

*А. И. Слабунов **, *М. М. Богина ***, *В. Л. Злобин ****, *Д. И. Матуков *****

ВОКШОЗЕРСКАЯ СТРУКТУРА КЕРЕТСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА: ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ МЕТАВУЛКАНИТОВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Введение. Северо-Карельская система зеленокаменных поясов (рис. 1, а) – самая крупная в Беломорском подвижном поясе (БПП) – состоит из Керетского и Тикшозерского зеленокаменных поясов (Слабунов, 2005). В их состав входят, по крайней мере, три разновозрастных зеленокаменных комплекса: один мезоархейский – керетьозерский (2,88–2,83 млрд лет; Бибикина и др., 1999а) и несколько неоархейских – хизоваарский-1 (2,8–2,78 млрд лет; Кожевников, 2000; Бибикина и др., 2003), челозерский (2757 ± 13 млн лет; Алексеев и др., 2004) и хизоваарский-2 (2,71–2,69 млрд лет; Кожевников и др., 2006). Такое разнообразие комплексов даже в одном зеленокаменном поясе означает, что геодинамическая интерпретация эволюции земной коры на базе анализа особенностей состава вулканогенных и осадочных образований малопродуктивна без геохронологической информации о рассматриваемых образованиях.

Геологический очерк. Керетский зеленокаменный пояс (рис. 1, а), за исключением Хизоваарской структуры, сложен мезоархейским керетьозерским зеленокаменным комплексом и состоит, кроме названной, из нескольких структур (с севера на юг): Керетьозерской, Поньгомозерской, Кургиевской и Вокшозерской (Слабунов, 2005).

Керетьозерский зеленокаменный комплекс представлен метавулканидами, состав которых варьирует от ультраосновных до кислых (с преобладанием средне-кислых вулканитов известково-щелочной серии), и метаосадками. В его составе выделяется три свиты или стратотектонические ассоциации (СТА): верхнекумозерская, хаттомозерская, майозерская (Слабунов, 1993).

Верхнекумозерская СТА сложена амфиболитами, среди которых картируются тела актинолитовых сланцев (метаультрабазитов). Петрохимические и в единичных случаях текстурные особенности (в рай-

оне оз. Кереть в них описаны амфиболиты с реликтами шаровой текстуры) позволяют интерпретировать амфиболиты как метабазальты, а метаультрабазиты – как метакоматииты (Слабунов, 1993). Мощность СТА 150–500 м. В Вокшозерской структуре данная СТА развита в западной части (Слабунов, 2001).

Хаттомозерская СТА залегает выше верхнекумозерской в стратотектоническом разрезе комплекса. Она сложена (эпидот)-амфибол-биотитовыми, биотитовыми сланцами. В них достаточно часто наблюдаются реликты агломератовой и миндалекаменной текстур, тонкой полосчатости (рис. 2), что, наряду с их петрохимическими особенностями, дает возможность уверенно идентифицировать эти породы как метатуфы среднекислого состава. Выделяются также нековые фации вулканитов, содержащих ксенолиты амфиболитов и сланцев, сопоставимых с вмещающими породами. Мощность этой СТА около 700 м.

Согласно проведенному ранее U-Pb датированию по цирконам, возраст метатуфов андезитового состава – 2877 ± 45 млн лет, а метадацита нековой фации – 2829 ± 30, что и позволяет оценить время ее формирования – 2,88–2,83 млрд лет (Бибикина и др., 1999а).

Майозерская СТА, представленная амфиболитами с прослоями парагнейсов, с картируемым структурным несогласием (предполагаемым надвигом) контактирует с нижележащими образованиями (рис. 1) и завершает стратотектонический разрез керетьозерского комплекса в пределах зеленокаменного пояса. В амфиболитах наблюдаются редкие и плохой сохранности реликты шаровых текстур. Среди амфиболитов, а в ряде случаев среди парагнейсов встречены тела метаультрабазитов (Слабунов, 1993), которые, вероятно, являются интрузивными аналогами коматиитов. Амфиболиты варьируют по составу от толеитовых базальтов (резко преобладают) до андезибазальтов. Парагнейсы СТА сформировались за счет разрушения средне-кислых вулканитов, аналогичных хаттомозерским, базальтов и коматиитов (Слабунов, 2006). Время формирования пород майозерской СТА не установлено, оно может быть либо близко, либо моложе вулканитов хаттомозерской СТА.

* Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск.

** ИГЕМ РАН, Москва.

*** ГИН РАН, Москва.

**** ФГУП ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург.

Геохронология метавулканигов. Средне-кислые метавулканигты Вокшозерской структуры имеют значительные текстурно-структурные и петрохимические черты сходства с породами хаттомозерской СТА (при наличии разностей со своеобразными геохимическими характеристиками) (Богина и др., 2005а; Слабунов, 2001). Однако предварительные геохронологические данные (анализировались цирконы из риодацитов В-5-1, точка 6 на рис. 1, б) указывали на более молодой (около 2,7 млрд лет) возраст этих пород (Богина и др., 2005б). Учитывая важность этой датировки для региональной геологии, отобрали новую пробу (ВК-41-3/03, рис. 1, б) из метариодацита с реликтами миндалекаменной текстуры (рис. 2, а). Из нее выделены цирконы и проанализированы на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского.

Методика U-Pb аналигов на SHRIMP-II. Отобранные вручную зерна цирконов были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA и 91500. Далее зерна цирконов были сошлифованы и приполированы приблизительно на половину своей толщины. Для выбора участков (точек) датирования на поверхности зерен использовались оптические (в проходящем и отраженном свете) и катодоллюминесцентные изображения, отражающие внутреннюю структуру и зональность цирконов.

Измерения U-Pb отношений на SHRIMP-II проводились по методике, описанной в статье I. S. Williams (1998). Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла 5 нА, диаметр пятна (кратера) – 25 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программы SQUID (см. Ludwig, 2000). U-Pb отношения нормализовались на значение 0,0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416,75 млн лет (Black, Kamo, 2003). Погрешности единичных аналигов (отношений и возрастов) приводятся на уровне 1σ, погрешности вычисленных конкордантных возрастов и пересечений с конкордией – на уровне 2σ. Построение графиков с конкордией (Wetherill, 1956) проводилось с использованием программы ISOPLOT/EX (Ludwig, 1999).

Результаты датирования. Катодоллюминесцентное изучение зерен циркона из данной пробы (рис. 3) показало, что среди них присутствует три морфологических типа: правильной формы с различной степенью удлинения, зональные (рис. 3, а); округлые тонкозональные с контрастной новообразованной оболочкой (рис. 3, б); обломки слабозональных зерен (рис. 3, в).

Было выполнено 7 определений возраста (табл. 1). В большинстве (в 5 из 7) зерен, относящихся к первому морфологическому типу, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст варьирует от 1813 ± 12 до 1863 ± 14 млн лет (табл. 1), а верхнее пересечение дискордии с конкордией, построенной по трем из них, имеет значение 1837 ± 28 млн лет (рис. 4). Этот возраст отвечает возрасту свекофенных метаморфических преобразований, широко проявленных в регионе (Бибикова и др., 1999б).

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст в обломке зерна циркона (рис. 3, в) с относительно низким содержанием U (198 г/т) и высоким Th (332 г/т) – $2798 \pm 8,2$ млн лет (табл. 1). Верхнее пересечение дискордии с конкордией, построенное через эту точку и точки свекофенных зерен, – 2829 ± 37 млн лет (рис. 3). Этот возраст интерпретируется как возможный минимальный возраст магматической стадии образования риодацитов.

Промежуточное и максимально дискордантное значение имеет возраст в ядре изометричного зерна (рис. 3, б). Следует отметить, что измеренные изотопные отношения этого зерна лежат на одной дискордии со значениями из древнего зерна. Однако данное значение возраста базируется лишь на единичном измерении и может рассматриваться лишь как приблизительная оценка. Вместе с тем выполненные геохронологические исследования, с учетом имеющихся данных (Бибикова и др., 1999а), дают основания считать, что средне-кислые вулканигты южной части Керетского пояса относятся к керетьозерскому комплексу, а именно – к хаттомозерской СТА.

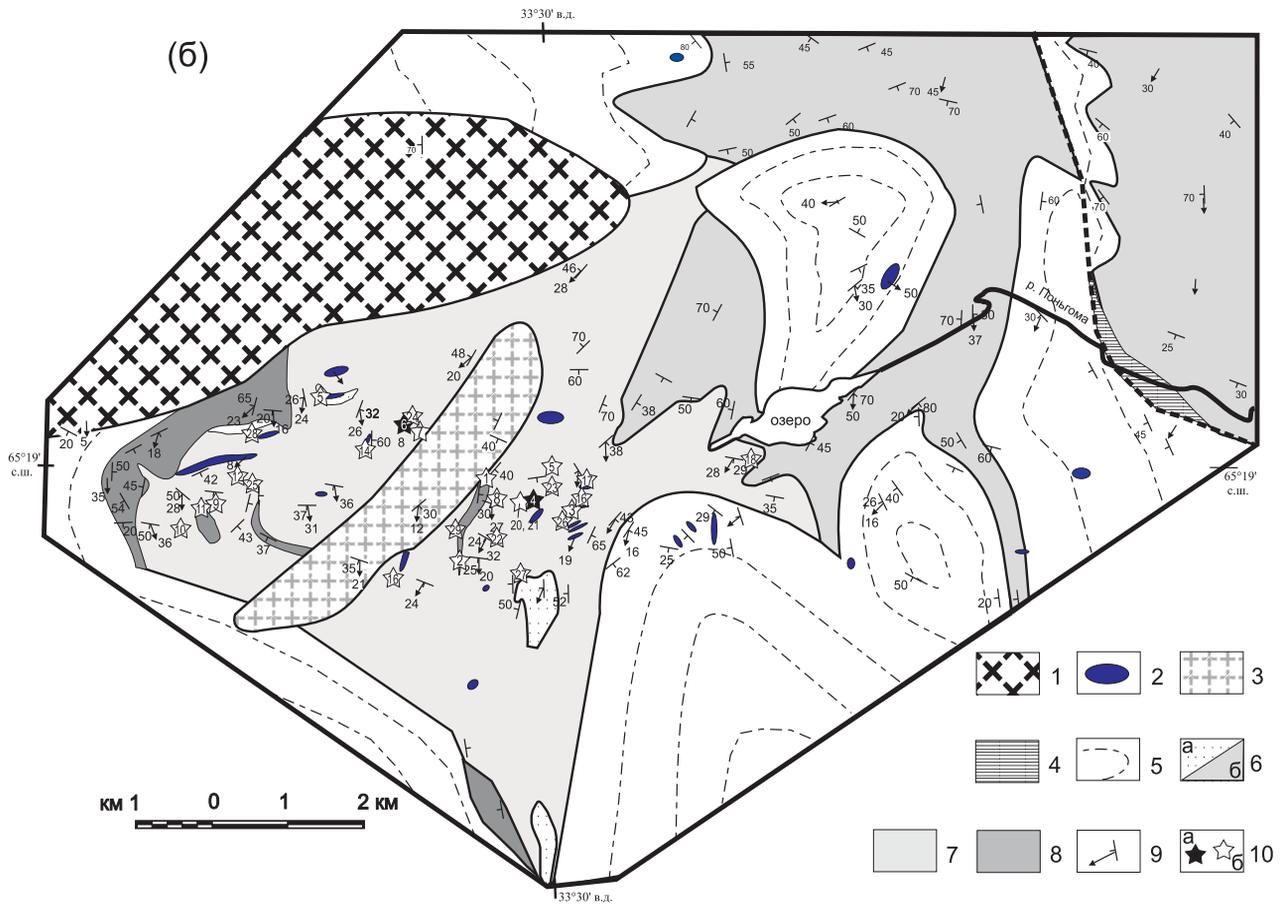
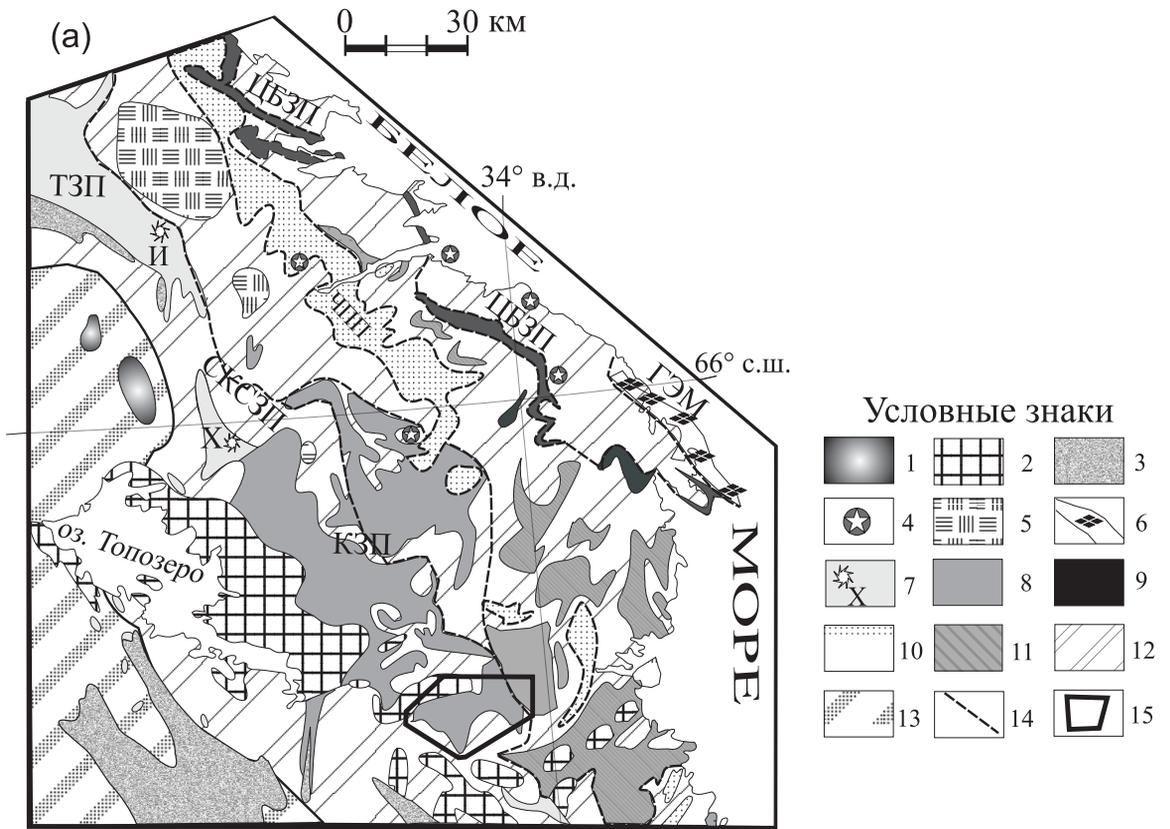
Петрогеохимия вулканигов. Состав метавулканигов Вокшозерской структуры приводится в табл. 2. Породы верхнекумозерской СТА Вокшозерской структуры соответствуют толеитам с небольшой долей андезибазальтов толеитовой серии (рис. 5).

Рис. 1. Схема геологического строения северной части Беломорского подвижного пояса (а) (Слабунов, 2005, с дополнениями) и Вокшозерской структуры Керетского зеленокаменного пояса (б) (составил А. И. Слабунов с использованием материалов О. С. Сибелева, В. В. Травина):

(а) 1 – Ельтьозерский ультрамафит-габбро-щелочной комплекс (1,75–1,8 млрд лет); 2 – чарнокиты топозерского типа (~2,45 млрд лет); 3 – палеопротерозойские (2,5–1,92 млрд лет) осадочные и вулканогенные образования; 4 – массивы комплекса габбро-анортозитов (~2,45 млрд лет); 5–6 – неорархейские образования: 5 – гранулит-чарнокит-эндербитовый комплекс; 6 – Гриндинский эклогитсодержащий меланж (ГЭМ); 7 – зеленокаменный хизоваарский и челозерский (2,8–2,76 млрд лет) комплексы (звездочкой обозначены Ириногорская (И) и Хизоваарская (Х) структуры с фрагментами супрасубдукционных офиолитов); 8–10 – мезоархейские образования: 8 – керетьозерский (2,9–2,82 млрд лет) зеленокаменный комплекс; 9 – офиолитоподобный комплекс ЦБЗП; 10 – метаграувакки ЧПП; 11 – амфиболиты (нерасчлененные); 12 – гранитоиды ТТГ ассоциации БПП (2,89–2,6 млрд лет); 13 – гранитоиды ТТГ ассоциации Карельского кратона (3,5–2,85 млрд лет); 14 – поверхности сместителей предполагаемых покровов; 15 – Вокшозерская структура (район исследования).

Буквами обозначены: ГЭМ – Гриндинский эклогитсодержащий меланж; КЗП – Керетский зеленокаменный пояс, СКСЗП – Северо-Карельская система зеленокаменных поясов, ТЗП – Тикшозерский зеленокаменный пояс, ЧПП – Чупинский парагнейсовый пояс, ЦБЗП – Центрально-Беломорский зеленокаменный пояс.

(б) 1 – чарнокиты топозерского типа (~2,45 млрд лет); 2 – интрузии основного состава; 3 – микроклиновые граниты; 4 – тектонический меланж; 5 – мезо- и неорархейские гранитоиды (пунктирная линия – структурная линия); 6–8 – мезоархейские образования керетьозерского зеленокаменного комплекса: 6 – майозерская СТА: (а) парагнейсы с редкими прослоями амфиболитов, (б) амфиболиты с редкими прослоями парагнейсов; 7 – хаттомозерская СТА: сланцы и амфиболиты (метавулканигты известково-щелочной серии); 8 – амфиболиты верхнекумозерской СТА; 9 – элементы залегания гнейсовидности, полосчатости и минеральной линейности; 10 – места отбора петрогеохимических (а), а также геохронологических (б) проб (номера проб соответствуют порядковому номеру анализа в табл. 2)



В северной части Керетского пояса в породах данной СТС кроме толеитовых базальтов отмечены тела коматитов (Слабунов, 1993), которые в рассматриваемой структуре не установлены. Спектры РЗЭ в метабазальтах (рис. 6) характеризуются пологим распределением на уровне ~10 хондритов с незначительным обеднением ЛРЗЭ и нефракцио-

нированными спектрами ТРЗЭ ($La/Yb_N = 0,6-1,2$, $La/Sm_N = 0,6-1,1$, $Gd/Yb_N = 0,9-1,1$) (Богина и др., 2005а). Спайдерграммы (рис. 6) для метабазитов Вокшозерской структуры характеризуются отсутствием Nb и Ti аномалий, наличием отрицательной аномалии Th, что позволяет сопоставлять их с породами океанических плато.

Таблица 1

U-Pb изотопные данные (SHRIMP-II) для цирконов из риодацита Вокшозерской структуры (проба ВК-41-3/03)

Номер точки	$^{206}Pb_e$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$, ppm	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$	$\pm \%$	$^{207}Pb^*/^{235}U$	$\pm \%$	$^{206}Pb^*/^{238}U$	$\pm \%$	Коэф. корреляции	Возраст, млн лет		Дискорд.
													$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	
3.1	0,44	512	10	0,02	134	0,11082	0,69	4,645	0,80	0,3040	0,41	0,516	$1711,1 \pm 6,2$	1813 ± 12	6
5.1	0,09	512	3	0,01	139	0,11097	0,66	4,823	0,83	0,3152	0,50	0,608	$1766,3 \pm 7,8$	1815 ± 12	3
7.1	0,31	426	9	0,02	116	0,11391	0,79	4,960	0,96	0,3158	0,53	0,558	$1769,2 \pm 8,2$	1863 ± 14	5
6.1	0,04	468	3	0,01	128	0,11382	0,60	5,004	0,73	0,3188	0,42	0,578	$1784,1 \pm 6,6$	1861 ± 11	4
1.1	0,04	469	3	0,01	131	0,11212	0,51	5,019	0,70	0,3247	0,48	0,682	$1812,6 \pm 7,6$	$1834,0 \pm 9,3$	1
4.1	0,07	379	50	0,14	121	0,13888	0,52	7,130	0,75	0,3723	0,54	0,722	$2040,4 \pm 9,5$	$2213,3 \pm 9,0$	8
2.1	0,03	198	332	1,73	91,1	0,19657	0,50	14,480	0,79	0,5343	0,61	0,772	2759 ± 14	$2798,0 \pm 8,2$	1



а



б

Рис. 2. Метариодациты (проба ВК-41-3/03) с реликтами миндалекаменной текстуры на о. Смолиный оз. Вокшозеро (а) и агломератовые туфы риодацитов м. Хухты оз. Вокшозеро (б). Фото А. И. Слабунова

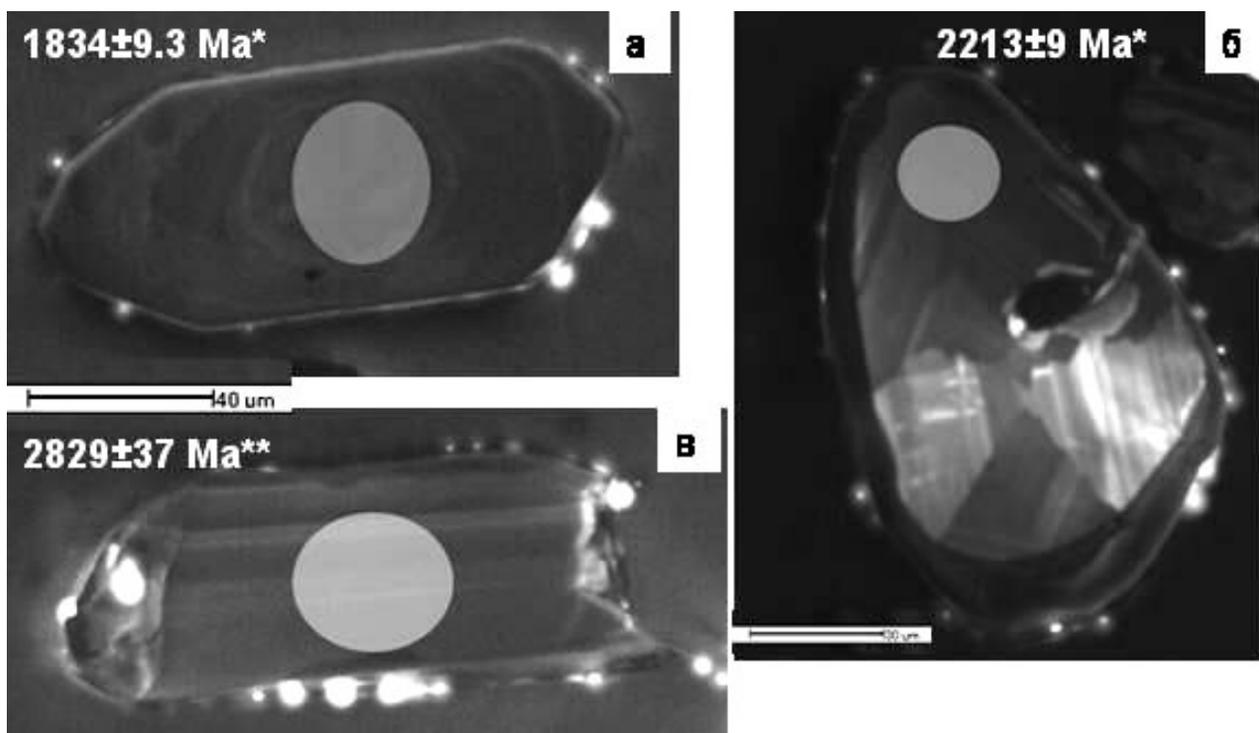


Рис. 3. Катодолуминесцентное изображение цирконов из пробы риодацита (ВК-41-3/03) Вокшозерской структуры Керетского зеленокаменного пояса

* – значение возраста в обозначенной точке по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в млн лет (Ma); ** – значение возраста в обозначенной точке по верхнему пересечению с конкордией в млн лет (Ma)

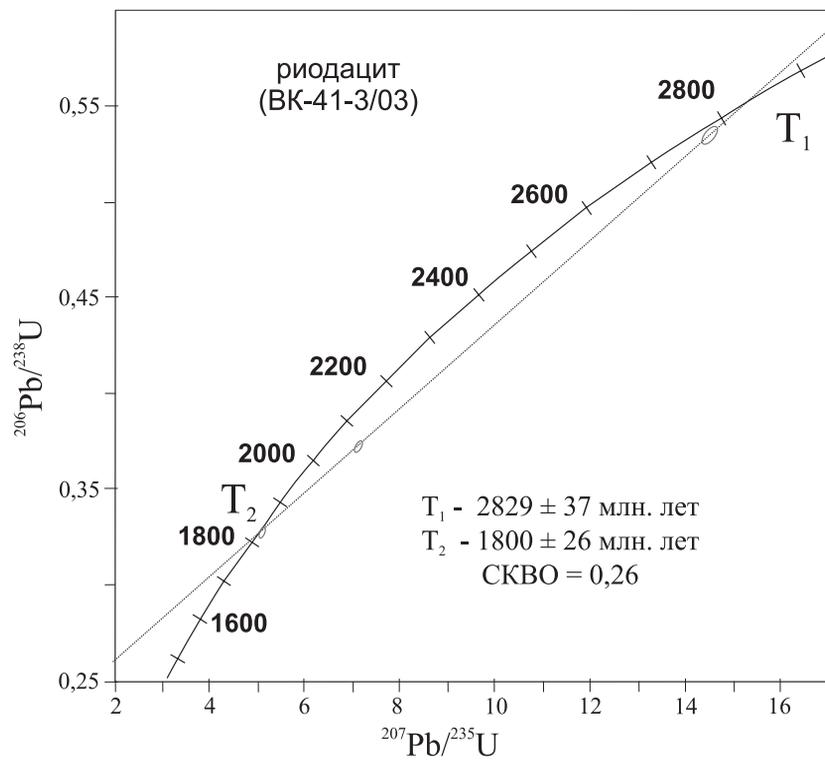


Рис. 4. Изохрона с конкордией для цирконов из метариодацитов (проба ВК-41-3/03) Вокшозерской структуры

Таблица 2

Химический состав метавулканитов Вокшозерской структуры, окислы в мас. %, элементы в г/т

Компо- ненты	В-7/02	В-28- 2/02	В-29- 4/02	ВК-41- 3/03	В-41- 2/02	В-5- 1/02	В-5- 2/02	В-9/02	В- 13/02	В- 14/02	В- 15/02	В-16- 1/02	В-17- 1/02	В- 24/02	В-27- 2/02
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	48,76	49,26	50,31	68,49	47,94	69,39	54,94	54,28	55,17	52,40	63,35	56,29	73,27	58,67	61,07
TiO ₂	1,32	1,36	1,13	0,41	0,97	0,31	0,83	0,78	1,08	1,84	1,04	1,11	0,36	0,73	0,63
Al ₂ O ₃	14,65	14,39	13,96	15,72	16,08	15,23	17,15	16,29	18,90	16,10	14,32	18,22	14,22	16,79	15,58
Fe ₂ O ₃	13,84	9,51	13,49	3,94	13,50	4,00	9,45	8,92	8,49	12,50	9,74	7,45	2,39	9,11	6,37
MnO	0,12	0,20	0,19	0,06	0,19	0,14	0,16	0,16	0,15	0,18	0,19	0,18	0,13	0,17	0,16
MgO	6,61	6,00	6,87	2,28	8,33	1,23	5,42	5,58	2,78	2,84	2,11	4,27	0,74	2,95	4,76
CaO	11,46	15,93	10,81	3,01	9,27	5,20	5,53	8,14	6,22	8,77	3,64	5,89	3,24	6,98	5,85
Na ₂ O	2,51	1,39	2,28	4,46	2,66	2,40	3,98	3,83	3,66	4,23	2,13	4,14	4,20	2,63	3,62
K ₂ O	0,42	0,30	0,26	1,69	0,40	1,23	1,63	0,96	2,40	0,53	2,55	1,68	0,90	1,26	1,24
P ₂ O ₅	0,10	0,20	0,17	0,16	0,14	0,09	0,18	0,17	0,44	0,27	0,26	0,25	0,10	0,21	0,20
ппп	0,45	1,45	0,52	0,78	0,53	0,74	0,69	0,83	0,70	0,32	0,66	0,51	0,42	0,47	0,51
Cr	230	168	226	78	159	28	39	94	21	40	11	64	16	41	136
Ni	115	84	74	35	174	21	71	101	19	61	12	85	13	51	98
Co	57	28	46	11	55	7	29	35	19	50	14	27	8	26	21
Sc	37	40	43	8	32	6	22	30	8	39	23	32	3	21	19
V	313	243	284	55	228	35	167	179	112	303	46	218	32	155	131
Cu	97	16	14	3	56	4	6	82	17	13	123	5	23	8	4
Pb	3	0	1	7	1	9	3	3	12	2	12	5	30	4	6
Zn	138	63	86	46	88	68	79	76	106	143	166	81	29	98	54
Bi	0,05	-	0,33	0,01	0,11	0,13	0,05	0,08	0,20	0,25	0,65	0,14	0,23	0,10	0,10
W	0,46	-	0,52	0,13	0,54	0,33	0,19	0,46	0,59	0,95	0,89	0,96	0,52	0,37	0,20
Mo	0,57	-	0,29	0,58	0,37	0,97	0,12	0,36	0,49	0,85	2,29	0,70	0,63	0,24	0,25
Rb	2	3	1	32	1	38	47	36	74	14	144	66	36	29	27
Cs	0,14	-	0,09	-	0,12	1,97	3,06	1,25	4,08	0,18	12,38	5,79	2,18	0,87	1,08
Ba	79	65	38	330	136	364	605	145	1207	165	644	258	239	200	807
Sr	85	97	311	164	546	194	158	260	887	256	202	180	361	178	141
Tl	0,07	-	0,04	0,18	0,05	0,22	0,19	0,15	0,55	0,08	0,86	0,42	0,29	0,14	0,25
Ga	18	-	16	14	17	21	21	17	26	23	24	22	19	19	18
Li	39,89	-	15,23	12,98	11,86	36,96	38,34	15,93	62,79	25,06	40,43	101,53	14,55	34,59	35,70
Ta	0,16	-	0,26	0,34	0,26	0,82	0,39	0,34	0,45	0,33	0,96	0,59	0,52	0,39	0,37
Nb	2,4	4,0	4,4	4,3	4,3	10,1	5,1	4,8	6,6	5,6	15,9	8,5	5,5	4,8	4,7
Hf	0,93	-	1,11	3,37	1,63	3,46	3,52	2,67	6,96	1,81	0,59	3,61	6,24	2,20	3,76
Zr	20	66	31	142	61	110	143	104	328	55	20	143	235	84	150
Y	25	28	23	10	22	28	21	24	16	41	71	33	8	22	16
Th	0,20	-	0,21	3,27	0,27	5,26	1,80	1,51	4,53	1,15	3,58	1,55	31,45	1,92	4,88
U	0,15	-	0,14	0,45	0,08	1,14	0,39	0,29	1,90	0,29	1,13	0,43	5,78	0,37	1,18
La	2,76	-	4,98	20,52	4,53	32,09	11,56	11,06	33,68	12,06	28,51	11,73	68,62	14,95	23,98
Ce	8,29	-	13,94	41,95	13,24	68,49	25,24	24,04	73,19	30,74	70,65	29,40	127,38	32,39	49,56
Pr	1,35	-	2,04	4,76	2,01	8,25	3,11	2,98	8,56	4,34	9,29	3,71	13,18	3,84	5,84
Nd	7,42	-	9,99	17,75	9,84	31,78	12,56	12,72	31,86	19,93	40,91	15,57	42,80	14,95	22,73
Sm	2,62	-	2,82	2,78	2,63	6,43	2,77	2,98	5,15	5,19	10,04	4,18	5,67	3,46	4,27
Eu	0,92	-	0,99	0,77	0,94	1,29	0,91	0,85	1,46	1,58	2,44	1,33	1,16	1,12	1,03
Gd	3,58	-	3,50	1,95	3,11	5,63	2,95	3,19	3,58	5,73	10,97	4,71	2,89	3,74	3,35
Tb	0,66	-	0,62	0,27	0,55	0,85	0,49	0,54	0,50	0,99	1,81	0,82	0,33	0,58	0,47
Dy	4,36	-	4,12	1,58	3,65	4,64	3,12	3,54	2,74	6,45	11,20	5,29	1,53	3,47	2,69
Ho	0,96	-	0,94	0,32	0,80	0,82	0,66	0,77	0,53	1,38	2,34	1,10	0,27	0,73	0,53
Er	2,70	-	2,70	0,91	2,36	2,05	1,95	2,20	1,44	3,91	6,63	3,15	0,74	2,05	1,48
Tm	0,41	-	0,42	0,14	0,35	0,29	0,30	0,33	0,21	0,60	1,00	0,48	0,11	0,31	0,22
Yb	2,61	-	2,71	0,91	2,33	1,74	2,00	2,20	1,30	3,84	6,36	3,03	0,72	2,00	1,46
Lu	0,38	-	0,40	0,14	0,35	0,25	0,30	0,33	0,20	0,58	0,94	0,45	0,12	0,30	0,23
Be	0,39	-	0,59	0,80	0,69	1,28	0,87	0,41	1,56	0,91	2,23	1,01	1,52	1,08	1,18

Продолжение табл. 2

Компо- ненты	В-29- 1/02	В-29- 3/02	В- 31/02	В-34- 1/02	В-40- 1/02	В-40- 2/02	В- 42/02	В-41- 3/02	В-5- 1b/03	В-16- 2/02	В-29- 4/02	В- 36/02	В-11- 3/02	В- 44/02
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
SiO ₂	61,92	58,78	58,96	63,05	56,45	54,24	74,56	68,02	73,35	49,99	50,31	50,74	46,42	52,83
TiO ₂	0,55	0,68	0,68	1,05	0,80	1,17	0,31	0,42	0,28	1,75	1,13	0,96	0,81	1,06
Al ₂ O ₃	16,50	17,09	16,72	15,90	15,82	17,01	12,60	15,84	14,52	14,30	13,96	14,62	16,05	12,18
Fe ₂ O ₃	5,99	6,86	7,51	5,71	8,75	11,57	3,93	3,97	2,77	14,65	13,49	12,53	13,87	12,61
MnO	0,16	0,16	0,15	0,16	0,17	0,18	0,15	0,06	0,04	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19
MgO	3,37	4,03	3,88	3,12	4,94	3,46	0,75	2,30	0,71	3,67	6,87	5,86	8,82	6,30
CaO	5,28	7,05	6,57	4,23	6,90	9,23	2,01	3,04	3,18	12,28	10,81	13,06	11,59	12,40
Na ₂ O	3,76	4,34	3,15	3,54	3,29	1,78	3,88	4,49	4,21	1,51	2,28	1,14	1,31	0,75
K ₂ O	1,56	0,37	1,63	2,31	1,50	0,76	1,09	1,70	0,85	0,40	0,26	0,24	0,27	0,30
P ₂ O ₅	0,22	0,26	0,27	0,29	0,31	0,17	0,08	0,16	0,09	0,25	0,17	0,15	0,14	0,09

Окончание табл. 2

Компо- ненты	В-29- 1/02	В-29- 3/02	В- 31/02	В-34- 1/02	В-40- 1/02	В-40- 2/02	В- 42/02	В-41- 3/02	В-5- 1b/03	В-16- 2/02	В-29- 4/02	В- 36/02	В-11- 3/02	В- 44/02
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
ппп	0,67	0,35	0,46	0,61	1,05	0,41	0,62	0,00	0,00	0,99	0,52	0,51	0,52	1,29
Cr	72	74	44	14	50	41	18	78	33	38	226	283	393	180
Ni	51	56	42	13	52	64	12	35	21	53	74	179	123	104
Co	19	24	21	15	29	31	4	11	4	46	46	53	51	39
Sc	15	18	16	14	21	28	9	8	3	34	43	44	55	40
V	101	153	129	117	181	196	21	55	15	280	284	287	187	283
Cu	4	15	7	8	39	28	7	3	2	18	14	59	53	5
Pb	6	6	8	9	12	4	5	7	7	3	1	1		1
Zn	67	84	48	85	82	84	45	46	38	132	86	96	124	77
Bi	0,04	0,03	0,08	0,13	0,10	0,08	0,07	0,01	0,03	0,11	0,33	0,05	0,00	0,12
W	0,12	0,36	0,53	0,20	0,48	0,62	0,31	0,13	0,24	2,51	0,52	0,52	0,00	0,75
Mo	0,13	0,36	0,90	0,88	0,62	0,46	0,58	0,58	0,91	1,30	0,29	0,21	0,00	0,19
Rb	38	6	45	43	41	11	26	32	20	6	1	6	2	4
Cs	1,35	2,11	3,37	1,35	2,03	0,71	3,70	0,80	0,52	0,06	0,09	0,57		0,24
Ba	756	146	418	760	861	190	366	330	294	211	38	66	75	54
Sr	348	546	598	284	397	333	162	164	165	143	311	83	89	234
Tl	0,23	0,05	0,35	0,35	0,27	0,08	0,18	0,18	0,10	0,07	0,04	0,05		0,05
Ga	18	22	18	19	20	20	19	14	16	21	16	17		16
Li	22,11	10,52	38,50	21,18	18,59	16,78	18,72	12,98	28,83	18,34	15,23	21,24		15,97
Ta	0,30	0,30	0,25	0,54	0,29	0,41	1,12	0,34	0,82	0,39	0,26	0,13		0,19
Nb	4,1	4,3	3,4	8,1	4,2	5,9	15,1	4,3	7,0	6,0	4,4	1,7	4,0	2,4
Hf	1,51	3,71	1,81	1,94	2,69	1,19	10,47	3,37	4,64	1,60	1,11	0,89		0,98
Zr	60	148	70	77	110	39	386	142	187	47	31	25	34	27
Y	13	16	15	38	18	29	67	10	7	38	23	23	26	26
Th	4,85	3,95	3,22	6,03	7,51	1,58	4,92	3,27	2,81	1,06	0,21	0,19		0,28
U	0,52	0,71	0,58	1,90	1,12	0,33	1,14	0,45	0,85	0,26	0,14	0,05		0,07
La	27,57	27,47	24,37	47,03	43,96	12,89	33,04	20,52	15,04	11,51	4,98	2,10		2,52
Ce	56,68	61,74	54,43	105,23	92,78	30,35	72,56	41,95	29,85	29,08	13,94	6,06		6,89
Pr	6,65	7,57	6,70	13,85	11,65	3,94	9,20	4,76	3,23	4,08	2,04	0,98		1,10
Nd	26,11	30,36	26,97	58,34	47,03	17,56	37,80	17,75	12,00	18,24	9,99	5,44		5,99
Sm	4,20	5,47	4,61	11,82	7,89	4,12	8,84	2,78	2,27	4,70	2,82	1,95		2,08
Eu	1,20	1,55	1,22	2,64	1,88	1,34	1,59	0,77	0,67	1,36	0,99	0,79		0,95
Gd	2,96	4,04	3,42	9,68	5,24	4,42	9,34	1,95	2,00	5,25	3,50	2,85		3,06
Tb	0,39	0,52	0,45	1,30	0,65	0,71	1,61	0,27	0,28	0,88	0,62	0,53		0,57
Dy	2,08	2,84	2,48	7,12	3,24	4,51	10,40	1,58	1,41	5,72	4,12	3,63		3,96
Ho	0,41	0,55	0,49	1,39	0,59	0,97	2,25	0,32	0,25	1,27	0,94	0,78		0,89
Er	1,12	1,49	1,32	3,63	1,54	2,74	6,60	0,91	0,58	3,63	2,70	2,28		2,66
Tm	0,16	0,21	0,20	0,54	0,22	0,42	1,01	0,14	0,08	0,56	0,42	0,35		0,41
Yb	1,04	1,39	1,25	3,28	1,38	2,71	6,47	0,91	0,48	3,56	2,71	2,23		2,68
Lu	0,16	0,21	0,19	0,49	0,22	0,41	1,00	0,14	0,08	0,54	0,40	0,34		0,41
Be	1,02	1,20	0,85	1,71	1,16	0,95	1,83	0,80	0,95	0,87	0,59	0,32		0,67

Примечание. Образцы из коллекции М. М. Богоиной. Анализы малых элементов выполнены методом ICP-MS. 1–3 – амфиболиты (метабазаля) верхнекумозерской СТА; 4–21 – метавулканыты хаттомозерской СТА; 4, 6–9, 11–20, 22–24 – гнейсо-сланцы и 5, 10, 21 – амфиболиты; 25–29 – амфиболиты майзерской СТА.

Среди средних – кислых вулканитов выделяется две ассоциации. Первая (базальт-андезитовая) варьирует по составу от толеитовых базальтов до субщелочных андезибазальтов и андезитов с переходными характеристиками от толеитовой до известково-щелочной серии (рис. 5). РЗЭ спектры меняются от слабо до сильно фракционированных ($La_N/Yb_N = 2,18–20,02$, $La_N/Sm_N = 1,4–3,5$, $Gd_N/Yb_N = 1,19–3,0$) без Eu аномалии (рис. 6). На спайдерграммах (рис. 6) наблюдаются слабые отрицательные аномалии Ti, Zr и Nb. Вторая (дацитовая) ассоциация представлена метатүфами дацитового состава известково-щелочной серии. Они имеют по сравнению с породами базальт-андезитовой ассоциации более высокие содержания РЗЭ, а также более обогащены ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ ($La_N/Yb_N = 4–15$, $La_N/Sm_N = 2,5–4,13$, $Gd_N/Yb_N = 2,29–3,06$) при слабом фракционировании ТРЗЭ. В некоторых породах

наблюдается незначительная отрицательная Eu аномалия. Их спайдерграммы характеризуются более отчетливыми отрицательными аномалиями Nb и Ti, чем породы первой ассоциации. Спектры распределения РЗЭ в мегадацитах данной ассоциации пересекают спектры в базальтах и андезибазальтах первой ассоциации в средней части. Это указывает на то, что данные ассоциации не могли сформироваться в результате единого процесса фракционирования, а представляют две независимые серии, сформированные, скорее всего, на разных глубинах. Особенности состава средних – кислых метавулканитов Керетского зеленокаменного пояса свидетельствуют об их формировании в условиях постепенного увеличения вклада субдукционной компоненты и фракционирования расплавов в равновесии с плагиоклаз-роговообманковой ассоциацией (Богоина и др., 2005а, б).

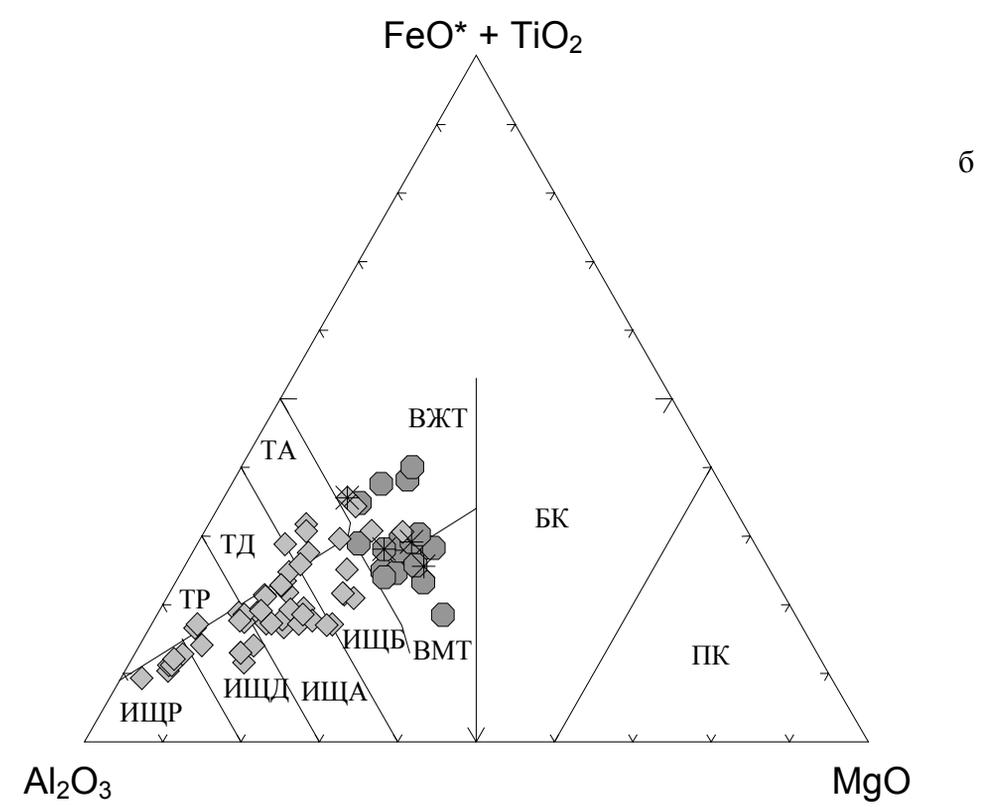
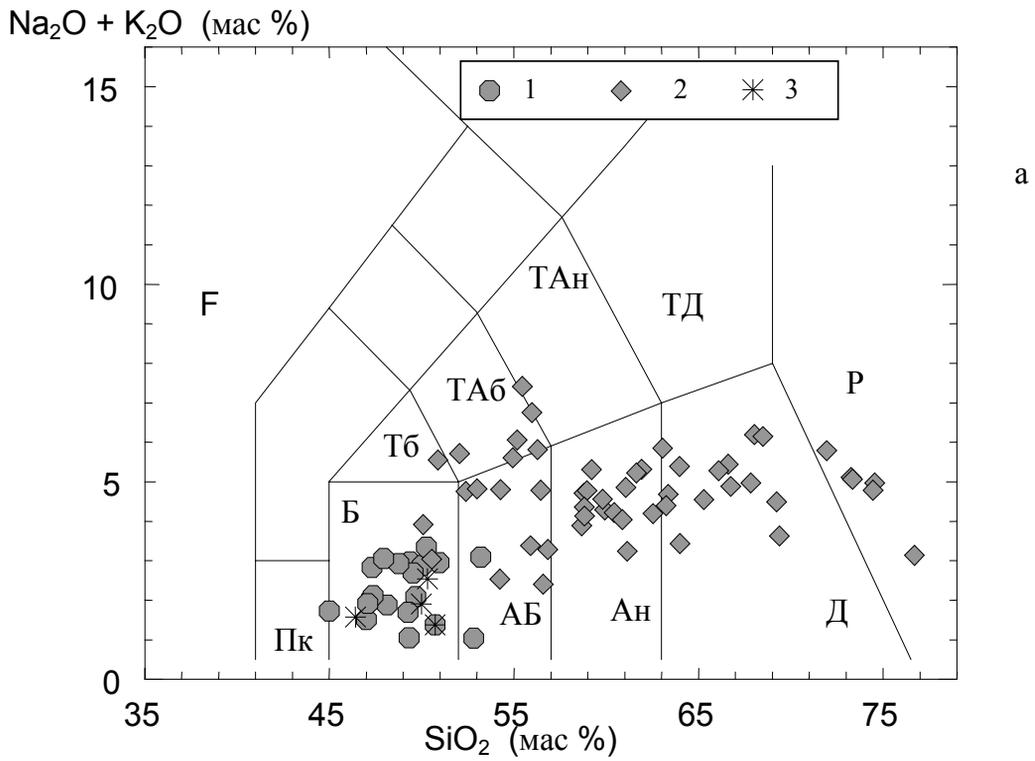


Рис. 5. Положение фигуративных точек состава метавулканитов Вокшозерской структуры Керетского зеленокаменного пояса на диаграммах: $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (а); АФМ (б)

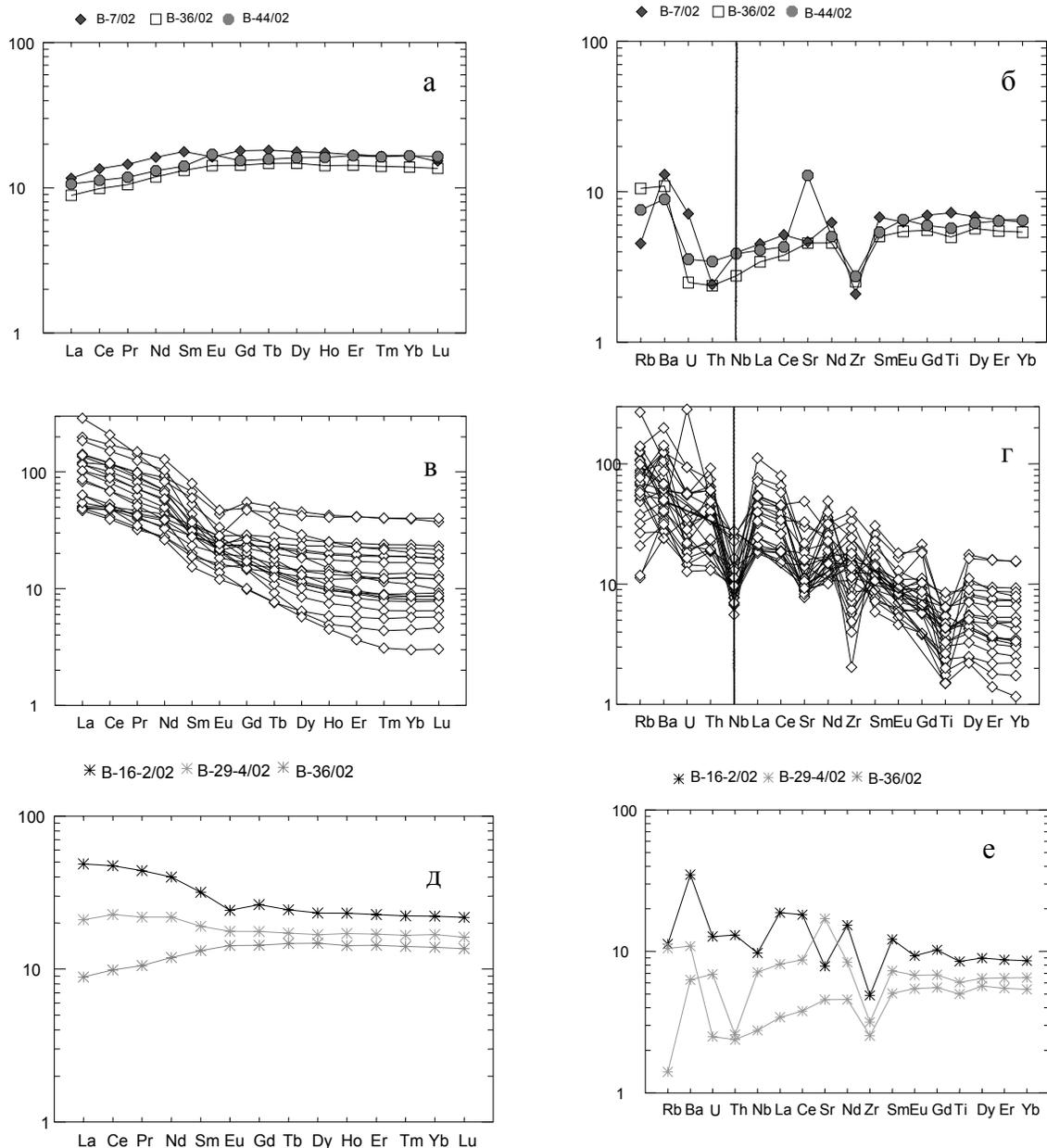
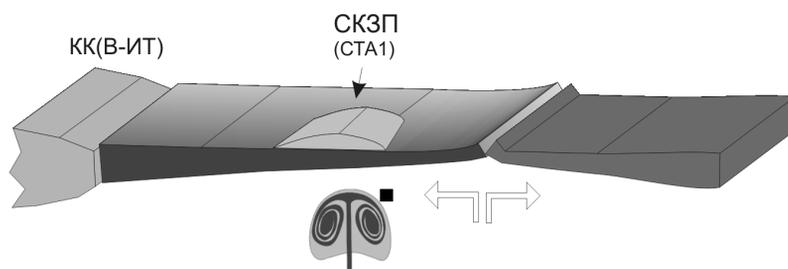


Рис. 6. Нормированные содержания РЗЭ (а, в, д) и малых элементов (б, г, е) в метавулканитах верхнекумозерской (а, б), хатгомозерской (в, г) и майозерской (д, е) СТА Вокшозерской структуры Керетского зеленокаменного пояса

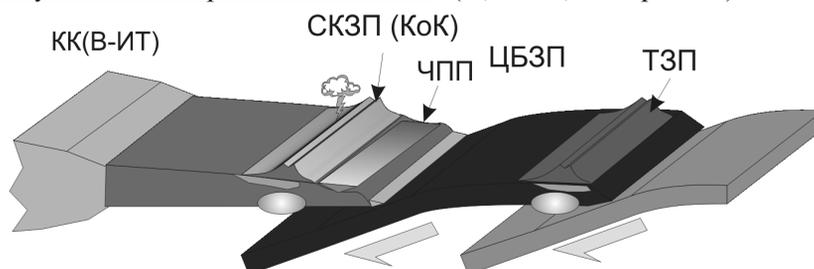
Геодинамические следствия. Таким образом, среди мезоархейских ассоциаций керетьозерского комплекса выделяются две принципиально отличающихся: базальт-коматитовая, образовавшаяся под воздействием мантийного плюма в обстановке океанического плато, и дифференцированная базальт-андезит-дацитовая – островодужная. Причем вторая имеет сложное строение, указывающее на постепенный рост континентальной коры и формирование разноуровневых очагов магматизма. Таким образом, на ранних стадиях (в мезоархее) эволюции литосферы БПП (рис. 7) наряду с океанической корой, образующейся в зонах спрединга (Слабунов, 2005), под воздействием мантийных плюмов формировалась кора типа океанических плато. Форми-

рование континентальной коры началась в БПП, как и ряде доменов Карельского неархейского кратона (Слабунов и др., 2006б; Slabunov et al., 2006), в мезоархее в островодужных обстановках зон субдукции, комплексы этой стадии развития сохранились в зеленокаменных поясах Керетском и Туллипо (Слабунов, 2005). Кроме этого эпизода, в ходе которого образовались первые фрагменты ранней континентальной коры Беломорской провинции, отмечается еще 2–3 субдукционно-аккреционных эпизода продолжительностью 20–40 млн лет, когда увеличивался объем континентальной коры. В неархее Беломорский ороген вступает в коллизионную стадию развития (рис. 7), как и фанерозойские системы этого класса.

Океаническая стадия (около 2,88 млрд лет)



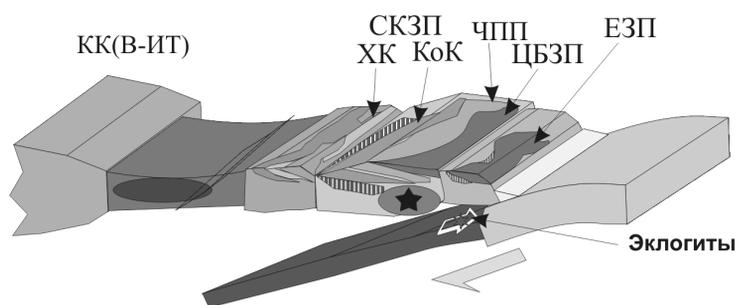
Ранняя субдукционно-аккреционная стадия (2,88 – 2,83 млрд. лет)



Поздние субдукционно-аккреционные стадии (2,8 – 2,75 млрд. лет)



Предколлизийная стадия (2,73 – 2,72 млрд. лет)



Коллизийная стадия (2,717 – 2,58 млрд. лет)

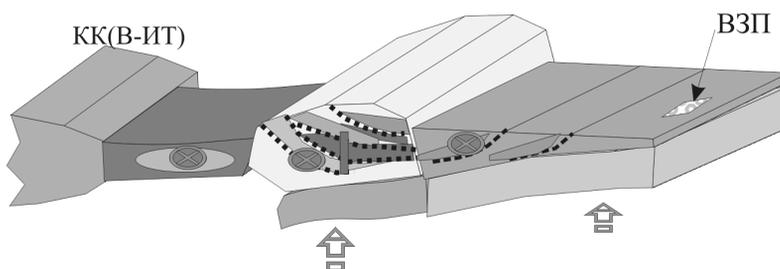


Рис. 7. Геодинамическая модель развития литосферы Беломорской провинции в архее (Слабунов, 2005, с дополнениями)

Основные выводы. 1. Вокшозерская структура Керетского ЗП сложена мезоархейскими метавулканитами, сопоставимыми с породами керетьозерского комплекса. Изотопный возраст магматической стадии формирования метариодацита хаттомозерской СТА оценивается в 2829 ± 37 млн лет.

2. Петрогеохимические особенности метабазитов верхнекумозерской СТА позволяют сопоста-

влять их с породами океанических плато. Средние – кислые метавулканиты хаттомозерской СТА аналогичны вулканитам, формирующимся в субдукционной обстановке.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 06-05-64876а).

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Н. Л., Балаганский В. В., Зингер Т. Ф. и др. Позднеархейская история зоны сочленения Беломорского подвижного пояса и Карельского кратона, Балтийский щит: новые изотопные данные // ДАН. 2004. Т. 397, № 3. С. 369–373.

Бибикова Е. В., Слабунов А. И., Богданова С. В. и др. Ранний магматизм Беломорского подвижного пояса, Балтийский щит: латеральная зональность и изотопный возраст // Петрология. 1999а. Т. 7, № 2. С. 115–140.

Бибикова Е. В., Слабунов А. И., Богданова С. В., Шельд Т. Тектоно-термальная эволюция земной коры Карельской и Беломорской провинций Балтийского щита в раннем докембрии по данным уран-свинцового изотопного исследования сфенов // Геохимия. 1999б. № 8. С. 842–857.

Бибикова Е. В., Самсонов А. В., Щипанский А. А. и др. Хизоваарская структура Северо-Карельского зеленокаменного пояса как аккрецированная островная дуга позднего архея: изотопно-геохронологические и петрологические данные // Петрология. 2003. Т. 11, № 3. С. 289–320.

Богина М. М., Злобин В. Л., Слабунов А. И., Каулина Т. В. Геодинамические условия формирования позднеархейской Вокшозерской гранит-зеленокаменной структуры, Северная Карелия // Беломорский подвижный пояс и его аналогии: геология, геохронология, геодинамика, минералогия. Материалы науч. конф. и путеводитель экскурсии. Петрозаводск, 2005а. С. 116–118.

Богина М. М., Злобин В. Л., Слабунов А. И., Каулина Т. В. Геохимические особенности и U-Pb возраст позднеархейской Вокшозерской зеленокаменной структуры // Петрография XXI века. Материалы междунар. (X Всерос.) петрограф. совещ. Т. 3. Апатиты, 2005б. С. 49–51.

Кожневиков В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, 2000. 223 с.

Кожневиков В. Н., Бережная Н. Г., Пресняков С. Л. и др. Геохронология циркона (SHRIMP-II) из архейских стратотектонических ассоциаций в зеленокаменных поясах Карельского кратона: роль в стратиграфических и геодинамических реконструкциях // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14, № 3. С. 19–41.

Слабунов А. И. Верхнеархейская Керетская гранит-зеленокаменная система Карелии // Геотектоника. 1993. № 5. С. 61–74.

Слабунов А. И. Вокшозерская структура Керетского зеленокаменного пояса (строение и петрогеохимические особенности супракрустальных пород) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 4. Петрозаводск, 2001. С. 27–35.

Слабунов А. И. Геология и геодинамика Беломорского подвижного пояса Фенноскандинавского щита в архее: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. М., 2005. 46 с.

Слабунов А. И. Мезоархейские метаграувакки майозерской стратотектонической ассоциации Керетского зеленокаменного пояса: петрогеохимия и условия формирования // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск, 2006. С. 14–22.

Слабунов А. И., Богина М. М., Злобин В. Л., Матуков Д. И. U-Pb цирконометрия (данные ионного зонда SHRIMP-II) мезоархейских вулканитов Керетского зеленокаменного пояса и геодинамика ранних стадий развития Беломорского подвижного пояса // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма: Материалы конф. М., 2006а. С. 276–281.

Слабунов А. И., Лобач-Жученко С. Б., Бибикова Е. В. и др. Архей Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006б. № 6. С. 1–29.

Black L. P., Kamo S. L. TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology // Chemical Geology. 2003. 200. P. 155–170.

Ludwig K. R. User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 1a, 2455 Ridge Road, Berkeley CA 94709, USA. 1999.

Ludwig K. R. SQUID 1.00, A User's Manual; Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 2, 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA. 2000.

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V. et al. The Archean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield // European Lithosphere Dynamics. 2006. Eds.: Gee D. G. & Stephenson R. A. Geological Society, London. Memoirs 32. P. 627–644.

Wetherill G. W. Discordant uranium-lead ages // Trans. Amer. Geophys. Union. 1956. 37. P. 320–326.

Williams I. S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // McKibben M. A., Shanks III, W. C., Ridley W. I. (eds.). Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes / Reviews in Economic Geology. 1998. Vol. 7. P. 1–35.