

ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, ЛИТОФИЛЬНЫХ, ВЫСОКОЗАРЯДНЫХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ ТИПОВОГО РАЗРЕЗА РИФЕЯ

А.В. Маслов

Нормирование содержаний основных породообразующих компонентов или микроэлементов в осадочных породах (прежде всего тонкозернистых алюмосиликокластических) различных стратиграфических уровней на те или иные модельные составы (NASC, PAAS, ES, RPSC и др.)¹ является достаточно универсальным инструментом анализа состава источников сноса и мониторинга их временных вариаций, а также ряда других параметров формирования осадочных последовательностей [Тейлор, Мак-Леннан, 1988; Мигдисов и др., 1994 и др.].

Для рассмотрения характера вариаций составов глинистых сланцев и аргиллитов в разрезах крупных осадочных серий можно использовать и нормирование их на состав тонкозернистых алюмосиликокластических образований из базальных горизонтов серий, предполагая, что последние отражают состав палеоводосборов в начале крупных осадочных циклов, наименее преобразованных последующими процессами, а устойчивое обогащение или, наоборот, пониженные содержания тех или иных элементов на определенных уровнях разреза может иметь определенное значение для корреляции тех или иных единиц разреза. Примерами подобных крупных осадочных серий являются бурзянская, юрматинская и каратауская серии типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория, объединяющие более 20 отчетливо индивидуализированных литостратиграфических единиц, в составе которых глинистые породы преобладают или слагают существенную часть разреза [Маслов и др., 2001, 2002].

Ранее нами [Маслов, 2002] было выполнено нормирование петрогенных и малых элементов в глинистых сланцах бурзянской серии на NASC и PAAS и показано существование

значимых вариаций ряда компонентов указанных тонкозернистых осадочных пород, относительно модельных составов. В настоящей статье использованы медианные² значения содержаний 37 элементов в 75 образцах тонкозернистых осадочных пород типа рифея. Определение их выполнено в ИГГ УрО РАН методом ISP-MS Ю.Л. Ронкиным, О.П. Лепихиной и О.Ю. Поповой. Кроме оригинальных авторских материалов использованы образцы М.Т. Крупенина, Э.З. Гареева и В.М. Горожанина. Всем названным коллегам автор искренне признателен.

Нижний рифей. В разрезе бурзянской серии Башкирского мегантиклинория нами проанализированы глинистые сланцы нижнего подразделения айской свиты (главным образом, навышская подсвита) (ai_1), нижекусинской (st_1) и половинкинской (st_3) подсвит саткинской свиты, макардовская (b_1) и малобакальская (b_2) подсвиты бакальской свиты. Нормирование составов сланцев указанных подразделений серии выполнено на тонкозернистые осадочные породы нижнего подразделения айской свиты (рис. 1). В группе крупноионных литофильных элементов содержания Rb выше, чем в глинистых сланцах нижеайского уровня, только в породах нижекусинской подсвиты. На более высоких уровнях бурзянской серии они устойчиво ниже. Содержания Sr в глинистых сланцах большинства уровней бурзяния также ниже, чем в базальном подразделении серии, и только в глинистых породах макардовской подсвиты они сопоставимы. Барий снизу вверх по разрезу бурзянской серии вариаций практически не испытывает. Почти также ведут себя переходные металлы, из которых только содержания Sc почти на всех уровнях серии ниже, чем в породах нижней части айской свиты. Большинство вы-

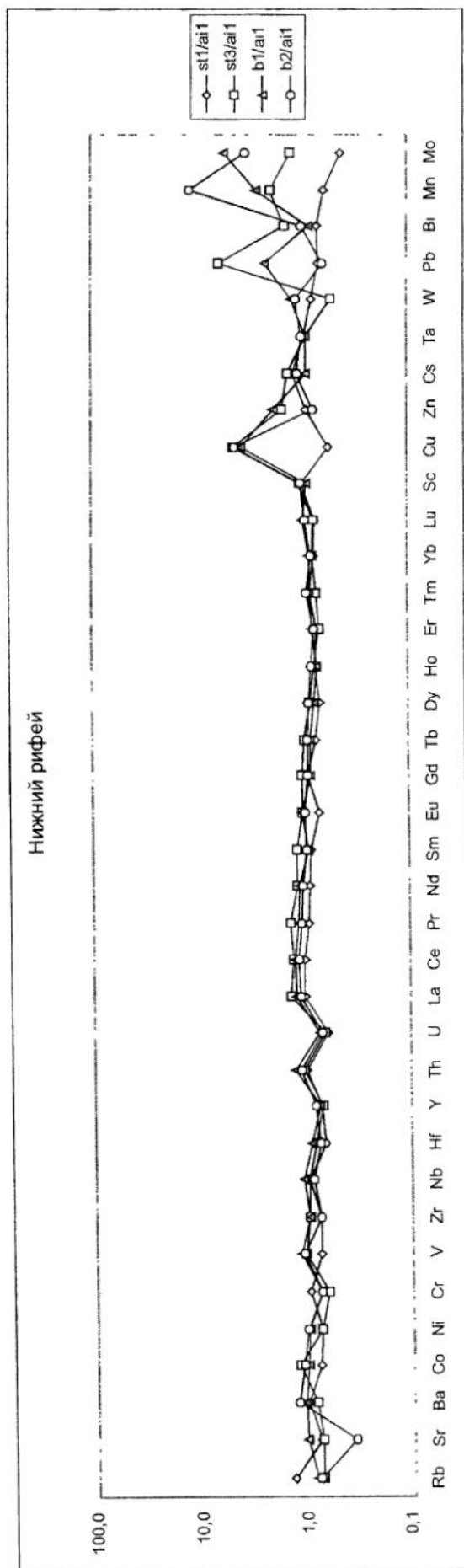
¹ Здесь и далее NASC – глинистый сланец Северной Америки, PAAS – постархейский глинистый сланец Австралии, ES – глинистый сланец Европы, RPSC – генеральная проба глин Русской платформы.

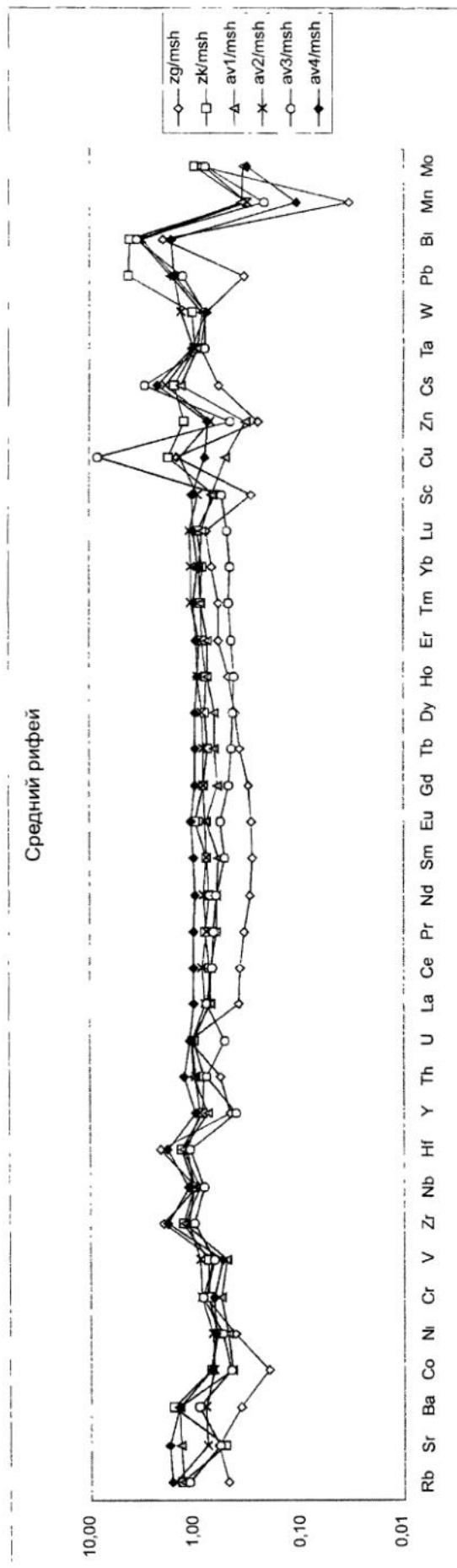
² Медианные значения содержаний элементов использованы в связи с тем, что этот параметр позволяет дать обобщенную оценку аналитических данных с неизвестным характером распределения [Rock et al., 1987 и др.].

Рис. 1. Кривые вариации коэффициентов концентрации различных микроэлементов в глинистых сланцах ряда литостратиграфических уровней бурзянской серии относительно тонкозернистых осадочных пород нижнего подразделения айской свиты.

сокозарядных элементов присутствуют в глинистых сланцах различных литостратиграфических единиц бурзянской серии в сопоставимых содержаниях. Исключение здесь составляют только Y и U, содержания которых в глинистых породах нижекусинско-малобакальского интервала меньше, чем в глинистых сланцах нижнего подразделения айской свиты. Содержания легких редкоземельных элементов (РЗЭ) в средней и верхней частях разреза бурзянской серии немного выше, а тяжелых РЗЭ – несколько ниже, чем в породах навышско-чудинского уровня айской свиты. Более разнообразно ведут себя элементы, отнесенные к группе прочих: Cu, Zn, Cs, W, Pb, Bi, Mn и Mo. В глинистых сланцах нижекусинской подсвиты содержание Cu ниже, а в породах всех остальных подразделений бурзянской серии заметно и стабильно выше, чем в подошве серии. В сланцах половинкинской и макаровской подсвит повышены содержания Zn. Заметно более низкие, чем для нижеайского уровня, содержания W присущи породам половинкинской подсвиты саткинской свиты, тогда как на других уровнях они, в принципе, сопоставимы с теми, что типичны для базальных уровней бурзяния. Глинистые сланцы нижекусинской и малобакальской подсвит содержат меньше Pb, а породы половинкинской и макаровской подсвит – заметно больше, чем сланцы навышско-чудинского уровня. Содержания Bi относительно последних варьируют, но незначительно. Коэффициент концентрации (K_x) марганца снизу вверх по разрезу серии вначале снижается (нижекусинский уровень), а затем последовательно растет; почти также ведет себя и Mo.

Средний рифей. Опробование глинистых пород в разрезе юрматинской серии выполнено для машакского (msh), зигальгинского (zg), зигаино-комаровского (zk), ката́скинского (av_1), малоинзерского (av_2), ушаковского (av_3) и куткурского (av_4) уровней. Нормирование выпол-





нено по глинистым сланцам машакской свиты (рис. 2). В глинистых сланцах куткурской и катакской подсвит авзянской свиты крупно-ионные литофильные элементы (Rb, Sr и Ba) содержатся в более высоких концентрациях, нежели это типично для машакского уровня. Содержания названных элементов в глинистых породах других подразделений серии как несколько выше, так и несколько ниже, чем в машакских сланцах, и только тонкозернистые осадочные породы зигальгинской свиты имеют существенно более низкие, чем в породах машакской свиты, содержания литофилов. Коэффициенты концентрации переходных металлов в глинистых породах всех уровней юрматинской серии ниже, чем в аналогичных породах машакского уровня. В группе высокочargedных элементов содержания Zr и Hf на средних и верхних уровнях среднего рифея в целом несколько выше, чем в его подошве. Коэффициенты концентрации Nb, Y, Th и U снизу вверх по разрезу юрматинской серии практически не меняются. Только в глинистых сланцах зигальгинского и ушаковского уровней они существенно меньше 1,0. Также существенно ниже единицы K_u урана в тонкозернистых алюмосиликокластических породах ушаковского уровня. В группе РЗЭ наиболее близок к единице коэффициент концентрации в глинистых породах куткурского уровня. Для сланцев других подразделений типа среднего рифея он несколько ниже 1,0; для глинистых сланцев катакского, ушаковского и, особенно, зигальгинского уровня этот параметр варьирует от 0,6-0,7 ед. до 0,28-0,33. В породах последних из указанных уровней содержание скандия также заметно ниже, чем в глинистых сланцах машакской свиты. Коэффициент концентрации Cu максимален в глинистых породах ушаковской подсвиты авзянской свиты; несколько выше единицы он в породах зигальгинского и зигазино-комаровского уровней, а также малоинзерской подсвиты. Противоположная тенденция характерна для Zn. Ta и W вариаций снизу вверх по разрезу юрма-

Рис. 2. Коэффициенты концентрации различных микроэлементов в глинистых сланцах ряда литостратиграфических уровней юрматинской серии относительно тонкозернистых осадочных пород машакского уровня.

тинской серии не обнаруживают. Свинец в глинистых породах средних и верхних уровней среднего рифея присутствует в более высоких содержаниях, нежели это типично для машакской свиты: максимальные содержания характерны для тонкозернистых пород зигазино-комаровской свиты, тогда как в аналогичных образованиях зигальгинской свиты отмечается явный его дефицит. Вi во всех глинистых породах юрматинской серии содержится в более высоких количествах, нежели в глинистых сланцах машакского уровня; для Mn характерна противоположная тенденция. Коэффициенты концентрации Mo в глинистых породах всех уровней юрматиния, за исключением каташкинского и кутурского, близки к единице.

Для *верхнего рифея* выполнено нормирование на тонкозернистые алюмосиликокластические образования бирьянской подсвиты составов глинистых сланцев и аргиллитов нугушского ($z1_2$), бедерышинского ($z1_4$), катавского (kt), инзерского (in), миньярского (mn) и нижеуевского (uk_1) уровней. Среди литофильных элементов K_x рубидия для подавляющего большинства уровней каратавия (кроме катавского) меньше единицы (рис. 3). Минимальное его значение характерно для нижеуевского уровня, тогда как развитые здесь глинистые породы имеют максимальный K_x стронция. Для остальных литостратиграфических единиц верхнего рифея он либо несколько выше, либо несколько ниже 1,0. Распределение Ba характеризуется тенденцией к постепенному росту его K_x от нугушского уровня к катавскому, затем следует резкое падение (in), рост и вновь падение (uk_1). Среди переходных металлов Co и Ni обладают хорошо выраженной тенденцией к снижению вверх по разрезу каратауской серии коэффициентов их концентрации относительно тонкозернистых осадочных пород бирьянской подсвиты (для Co – от 1,45 до 0,89-0,94; для Ni – от 1,16 до 0,55 ед.). Сходное поведение характерно также для Cr и V, только в середине и конце зильмердакского времени коэффициенты их концентрации составляют несколько меньше единицы, затем становятся > 1,0, после чего снижаются примерно в два раза. Похожая эволюция снизу вверх по разрезу каратавия характерна и для высокозарядных элементов. Отличие здесь только в том, что максимальные величины K_x большинства элементов данной группы наблюдаются не только в глинистых сланцах и аргиллитах нугушского уровня (т.е. на достаточно низких

уровнях разреза серии), но и в аргиллитах миньярской свиты. Коэффициенты концентрации легких РЗЭ составляют выше 1,0 только в породах бедерышинской подсвиты и инзерской свиты. Аргиллиты нугушской подсвиты имеют примерно такие же, как и породы бирьянского уровня, содержания легких РЗЭ, тогда как глинистые породы нижеуевского уровня и миньярской свиты характеризуются K_x существенно ниже 1,0. Аргиллиты катавского уровня имеют близкие к глинистым сланцам бирьянской подсвиты содержания La, Ce, Pr и Nd, тогда как содержания остальных редкоземельных элементов в них почти в 4 раза ниже. Коэффициенты концентрации Sc в аргиллитах средней и верхней частей зильмердакской свиты меньше единицы, но постепенно растут и в глинистых породах катавской свиты $K_x = 1,12$, однако выше по разрезу каратауской серии мы вновь видим ошутимое его падение (вплоть до 0,54 на нижеуевском уровне). Для Cu такой четкой закономерности нет, тогда как коэффициенты концентрации Zn в тонкозернистых осадочных породах большинства уровней каратауской серии, за исключением нижеуевского, составляют > 1,0. Цезий присутствует в больших концентрациях, чем в глинистых сланцах бирьянского уровня, только в породах катавского уровня; сланцы всех других свит каратауской серии содержат его заметно меньше. Тантал и вольфрам в глинистых сланцах и аргиллитах всех постбирьянских уровней верхнего рифея имеют K_x заметно меньше единицы. Висмут, напротив, почти везде представлен большими содержаниями, нежели это типично для глинистых сланцев бирьянской подсвиты. Коэффициенты концентрации Pb в глинистых породах нугушско-инзерского интервала составляют менее 1,0, и только в аргиллитах миньярского и нижеуевского уровней наблюдаются более высокие содержания Pb. Содержания Mn в глинистых сланцах и аргиллитах нугушского, бедерышинского и инзерского уровней от полутора до трех раз превышают те, что характерны для глинистых пород бирьянского уровня; напротив, на катавском и миньярском уровнях они примерно в 2 раза ниже. Наконец, содержания Mo в тонкозернистых осадочных породах почти всех уровней каратавия ниже, чем это типично для базальных горизонтов серии, и только в аргиллитах миньярской свиты K_x этого элемента равен 1,11.

Попытаемся теперь, исходя из приведенных выше данных, установить черты сходства

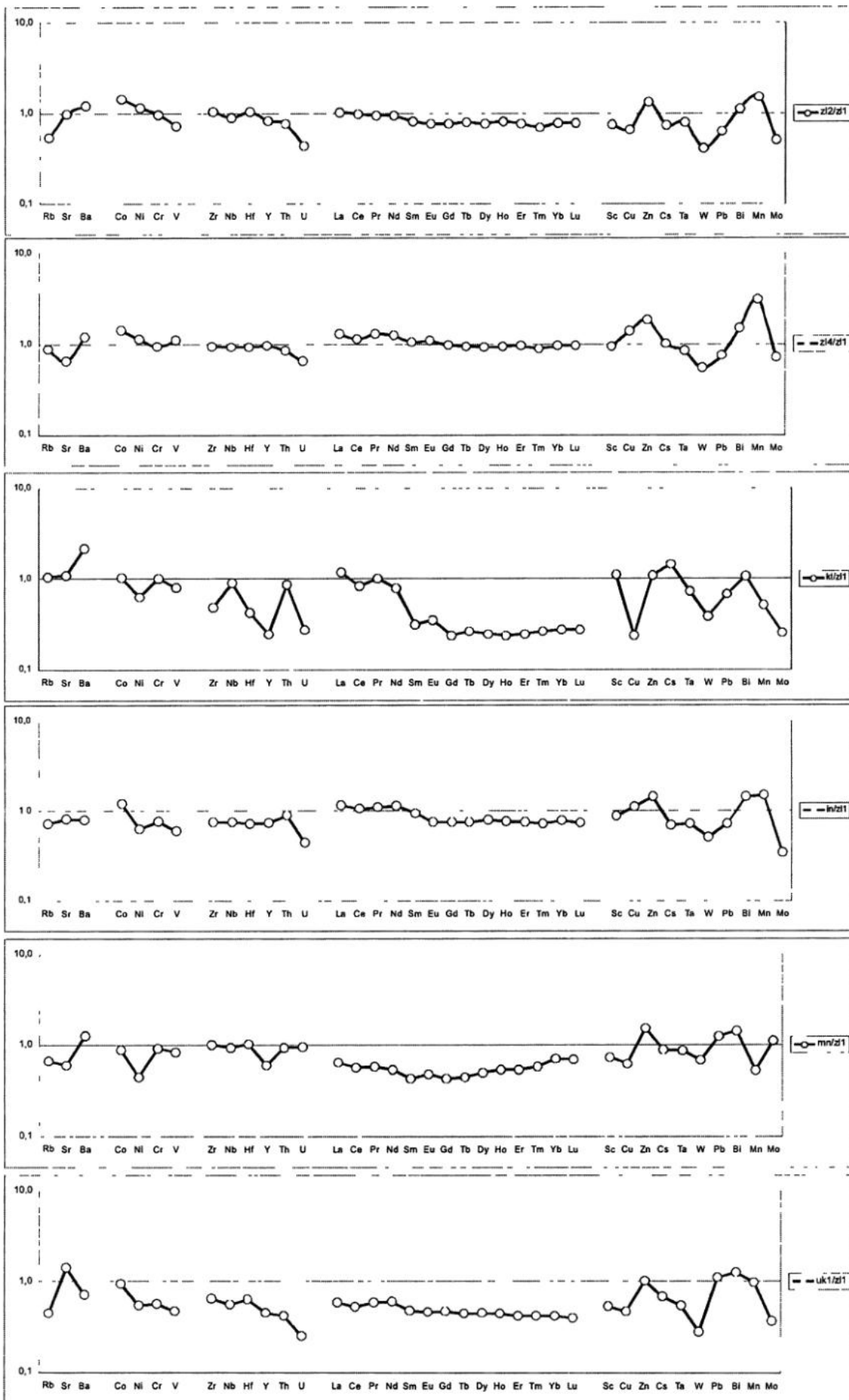


Рис. 3. Сопоставление кривых вариаций K_x литофильных и высокозарядных элементов, переходных металлов и РЗЭ в глинистых сланцах и аргиллитах различных литостратиграфических единиц каратауской серии.

и различия между тонкозернистыми осадочными породами нижнего, среднего и верхнего рифея.

Глинистые сланцы средних уровней бурзяния несколько отличаются от аналогичных пород нижнего подразделения айской свиты: 1) на нижнекусинском уровне большинство рассматриваемых мною элементов присутствуют в несколько меньших концентрациях (K_x составляют в среднем $\sim 0,7-0,9$ ед.); в сопоставимых количествах представлены здесь Ba, Cr, Nb, Th, часть легких РЗЭ, Gd, Sc, Zn и Ta, и только для Rb и Cs K_x немного больше 1,0; 2) глинистые породы половинкинской подсвиты саткинской свиты характеризуются повышенными против тонкозернистых пород основания айской свиты содержаниями Co, легких РЗЭ, Cu, Zn, Cs, Pb, Bi, Mn и Mo. Содержания же всех литофильных элементов, Hf, Y, U, большинства тяжелых РЗЭ и W в них выше $K_x = 1,0$ ед. Составы глинистых сланцев бакальской свиты весьма сходны с составом тонкозернистых осадочных пород базальных уровней серии. Единственными отличиями для сланцев макаровской подсвиты являются повышенные содержания Th, Cu, Zn, W, Pb, Mn и Mo и несколько пониженные содержания Cr, Y и U. Глинистые породы мало-бакальской подсвиты имеют в своем составе несколько меньше Cr, Zr, Hf, U и Pb; резко меньше, чем в сланцах основания айской свиты, в них стронция, а K_x для Cu, Mo и Mn составляют, соответственно, 4,33, 3,39 и 11,68. Можно видеть, что снизу вверх по разрезу бурзянской серии в составе глинистых сланцев увеличились содержания Cu, Pb, Mn и Mo.

Тонкозернистые алюмосиликокластические породы юрматинской серии принадлежат, исходя из степени подобия их составов составу глинистых сланцев машакской свиты, двум группам. К первой группе относятся глинистые сланцы зигазино-комаровской свиты, а также малоинзерской и куткурской подсвит авзянской свиты, состав которых достаточно близок к составу сланцев базальных уровней юрматиния. Вторую группу образуют тонкозернистые осадочные породы, заметно отличающиеся по со-

ставу от сланцев машакской свиты. Так, например, коэффициенты концентрации подавляющего большинства микроэлементов в глинистых породах малоинзерской подсвиты варьируют в пределах 0,85-1,1 и только цезий, свинец и висмут имеют здесь заметно более высокие содержания. Резко понижено в сланцах на данном уровне содержание марганца. В качестве примера пород второй группы могут быть взяты глинистые сланцы катаскинской подсвиты. В них содержания литофильных элементов несколько выше, чем в сланцах машакского уровня, K_x переходных металлов заметно ниже 1,0. Содержания высокозарядных элементов варьируют около значения 1,0, тогда как практически для всех РЗЭ, за исключением Tm, Yb и Lu, они составляют примерно 0,0-0,7 ед. Существенно ниже единицы в сланцах этого уровня K_x меди, цинка, марганца и молибдена, резко выше единицы содержания Bi. Интересно, что кривые вариаций K_x для сланцев малоинзерской и куткурской подсвит авзянской свиты практически совпадают. Довольно похожи кривые для глинистых пород зигазино-комаровской свиты и катаскинской подсвиты.

Резюмируя сказанное, можно отметить, что в разрезе юрматинской серии наблюдается чередование глинистых сланцев, составы которых заметно отличались или были достаточно сходны с составом тонкозернистых осадочных пород машакской свиты – базального подразделения юрматиния. Таких циклов здесь три полных ($msh \Rightarrow zg, zk \Rightarrow av_1, av_2 \Rightarrow av_3$) и один незавершенный ($av_4 \Rightarrow ?$).

В разрезе каратауской серии глинистые сланцы нугушской и бедерышинской подсвит весьма сходны с тонкозернистыми терригенными породами бирьянской подсвит зильмердакской свиты. Единственными отличиями их являются: 1) для нугушского уровня – заметно более низкие содержания Rb, V, U, W и Mo и повышенные содержания Co, Zn и Mn; 2) для бедерышинского уровня – низкие содержания Sr, U, W и Mo и повышенные – Co, Cu, Zn, Bi и Mn. Глинистые сланцы катавского уровня имеют по сравнению с породами базального под-

разделения каратауской серии K_k ниже 1,0 для Ni, Zr, Hf, Y, U, практически всех РЗЭ, Cu, Ta, W, Pb, Mn и Mo; $K_k > 1,0$ здесь характерен только для Ba и Cs (см. рис. 3). Глинистые сланцы инзерской свиты отличаются от тонкозернистых терригенных пород бирьянской подсвиты меньшими чем 1,0 коэффициентами концентрации для всех литофильных элементов и переходных металлов (за исключением Co). Содержания высокочarged элементов, за исключением тория, в них также ниже. Содержания легких РЗЭ несколько превышают величину $K_k = 1,0$, а средних и тяжелых несколько ниже нее. Выше, чем на бирьянском уровне, здесь содержания Zn, Bi и Mn, заметно ниже – Cs, Ta, W и Pb. Аргиллиты миньярской свиты содержат Cr, V, Zr, Nb, Hf, Th, U Cs и Ta в примерно сопоставимых со сланцами бирьянского уровня значениях. Меньше в них Rb, Sr, Ni, Y, всех РЗЭ, Sc, Cu, W и Mn. И только для бария, цинка, свинца и висмута коэффициенты концентрации превышают значение 1,0. Наконец, в аргиллитах нижеульской подсвиты содержания большинства из рассмотренных нами элементов существенно ниже, чем в тонкозернистых осадочных породах бирьянского уровня; только коэффициенты концентрации стронция и висмута здесь несколько выше 1,0. Наиболее показательными особенностями глинистых сланцев средних и верхних уровней каратавия являются пониженные, относительно тонкозернистых осадочных пород бирьянской подсвиты, содержания урана и вольфрама и повышенные – цинка и висмута; для ряда уровней (за исключением катавского и миньярского) типичны также более высокие, чем в породах бирьянской подсвиты, содержания марганца.

Все сказанное выше показывает существование в разрезах седиментационных серий типа рифея глинистых сланцев и аргиллитов, имеющих составы как близкие к составу тонкозернистых осадочных пород базальных горизонтов серий, так и заметным образом от них отличающиеся. Показательно, что глинистые сланцы бурзянской серии имеют в целом больше черт сходства, тогда как тонкая алюмосиликоккластика каратавия наиболее варьируема по своему составу. Объяснений этому может быть несколько, и одним из них является существенно меньшая площадь Бакало-Саткинского района, где выполнен отбор всех образцов глинистых пород нижнего рифея, по сравнению с тер-

риторией отбора проб тонкозернистых осадочных пород каратавия, сопоставимой с площадью всего Башкирского мегантиклинория. В последнем случае степень возможных вариаций состава и расположения различных типов пород и их ассоциаций в источниках сноса должна быть значительно выше, чем в первом. Однако правомерность данного предположения могут подтвердить или опровергнуть только работы с более представительным банком региональных данных.

Анализируя содержания и коэффициенты концентрации малых элементов в тонкозернистых алюмосиликластических породах рифея Башкирского мегантиклинория, можно также предполагать отсутствие какого-либо ярко выраженного, «выравнивающего все» эффекта литогенетических трансформаций на, по крайней мере, породы юрматинской и каратауской серий.

Исследования по данной теме выполнены при финансовой поддержке гранта «Ведущие научные школы» (НШ-85.2003.5).

Список литературы

- Маслов А.В. Петрогенные и малые элементы в глинистых сланцах нижнего рифея северо-востока Башкирского мегантиклинория (опыт нормировки составов сланцев на PAAS и NASC) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 245-252.
- Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В. Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера. 2002. № 2. С. 54-95.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Том 1. 351 с.
- Мигдисов А.А., Балашов Ю.А., Шарков И.В. и др. Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789-803.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Rock N.M., Webb J.A., McNaughton N.J. et al. Nonparametric estimation of averages and errors for small datasets in isotope geoscience: a proposal // Chem. Geol. 1987. V. 66. P. 163-177.