
А. И. Слабунов

МЕЗОАРХЕЙСКИЕ МЕТАГРАУВАККИ МАЙОЗЕРСКОЙ СТРАТОТЕКТОНИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ КЕРЕТСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА: ПЕТРОГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ

Введение

Для решения вопроса о геодинамической обстановке формирования породных ассоциаций, в том числе вулканогенных, важное значение имеет состав входящих в них метаосадков (Кожевников, 2000; Кожевников и др., 2006; Eriksson et al., 1998 и др.). Северо-Карельская система зеленокаменных поясов (СКСЗП) является самой крупной структурой этого типа в Беломорском подвижном поясе (рис. 1, А), и расшифровка ранней истории ее формирования сложна без определения условий формирования майозерской стратотектонической ассоциации (СТА) Керетского зеленокаменного пояса. Последний, наряду с Тикшозерским, входит в состав СКСЗП (Слабунов, 1994, 2005а). Он прослеживается с СЗ на ЮВ на более чем 120 км при ширине до 60 км (рис. 1, Б) и сложен двумя разновозрастными зеленокаменными комплексами: керетьозерским и хизоваарским (Слабунов, 2001; Ранний докембрий..., 2005). Майозерская СТА составляет значительную часть первого из них.

Краткий геологический обзор

Керетьозерский зеленокаменный комплекс, слагающий большую часть одноименного пояса (рис. 2), представлен метавулканитами, состав которых варьирует от ультраосновных до кислых (с преобладанием средне-кислых вулканитов известково-щелочной серии), и метаосадками. В его составе выделяется три СТА: верхнекумозерская, хаттомозерская, майозерская (Слабунов, 1990).

Верхнекумозерская СТА (или свита) сложена амфиболитами, среди которых картируются тела актинолитовых сланцев (метаультрабазитов). Петрохимические и в единичных случаях текстурные особенности (в районе оз. Кереть в них описаны амфиболиты с реликтами шаровой текстуры) позволяют интерпретировать амфиболиты как метабазалты, а метаультрабазиты – как метакоматииты (Слабунов, 1993;

Степанов, Слабунов, 1989). В центральной части структуры (в районе Шобозерского гранитогнейсового купола, рис. 2) в основании этой толщи отмечена маломощная (несколько метров) пачка мигматизированных средне-крупнозернистых (кианит)-гранат-биотитовых гнейсов, о первичной природе которых сложно судить из-за значительных преобразований. В западной части пояса мощность свиты варьирует от 150 до 500 м, а в восточной она не установлена (рис. 2).

Выше по стратотектоническому разрезу залегает хаттомозерская СТА. Она сложена (эпидот)-амфибол-биотитовыми, биотитовыми сланцами. В них достаточно часто наблюдаются реликты агломератовой текстуры, тонкой полосчатости, что, наряду с их петрохимическими особенностями, дает возможность уверенно идентифицировать эти породы как метатифы среднекислого состава. Выделяются также неокковые фации вулканитов, содержащих ксенолиты амфиболитов и сланцев, сопоставимых с вмещающими породами. Мощность этой СТА около 700 м, но в крайней восточной части пояса она не установлена (рис. 2).

U-Pb возраст цирконов из метатифов андезитового состава – 2877 ± 45 млн лет, а метадацита неокковой фации – 2829 ± 30 (Бибикова и др., 1999), что и позволяет оценить время ее формирования – 2,88–2,83 млрд лет.

Майозерская СТА, представленная амфиболитами с прослоями парагнейсов, с картируемым структурным несогласием контактирует с нижележащими образованиями (рис. 2) и завершает стратотектонический разрез керетьозерского комплекса в пределах зеленокаменного пояса. В амфиболитах наблюдаются редкие и плохой сохранности реликты шаровых текстур. В межшаровом пространстве лав содержится, вероятно, осадочное вещество, поэтому при расщеплении породы имеют весьма своеобразную контрастную линзовидно-полосчатую текстуру: чередование темных прослоев – амфиболитов и кремневых – (диопсид)-эпидот-гранатовых пород.

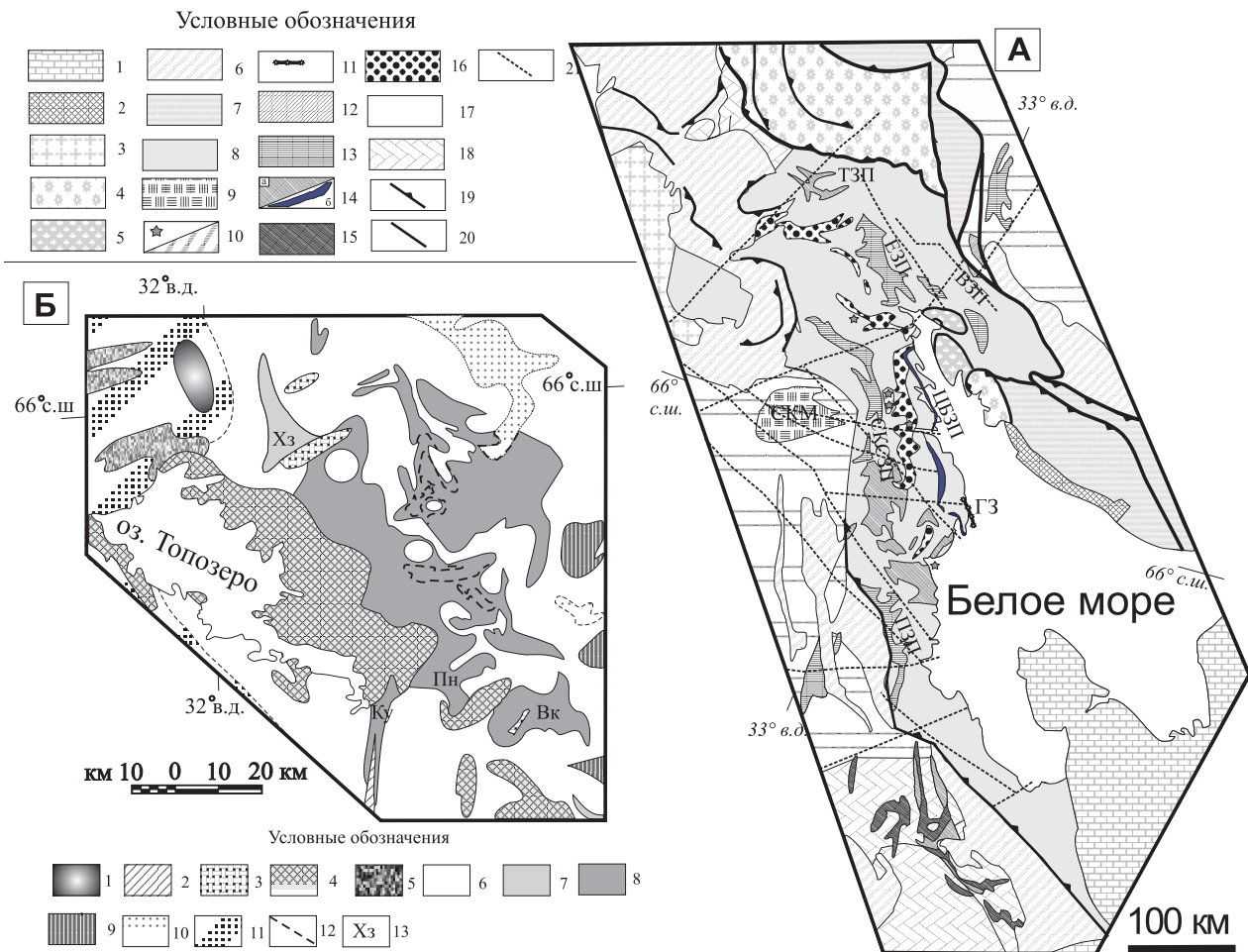


Рис. 1А. Схема распространения архейских структурно-вещественных комплексов Беломорского подвижного пояса и сопряженных структур (Слабунов, 2005а):

1 – фанерозойские осадочные образования; 2 – неопротерозойские осадочные образования; 3 – гранитоиды (1,85–1,75 млрд лет); 4 – гранулиты Лапландского пояса (2,0–1,91 млрд лет), 5 – глубокометаморфизованные породы Колвицкого комплекса; 6 – палеопротерозойские (2,5–2,06 млрд лет) вулканогенные и осадочные комплексы; 7 – палеопротерозойские и архейские комплексы в виде ансамблей тектонических пластин; 8–18 – архейские образования: 8 – гранитоиды (2,83–2,58 млрд лет); 9 – санукитоиды (2,74–2,72 млрд лет) Северо-Карельского массива (СКМ); 10 – высокометаморфизованные (гранулитовые) комплексы (2,73–2,72 млрд лет), звездочкой показаны места, где установлены реликты этих гранулитов; 11 – эклогитсодержащий микстит Гридинской зоны (ГЗ); 12–15 – нео- и мезоархейские зеленокаменные комплексы (буквами обозначены главные зеленокаменные пояса и их системы: ЕЗП – Ениский, СКСЗП – Северо-Карельская, ТЗП – Тулпино, ПЗП – Пелобозерский, ВЗП – Воче-Ламбинский, ЦБЗП – Центрально-Беломорский) с возрастом: 12 – 2,75–2,68 млрд лет; 13 – 2,8–2,75 млрд лет; 14 – 2,9–2,85 млрд лет (а – СКСЗП, ТЗП и др.; б – ЦБЗП); 15 – 3,1–2,9 млрд лет; 16 – Чупинский парагнейсовый комплекс (2,9–2,82 млрд лет); 17–18 – гранитоиды Карельского неоархейского кратона с возрастом: 17 – 2,9–2,7 млрд лет (Центрально-Карельский домен); 18 – 3,2–2,7 млрд лет (домены Волдозерский и Помокаира); 19–21 – разрывные нарушения: 19 – палеопротерозойские надвиги; 20 – разломы; 21 – предполагаемые разломы, дешифрируемые на космических снимках

Рис. Б. Схема распространения структурно-вещественных комплексов и положение главных структур Керетского зеленокаменного пояса:

1 – Ельтозерский ультрамафит-габбро-щелочной комплекс (1,745–1,827 млрд лет); 2 – раннекарельские кислые метавулканыты (2,45 млрд лет); 3 – микроклиновые граниты (около 2,4 млрд лет); 4 – интрузивные чарнокиты топозерского типа (~2,45 млрд лет); 5 – комплекс диоритов – плагиогранитов батолита Северной Карелии (2,72 млрд лет); 6 – разгнейсованные гранитоиды ТТГ ассоциации БПП (2,9–2,7 млрд лет); 7–8 – мезо- и неоархейские зеленокаменные комплексы: 7 – керетьозерский (2,88–2,82 млрд лет), 8 – хизоваарский (2,8–2,78 млрд лет); 9 – амфиболиты (метабазалты) с прослоями парагнейсов; 10 – парагнейсы с редкими прослоями амфиболитов (Чупинский парагнейсовый пояс); 11 – гранитоиды ТТГ ассоциации Карельского неоархейского кратона (3,5–2,85 млрд лет); 12 – предполагаемые надвиги; 13 – буквами обозначены отдельные структуры пояса: Вк – Вокшозерская, Ку – Кургиевская, Пн – Поньгомозерская, Хз – Хизоваарская

Прослой (кианит)-гранат-биотитовых гнейсов, мощность которого меняется от нескольких метров на крыльях структуры до 200 м в их ядрах, является характернейшим, хорошо картируемым элементом СТА (Слабунов, 1993, 2005б). В северо-восточной части пояса в составе

СТА выделяется две толщи (рис. 2): нижняя, представленная амфиболитами с прослоями (кианит, мусковит)-гранат-биотитовых гнейсов, и верхняя, в которой преобладают глиноземистые гнейсы с редкими прослоями Мг-содержащих гранатитов (Слабунов, 2005б).

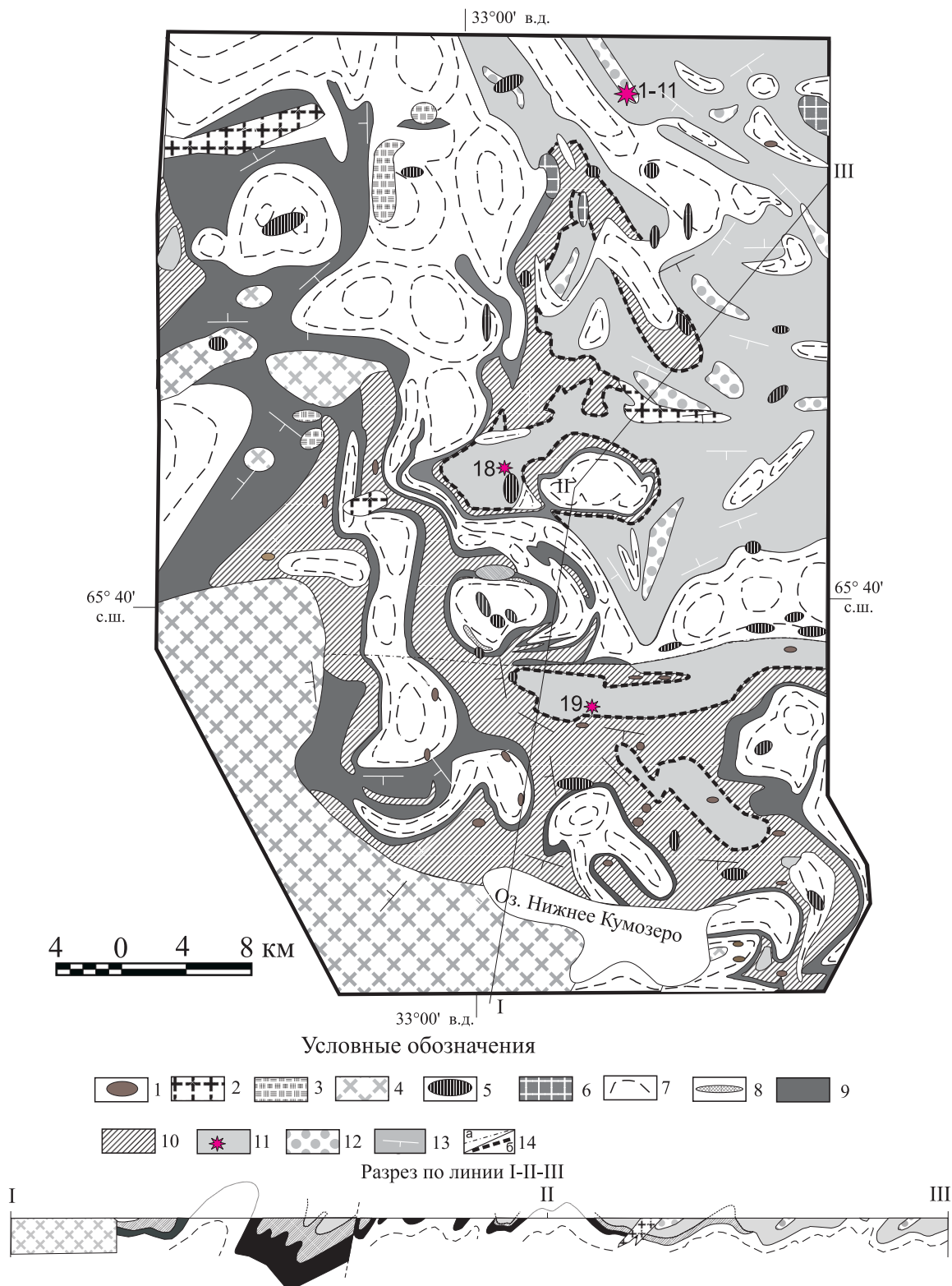


Рис. 2. Схема геологического строения северной части Керетского зеленокаменного пояса (составил А. И. Слабунов с использованием личных наблюдений, материалов В. С. Степанова, О. И. Володичева, Е. П. Чуйкиной, Ю. Й. Сыстры):

1 – коронитовые габбро (2,11 млрд лет); 2 – микроклиновый гранит (около 2,3 млрд лет); 3 – эндербиты; 4 – интрузивные чарнокиты (около 2,45 млрд лет) и ксенолиты (показаны звездочкой) вулканитов с гранулитовыми ассоциациями (2,44–2,41 млрд лет); 5 – габбронориты (2,44–2,41 млрд лет); 6 – анортозиты и метаанортозиты; 7 – гранитоиды ТТГ ассоциации (2,83–2,72 млрд лет); 8–12 – Керетьозерский зеленокаменный комплекс (2,88–2,82 млрд лет): 8 – гранат-биотитовые гнейсы; 9 – верхнекумозерская СТА (матабазальты и метакоматииты); 10 – хатто-мозерская СТА (2,88–2,83 млрд лет; средне-кислые метавулканиды); 11–12 – майозерская СТА: 11 – метаандезитобазальты, базальты, прослой парагнейсов; 12 – парагнейсы с редкими прослойками Fe-гранатов; 13 – ориентировка плоскостных элементов залегания; 14 – предполагаемые неоархейские разрывные нарушения: а – разломы, б – граница покрова

Реликты первичных осадочных структур в гнейсах не сохранились. Не установлены и признаки грубообломочных осадков, структура которых могла бы быть различима даже в сильнодеформированных комплексах. Текстуры сохраняются лучше. В этих породах обычны полосчатые текстуры, которые, вероятно, являются реликтовыми первичноосадочными. Особенности химического состава этих гнейсов, о чем будет сказано ниже, позволяют интерпретировать эти породы как метаграувакки.

Среди амфиболитов, а в ряде случаев среди парагнейсов встречены тела метасульфидов (Слабунов, 1993, 2005б), которые, вероятно, являются интрузивными аналогами коматиитов.

Метавулканиды рассматриваемой СТА по петрохимическим характеристикам относятся, главным образом, к толеитам натриевого и калиево-натриевого ряда, вместе с тем в этой ассоциации, особенно в южной части пояса (Поньгомозерская структура, рис. 1, Б), значима роль пород с содержанием $53\% < \text{SiO}_2 < 55\%$, т. е. андезибазальтов (Слабунов, 1993, 2001). Андезибазальт-базальтовая ассоциация образует основную часть майозерской СТА, метаграувакки являются ее составной частью. Наличие последних в составе майозерской ассоциации является важным отличием ее от верхнекумозерской, в составе которой также преобладают толеитовые базальты. Мощность майозерской СТА около 500 м.

Следует также отметить, что зеленокаменный комплекс Керетского пояса сечется гранито-гнейсами тоналит-гранодиоритовой (ТТГ) ассоциации, которые формируют гранито-гнейсовый купол, интрузивные массивы и жильные тела. Возраст образования пород ТТГ ассоциации оценивается в 2720 млн лет, вместе с тем среди них отмечаются фрагменты более древних гранитоидов – с возрастом 2803 млн лет (Бибикова и др., 1999). Обозначенные геологические соотношения гранитоидов и зеленокаменных образований, а также изотопно-геохронологические данные свидетельствуют о более молодом возрасте пород ТТГ ассоциации.

Петрогеохимия метасадков майозерской СТА и обсуждение результатов

В парагнейсах майозерской СТА не сохранились реликты первичноосадочных структур и плохо выражены осадочные текстуры, поэтому типовая генетическая классификация осадочных пород к ним не применима. В данном случае может быть использована одна из петрохимических классификаций (Предовский, 1970; Нелов, 1980; Юдович, Кетрис, 1986; Pettijohn et al., 1973), основанных на особенностях химического состава. На диаграмме F – A – K А. А. Предовского (1970) составы данных парагнейсов отвечают грауваккам, туффитам и смешанным продуктам глубокого выветривания основных и ультраосновных пород. По петрохимической классификации А. Н. Нелова (1980) они отвечают граувакковому алевролитам, туффитам основного состава. В соответствии с классификацией Я. Э. Юдовича и

М. П. Кетрис (1986) парагнейсы относятся к сиаллитам, к которым принадлежит большинство глинистых пород, граувакки и вулканогенно-осадочные породы. На классификационной диаграмме $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Pettijohn et al., 1973) фигуративные точки составов парагнейсов находятся в поле граувакк (рис. 3). Таким образом, по особенностям химического состава (см. табл.) парагнейсы майозерской СТА классифицируются как граувакка – осадочные породы псаммито-алевритовой размерности, состоящие из обломков различных пород (среди них кислых пород не более 25%) и алеврито-глинистого матрикса (Петтиджон, 1981; Фролов, 1993).

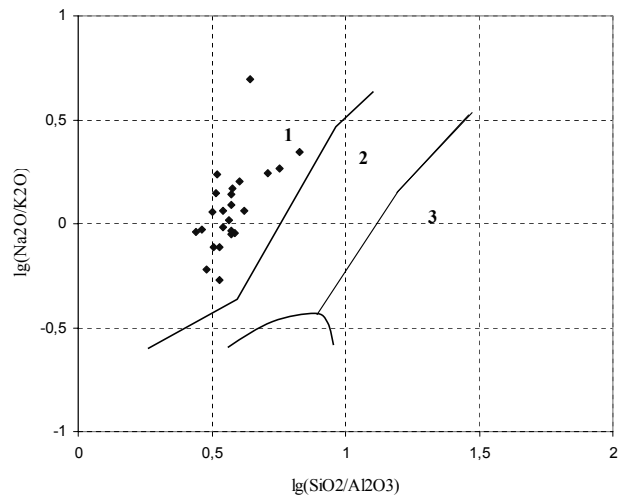


Рис. 3. Классификационная диаграмма $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Pettijohn et al., 1973) для метаосадков майозерской СТА Керетского зеленокаменного пояса

Поля на диаграмме: 1 – граувакки; 2 – лититовые вакки; 3 – аркозы

Химический состав граувакк, и майозерских в частности, во многом определяется составом разрушающихся пород. Причем, как следует из известного в химии правила рычага (например, Кокс и др., 1982), в барицентрической системе координат фигуративная точка состава, образовавшегося из смеси двух компонентов, будет располагаться на линии, соединяющей составы конечных членов этой смеси, а расстояние точки от крайних – пропорционально количеству компонента в смеси. Анализ имеющихся данных показывает, что фигуративные точки составов рассматриваемых парагнейсов на диаграммах $\text{SiO}_2 - \text{FeO}_{\text{сум}}$, MgO , V располагаются на линии, соединяющей средний состав кислых пород и метабазитов района (Слабунов, 1995). На диаграммах $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, CaO , Zr фигуративные точки составов парагнейсов образуют тренды, не совпадающие с обозначенной линией смешения. Это может объясняться тем, что при седиментогенезе происходит обогащение новообразованной Al_2O_3 , Zr и обеднение их CaO , вероятно, за счет различной степени устойчивости минеральных форм во время транспортировки. Обращает также на себя внимание высокое содержание в ме-

таосадках Cr и Ni, что может свидетельствовать о наличии в области сноса ультраосновных пород. Для оценки примерного модельного состава разрушающихся в области сноса пород используются диаграммы Cr/Ti – Zr/Y, Cr/Ti – Hf/Yb (Милькевич, Мыскова, 1998; Мыскова и др., 2000; Camire et al., 1993; La Fleche, Camire, 1996), на которые наносятся рассчитанные линии смешения составов. Крайними компонентами на линиях являются наиболее вероятные породы из области источника сноса.

Проведенные расчеты (рис. 4) показывают, что соотношение Cr/Ti – Zr/Y, наблюдаемое в майозерских метаграувакках (рис. 4), может быть результатом смешения материалов, отвечающих по составу базальтам (около 50% в составе смеси), кислым вулканитам (45%) и коматиитам (до 5%). Как видно на диаграмме Cr/Ti – Zr/Y, фигуративные точки состава граувакки располагаются, главным образом, вдоль линии смешения между кислыми метавулканитами и смесью, состоящей на 80–90% из базальта и на 10–20% из коматиита. Таким образом, именно

Химический состав мезоархейских метаосадков майозерской СТА Керетского зеленокаменного пояса
(окислы в мас.%, элементы в г/т)

Авт. номер	385-16К*	8А-1*	910-1*	910-2	910-4	910-6	910-8	910-10	910-14	910-11*	910-12
№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	67,66	69,86	58,86	60,75	58,40	57,78	56,92	63,00	61,16	63,90	59,45
TiO ₂	0,56	0,48	0,94	0,80	0,74	1,02	0,98	0,67	0,73	0,64	0,58
Al ₂ O ₃	13,20	15,90	15,67	16,25	17,86	19,12	17,67	16,30	16,32	17,02	17,55
Fe ₂ O ₃	0,78	0,77	2,95	7,83	3,11	3,63	3,83	2,85	2,72	2,55	3,67
FeO	5,89	1,87	5,60	4,38	4,66	4,74	4,38	4,09	4,74	3,74	4,24
MnO	0,082	0,02	0,09	0,05	0,08	0,06	0,12	0,07	0,09	0,05	0,05
MgO	4,00	1,12	4,72	0,96	4,64	3,93	5,34	4,03	3,91	2,72	3,39
CaO	2,57	3,40	3,36	1,61	3,36	1,68	1,82	1,96	2,52	2,17	2,35
Na ₂ O	2,70	4,86	2,76	2,69	3,22	2,00	2,33	2,30	3,03	2,77	2,47
K ₂ O	1,55	0,98	2,97	3,01	2,31	3,31	3,04	2,54	2,79	2,26	3,19
P ₂ O ₅	0,23	0,36	0,32	0,21	0,18	0,21	0,22	0,22	0,00	0,18	0,17
H ₂ O	0,05	0,18	0,47	0,23	0,18	0,33	0,49	0,30	0,31	0,32	0,16
ппп	0,92	0,42	1,31	1,30	1,19	1,70	2,78	1,64	1,35	1,43	2,38
Cr	370	73,1	449	470	380	480	480	3800	420	449	–
Ni	129	11,4	80,2	100	92	110	98	120	73	80,2	–
Co	27,1	6,07	21,5	21	32	25	29	27	21	2,5	–
Sc	16,4	6,87	16,1	–	–	–	–	–	–	18	–
V	126	69,1	151	150	190	240	220	170	160	215	–
Cu	68	29,8	35,5	75	89	86	88	50	52	25	–
Pb	–	–	–	20	16	25	10	21	–	–	16
Zn	104	44,6	106	–	–	–	–	–	–	132	–
Sn	0,48	0,49	1,89	–	–	–	–	–	–	2,18	–
W	2,09	3,02	0,625	–	–	–	–	–	–	0,277	–
Mo	2,23	1,01	3,10	–	–	–	–	–	–	2,73	–
Rb	47,2	35,1	77,6	100	68	107	96	87	146,2	123	97
Ba	380	342	519	–	620	–	780	600	–	718	–
Sr	160	531	200	190	279	133	159	162	–	170	162
Ga	12	12,1	24,5	–	–	–	–	–	–	33	–
Ta	0,23	0,27	0,55	–	–	–	–	–	–	0,98	–
Nb	3,55	3,99	5,17	12	12	13	14	10	–	8,0	12
Hf	4,17	3,57	4,66	–	–	–	–	–	–	6,76	–
Zr	109	104	127	156	123	219	187	139	–	219	246
Y	14,8	5,31	11,6	19	19	17	10	19	–	11	12
Th	2,76	3,25	6,18	6	8	7	11	12	–	7,53	11
U	0,75	0,55	1,33	–	–	–	–	–	–	3,06	–
La	17,4	14,9	17,1	–	–	–	–	–	–	3,9	–
Ce	35,3	25,1	32,4	–	–	–	–	–	–	9,23	–
Pr	4,02	2,98	3,52	–	–	–	–	–	–	1,16	–
Nd	15,6	9,97	14,2	–	–	–	–	–	–	4,19	–
Sm	2,43	1,35	2,57	–	–	–	–	–	–	0,924	–
Eu	0,409	0,977	0,752	–	–	–	–	–	–	0,38	–
Gd	1,55	0,688	2,2	–	–	–	–	–	–	2,08	–
Tb	0,347	0,176	0,417	–	–	–	–	–	–	0,351	–
Dy	2,13	0,692	2,37	–	–	–	–	–	–	2,41	–
Ho	0,344	0,0728	0,365	–	–	–	–	–	–	0,366	–
Er	1,43	0,689	1,47	–	–	–	–	–	–	1,33	–
Tm	0,182	0,12	0,271	–	–	–	–	–	–	0,264	–
Yb	0,749	0,256	1,08	–	–	–	–	–	–	1,42	–
Lu	0,115	0,0531	0,196	–	–	–	–	–	–	0,173	–
Be	1,2	1,21	1,24	–	–	–	–	–	–	1,21	–

Окончание табл.

Авт. номер	910-16	910-17	2264-2	1208-1	2359-1	2359-2	2345-1	2345-2	2849-2	2850-1	2849-1	2876-1
№ пп	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SiO ₂	50,88	63,44	63,64	61,20	64,02	76,60	61,08	59,12	62,26	62,48	72,04	64,50
TiO ₂	0,67	0,89	0,57	0,72	0,64	0,31	0,64	0,70	0,78	0,66	0,52	0,64
Al ₂ O ₃	18,42	15,20	16,92	18,45	17,44	11,35	18,10	20,31	19,65	17,89	12,66	16,07
Fe ₂ O ₃	3,01	3,65	2,12	1,90	1,80	1,39	1,69	2,94	2,70	1,27	1,16	1,56
FeO	6,11	3,74	5,10	5,57	4,96	2,59	6,94	4,55	4,60	4,95	3,95	4,88
MnO	0,12	0,06	0,08	0,08	0,06	0,04	0,11	0,15	0,09	0,09	0,07	0,09
MgO	6,24	4,59	3,46	2,30	2,98	1,02	3,20	3,40	2,91	3,38	1,78	3,43
CaO	10,37	2,03	2,44	1,96	2,14	1,57	2,45	3,22	1,81	2,02	2,24	2,82
Na ₂ O	1,10	2,50	2,60	3,50	2,04	2,47	1,22	1,82	2,16	2,79	2,99	2,82
K ₂ O	1,20	2,16	1,76	2,03	1,96	1,12	2,27	1,94	1,89	2,42	1,62	1,77
P ₂ O ₅	0,18	0,23	0,09	0,15	0,09	0,07	0,12	0,15	–	–	–	0,11
H ₂ O	0,16	0,18	0,12	0,11	0,24	0,24	0,36	0,32	0,12	0,13	0,08	0,20
ппп	1,20	1,03	0,79	1,87	1,16	1,11	1,61	1,31	0,89	1,43	0,86	0,76
Cr	240	570	–	286	100	50	130	140	130	190	120	270
Ni	120	68	–	36	25	8	93	29	67	110	66	110
Co	28	21	–	23	14	8	25	8	30	28	31	65
V	200	140	–	190	78	36	90	75	170	130	120	110
Cu	67	50	–	–	36	19	68	23	55	68	64	86
Pb	8	14	–	20	–	–	–	–	–	–	–	–
Rb	30	72	59	74	73	32	–	–	–	–	–	59,4
Cs	–	–	–	–	2,82	1,88	–	–	–	–	–	3,8
Ba	–	470	–	380	510	320	480	410	–	–	–	–
Sr	197	168	221	285	160	130	170	290	–	–	–	–
Li	–	–	–	–	19,9	16,2	–	–	–	–	–	34,7
Nb	7,0	12,0	4,0	9,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Zr	55	159	89	136	–	–	–	–	–	–	–	–
Y	16	16	12	21	–	–	–	–	–	–	–	–
Th	6,00	6,00	6,00	6,00	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. (Кианит-гранат)-биотитовые гнейсы (метаосадки) из районов: 1 – оз. Первое Ногтево; 2 – пороги на р. Верхняя Куземка; 3–14 – оз. Железное (опробован разрез гнейсов снизу вверх); 15–17 – оз. Поньгома; 18, 19 – оз. Кукуя; 20–23 – оз. Во-кшозеро.

Содержание окислов проанализировано методом «мокрой» химии, содержание Li, Cs – методом пламенной фотометрии в химической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН, содержание элементов в пробах, не отмеченных звездочкой, выполнены рентгено-флюоресцентным методом на приборе VRA в Института геологии КарНЦ РАН, в пробах, отмеченных звездочкой, – ICP-MS методом.

вариации количества кислых вулканитов, аналогичных хаттомозерским, определяют разнообразие состава метаосадков.

Нормированные по хондриту содержания РЗЭ в наиболее распространенной группе метаосадков майозерской СТА (рис. 5) характеризуются дифференцированным спектром распределения ((La/Yb)_N – около 16). Содержание легких РЗЭ в них немного ниже (в 60–70 раз выше хондритового уровня), чем в средне-кислых вулканитах хаттомозерской свиты, и значительно выше, чем в базальтах, а тяжелых – соответствует его уровню в средне-кислых вулканитах. Такие особенности состава РЗЭ в метаграувакках согласуются с моделью их образования, главным образом, за счет средне-кислых вулканитов и базальтов, с небольшой долей коматитов. Одна из проб метаосадков имеет спектр распределения РЗЭ, близкий к базальтам, что, вероятно, свидетельствует о ведущей роли базальтов в составе их обломков и согласуется с положением ряда фигуративных точек состава граувакк на диаграмме Sr/Ti – Zr/Y (рис. 4) вблизи поля базальтов и ультрабазита. В одной из проб отмечается крайне низкое содержание тяжелых РЗЭ (0,5–0,9 хонд-

ритового уровня), относительно высокое (в 50 раз выше хондритового уровня) – легких РЗЭ и ярко выраженная положительная Eu аномалия. Кроме того, в ней высокое содержание Sr (531 г/т). Метаграувакки такого состава могли образоваться при наличии в области сноса вулканитов среднего состава адакитовой серии, которые, однако, весьма редки.

Составы осадков используются для оценки геодинамических условий седиментогенеза, и для этих целей, в частности, широко применяются дискриминационные диаграммы Р. М. Бхатия и К. А. В. Крука (Мыскова и др., 2000; Интерпретация., 2001; Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Положение фигуративных точек составов майозерских метаосадков (граувакк) на дискриминационных диаграммах Th – Co – Zr, La – Th – Sc, Th – Sc – Zr и Th – La (рис. 6, А–Г) соответствует, главным образом, полям осадков, формирующихся в обстановках энсиматических островных дуг, реже – энсиалических. Близкое положение на таких диаграммах занимают составы метаграувакк Чупинского парагнейсового пояса (рис. 6, Д) (Мыскова и др., 2000; Мыскова, 2001).

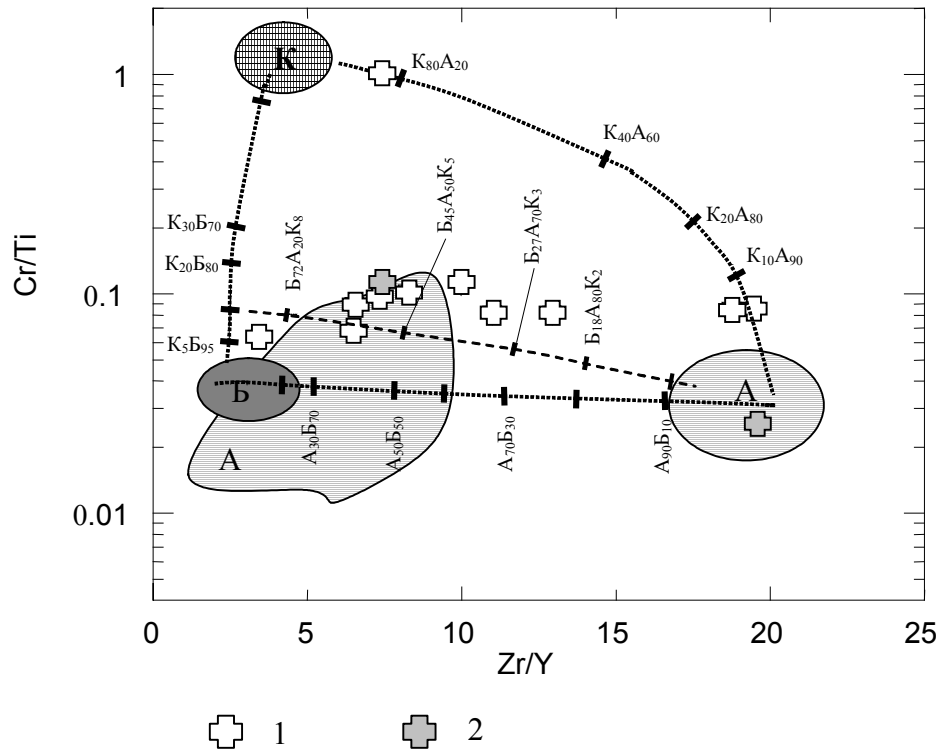


Рис. 4. Диаграмма Cr/Ti – Zr/Y для метасадков майозерской СТА Керетского зеленокаменного пояса (1 – из западной части пояса, 2 – из восточной части пояса) с расчетными графиками* модели смешения коматитов (К), средне-кислых вулканитов (А) и базальтов (Б). Штрихи на графиках обозначают долю компонентов в смеси (K₂₀A₂₀B₆₀ – 20% коматита, 20% средне-кислых вулканитов, 60% базальтов)

* Графики описываются уравнениями $Ax + Bxy + Cy + D = 0$ при $x = C_{Cr}/C_{Ti}$, $y = C_{Zr}/C_{Y}$ и следующих значениях коэффициентов соответственно для смеси К-А, К-Б, Б-А (буквенные обозначения те же, что и на рис.):

	A	B	C	D
К-А	341408	4260	28040	-579806
К-Б	-80870	-3114	64520	-153636
Б-А	1042782	16140	-35	-42196

Состав смеси (содержание в ней того или иного химического элемента – Cm) рассчитывался в соответствии с уравнением:

$$C_m = C_0^1 * F + C_0^2 * (1 - F),$$

где C_0^1 , C_0^2 – содержание элемента в первом и втором крайних компонентах смеси, F – доля первого компонента в смеси

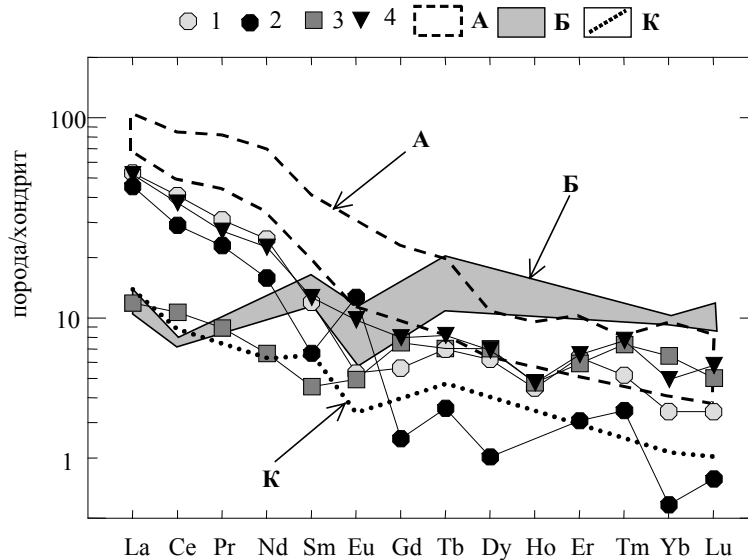


Рис. 5. Нормированное по хондриту содержание РЗЭ в породах Керетского зеленокаменного пояса:

1–4 – метаграввакках майозерской СТА: 1 – проба Э-315-16К, 2 – Э-8А-1, 3 – Э-910-1, 4 – Э-910-11; А – средне-кислых метавулканитов хаттомозерской СТА, Б – метабазальтах майозерской СТА, К – метальтрабазитах майозерской СТА

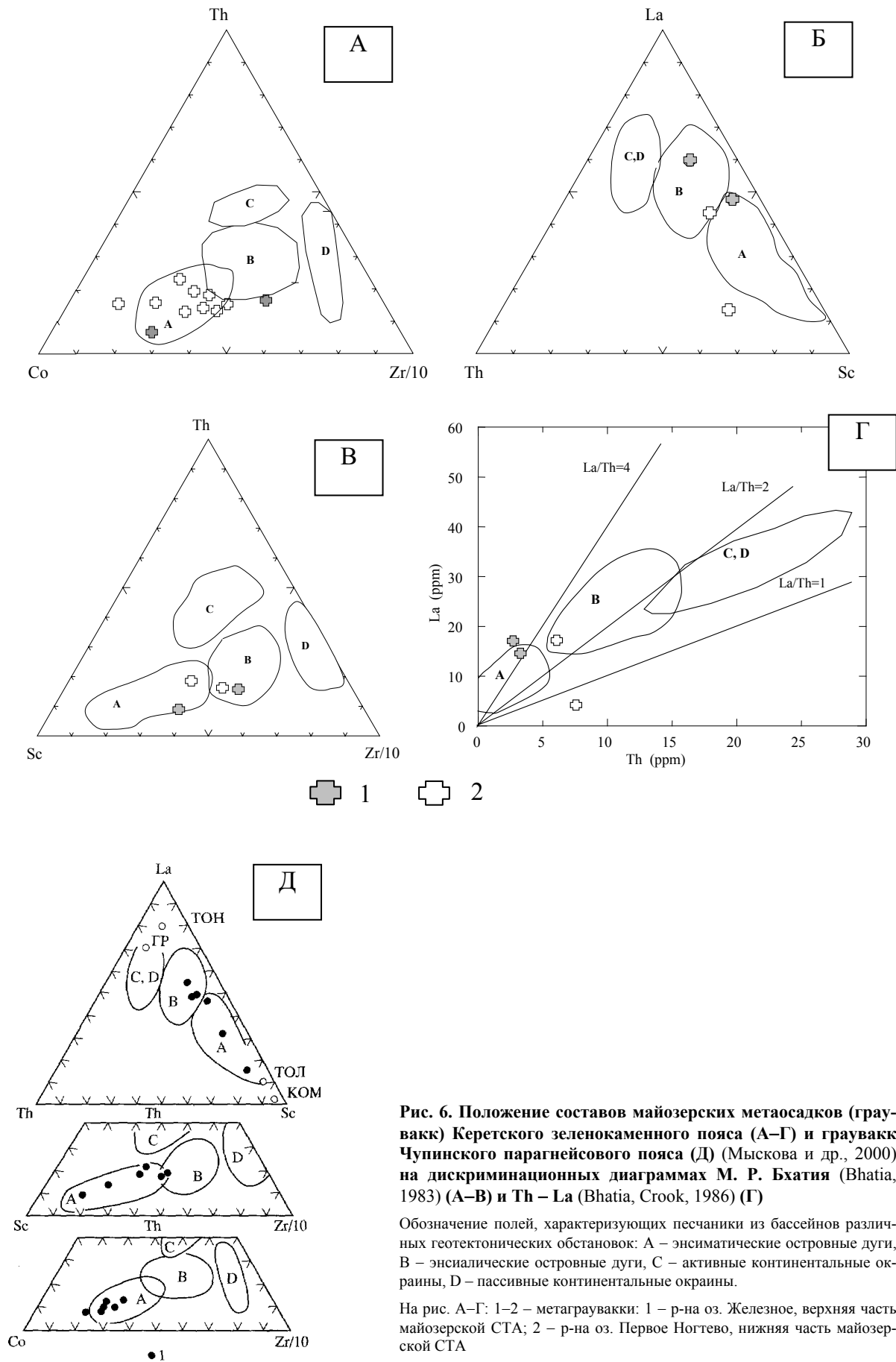


Рис. 6. Положение составов майзерских метаосадков (граувакк) Керетского зеленокаменного пояса (А–Г) и граувакк Чупинского парагнейсового пояса (Д) (Мыскова и др., 2000) на дискриминационных диаграммах М. Р. Бхатия (Bhatia, 1983) (А–В) и Th – La (Bhatia, Crook, 1986) (Г)

Обозначение полей, характеризующих песчаники из бассейнов различных геотектонических обстановок: А – энсиматические островные дуги, В – энсиалические островные дуги, С – активные континентальные окраины, D – пассивные континентальные окраины.

На рис. А–Г: 1–2 – метаграувакки: 1 – р-на оз. Железное, верхняя часть майзерской СТА; 2 – р-на оз. Первое Ногтево, нижняя часть майзерской СТА

Выводы

Совокупность данных о петрогеохимических особенностях парагнейсов майозерской СТА Керетского зеленокаменного пояса и метавулканитов андезибазальт-базальтовой ассоциации (составляющих основную часть СТА) позволяет утверждать, что:

- парагнейсы являются метаморфизованными граувакками;
- данные граувакки могли образоваться за счет разрушения средне-кислых вулканитов хаттозерской СТА, базитов и ультрабазитов майозерской СТА;

– ассоциация майозерских вулканитов и граувакк формировалась во фронтальной части энсиматической вулканической дуги, возможно, субсинхронно с островодужными вулканитами дифференцированной андезибазальт-андезит-дацитовая ассоциации хаттозерской СТА;

– запланированные изотопно-геохронологические исследования аксессуарных цирконов, выделенных из майозерских граувакк, позволят получить независимую информацию об источниках сноса и оценить правильность вывода о субсинхронности формирования метавулканитов майозерской и хаттозерской СТА.

ЛИТЕРАТУРА

- Бибикова Е. В., Слабунов А. И., Богданова С. В. и др. Ранний магматизм Беломорского подвижного пояса, Балтийский щит: латеральная зональность и изотопный возраст // Петрология. 1999. Т. 7, № 2. С. 115–140.
- Володичев О. И. Беломорский комплекс Карелии (геология и петрология). Л., 1990. 248 с.
- Интерпретация геохимических данных / Под ред. Е. В. Складорова. М., 2001. 288 с.
- 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.
- Кокс К. Г., Белл Дж. Д., Панкхерст Р. Дж. Интерпретация изверженных горных пород. М., 1982. 414 с.
- Милькевич Р. И., Мыскова Т. А. Позднеархейские метатерригенные породы Западной Карелии (литология, геохимия, источники сноса) // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 2. С. 177–194.
- Мыскова Т. А. Глиноземистые гнейсы Беломорья (химический состав, происхождение, условия формирования): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2001. 24 с.
- Мыскова Т. А., Милькевич Р. И., Львов Ю. В., Миллер Ю. В. Происхождение чупинских гнейсов Беломорья в свете новых литолого-геохимических данных // Литология и полезные ископаемые. 2000. № 6. С. 653–665.
- Неелов А. Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л., 1980. 100 с.
- Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы. М., 1981. 751 с.
- Предовский А. А. Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия. Апатиты, 1970. 114 с.
- Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. СПб., 2005. 711 с.
- Слабунов А. И. Лопийские осадочно-вулканогенные образования и их соотношение с беломорским супракрустальным комплексом в районе оз. Кереть // Докембрий Северной Карелии. Петрозаводск, 1990. С. 141–155.
- Слабунов А. И. Верхнеархейская Керетская гранит-зеленокаменная система Карелии // Геотектоника. 1993. № 5. С. 61–74.
- Слабунов А. И. Латеральные вариации и эволюция состава позднеархейских базит-ультрабазитов Северной Карелии // Докембрий Северной Карелии (петрология и тектоника). Петрозаводск, 1994. С. 53–76.
- Слабунов А. И. Эволюция состава парагнейсов позднеархейской Керетской гранит-зеленокаменной системы // Геология и магматизм Карелии: Опер.-информ. материалы. Петрозаводск, 1995. С. 9–14.
- 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., 2005а. 46 с.
- Слабунов А. И. Мезоархейский керетьозерский зеленокаменный комплекс в районе оз. Кереть // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения (путеводитель и материалы конференции). Петрозаводск, 2005б. С. 52–59.
- Степанов В. С., Слабунов А. И. Амфиболиты и ранние базит-ультрабазиты докембрия Северной Карелии. Л., 1989. 175 с.
- Фролов В. Т. Литология. Кн. 2. Учебное пособие. М., 1993. 432 с.
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Проблемы литохимии (доклад на заседании Ученого Совета Института геологии УО Коми НЦ РАН). Сыктывкар, 1986. 26 с.
- Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // J. Geology. 1983. Vol. 91. P. 611–627.
- Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of grauwackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1986. Vol. 92. P. 181–193.
- Camire G. E., Lafleche M. R., Ludden J. N. Archean metasedimentary rocks from the northwestern Pontiac Subprovince of the Canadian Shield: chemical characterization, weathering and modelling of the source areas // Precambrian Research. 1993. Vol. 62, N 3. P. 285–305.
- Eriksson K. A., Krapez B., Fralick. Sedimentological aspects // Greenstone belts. Eds.: De Wit M., Ashwal L. D. Oxford Monographs on Geology and Geophysics 35. 1998. P. 33–54.
- La Fleche M. R., Camire G. Geochemistry and provenance of metasedimentary rocks from the Archean Golden Pond sequence (Casa Berardi mining district, Abitibi subprovince) // Canadian Journal of Earth Sciences. 1996. Vol. 33. P. 676–690.
- Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and sandstone. N. Y., 1973. 618 p.