

А.В. Маслов

**ПЕТРОГЕННЫЕ И МАЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В
ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦАХ НИЖНЕГО РИФЕЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА
БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ
(ОПЫТ НОРМИРОВКИ СОСТАВОВ СЛАНЦЕВ НА PAAS И NASC)**

Глинистые породы относятся к категории терригенных образований. При этом особо подчеркивается, что обломочные глины распространены в разрезах гораздо шире нежели аутигенные [Логвиненко, Орлова, 1987; Котельников, Конюхов, 1986 и др.]. Основными источниками вещества для формирования глинистых толщ выступают при этом подвергающиеся выветриванию силикатные породы, а также ранее накопленные глинистые образования [Фролов, 1993]. Собственно глинистые минералы подразделяются В.Т. Фроловым на синтезированные, метасоматические (результат твердофазного преобразования силикатных минералов в гипергенных и приповерхностных условиях) и трансформационные. Последние формируются как в процессе выветривания, почвообразования и транспортировки (деградация), так и на стадиях ката- и метагенеза (аградация). В количественном соотношении объем трансформацион-

ных глинистых минералов существенно меньше, нежели метасоматических. Из сказанного следует вывод о значительном преобладании среди глинистых минералов тех, что формируются на палеоводосборах на стадии выветривания. По способам формирования глинистых пород В.Т. Фролов выделяет элювиальные, хемоседиментогенные, механогенные, гидротермальные и интракрустальные глины. Наиболее широко в стратисфере развиты механогенные глины, образование которых происходит "... в результате переотложения всех других глинистых, обломочных и метаморфических слюдистых пород ..."; в настоящее время не вызывает также сомнений, что многие глины имеют "... аллотигенную природу, в чем они аналогичны обломочным породам: они формировались из переотложенного и смешанного в путях миграции уже "обломочного" глинистого материала, который неравновесен с условиями места седи-

ментации и, следовательно, не может использоваться для их восстановления. Но как терригенные минералы они документируют петрофонд и климат областей размыва на суше ... дополняя данные по обломочным компонентам" [Фролов, 1993, стр. 306 и 311].

В рифейских осадочных последовательностях Башкирского мегантиклинория преобладают механогенные глины [Маслов и др., 1999], накапливавшиеся преимущественно в прибрежно- и мелководно-морских обстановках. Основную роль в них играют глинистые минералы, поступавшие вместе с приносившимися в бассейны более крупными обломочными компонентами и несущие определенные интегральные характеристики процессов выветривания и состава пород на палеоводосборах. Постседиментационные (дометаморфические) процессы тем или иным образом изменили их первичный минеральный состав, структурные параметры самих минералов и структурно-текстурные особенности, однако масштабы стадийных изменений "... по сравнению с гипергенезом и седиментогенезом значительно меньшие" [Фролов, 1993, стр. 309], что и позволяет использовать глинистые отложения при реконструкции основных параметров формирования крупных осадочных последовательностей.

В зарубежных публикациях двух последних десятилетий прошедшего столетия [Nance, Taylor, 1976; Taylor, McLennan, 1985; Wronkiewicz, Condie, 1987; Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Wronkiewicz, Condie, 1990; McLennan, Taylor, 1991; Jahn, Condie, 1995; и др.], а в последнее время и в отечественных работах [Cullers, Podkovyrov, 2000; Khudoley et al., 2001 и др.], в качестве ключа к познанию состава и эволюции источников сноса широко используются геохимические особенности тонкозернистых алюмосиликокластических образований. Связано это с тем, что глинистые породы характеризуются низкой проницаемостью для постседиментационных флюидов, существенно лучше перемешаны и гомогенизированы по сравнению с более крупнозернистыми отложениями [Wronkiewicz, Condie, 1987]. Одними из эффективных методов реконструкции состава пород водосборов является анализ спектров РЗЭ в глинистых сланцах, так как распределение их не претерпевает существенных трансформаций при процессах седименто- и литогенеза и, следовательно, осадочные толщи в значительной мере наследуют характер распре-

деления РЗЭ, свойственный источникам сноса [Cullers et al., 1975; McLennan et al., 1980; Wronkiewicz, Condie, 1987; Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Condie, 1993], а также рассмотрение различных геохимических коэффициентов (например, La/Th, Sr/V и др.) [Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, 1989; Condie, 1993; Jahn, Condie, 1995; и др.]. Западные авторы признают при этом определенное влияние на соотношение РЗЭ в породах типа исходных осадков и климатических процессов, на что, в частности, указывают исследования Ю.А. Балашова [1976 и др.], но считают, что оно мало по сравнению с вариациями в составе изверженных пород [Wildeman, Haskin, 1973; и др.].

Выполненные нами ранее предварительные исследования показали, что глинистые породы типового разреза рифея достаточно информативны в указанном плане [Маслов и др., 2000, 2001a, 2001б] и позволяют реконструировать основные черты состава палеоводосборов.

В настоящем сообщении, носящем в основном методический характер, приводятся результаты сравнения состава глинистых сланцев бурзянской серии нижнего рифея северо-восточной части Башкирского мегантиклинория (айская, саткинская и бакальская свиты) с составом мировых эталонов тонкозернистых алюмосиликокластических пород – PAAS (постархейский австралийский сланец) и NASC (североамериканский составной сланец). В качестве рабочего, для сравнения составов сланцев бурзянской серии с указанными эталонами, использован метод нормировки; отношения каждого из петрогенных окислов и малых элементов к их содержанию в NASC и PAAS ($K_k = R_{n \text{ проба}} / R_{n \text{ NASC}}$ или $R_{n \text{ проба}} / R_{n \text{ PAAS}}$; $K_k = R_{\text{проба}} / R_{\text{NASC}}$ или $R_{\text{проба}} / R_{\text{PAAS}}$) приведены в таблицах 1 и 2 и проиллюстрированы рисунками 1 и 2. Данные о содержании петрогенных окислов и малых элементов в NASC и PAAS заимствованы из работ [Wronkiewicz, Condie, 1987; Cullers, 1995].

При рассмотрении рис. 1 все 33 петрогенных окисла и малых элемента могут быть с определенной долей условности разделены на ряд групп. К первой группе отнесены окислы и элементы, коэффициенты концентрации которых в большинстве проанализированных проб относительно их аналогов в NASC близки к 1 (пределы вариаций их составляют, как правило, от 0,80 до 1,24). В состав этой группы входят SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Ba и U. Вторая группа представлена элементами, коэффициенты концентрации

Коэффициенты нормирования петрогенных и малых элементов в глинистых сланцах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория относительно NASC

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ total	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Rb	Ba	Cs	Sr	Th	U
82-2	0,95	1,27	0,99	1,21	0,59	0,06	0,10	1,54	0,20	1,64	1,29	0,76	0,91	0,37	1,19	1,12
815-10-4	1,01	0,95	0,89	0,77	0,92	0,23	1,81	0,84	0,83	2,82	1,16	0,97	1,21	0,53	1,01	0,89
815-10-1	1,01	1,03	0,95	0,58	0,91	0,20	1,49	1,16	0,67	1,45	0,94	1,24	0,68	0,55	1,24	1,20
815-10-6	1,08	0,49	0,91	0,45	0,36	0,13	0,42	1,41	0,50	1,27	0,57	0,80	0,31	0,50	0,86	0,83
83-2	0,89	0,99	1,12	0,98	0,91	0,05	0,64	1,98	0,17	0,73	1,77	0,77	1,07	0,29	1,07	0,81
41ш	0,96	1,04	1,10	1,15	0,52	0,07	0,77	0,81	0,53	0,54	1,04	0,81	0,80	0,37	1,48	1,15
57ш	0,92	1,01	1,18	1,27	0,45	0,08	0,63	0,91	0,43	0,84	1,09	1,00	0,84	0,58	1,47	0,84
60ш	0,94	1,05	1,13	1,21	0,60	0,06	0,81	0,84	0,72	2,73	0,77	0,80	0,69	0,39	1,34	0,79
21ш	0,92	0,87	1,06	1,35	0,71	0,12	0,53	0,96	2,03	0,77	0,93	1,11	0,88	0,24	1,24	0,72
46ш	0,87	0,96	1,11	1,50	0,70	0,06	0,17	1,32	2,17	0,59	0,98	0,91	0,97	0,13	1,29	0,80
51ш	0,88	1,08	1,22	0,77	0,75	0,08	0,10	1,92	0,30	0,41	1,20	0,94	1,67	0,12	1,37	0,93

Номер пробы	Sc	V	Cr	Co	Ni	Y	Zr	Nb	Hf	Ta	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
82-2	1,20	0,78	1,31	0,61	0,89	0,98	1,41	1,34	1,28	1,07	1,28	1,24	1,15	1,11	1,08	0,87	0,85
815-10-4	0,99	0,57	0,77	0,41	0,55	0,61	1,16	1,34	0,98	0,81	0,65	0,66	0,70	0,73	0,62	0,64	0,70
815-10-1	1,20	0,75	1,02	0,57	0,47	0,99	1,32	1,66	1,10	1,07	1,97	1,98	1,59	1,38	1,29	1,03	1,03
815-10-6	0,73	0,54	0,38	0,28	0,57	0,75	1,34	1,03	1,23	1,39	0,40	0,40	0,66	0,71	0,76	0,74	0,75
83-2	1,23	0,58	1,37	0,72	0,82	0,73	0,67	1,29	0,57	1,03	1,49	1,55	1,19	1,23	1,00	0,75	0,73
41ш	1,11	0,68	1,11	0,74	0,89	0,65	1,05	1,46	0,92	2,36	1,53	1,57	1,11	1,16	0,89	0,71	0,82
57ш	1,31	0,93	1,05	0,69	1,19	0,94	0,84	1,53	0,73	0,98	1,77	1,73	1,12	1,16	1,14	0,83	0,77
60ш	1,12	0,88	1,03	0,60	1,03	0,66	0,91	1,45	0,76	0,94	1,57	1,62	1,18	1,09	0,91	0,65	0,69
21ш	1,26	0,76	0,98	0,75	1,06	0,97	0,97	1,18	0,79	1,06	1,67	1,64	1,36	1,16	1,14	0,85	0,81
46ш	1,31	0,82	1,17	0,99	1,26	0,74	0,71	1,19	0,64	1,17	1,41	1,49	1,12	1,09	0,96	0,69	0,77
51ш	1,22	0,87	1,06	0,42	0,83	0,72	0,68	1,42	0,63	1,08	1,43	1,48	1,14	1,01	0,77	0,62	0,66

Примечание. Географическая и стратиграфическая привязка проб глинистых сланцев: 82-2 – нижнее подразделение айской свиты, фрагменты разреза у Черного ключа; 815-10-6, 815-10-4, 815-10-1 – верхнее подразделение айской свиты, разрез по р. Ай ниже д. Медведевка; 83-2 – нижнекусинская подсвита саткинской свиты, разрез по р. Ай ниже кладбища в г. Куса; 60ш – Полушкин хутор, 5 км к востоку от Бакала, макаровская подсвита бакальской свиты; 41ш – Новобакальский карьер, макаровская подсвита бакальской свиты; 57ш – Полушкин хутор, 5 км к востоку от Бакала, макаровская подсвита бакальской свиты; 46ш – Петлинский карьер, иркусканская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты; 21ш – Восточный карьер рудника им. ОГПУ (Шуйдинский рудник), иркусканская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты; 51ш – Центральный карьер рудника Иркутскан, надшуйдинская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты.

которых варьируют от 0,5 до 1,5 или несколько больше. К этой группе принадлежат Fe₂O₃, Na₂O, MnO, Rb, Cs, Cr, Ni, Zr, Hf, Ta (для последнего только в одной пробе K_к=2,36), Sm, Eu и Tb. Третью группу составляют окислы и элементы, коэффициенты концентрации которых во всех пробах не превышают 0,4; в нашем случае это CaO и Sr. Вероятно, к этой же группе примыкают MgO, V, Co и Y. Содержания их во

всех проанализированных пробах глинистых сланцев бурзянской серии стабильно ниже содержаний в NASC, однако K_к варьирует от 0,45 до 0,99. Коэффициент концентрации K_кO варьирует от 0,81 до 1,98, причем количество проб с K_к>1 немногим больше числа проб с K_к<1. Аналогично калию ведет себя и P₂O₅, однако пределы вариаций K_к в данном случае заметно больше (от 0,41 до 2,82). Еще одну группу со-

Коэффициенты нормирования петрогенных и малых элементов в глинистых сланцах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория относительно PAAS

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ total	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	Rb	Ba	Sr	Th	Sc
82-2	0,98	0,99	0,88	1,21	0,76	0,18	0,10	1,66	0,11	1,01	0,74	0,26	0,98	1,13
815-10-1	1,04	0,80	0,85	0,59	1,18	0,54	1,43	1,25	0,36	0,74	1,21	0,39	1,02	1,13
815-10-4	1,05	0,74	0,79	0,77	1,20	0,63	1,73	0,90	0,45	0,91	0,95	0,38	0,83	0,93
815-10-6	1,11	0,38	0,81	0,45	0,46	0,37	0,40	1,52	0,27	0,45	0,78	0,36	0,71	0,68
83-2	1,11	0,38	0,81	0,45	0,46	0,37	0,40	1,52	0,27	0,45	0,78	0,36	0,71	0,68
41ш	0,99	0,81	0,99	1,15	0,67	0,18	0,73	0,87	0,29	0,82	0,79	0,26	1,22	1,04
57ш	0,96	0,79	1,05	1,27	0,58	0,21	0,60	0,98	0,24	0,85	0,98	0,41	1,21	1,23
60ш	0,97	0,82	1,01	1,22	0,78	0,18	0,78	0,90	0,39	0,60	0,79	0,28	1,10	1,05
21ш	0,95	0,68	0,95	1,36	0,92	0,33	0,51	1,04	1,11	0,72	1,09	0,17	1,02	1,18
46ш	0,89	0,75	0,99	1,51	0,91	0,17	0,17	1,42	1,18	0,77	0,89	0,09	1,06	1,22
51ш	0,91	0,84	1,09	0,77	0,97	0,22	0,09	2,07	0,16	0,94	0,92	0,09	1,12	1,14

Номер пробы	Cr	Co	Ni	Y	Zr	Nb	Hf	Ta	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
82-2	1,49	0,68	0,93	1,27	1,35	0,91	1,61	0,79	1,05	1,04	1,15	1,21	1,19	0,97	0,91
815-10-1	1,15	0,65	0,49	1,28	1,26	1,13	1,38	0,79	1,61	1,66	1,59	1,51	1,43	1,14	1,11
815-10-4	0,88	0,46	0,58	0,79	1,10	0,92	1,23	0,59	0,53	0,55	0,70	0,80	0,69	0,71	0,74
815-10-6	0,43	0,31	0,60	0,97	1,28	0,71	1,55	1,02	0,33	0,33	0,66	0,78	0,84	0,82	0,80
83-2	0,43	0,31	0,60	0,97	1,28	0,71	1,55	1,02	0,33	0,33	0,66	0,78	0,84	0,82	0,80
41ш	1,26	0,84	0,94	0,85	1,00	1,00	1,16	1,73	1,25	1,32	1,11	1,26	0,98	0,79	0,87
57ш	1,20	0,78	1,26	1,21	0,80	1,05	0,92	0,72	1,45	1,45	1,12	1,27	1,26	0,91	0,83
60ш	1,17	0,67	1,09	0,86	0,86	0,99	0,96	0,69	1,28	1,36	1,18	1,18	1,00	0,72	0,74
21ш	1,11	0,85	1,12	1,26	0,92	0,81	1,00	0,78	1,37	1,37	1,36	1,27	1,26	0,94	0,87
46ш	1,33	1,12	1,33	0,95	0,68	0,81	0,81	0,86	1,15	1,24	1,12	1,19	1,06	0,76	0,82
51ш	1,21	0,48	0,88	0,93	0,65	0,97	0,80	0,79	1,17	1,24	1,14	1,10	0,84	0,69	0,70

Примечание. Географическая и стратиграфическая привязка проб глинистых сланцев: 82-2 – нижнее подразделение айской свиты, фрагменты разреза у Черного ключа; 815-10-6, 815-10-4, 815-10-1 – разрез по р. Ай ниже д. Медведовка, верхнее подразделение айской свиты; 83-2 – нижнекусинская подсвита саткинской свиты, разрез по р. Ай ниже кладбища в г. Куса; 60ш – Полушкин хутор, 5 км к востоку от Бакала, макаровская подсвита; 41ш – Новобакальский карьер, макаровская подсвита бакальской свиты; 57ш – Полушкин хутор, 5 км к востоку от Бакала, макаровская подсвита бакальской свиты; 46ш – Петлинский карьер, иркутская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты; 21ш – Восточный карьер рудника им. ОГПУ (Шуйдинский рудник), иркутская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты; 51ш – Центральный карьер рудника Иркутскан, надшуйдинская пачка малобакальской подсвиты бакальской свиты.

ставляют Th и Sc – в 10 из 11 проб K_x этих элементов превышает или равен 1 и только в одной он несколько ниже 1. Очень близки к указанной группе также ниобий, иттербий и лютеций. Наконец, лантан и церий имеют в подавляющем большинстве случаев K_x от 1,24 до 1,98 и только в двух пробах он составляет заметно меньше 1. Если попытаться наметить, во всем

указанном разнообразии соотношений элементов в конкретных пробах и NASC, те из них, что содержатся как в заметно больших, так и в заметно меньших относительно $K_x = 1$, концентрациях на разных стратиграфических уровнях, то мы получим следующую выборку – Cs, Th, Sc, Cr, Ni, Zr, Hf, La, Ce, Sm, Eu и Tb.

Нормирование составов глинистых слан-

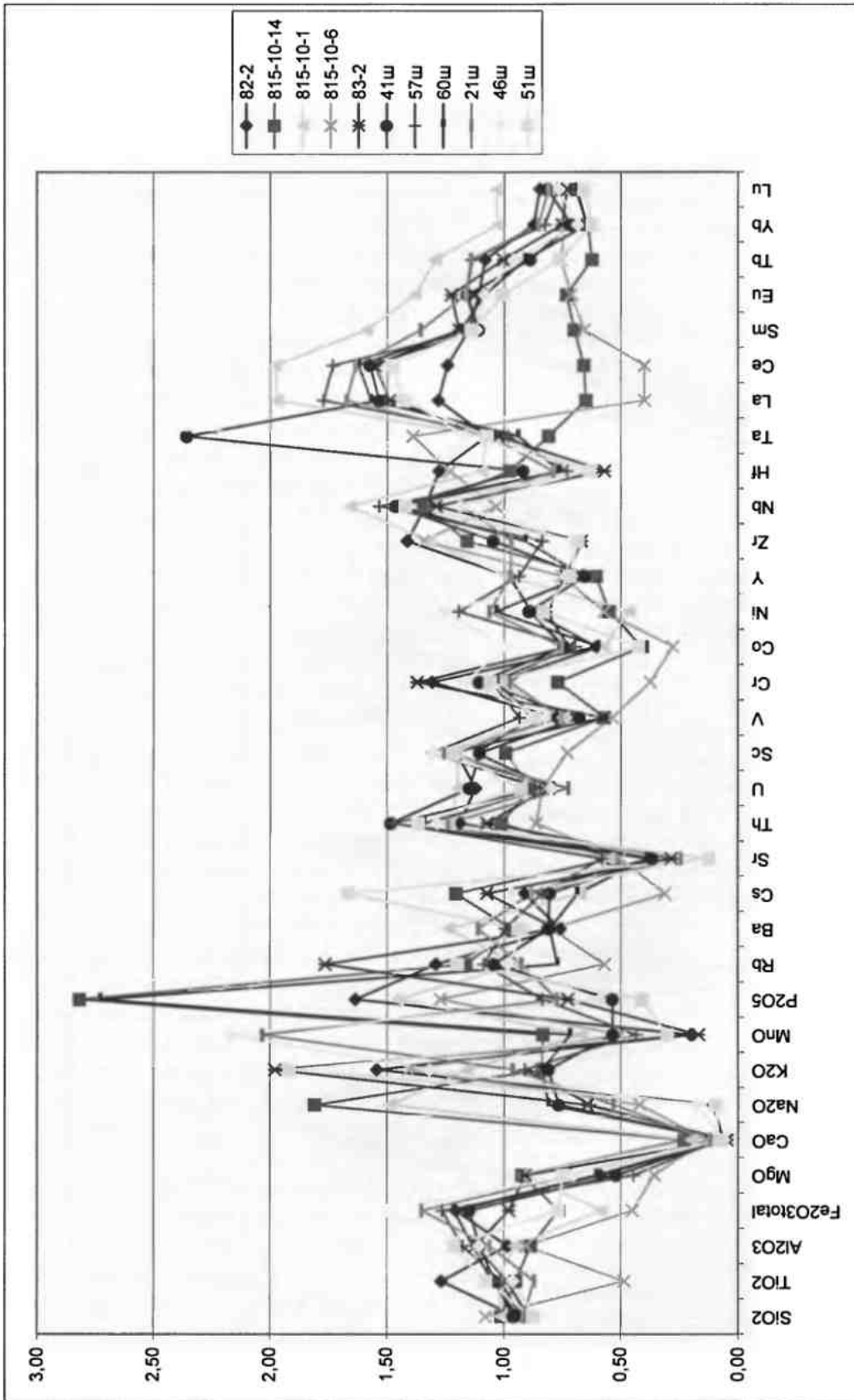


Рис. 1. График нормирования петрогенных окислов и малых элементов глинистых сланцев нижнего рифея северо-восточной части Башкирского мегантиклинория относительно их аналогов в N.A.S.C. Стратиграфическую и географическую привязку проб см. в примечании к табл. 1.

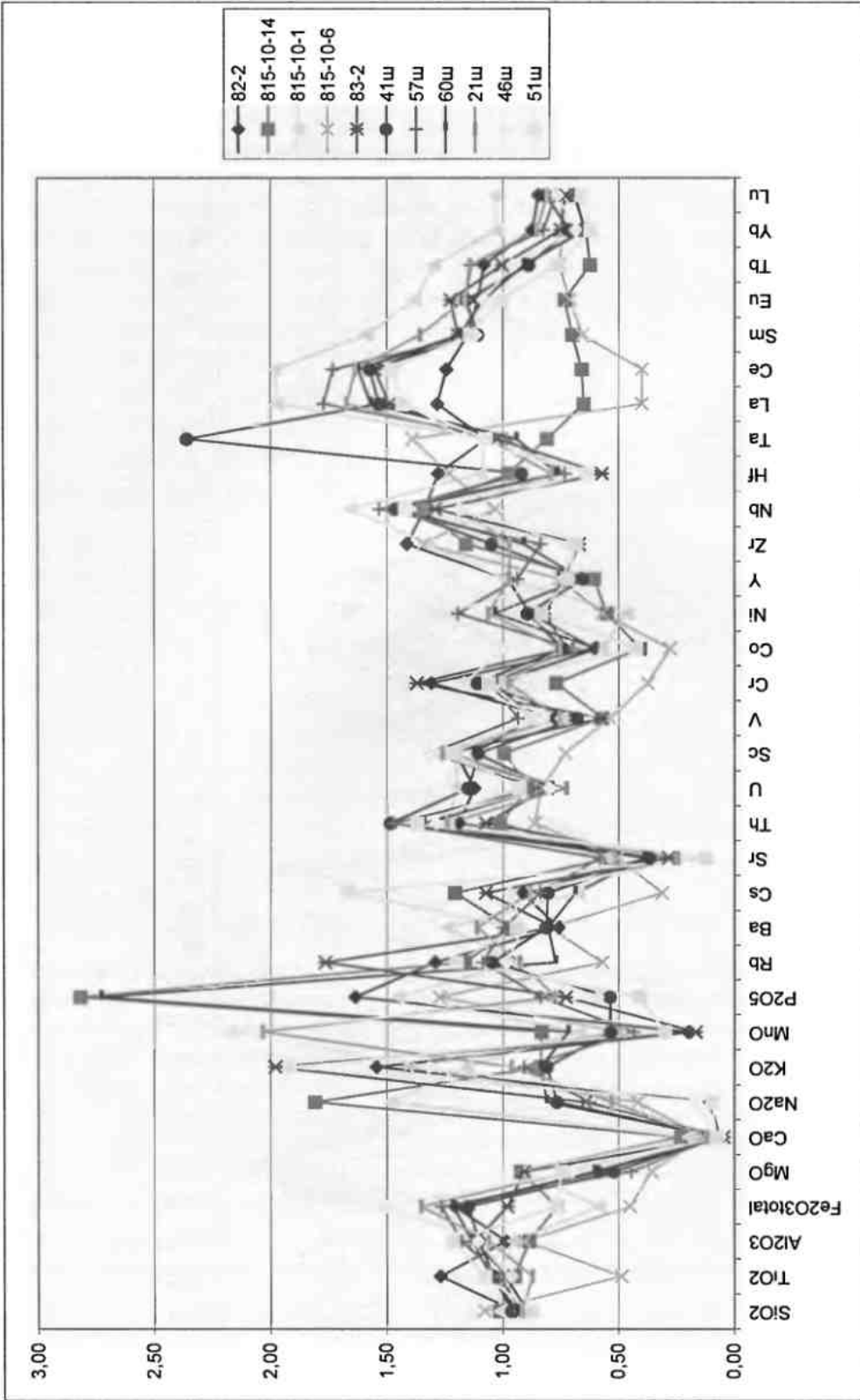


Рис. 2. График нормирования петрогенных и малых элементов глинистых сланцев бурзянской серии на PAAAS. Стратиграфическую и географическую привязку проб см. в примечании к табл. 1.

цев бурзянской серии на PAAS (рис. 2) показывает следующее. К группе окислов и элементов имеющих умеренно низкие или умеренно высокие (в пределах 0,75-1,25) концентрации относительно PAAS в нашей коллекции принадлежат SiO_2 , Al_2O_3 , Ba, Th, Sc, Y, Zr и Nb. В существенно меньших количествах ($K_x < 0,5$), чем в PAAS, в сланцах нижнего рифея содержится CaO и Sr. В подавляющем количестве проб в меньших концентрациях присутствуют также TiO_2 и Rb. С разбросом K_x от 0,5 до 1,5 наблюдаются Fe_2O_3 , Cr, Ni, Hf, La, Ce, Sm, Eu и Tb. Значительна также амплитуда колебаний содержания оксида калия. Примерно в трети из проанализированных проб коэффициент концентрации $K_2\text{O}$ относительно PAAS составляет менее 1, тогда как остальных пробах K_x меняется от 1,04 до 2,07. Прямо противоположны вариации содержания MgO , Na_2O , MnO , Co, Yb и Lu. В большинстве проанализированных нами проб K_x указанных окислов и элементов варьируют от 0,9 до 0,16 и только в одной или двух пробах K_x немного превышают 1. В значительном средстве с указанными компонентами находится и Ta. В подавляющем большинстве проб K_x Ta варьирует от 1 до 0,6, в одной составляет 1,05 и еще в одной – 1,73. Из всего указанного многообразие соотношений в исследованных нами глинистых сланцах бурзяния и PAAS петрогенных окислов и малых элементов наибольший интерес для нас представляет поведение Th, Sc, Sr, Ni, Zr, La, Ce, Sm и Tb, так как на фоне достаточно однообразных, стабильно пониженных или умеренно повышенных K_x других компонентов содержания данных элементов варьируют в пробах отобранных из различных стратиграфических уровней разреза нижнего рифея и, следовательно, анализ их соотношений может помочь в расшифровке особенностей состава размывавшихся на том или ином отрезке времени пород в источниках сноса. Сравнение двух указанных выборок обнаруживает их заметное сходство и позволяет надеяться, что использование названных в начале данной заметки отношений малых элементов действительно позволит нам реконструировать состав источников сноса и его изменение на протяжении раннего рифея.

*Исследования по данной теме поддержаны
РФФИ (грант 00-05-64497)*

Список литературы

- Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
- Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 320 с.
- Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. М.: Высшая школа, 1987. 414 с.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Демчук И.Г. Тонкая алюмосиликокластика в верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования). Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 324 с.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. Рифейские седиментационные бассейны Южного Урала (палеогеография, палеоклимат, источники сноса и палеосоленость водоемов) // Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности строения и минерогенеза. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2000. С. 28–52.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. К реконструкции состава пород в источниках сноса по РЗЭ в глинистых сланцах типового разреза рифея // Новые идеи в науках о Земле: Тез. докл. V межд. конф. М.: МГТГА, 2001а. С. 259.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. Алюмосиликокластические последовательности типа рифея: к реконструкции состава источников сноса // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь: ПГУ, 2001б. С. 4–8.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. М.: Изд-во МГУ, 1993. 432 с.
- Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chemical Geol.* 1993. V. 104. P. 1–37.
- Cullers R.L. The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. // *Chem. Geology.* 1995. V. 123. P. 107–131.
- Cullers R.L., Podkovyrov V.N. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda Shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling // *Prec. Res.* 2000. V. 104. P. 77–93.
- Cullers R.L., Chaudhuri S., Arnold B. et al. Rare earth distributions in clay minerals and in the clay-sized fractions of the Lower Permian Havensville and Eskridge shales of Kansas and Oklahoma // *GCA.* 1975. V. 39. P. 1691–1703.
- Jahn B.-M., Condie K.C. Evolution of the Kaapvaal Craton as viewed from geochemical and Sm-Nd isotopic analyses of intracratonic pelites // *GCA.* 1995. V. 59. P. 2239–2258.

Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A. et al. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian basin of southwestern Siberia // *Prec. Res.* 2001. V. 111. P. 129–163.

McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. B.R. Lipin & G.A. McKay (Eds.). *Reviews in Mineralogy*. 1989. V. 21. P. 169–200.

McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // *J. Geology*. 1991. V. 99. P. 1–21.

McLennan S.M., Nance W.B., Taylor S.R. Rare earth element-thorium correlations in sedimentary rocks, and the composition of the continental crust // *GCA*. 1980. V. 44. P. 1833–1839.

Nance W.B., Taylor S.R. Rare earth element patterns and crustal evolution - I. Australian post-Archean sedimentary rocks // *GCA*. 1976. V. 40. P. 1539–1551.

Taylor S.R., McLennan S. *The Continental Crust: Its composition and evolution*. Blackwell, Oxford. 1985. 312 pp.

Wildeman T.R., Haskin L.A. Rare earths in Precambrian sediments // *GCA*. 1973. V. 37. P. 419–439.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // *GCA*. 1987. V. 51. P. 2401–2416.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic // *GCA*. 1990. V. 54. P. 343–354.