

УДК 550.42:552.313:551.71 (470.22)

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ ДРЕВНЕЙШИХ (3.05–2.95 млрд. лет) АНДЕЗИТОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ

© 2003 г. С. А. Светов

Представлено академиком В. А. Коротеевым 05.07.2002 г.

Поступило 29.07.2002 г.

Приводятся результаты геохимического исследования древнейшей (3.05–2.95 млрд. лет) на Фенноскандинавском щите андезитовой ассоциации Чалкинской вулканической структуры, входящей в состав архейского Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.

Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, расположенный в юго-восточной части щита, протягивается в субмеридиональном направлении на расстояние около 300 км при ширине 50–60 км и включает в себя ряд локальных структур (Хаутаваарскую, Койкарскую, Паласельгинскую, Семченскую, Совдозерскую, Остерскую и др.) [1].

Характерной особенностью пояса является широкое развитие коматиит-базальтовых ассоциаций в интервале 3.05–2.95 млрд. лет и андезитовых и дацитовых вулканитов двух уровней – 3.05–2.95 и 2.90–2.85 млрд. лет [2].

Для древних андезитовых ассоциаций методами фашиально-формационного анализа в Хаутаваарской структуре реконструирована цепь палеовулканических построек центрального типа (Няльмозеро–Игноила–Хаутаваара–Чалка) [3], сформировавшаяся в мелководных морских обстановках. U–Pb-датирование (по циркону) Игноильского субвулканического некка андезидацитов позволило получить значение возраста 2995 ± 20 млн. лет [4], возраст субвулканических даек андезитов Паласельгинской структуры составляет 3000 ± 40 и 3020 ± 10 млн. лет для субвулканического штока андезитов Остерской структуры [5].

Наиболее полно древняя андезибазальт-андезит-дацитовая ассоциация представлена в разрезе Чалкинской палеовулканической зоны, занимающей северную часть Хаутаваарской структуры [6, 7]. Породы участка метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфиз-

ма андалузит-силлиманитового типа, что позволило сохраниться вулканическим текстурам.

Реконструирована прижерловая зона Чалкинского палеовулкана, представленная двумя некками, окаймленными глыбовыми агломератовыми туфами, принадлежащими к фации эксплозивных выбросов и агломератовых потоков. К ним также приурочены линзовидные пачки переслаивания потоков крупноподушечных лав, кластолав, комковатых, массивных, миндалекаменных лав с подушечными брекчиями, глыбовыми (с пластичнодеформированными обломками), агломератовыми и лапиллиевыми туфами. Линзы имеют мощность от 15 до 50–70 м и прослеживаются по простиранию на 500–700 м.

Северный некк в центральной части сложен микропорфировыми андезитами, а в периферийной – крупно- и гломеропорфировыми разностями, на южном обрамлении окаймлен агломератовой мантией; крупнопорфировые андезидациты постепенно переходят в кластолавы, а затем в подушечные лавы.

Южный некк сформирован массивными мелкозернистыми андезитами и находится в поле туфов. К прижерловой зоне приурочены многочисленные дайки андезитов, дацитов и реже риолитов и диоритов.

По мере удаления от прижерловой зоны лавы становятся более однородными и более кислыми, с преобладанием массивных и миндалекаменных разностей, переслаивающихся со слоями лапиллиевых и псаммитовых туфов. Мощность лавовых потоков изменяется от первых до 40–60 м, а туфовых прослоев – 0.5–1.5 м.

Общая мощность реконструированного разреза Чалкинского палеовулкана составляет 2.5 км. Фашиальная характеристика продуктов извержения позволяет классифицировать палеовулкан как полигенный стратовулкан с близким соотношением лав и туфов.

Для прецизионного геохимического исследования отобраны пробы пород различной фашиальной принадлежности по всему разрезу палеовулка-

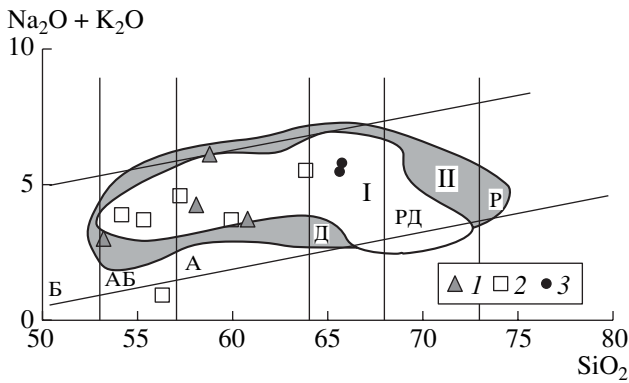


Рис. 1. Диаграмма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ для пород древней андезитовой ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. 1 – массивные лавы, 2 – туфы, 3 – субвулканы – адакиты. Поля: I – вулканы и субвулканы Чалчинской палеовулканической постройки [3, 7], II – вулканы и субвулканы Игноильской палеовулканической постройки [3, 7], Б – базальты, АБ – андезибазальты, А – андезиты, Д – дациты, РД – риодациты, Р – риолиты.

нической постройки с наименее выраженными метасоматическими изменениями. Геохимический анализ – определение петрогенных элементов – выполнен рентгенофлуоресцентным методом VRA-33 в Институте геологии КарНЦ РАН. Погрешность составляет <3% для элементов с концентрациями >0.5 мас.%, 5% при концентрациях <0.5 мас.%. Редкие и РЗ-элементы определе-

ны методом ISP-MS в аналитической лаборатории Института геологии и геохимии УО РАН, погрешность определения элементов <2%. Для построения классификационных диаграмм в работе использованы ранее опубликованные данные: 80 химических анализов (Чалчинский палеовулкан), 140 химических анализов (Игноильский палеовулкан) [3, 7].

По содержанию кремнезема и щелочей лавы и туфы Чалчинской палеопостройки принадлежат к андезибазальтам, андезитам, дацитам, реже риодацитам с нормальной щелочностью (табл. 1, рис. 1), максимальная дифференциация серии (от базальтов до риолитов) проявлена в Игноильской структуре. При этом характерна Na-специфика вулканических пород, которая типична для андезитовых серий островных дуг [8]. Вулканы имеют повышенные содержания Cr, Ni в первичных выплавках и Co, Zr, Y в поздних дифференциатах.

Чалчинские вулканы характеризуются отношениями $\text{Sr}/\text{Y} < 12$, $\text{Ce}/\text{Nb} < 4.5$, $\text{Th}/\text{Nb} < 0.72$, близкими к островодужным сериям. Для лав типичны обогащенные легкими РЗЭ спектры $(\text{La}/\text{Sm})_n = 1.67 \pm 0.98$ с выполаживанием в области тяжелых РЗЭ $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 1.26 \pm 0.14$, $(\text{Ce}/\text{Yb})_n = 2.75 \pm 1.69$, в туфах сохраняется подобие спектров при более высоких фоновых концентрациях РЗЭ (рис. 2), Eu-аномалия в породах слабо проявлена.

Спайдерграммы – мультиэлементные диаграммы, нормированные по примитивной мантии [9],

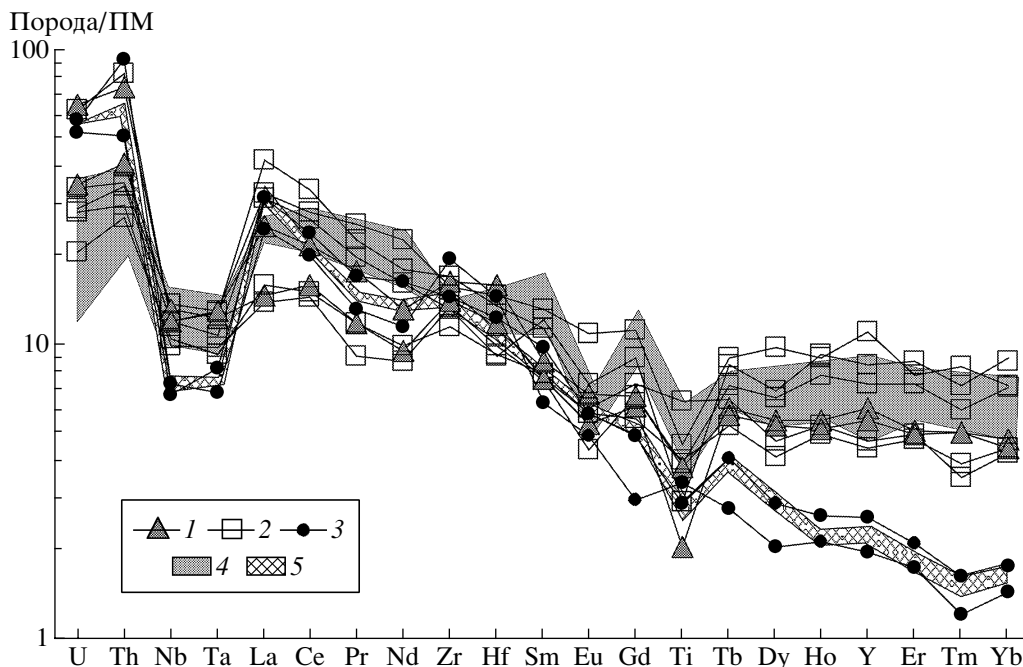


Рис. 2. Нормированная по примитивной мантии (ПМ) [9] спайдерграмма андезитовой ассоциации Чалчинской палеовулканической постройки. 1 – массивные лавы, 2 – туфы, 3 – адакиты, 4 – средний состав базальт-андезит-дацитовый ассоциации Каменноозерской структуры [10]; 5 – средний состав адакитов о. Кука [12].

Таблица 1. Состав пород андезитовой ассоциации Чалкинской палеовулканической зоны (оксиды – мас. %; остальные – ppm)

Компонент	Пр. 103-5	Пр. 101-1	Пр. C556-1	Пр. 111-3	Пр. 104-1	Пр. 104-5	Пр. 101-2	Пр. 110-8	Пр. 102-2	Пр. 105-1	Пр. 103-2	Пр. 105-7
	островодужные андезибазальты – андезиты										адакиты	
	М	М	М	МП	ПТ	ЛАТ	ЛАТ	ЛАТ	ПТ	ПТ	Д	Д
SiO ₂	58.78	58.04	60.76	53.16	59.94	54.14	57.40	63.80	55.32	56.32	65.66	65.78
TiO ₂	0.45	0.76	0.87	0.83	0.64	1.82	0.86	1.40	0.99	0.88	0.74	0.63
Al ₂ O ₃	14.83	15.00	16.02	18.31	15.26	15.10	16.64	15.72	15.22	13.87	14.26	16.37
Fe ₂ O ₃	3.44	1.73	0.81	2.33	1.56	3.52	1.41	1.76	1.36	2.08	2.07	2.52
FeO	4.46	7.62	6.55	7.71	4.88	4.74	6.11	2.72	9.30	7.84	3.88	1.87
MnO	0.140	0.200	0.130	0.170	0.14	0.320	0.130	0.180	0.300	0.366	0.070	0.053
MgO	4.96	3.88	3.27	4.00	4.94	3.61	4.77	1.17	6.55	5.23	1.76	1.90
CaO	5.32	6.17	3.58	7.29	7.86	11.20	6.17	5.88	4.06	9.55	4.76	4.14
Na ₂ O	4.66	3.27	2.23	1.55	3.02	2.56	2.56	3.71	1.28	0.51	3.86	4.48
K ₂ O	1.48	0.98	1.50	1.48	0.65	1.30	2.00	1.80	2.41	0.39	1.72	1.30
H ₂ O	0.11	0.09	0.26	0.13	0.09	0.10	0.08	He обн.	0.06	0.08	0.11	0.11
П.п.п.	1.23	1.96	3.83	2.86	1.15	1.24	1.62	1.28	2.85	2.30	0.72	0.66
Сумма	99.86	99.70	99.81	99.82	100.13	99.93	99.75	99.42	99.70	99.70	99.62	99.81
Cr	392	272	380	496	236	180	541	165	619	614	202	201
Ni	157	150	113	139	368	86	184	36	549	363	35	24
Co	25.4	22.3	18.5	29.1	58.2	23.7	39.5	15.2	81.9	45.2	9.9	9.6
V	140	131	118	263	188	129	232	144	252	205	66	63
Pb	7.05	7.38	6.55	11.63	7.76	7.88	3.59	9.85	3.02	9.05	8.55	24.60
Rb	11.62	9.92	15.11	55.04	20.61	45.52	40.57	52.26	8.02	10.04	61.57	43.37
Ba	179.63	107.62	345.81	312.05	196.01	280.64	248.80	343.42	68.37	79.12	476.91	447.77
Sr	275.46	299.87	236.46	218.99	258.32	463.83	148.83	385.57	36.51	276.66	472.21	486.92
Nb	9.302	8.149	5.260	8.524	8.467	6.375	6.990	8.463	9.747	7.398	5.207	4.770
Zr	157.34	155.31	135.73	183.55	146.17	180.51	151.75	188.99	175.76	129.08	218.35	161.96
Y	27.66	24.82	19.02	24.98	38.89	16.68	33.54	21.36	49.69	20.11	8.96	11.69
Th	3.533	2.993	3.756	6.280	2.896	6.092	2.537	6.987	3.003	2.275	7.840	4.258
La	10.037	5.590	2.331	17.260	21.413	26.221	9.485	28.716	22.215	10.933	16.894	21.329
Ce	28.320	12.799	7.115	38.479	47.175	59.220	25.466	59.354	49.402	26.469	35.648	42.373
Pr	3.234	1.610	0.861	4.849	5.435	6.107	2.498	6.227	6.995	3.240	3.600	4.702
Nd	12.834	8.391	5.771	17.819	21.862	29.686	11.877	24.201	30.571	13.350	15.442	21.942
Sm	3.367	2.726	2.675	3.873	5.375	5.399	3.349	5.019	5.863	3.530	2.807	4.326
Eu	0.903	0.835	0.722	1.135	1.235	1.358	0.740	1.025	1.817	0.976	0.821	0.975
Gd	3.641	3.006	2.601	3.959	5.330	3.577	3.990	4.389	6.602	3.352	1.768	2.922
Tb	0.651	0.595	0.465	0.619	0.916	0.548	0.777	0.701	0.968	0.570	0.302	0.438
Dy	4.066	4.128	3.128	3.901	5.100	2.884	4.844	3.444	7.177	3.047	1.521	2.117
Ho	0.902	0.931	0.706	0.850	1.504	0.650	1.277	0.866	1.468	0.812	0.349	0.433
Er	2.445	2.109	1.732	2.385	4.208	1.406	3.498	2.362	3.772	2.275	0.841	1.013
Tm	0.374	0.313	0.259	0.374	0.533	0.186	0.439	0.264	0.624	0.290	0.095	0.122
Yb	2.355	2.104	1.769	2.202	4.440	1.381	3.528	2.099	3.541	2.201	0.713	0.868
Lu	0.341	0.261	0.235	0.332	0.663	0.170	0.515	0.321	0.539	0.320	0.090	0.112
U	0.732	0.654	0.898	1.371	0.605	1.465	0.586	1.313	0.707	0.431	1.207	1.093
Ga	15.55	17.54	15.20	27.25	17.57	19.57	14.03	17.36	15.97	15.70	18.06	19.59
Sc	21.04	19.14	17.11	24.22	31.07	14.42	37.56	13.42	32.57	24.77	6.58	5.19
Hf	3.655	3.417	3.291	4.880	2.797	3.991	3.051	4.162	4.491	2.864	4.476	3.809
Ta	0.503	0.536	0.414	0.528	0.440	0.395	0.395	0.520	0.527	0.381	0.283	0.340
Cs	1.54	0.81	0.87	2.79	1.66	3.26	4.27	2.53	0.76	0.57	7.28	2.90
Be	1.01	0.87	0.85	1.48	1.16	1.84	0.64	1.21	1.17	0.89	1.76	1.44

Примечание. Текстуальные разновидности: М – массивная лава, МП – массивный порфировый, ЛАТ – литокласт агломератового туфа, ПТ – псаммитовый туф, Д – субвулканит.

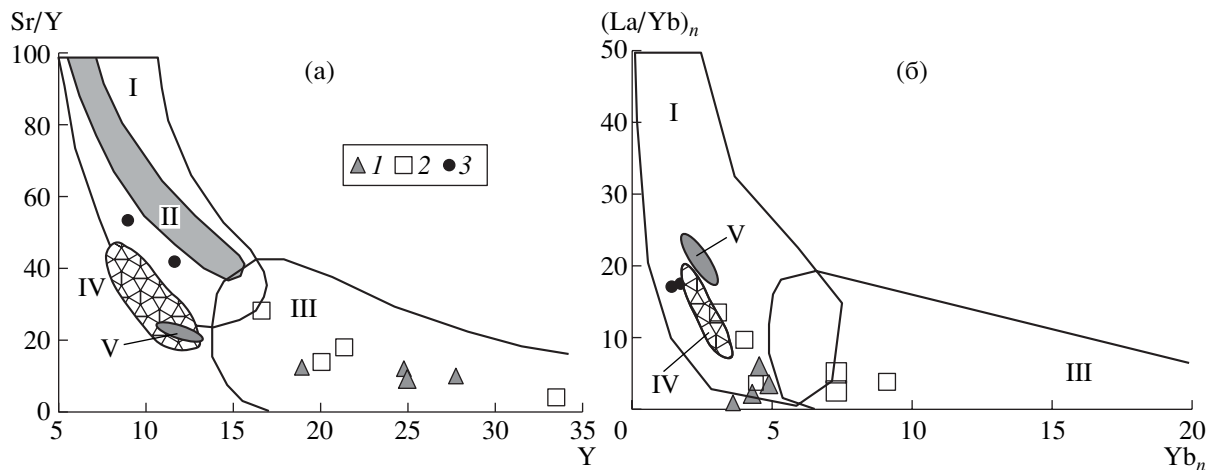


Рис. 3. Диаграмма Sr/Y–Y (а) и (La/Yb)_n–Yb_n (б) для андезитовой ассоциации Чалкинской палеовулканической постройки. 1 – массивные лавы, 2 – туфы, 3 – адakitы. Поля: I – типичные адakitы мира [13], II – адakitы Юго-Восточной Японии [13], III – островодужные андезиты–дациты–риолиты, IV – субвулканисты Хаутаваарской палеопостройки [3, 7], V – субвулканисты Игноильской палеопостройки [3, 7].

вулканистов и туфов Чалкинской палеопостройки, указывают на топологическое подобие с базальт-андезит-дацит-риолитовыми сериями архейской Каменноозерской структуры Восточной Финноскандии [10] и Курило-Камчатской островной дуги [11].

Чалкинские субвулканисты по геохимической характеристике относятся к адakitам и от дацитов известково-щелочного ряда отличаются высокими содержаниями Ba (470 ppm), Sr (480 ppm), Zr (218 ppm), Cs (7.28 ppm); пониженными MgO (1.7–1.9 мас. %), Ni (ppm), Co (10 ppm), V (63–66 ppm), Nb (4.8–5.2 ppm), Y (9–11 ppm), Sc (5–6 ppm), Ta (0.25–0.35 ppm) и всех ТРЗЭ (см. табл. 1). Проведенное их геохимическое сопоставление с адakitами Тихоокеанских зон перехода океан–континент Камчатки, Японии, Эквадора, Коста-Рики [12] (содержащих SiO₂ > 56 мас.%, 3.5% < Na₂O < 7.5%, высокие концентрации Ba, Sr и низкие Ni, Y, Nb, Ta, ТРЗЭ) показало четкую корреляцию. На рис. 3 в координатах Sr/Y–Y и (La/Yb)_n–Yb_n фигуративные точки субвулканистов ложатся в область типичных адakitовых серий мира вблизи поля адakitов Юго-Восточной Японской вулканической дуги. Построенные по результатам предыдущих работ поля даек Игноильской и Хаутаваарской структур также принадлежат к адakitовому ряду. Единственное существенное отличие адakitов Чалки от современных аналогов проявлено в более высоких концентрациях Sr (до 200 ppm).

К настоящему времени в пределах архейских зеленокаменных поясов адakitы выделены во многих объектах – в зеленокаменных поясах северной части кратона Сьюпириор (Канада), таких, как Лумби-Лейк, Ред-Лейк с возрастом

2.9–3.0 млрд. лет [13], в поясе Бич-Учи с возрастом 2739 ± 2 млн. лет [14] и в верхней БАДР-ассоциации Каменноозерской структуры (Восточная Финноскандия) с возрастом 2875 ± 2 млн. лет и ряде других [10].

Описываемая вулканическая ассоциация Чалкинской структуры, включающая в себя дифференцированную андезибазальт-андезит-дацит-риодацитовую серию с субвулканистами адakitового ряда, по литотипу, строению разреза и геохимической характеристике маркирует реликт древнейшей для Восточной Финноскандии островной вулканической дуги, развитие которой проходило с 3.05 по 2.85 млрд.лет и привело к формированию Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.

Автор выражает благодарность И.В. Семенову (Институт геологии и геохимии УО РАН) за поддержку исследований и Ю.А. Ронкину за проведение аналитических работ, А.И. Световой (Институт геологии, КарНЦ РАН) за помощь в полевом изучении объектов и обсуждение материала.

Работа осуществлена в рамках программы “Магматические системы зон перехода океан–континент в архее Финноскандии” (КарНЦ РАН). Исследования автора поддержаны Фондом содействия отечественной науке и выполняются частично при поддержке РФФИ (гранты 01–05–64228 и 02–05–97507).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светов С.А. Коматиит-толеитовые ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. 172 с.

2. *Svetov S.A., Svetova A.I., Nuhma H.* // *Geochem. Intern.* 2001. V. 39, Suppl. 1. P. s24-s38.
3. *Светова А.И.* Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1988. 148 с.
4. *Сергеев С.А.* Геология и изотопная геохронология гранит-зеленокаменных комплексов архея Центральной и Юго-Восточной Карелии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л.: ИГГД АН СССР, 1989. 24 с.
5. *Лобиков А.Ф.* В сб.: Проблемы изотопного датирования процессов вулканизма и осадкообразования. Киев, 1982. С. 90–91.
6. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии / Под ред. В.А. Соколова. Л.: Наука, 1981. 154 с.
7. Стратиграфия докембрия Карелии: Опорные разрезы верхнеархейских отложений / Под ред. С.И. Рыбакова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 190 с.
8. *Богатиков О.А., Цветков А.А.* Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988. 247 с.
9. *Sun S.S., McDonough W.F.* // *Geol. Soc. Spec. Publ.* 1989. V. 42. P. 313–345.
10. *Puchtel I.S., Hofmann A.W., Amelin Yu.V. et al.* // *Geochim. et cosmochim. acta.* 1999. V. 63. P. 3579–3595.
11. *Kepezhinskas P., McDermott F., Defant M.J. et al.* // *Geochim. et cosmochim. acta.* 1997. V. 3. P. 577–600.
12. *Martin H.* // *Lithos.* 1999. V. 46. P. 411–429.
13. *Hollings P., Wyman D., Kerrich R.* // *Lithos.* 1999. V. 46. P. 137–161.
14. *Hollings P., Kerrich R.* // *Contribs Mineral. and Petrol.* 2000. V. 139. P. 208–226.