских ассоциаций привлекались дополнительно опубликованные данные по Койкарской, Семченской и Кумсинской структурам выполненные рентген-флюоресцентным методом (VRA-33) в ИГ КарНЦ РАН [12,13].

Геохимическая характеристика ассоциации

Вулканыты сумийского возраста имеют ряд уникальных геохимических особенностей: повышенное содержание MgO, Sr сочетается с повышенным содержанием SiO₂ при низких концентрациях TPЗЭ (Таблица).

Таблица. Представительные составы андезибазальтовой ассоциации структуры Красная речка (вес.%, ppm)

Проба	508-3	508-6	506-18	506-27	506-30	506-31	506-33	506-34	506-75	
Уровень	1		2			3				
SiO ₂	49.98	53.26	49.52	53.60	55.30	55.22	51.58	54.50	50.26	
TiO ₂	1.26	1.02	0.88	0.83	0.93	1.00	1.12	1.03	1.05	
Al ₂ O ₃	15.94	14.29	12.27	12.31	14.14	15.45	14.14	13.62	15.03	
Fe ₂ O ₃	7.82	6.30	2.81	1.19	1.38	1.94	1.96	1.26	1.73	
FeO	6.10	7.29	10.34	8.74	8.12	7.26	10.66	9.94	10.77	
MnO	0.16	0.13	0.21	0.20	0.16	0.15	0.20	0.17	0.23	
MgO	5.50	6.63	9.08	8.47	5.29	4.18	5.70	5.44	6.07	
CaO	2.80	1.54	7.43	7.29	6.24	6.10	6.24	5.33	4.76	
Na ₂ O	5.46	3.18	1.00	3.88	3.57	5.40	3.43	4.88	4.03	
K ₂ O	0.50	1.41	3.29	0.60	2.60	0.60	1.40	1.00	1.26	
H ₂ O	0.26	0.26	0.03	0.10	0.08	0.13	0.13	0.12	0.26	
П.п.п.	4.41	4.48	2.70	2.38	1.85	2.44	2.97	2.35	4.36	
Сумма	100.19	99.79	99.56	99.59	99.66	99.87	99.53	99.64	99.81	
Mg#	42.73	47.69	55.70	60.61	50.17	45.27	44.98	46.68	46.74	
Cr	25	42	406	391	67	65	51	64	60	
Co	63.7	59.3	71.5	59.2	48	41.5	57.3	55.7	65.6	
Ba	402	46	1928	456	3569	381	853	550	447	
Th	4.6	4.4	2.4	2.7	3.9	3.9	4.1	4.5	4.4	
Ta	1.1	0.72	0.49	0.45	0.53	0.67	0.67	0.99	0.71	
Hf	4.7	4.1	3.2	2.3	3.4	3.3	3.8	3.8	4.1	
Sc	21.5	17.7	23.3	30.4	21.5	19.3	21.2	20.2	22.0	
La	12.2	39.8	39.0	8.8	14.3	22.2	20.2	12.4	17.7	
Ce	31.3	66.2	67.1	20.4	32.7	37.7	43	23.2	28.3	
Nd	27	42.0	42	11	20	26	32	28	21	
Sm	4.87	6.29	7.05	3.28	3.89	5.03	6.01	4.22	4.42	
Eu	1.71	1.90	1.91	0.92	0.88	2.05	1.8	0.97	0.91	
Tb	0.63	0.58	0.52	0.54	0.31	0.51	0.96	0.35	0.29	
Yb	2.1	2.0	1.4	1.2	1.3	1.6	1.6	1.6	1.8	
Lu	0.37	0.29	0.27	0.26	0.25	0.28	0.29	0.26	0.32	

Примечание. Уровень – местоположение пробы в разрезе: 1- основание. 2- средняя часть. 3- верх разреза. 508-3 – мелкозернистый базальт из подошвы потока; 508-6 мелкозернистый андезибазальт с вариолитовой структурой; 506-18-мелкозернистый базальт из центральной части потока; 506-27, 506-30– мелкозернистый андезибазальт из подошвы потока. 506-31, 506-33– андезибазальтовый P1-порфирит из подошвы потока; 506-33– базальтовый P1-порфирит из подошвы потока; 506-75- базальтовый P1-порфирит из средней части потока.

Основываясь на содержании SiO₂ (48-58мас.%) вулканы ассоциации принадлежат к ряду базальтов-андезибазальтов-андезитов с нормальной щелочностью (Na₂O+K₂O = 2-5 мас.%). Средние содержания SiO₂ составляют: Красная речка- 53.56±2.34 мас.%, Кумсинская структура-55.20 ±3.18 мас.%, Койкары - 56.26±2.15 мас.%, Семчь –55.08±1.06 мас.%; TiO₂ - Красная речка 0.86±0.19 мас.%, Кумсинская структура 0.82±0.24 мас.%, Койкары - 0.83±0.21 мас.%, Семчь –1.01±0.10 мас.%; MgO - Красная речка 5.59±0.99 мас.%, Кумсинская структура 5.67±1.87 мас.%, Койкары - 6.21±2.42 мас.%, Семчь –

5.90 ± 0.98 мас.% при максимальных концентрациях до 9.55-10.33 мас. %. Базальты присутствуют только в разрезе Красной речки и Кумсинской структуры, в остальных случаях ассоциация представлена андезибазальтами-андезитами.

Для Семченской структуры фазы геохимически трассируются по содержанию TiO_2 , MgO : 1 фаза – TiO_2 - 1.13-1.18 мас.%, MgO – 5.14-4.94 мас.%; 2 фаза- TiO_2 - 0.81-1.10 мас.%, MgO – 10.33-4.44 мас.%; 3 фаза- TiO_2 - 0.86-1.09 мас.%, MgO – 9.07-4.49 мас.%; 4 фаза – TiO_2 - 0.62-0.73 мас.%, MgO – 6.56-4.81 мас.%.
 Отношение CaO/Al_2O_3 для вулканитов Красной речки <0.5 , Кумсинской структуры <0.6 , Семчи и Койкар <0.7 , $Al_2O_3/TiO_2 = 12-15$ (Красная речка), 12-24 Семчь и Койкары.

В системе TiO_2 - MgO (Рис.3) [19] фигуративные точки сумийских вулканитов формируют область на границе раздела коматиитовой и толеитовой серий. При этом характер трендов для описываемой вулканической серии резко отличается от таковых для бонинитовых магм 3.Тихоокеанской островной дуги (о.Бонин, Марианской впадины) [20] и одновозрастных (2410 ± 34 млн.лет) коматиитов Ветреного пояса [16].

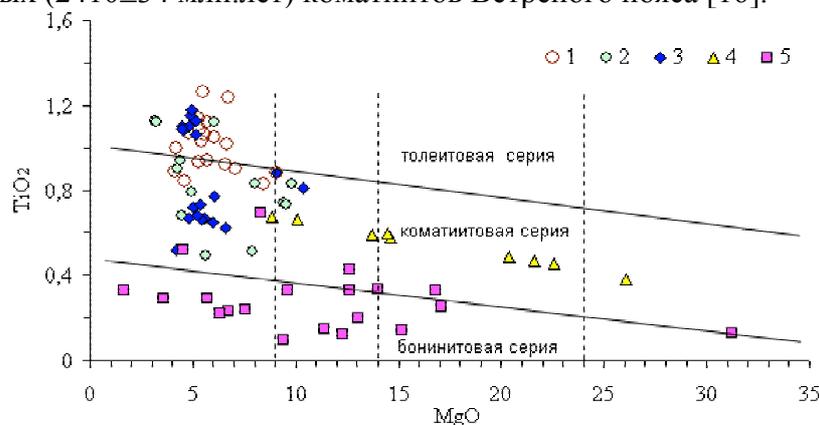


Рис.3. Условные обозначения: Сумийские андезибазальты Центральной Карелии, структур: 1- Красная речка, 2 - Койкары, 3- Семчь; 4- коматииты Ветреного пояса [16]; 5- бониниты Марианского трюга [20].

Геохимическое изучение вулканитов бонинитовой серии дуги Бонин (Япония) показало, что для пород характерна магнезиальность >9 мас.% при $SiO_2 > 55$ мас.% и низком содержании $TiO_2 < 0.3$ мас.%. [21]. Впоследствии вулканиты с близкими литогеохимическими характеристиками были обнаружены на Кейп Вогел (Папуа Новая Гвинея) [22], драгированы со дна Марианской впадины и получены при глубоководном бурении DSDP (точка 458) в Марианской преддуговой зоне [20]. Полученные данные показали значительные вариации состава вулканитов и позволили сформулировать геохимические требования для выделения “бонинитоподобных” вулканических серий: содержание MgO 9-25 мас.%, $SiO_2 > 52$ мас.%, $TiO_2 < 0.4$ мас.%, Ni – 70-450 г/т, Cr 200-1800 г/т. В настоящее время, по рекомендациям международной классификационной схемы, предложено использовать следующие параметры: $MgO > 8\%$, $SiO_2 > 52\%$ и $TiO_2 < 0.5\%$ [23].

Анализируя геохимический состав сумийских андезибазальтовых ассоциаций Центральной Карелии в сопоставлении с бонинитами дуги Тонга [24, 25], архейскими бонинитами Абитиби [2], выделен ряд отличий: общий фон MgO в вулканитах значительно ниже 9 мас.%, $\#Mg < 50$ (бониниты > 60 [5], архейские бониниты Абитиби > 75 [2], содержание $TiO_2 = 0.6-1.3$ мас.%, более дифференцированное чем в бонинитах, концентрации Ni (Койкары - 135 ± 70 г/т, Семчь 114 ± 52 г/т) и Cr (Красная речка- 112 ± 92 г/т, Койкары 295 ± 134 г/т) не соответствуют классификационным требованиям, предъявляемым к бонинитовой серии. Соотношение щелочей для сумийских вулканитов составляет $K_2O/NaO < 0.75$ (Красная речка 0.35 ± 0.14 , Кумсинская структура 0.4 ± 0.29 , Койкары 0.22 ± 0.19 , Семчь 0.41 ± 0.13), что наиболее близко вулканитам из активных

континентальных окраин (АКО) ($K_2O/NaO=0.2-0.4$) и окраинно-плитных вулканических дуг ($K_2O/NaO=0.5$) [26]. Ti/Zr отношение в сумийских андезибазальтах равно 52.91 ± 4.21 , $Zr/Y=6.34 \pm 0.92$, $Hf/Th = 0.93 \pm 0.12$ существенно отличается от бонинитов ($Ti/Zr = 70-110$, $Zr/Y=0.9-1.9$, $Hf/Th > 3$) и подобно вулканитам АКО ($Ti/Zr=49-65$, $Zr/Y=5-8$, $Hf/Th=0.99 \pm 0.26$) [27]. Фигуративные точки андезибазальтовых ассоциаций Центральной Карелии в координатах системы $Zr - 3Y - Ti/100$ и $Zr - Sr/2 - Ti/100$ (Рис.4) попадают вместе с бонинитами Марианского трога в область известково-щелочной серии (СAB) на границу раздела их с внутриплитными базальтами (WPB).

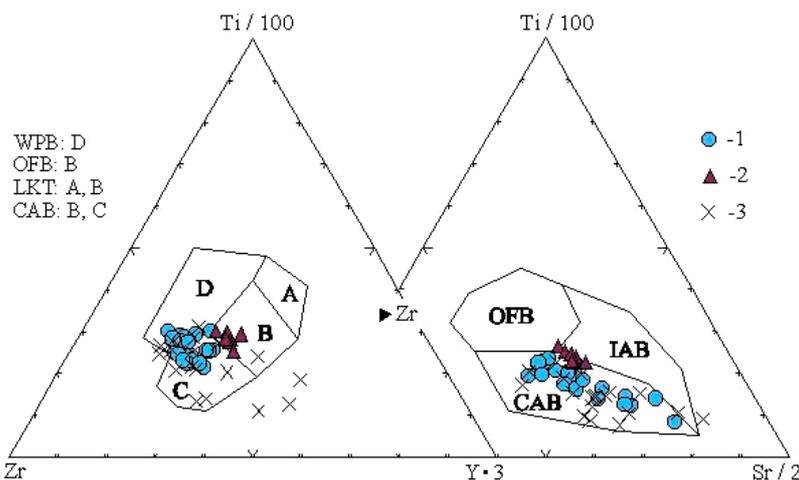


Рис.4. Условные обозначения: 1- андезибазальты Центральной Карелии, 2- коматииты Ветреного пояса [16], 3- бониниты Марианского трога [20]. Сокращения на диаграммах: WPB- внутриплитные базальты, OFB- океанические базальты, LKT- низко-К толеиты, CAB- известково-щелочные базальты, IAB- базальты островных дуг.

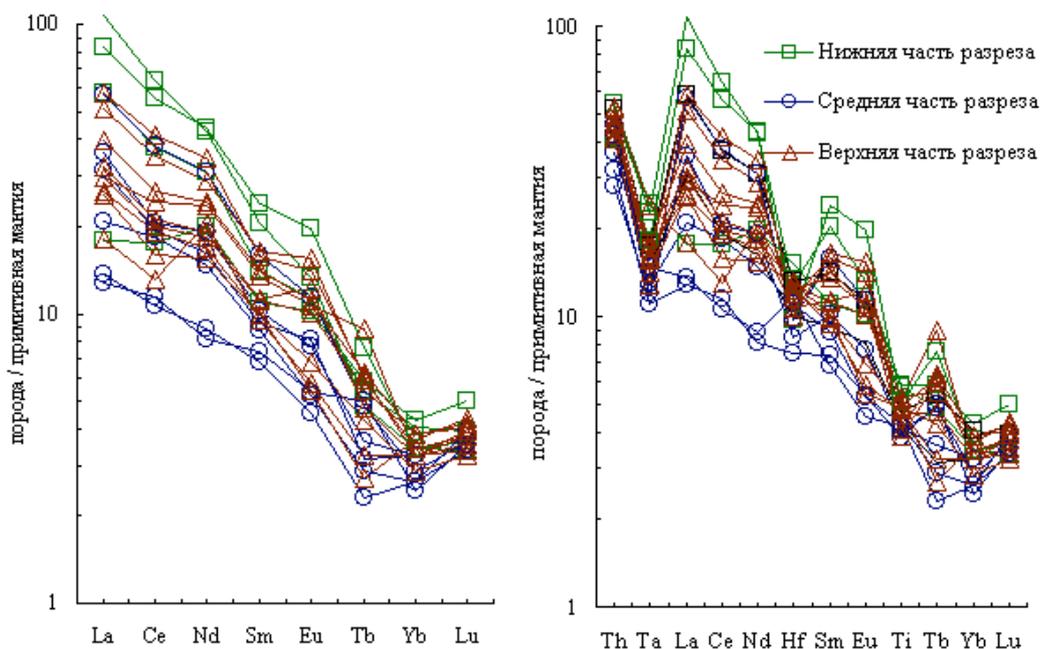


Рис.5. Распределение редкоземельных и редких элементов по разрезу андезибазальтов структуры Красная речка. Нормировано по примитивной мантии [18].

Распределение РЗЭ по толще (нижняя часть – средняя – верхняя часть разреза) топологически подобно (Рис.5), вместе с тем содержание РЗЭ варьируют: $(La/Sm)_n=1.6-5.2$, $(Ce/Yb)_n=5.1-16.1$ - низы разреза, $(La/Sm)_n=1.7-3.5$, $(Ce/Yb)_n=4.1-6.8$ середина и

$(La/Sm)_n=1.8-3.1$, $(Ce/Yb)_n=5.2-6.8$ верх разреза. Уровень содержания ТРЗЭ более однороден: $(HREE)_n=0.81\pm 0.08$ – низы разреза, $(HREE)_n=0.60\pm 0.07$ – средняя и $(HREE)_n=0.72\pm 0.07$ – верхняя части разреза. По типу РЗЭ спектров сумийские андезибазальты Ц.Карелии контрастны бонинитовым ассоциациям и одновозрастным ЛРЗЭ-обогащенным протерозойским коматиитам Ветреного пояса (Рис. 6).

На спайдердиаграммах сохраняется идентичность спектров по разрезу, четко выделяются отрицательные Ta, Hf, Ti аномалии: основание разреза - $Hf/Hf^*=0.63\pm 0.32$, $Ta/Ta^*=0.43\pm 0.23$, $Ti/Ti^*=0.62\pm 0.15$; середина- $Hf/Hf^*=0.61\pm 0.32$, $Ta/Ta^*=0.42\pm 0.24$, $Ti/Ti^*=0.62\pm 0.15$; верх разреза- $Hf/Hf^*=0.76\pm 0.21$, $Ta/Ta^*=0.44\pm 0.14$, $Ti/Ti^*=0.73\pm 0.29$. Характер трендов отличается от вулканитов Ветренного пояса.

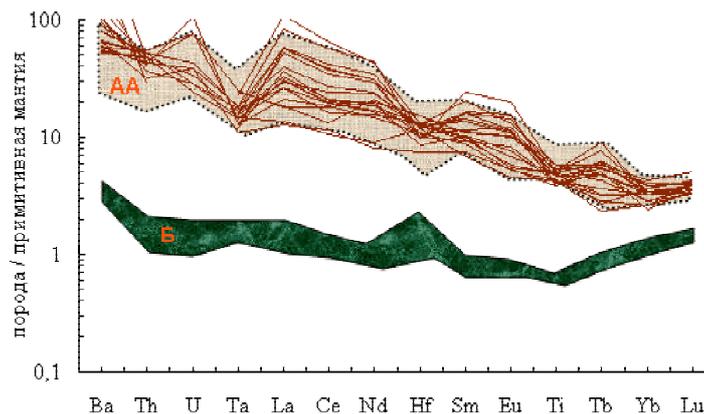


Рис.6. Распределение редкоземельных и редких элементов в сумийских вулканитах Центральной Карелии в сопоставлении с бонинитами Марианского трюга [20] и андезибазальтами Андской АКО [27]. Нормировано по примитивной мантии [18]. Сплошные линии- сумийские андезибазальты Ц.Карелии. Поля: Б- бониниты Марианского трюга, АА- андезибазальты Андской АКО.

Поиск возможных аналогов показал максимальную сходимость сумийских андезибазальтовых ассоциаций по геохимической характеристике, РЗ и малым элементам с базальтами и андезитами активных континентальных окраин Восточно-Тихоокеанского (Андского) типа. Сходство маркируется: высокими содержаниями крупноионных литофильных элементов Rb (23-90), Ba (380-3500), Sr (310-628), Th (2.4-4.6) сопоставимыми с химизмом вулканитов АКО, повышенным по сравнению с аналогичными островодужными сериями и близким АКО содержаниям элементов с высоким ионным потенциалом Ta (0.4-0.9), Ce (20-113), Zr (91-129), Hf (2.3-4.1), Y (15-29), Yb (1.2-2.1), Sc (17.7-30.4).

Условия магмогенеза

Обсуждая геохимическую специфику сумийской андезибазальтовой ассоциации необходимо охарактеризовать условия магмогенеза, что возможно сделать по модельной интерпретации химического состава расплавов. [28] Модельные температуры излияния первичных магм варьировали в интервале от 1150 до 1200°C, находясь в прямой зависимости от основности расплава. При излиянии магма имела плотность 2.54-2.69 г/см³ и вязкость порядка 5.3-8.3 Пуаз, при этом значения вязкости в 2 раза превышают параметры рассчитанные для расплава коматиитового базальта Ветреного пояса (2.6 Пуаз) с близкой магнезиальностью $\cong 9$ мас.% и плотностью 2.68 г/см³. Следствием более высокой вязкости изливающейся магмы стало образование слабо дифференцированных лавовых потоков и покровов большой мощности. Изливающиеся магмы были газонасыщенными, а динамика движения расплава имела ламинарный характер, о чем свидетельствует распределение миндалин в потоках и покровах. Рассчитанная

температура магмогенерации составляла 1250-1380°C. Однако полученные значения могут быть завышенными, так как не учитывают содержание H₂O в первичном расплаве, что может быть подтверждено присутствием в нескольких лавовых потоках реликтов первичного амфибола (роговой обманки).

Современные экспериментальные модели показывают, что растворимость H₂O при давлении около 3-5 кбар и температуре 1100-1150°C для андезитовых расплавов может составлять от 3 до 6 мас.% [29]. При подобных значениях следует ожидать уменьшения температур плавления не менее чем на 100-150°C и позволяет предполагать малоглубинный характер магмогенеза.

Геологические, петрографические и геохимические данные позволяют коррелировать геодинамический режим при образовании сумийских вулканитов с условиями близкими зонам активных континентальных окраин андского типа. Для последних определена глубина первичных магматических очагов на уровне 80-100 км, что подтверждается присутствием в разрезах базальтов – глубинных выплавов, но в то же время на рубеже 10-35 км в континентальной коре Центральных Анд установлены низкоскоростные зоны, где они интерпретированы как промежуточные магматические камеры, области потенциального скопления расплавов. [30]. На этом глубинном уровне происходит контаминация базальтовыми магмами корового материала и дальнейшая его гравитационная дифференциация, что приводит к доминированию андезибазальтовых и андезитовых расплавов в ходе извержений. Первичные базальтовые выплавки, не контаминированные коровой компонентой, реже могли достигать дневной поверхности и при излияниях сохраняли повышенную магнезиальность и высокие концентрации Ni и Cr.

Выводы

Обширная палеопротерозойская провинция пород андезибазальтового ряда с повышенной магнезиальностью сформировалась в пределах Карельского кратона в интервале 2.55-2.40 млрд.лет.

Сумийские вулканиты не смотря на повышенные концентрации MgO, Cr, Ni, по содержанию TiO₂, P₂O₅ и P₂O₅ систематике существенно отличаются от пород бонинитовой серии.

Модельные расчеты показали малоглубинный характер зарождения первичных магм, присутствие воды в расплаве и значительную степень контаминации корового материала, что свойственно вулканитам субдукционных обстановок.

Геохимические данные подтверждают сходство сумийской вулканогенной ассоциации с породами андезибазальтового ряда активных континентальных окраин Андского типа.

Излияния вулканитов ассоциации проходили из пространственно разобщенных вулканических центров с временными перерывами, при едином типе магматической дифференциации.

Благодарности. С.А.Светов выражает глубокую благодарность “Фонду содействия отечественной науки” за поддержку исследований в 2001 и 2002гг.

Список литературы:

1. Riganti, A., Wilson, A.H., Geochemistry of the mafic/ultramafic volcanic associations of the Nondweni greenstone belt, South Africa, and constraints on their petrogenesis // *Lithos*, 1995. 34, 235-252.
2. Kerrich R., Wyman D., Fan J. , Bleeker W. Boninite series: low Ti-tholeiite associations from the 2.7 Ga Abitibi greenstone belt // *Earth Planet. Sci. Let.* 1998, 164, 303–316
3. Щипанский А.А., Самсонов А.В., Богина М.М., Слабунов А.И., Бибикина Е.В. Высокомагнезиальные, низкотитанистые кварцевые амфиболиты Хизоваарского

зеленокаменного пояса Северной Карелии- архейские метаморфизованные аналоги бонинитов?// ДАН, 1999, т. 365, N: 6, с. 817-820.

4. Shchipansky, A.A., Babarina, I. I., Krylov, K.A., Samsonov, A.V., Bogina, M.M., Bibikova, E.V., and Slabunov, A.I. The oldest ophiolites: the late Archean suprasubduction zone complex of the Iringora structure, North Karelian greenstone belt.// *Doklady Earth Science*, 2001, 377a, 283-287.

5. Crawford, A.J., Fallon, T.J., Green, D.H., Classification, petrogenesis and tectonic setting of boninites. / Crawford A.J. (Ed), *Boninites*. Unwin Hyman, London, 1989, P. 2-44.

6. Poideven, J.-L., Boninite-like rocks from the Palaeoproterozoic greenstone belt of Bogoin, Central African Republic, Geochemistry and petrogenesis // *Prec. Res.*, 1994, 68, 97-113.

7. Шарков Е.В., Смолькин В.Ф., Красивская И.С. Раннепротерозойская магматическая провинция высокомагнезиальных бонинитоподобных пород в восточной части Балтийского щита // *Петрология*, 1997, том5, с.503-522.

8. Геология Карелии, ред. Соколов, Лд., Наука, 1977, 231с.

9. Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии /ред. Соколов В.А., Изд. Карелия, Петрозаводск, 1972, 188 с.

10. Голубев А.И., Светов А.П. Морфология и химизм покровов сумийско-сариолийского осадочно-вулканогенного комплекса Северо-Западного Прионежья / В *Геология и полезные ископаемые Карелии*, Изд. Карелия, 1975г. с.32-37.

11. Хейсканен К.И., Голубев А.И., Бондарь Л.Ф. Орогенный вулканизм Карелии. Изд. Наука, Л., 1977, 216с.

12. Светова А.И. Андезито-базальты района р.Семчь (Центральная Карелия) // *Геология, петрография. Оперативно-информационные материалы за 1980г.* Изд. КарНЦ РАН, Петрозаводск, 1982, с.23-29.

13. Коросов В.И. Геология доятулийского протерозоя восточной части Балтийского щита (сумий, сариолий). Изд. КарНЦ РАН, Петрозаводск, 1991, 118с.

14. Пухтель И.С., Журавлев Д.З., Куликов В.С., Куликова В.В. Петрография и Sm-Nd возраст дифференцированного потока коматиитовых базальтов Ветреного пояса (Балтийский щит)// *Геохимия*, 1991, N5, с.625-634.

15. Светов С.А., Голубев А.И., Светова А.И. Геохимия сумийских андезибазальтов Центральной Карелии. *Геология и полезные ископаемые Карелии // Вып. 4.* Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001, с.18-26.

16. Puchtel I.S., Hofman A.W., Mezger K., Shchipansky, Kulikov V.S., Kulikova V.V. Petrology of a 2.41 Ga remarkably fresh komatiitic basalt lava lake in Lion Hills, central Vetreney Belt, Baltic Shield // *Contrib Mineral Petrol*, 1996, v.124, pp. 273-290.

17. Amelin Y.V., Neaman L.M., Semenov V.S. U-Pb geochronology of laered intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting // *Precambrian Res.*, 1995. V. 75. pp.31-46.

18. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Saunders A.D., Norry M.J. (eds), *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. Spec. Publ. No.42., 1989, P. 313-345.

19. Arndt N.T., Nisbet E.G. Komatiites. London, Allen&Unwin, 1982, 526p.

20. Hickey R.L., Frey F.A. Geochemical characteristics of boninite series volcanics: implication for their source // *Geochim. et Cosm. Acta*, V.46, 1982, pp.2099-2115.

21. Shiraki K., Kuroda N. The boninite revisited // *J.Geol.Soc.Japan.*, 1977, V.86.,pp.34-55.

22. Jenner G.A. Geochemistry of high-Mg andesites from Cape Vogel, Papua New Guinea // *Chem.Geol.* 1981, V.33, pp.307-332.

23. LeBas M.J. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // *J.Petrology* 2000, v41,pp.1467-1470.

24. Fallon, T.J., and Crawford, A.J., The petrogenesis of high-calcium boninite lavas dredged from the northern Tonga ridge // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991, 102, 375-394.

25. Sobolev, A.V., and Danyushevsky, L.V. Petrology and geochemistry of boninites from the north termination of the Tonga trench: constraints on the generation conditions of primary high-Ca boninite magmas // *Jour. Petrol.*, 1994, 35, 1183-1211.
26. Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг / М., 1988, 247с.
27. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок / МГУ, 1997, 320с.
28. Светов С.А., Смолькин В.Ф. Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных магм докембрия Фенноскандинавского щита // *Геохимия* 2002, в печати.
29. Moore C., Carmichael I.S. The hydrous phase equilibria (to 3 kbar) of an andesite and basaltic andesite from western Mexico: constrains on water content and conditions of phenocryst growth // *Contrib Mineral Petrol*, 1998, v.130, pp.304-319.
30. Ocala L.C., Meyer R.T. Crustal low velocity zone under the Peru-Bolivia Altiplano // *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 1972, V.30, pp.199-200.