

НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД РАЗЛИЧНЫХ ЛИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ И КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА (ОПЫТ СОПОСТАВЛЕНИЯ)

© 2009 г. А. В. Маслов

Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
e-mail: maslov@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 04.05.2005 г.

Рассмотрены некоторые геохимические особенности тонкозернистых пород (алевроаргиллиты, глинистые сланцы) коррелируемых между собой литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена (айская и прикамская, бакальская и надеждинская, авзянская и ольховская свиты, а также бирьянская подсвита зильмердакской свиты, усинская свита и др.). Показано достаточно заметное сходство микроэлементного состава тонкозернистых терригенных пород различных литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена. Установлено отсутствие кардинальных различий абсолютных содержаний большинства элементов-примесей в породах рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, в различной степени преобразованных процессами литогенеза.

Ключевые слова: *рифей, Башкирский мегантиклинорий, Камско-Бельский авлакоген, тонкозернистые обломочные породы, геохимия.*

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы сопоставления рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена с типовыми разрезами рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала) в конце XX в. были в достаточной степени решены на основе комплексного использования историко-геологических, литологических, изотопно-геохронологических и палеонтологических данных [50]. Вместе с тем, в данной области все еще существует ряд вопросов, не находящихся пока удовлетворительного объяснения. Так, например, в последние годы вновь появились разночтения в казалось бы устоявшемся понимании стратиграфической позиции калтасинской свиты, нет единства в оценке возраста усинской свиты [6, 22, 47] и др. В связи со сказанным, актуален поиск независимых инструментов сопоставления различных литостратиграфических подразделений обоих регионов, одним из которых может выступать анализ литогеохимических особенностей тонкозернистых терригенных пород. Целью настоящей работы являлось сопоставление микроэлементного состава глинистых сланцев и алевроаргиллитов различных литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена и установление присущих им черт сходства и различия, которые могли бы быть использованы для верификации существующих корреляционных схем.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ И КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА

Рифейские осадочные последовательности **Башкирского мегантиклинория** объединяются в три крупные седиментационные серии – бурзянскую, юрматинскую и каратаускую, являющиеся соответственно типовыми подразделениями нижнего, среднего и верхнего рифея в пределах Северной Евразии [49, 51].

Бурзянская серия (мощность до 5000–6500 м) включает айскую, саткинскую и бакальскую свиты. Нижнее подразделение *айской свиты* объединяет в основном грубообломочные породы – конгломераты, гравелиты, грубо- и крупнозернистые аркозовые и граувакково-аркозовые песчаники, алевролиты и ассоциирующие с ними в ряде разрезов основные вулканиты. В верхней части свиты (кисеганская и сунгурская подсвиты М.И. Гарая [7]) преобладают темноокрашенные глинистые сланцы. Мощность айской свиты составляет 1700–2500 м. *Саткинская свита* сложена в основном доломитами и известняками; глинистые сланцы наблюдаются в ее разрезах в виде маломощных, достаточно редких прослоев. Примерно в средней части свиты присутствует толща глинистых и низкоуглеродистых глинистых сланцев с редкими маломощными прослоями алевролитов и карбонатных пород (половинкинская подсвита, ~200 м). Мощность сат-

кинской свиты достигает 3500 м. *Бакальская свита* представлена низкоуглеродистыми глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками, доломитами и известняками. В нижней ее части (макаровская подсвита, до 650 м) преобладают низкоуглеродистые глинистые сланцы, среди которых иногда присутствуют алевролиты и известняки, тогда как в верхней части (малобакальская подсвита, ~1000 м) наблюдается чередование существенно карбонатных и существенно терригенных пачек (всего 10) мощностью до 100–200 м. Pb-Pb возраст известняков верхней части саткинской свиты (карагайский горизонт) составляет 1550 ± 30 млн. лет [19]. Возраст раннего диагенеза известняков березовской пачки малобакальской подсвиты составляет 1430 ± 30 млн. лет (Pb-Pb метод) [18]. Изотопный U-Pb возраст долеритов Главной дайки Бакальского рудного поля, прорывающей и метаморфизирующей отложения бакальской свиты бурзянской серии, но не оказавшей воздействия на перекрывающие породы зигальгинской свиты юрматинской серии, равен 1385.3 ± 1.4 млн лет [59].

Юрматинская серия среднего рифея залегает с перерывом и угловым несогласием на бурзянской и объединяет машакскую, зигальгинскую, зигазинокомаровскую и авзянскую свиты. *Машакская свита* (1600–3000 м) сложена конгломератами, мелко- и среднезернистыми кварцевыми и литокласто-кварцевыми песчаниками, алевролитами, а также metabазальтами и металипаритами. В средней части свиты присутствует примерно 200-метровая толща низкоуглеродистых глинистых сланцев (быковская подсвита). *Зигальгинская свита* (100–600 м) объединяет мономинеральные кварцевые песчаники и алевролиты с маломощными прослоями глинистых сланцев и, редко, конгломератов. *Зигазинокомаровская свита* (750–1500 м) представлена в основном темноцветными алевроито-глинистыми породами с прослоями песчаников, известняков и доломитов. *Авзянская свита* (1600–2300 м) складывается известняками, доломитами, мелкозернистыми кварцевыми и полевошпато-кварцевыми песчаниками, алевролитами, а также глинистыми сланцами и низкоуглеродистыми разновидностями последних. Кислые вулканиты (дациты), залегающие в нижней части разреза машакской свиты, имеют по цирконам изотопный U-Pb возраст 1370 ± 16 млн. лет [48].

Каратауская серия верхнего рифея (4500–5500 м) с размывом и угловым несогласием залегает на юрматинской и включает в типовых разрезах западного крыла и центральных районов мегантиклинория зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты [32, 51]. *Зильмердакская свита* объединяет четыре подсвиты, из которых нижняя (бирьянская) представлена преимущественно аркозовыми и субаркозовыми песчаниками, алевролитами и конгломератами, а третья снизу, лемезин-

ская, сложена преимущественно кварцевыми песчаниками. *Катавская свита* объединяет пестроцветные тонкополосчатые глинистые известняки и мергели с редкими прослоями красноцветных глинистых сланцев и флейкстоунов. *Инзерская свита* (до 1000 м) представлена преимущественно мелкозернистыми глауконито-кварцевыми песчаниками, известняками, алевролитами и глинистыми сланцами. *Миньярская свита* сложена доломитами и доломитизированными известняками (как хемогенными, так и фитогенными); прослой глинистых сланцев и алевроаргиллитов встречаются в ее разрезах крайне редко. *Укская свита* объединяет в верхней части карбонатные (преимущественно известняки), а в нижней – терригенные (кварц-глауконитовые песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты и глинистые сланцы) образования.

Изотопный K-Ag возраст минералогически неизученного глауконита из верхней части катавской свиты составляет 970–938 млн. лет [8, 51]. Известняки подинзерских слоев инзерской свиты имеют Pb-Pb изотопный возраст 836 ± 25 млн. лет, а средневзвешенное значение возраста доломитов миньярской свиты составляет, по данным того же метода, 778 ± 80 млн. лет [40]. Возраст диагенеза погружения для аргиллитов инзерской свиты составляет 805–835 млн лет (Rb-Sr метод по аутигенному иллиту) [39]. Возраст глауконита из песчаников нижеукской подсвиты равен 688 ± 10 млн. лет (K-Ag метод), а изохронный возраст Al-разности глауконита (Rb-Sr метод) – 670 ± 10 млн. лет [10]. Для Al-разности глауконита из этого же уровня Rb-Sr методом получен также возраст 664 ± 11 млн. лет [11].

В *Камско-Бельском авлакогене* (прогибе) рифей также представлен всеми тремя эратемами [16, 22, 43, 44, 46, 47; 50]. К нижнему рифею относятся кыргинская серия, объединяющая прикамскую (актанышскую и можаровскую, по [47]), калтасинскую и надеждинскую свиты. *Прикамская свита* залегает на глубоко размытых породах кристаллического фундамента и сложена серыми и розовато-серыми, преимущественно мелко- и среднезернистыми кварцевыми, кварц-полевошпатовыми и аркозовыми песчаниками, темноцветными алевроаргиллитами и алевролитами, конгломератами и гравелитами. Мощность свиты достигает в ряде разрезов 2000 м и более. *Калтасинская свита* (60–3500 м) представлена различными типами карбонатных пород (преимущественно доломитами) при подчиненной роли тонкозернистых терригенных образований; последние тяготеют преимущественно к средней части свиты (арланская подсвита). *Надеждинская свита* (150–730 м) объединяет пестроцветные песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты с прослоями гравелитов и конгломератов; в верхней ее части преобладают тонкозернистые терригенные и карбонатно-терригенные отложения.

Серафимовская серия юрматиния залегает на отложениях нижнего рифея трансгрессивно и представлена тукаевской и ольховской свитами¹ [16, 28, 45, 47]. *Тукаевская свита* (до 630 м) объединяет пестроцветные аркозовые, полевошпато-кварцевые и близкие к ним по составу песчаники; глинистые сланцы и алевролиты играют в разрезах свиты подчиненную роль. *Ольховская свита* (340–840 м) включает в верхней части пестроцветные алевроаргиллиты, мергели, алевролиты и доломиты. Нижняя часть свиты (акбердинский горизонт) сложена темноцветными алевролитами и глинистыми сланцами.

Абдулинская серия каратавия включает усинскую, леонидовскую, приютовскую и шиханскую свиты, и залегает с разрывом на средне- и нижнерифейских отложениях, а в ряде мест перекрывает кристаллический фундамент. *Усинская свита* (45–400 м) сложена пестро- и сероцветными полевошпато-кварцевыми и аркозовыми песчаниками, алевролитами и алевроаргиллитами. *Леонидовская свита* (мощность от 57 до 1300 м) представлена пестро- и сероцветными кварцевыми песчаниками с каолиновым цементом. *Приютовская свита* (от 76 до 676 м) объединяет пестроцветные глинистые сланцы, алевролиты, мергели, доломиты, песчаники и терригенно-карбонатные породы. *Шиханская свита* (мощность от 0 до 360 м) представлена серо-, зелено- и красноцветными глинистыми и строматолитовыми известняками, доломитами и мергелями.

Прикамская свита (или подсерия) коррелируется с айской свитой западного склона Южного Урала, калтасинская – с саткинской, а надеждинская и ее инофациальный аналог – кабаковская свита, имеющие локальное распространение, с определенной долей условности соотносятся с бакальской свитой Башкирского мегантиклинория [47, 50 и др.]. Тукаевская свита рассматривается как аналог зигальгинской свиты Южного Урала, акбердинский горизонт параллелизуется с зигазино-комаровской свитой, а ольховская свита – с авзянской [50, 51]. Усинская свита абдулинской серии может быть сопоставлена, по данным приведенным в работе [47], с бирьянской подсвитой зильмердакской свиты верхнего рифея Башкирского мегантиклинория. Леонидовская, приютовская и шиханская свиты, по данным литологических исследований и сейсмопрофилирования, скоррелированы, соответственно, с лемезинской и бедерышинской подсвитами зильмердакской свиты и с катавской свитой [28, 47].

Традиционно (преимущественно исходя из данных минералого-петрографических исследований) считается, что формирование отложений рифея

Камско-Бельского авлакогена происходило во время трансгрессий моря со стороны Урала², а основными источниками обломочного материала выступали Альметьевский, Бузулукский и Жигулевско-Пугачевский блоки Средневожского мегаблока Русской платформы, сложенные преимущественно архейскими осадочно-вулканогенными комплексами отраденской и большечеремшанской серий, ассоциирующими с гранитоидами и габбро-норит-анортозитовыми массивами [1, 4, 13, 14, 17, 20, 22, 41, 42, 47], а также раннепротерозойскими осадочно-вулканогенными образованиями сармановской, воронцовской и кукморской серий, гранитоидами, в том числе калиевыми, и ультраметагенными комплексами [5].

В типовом разрезе рифея конгломераты, по составу галек которых можно судить о составе пород в областях размыва, известны в нижних частях всех трех осадочных серий. В конгломератах нижнерифейской айской и верхнерифейской зильмердакской свит установлены гальки и валуны кварцитов и кварцито-песчаников, кварцевых, полевошпато-кварцевых и граувакково-аркозовых кварцитовидных песчаников, кварцевых порфиров, а также blastomylonites, двуполевошпатовых мигматитов, амфиболовых и микроклиновых гранитов, железистых кварцитов и измененных основных эффузивов; изредка встречаются гальки окварцованных кислых эффузивов [9, 21, 23, 55]. Конгломераты среднерифейской машакской свиты сложены преимущественно кварцито-песчаниками, в резко подчиненном количестве встречаются обломки филлитовидных сланцев и основных эффузивов [3]. На диаграмме Q_mFL_t [57] точки псаммитов айской и зильмердакской свит локализованы в поле внутренних частей кратона. Псаммиты среднего рифея образованы, по всей видимости, вследствие размыва выложенных зон кратонов, подвергшихся интенсивному химическому выветриванию. Существенную роль при этом играло, вероятно, и неоднократное переотложение обломочного материала в шельфовых обстановках. Песчаники машакского уровня среднего рифея, а также бедерышинского и инзерского уровней каратавия образованы в основном за счет размыва рециклированных орогенов, т.е. являются продуктами разрушения минералогически достаточно зрелых осадочных и осадочно-метаморфических пород.

Оценки **Nd модельного возраста тонкозернистых терригенных пород типа рифейских** дают возможность предполагать, что на всем протяжении рифея основным источником поступавшей в область сочленения Русской платформы и Южно-

¹ Позднее указанные названия изменены В.А. Романовым и М.В. Ишерской [46, 47], соответственно, на новокипчакскую и демскую.

² Некоторыми исследователями в последнее время эти представления подвергаются сомнению.

го Урала алюмосиликокластики являлась, по всей видимости, рециклированная в раннем протерозое верхняя кора Средневожского мегаблока [37].

По данным Л.В. Анфимова [2], отложения айско-зигальгинского интервала стратотипического разреза рифея Башкирского мегантиклинория подверглись постседиментационным изменениям, соответствующим глубинному/позднему катагенезу, а местами затронуты метакатагенезом; отложения зигаино-комаровской, авзянской и зильмердакской свит изменены на уровне глубинного/позднего катагенеза, а более молодые образования претерпели позднекатагенетические изменения, но в них присутствуют и реликты раннего катагенеза. Изменения верхне- и среднерифейских отложений Камско-Бельского авлакогена отвечают низам раннего–верхам позднего катагенеза ($МК_1$ – $МК_2$), при этом максимальные преобразования отложений юрматиния соответствуют градации катагенеза $МК_3$ [12]. Средне- и нижнерифейские отложения авлакогена также преобразованы на уровне позднего катагенеза, но градации катагенеза в них несколько выше ($МК_3$ – $МК_4$).

ОБРАЗЦЫ И АНАЛИТИКА

При подготовке настоящей работы использовано более 50 случайным образом отобранных образцов алевроаргиллитов, глинистых сланцев и мелкозернистых алевролитов из коллекции М.В. Ишерской (г. Уфа). Проанализированная выборка представляет отложения рифея преимущественно центральной и западной частей Камско-Бельского авлакогена (скважины Северо-Кушкуль 1, Кабаково 62, Шкапово 740, Кипчак 1, Мензелино-Актаныш 20005 и 203, Арлан 7000 и Сулли 20007).

Выборка образцов глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея Башкирского мегантиклинория (более 70 образцов) охватывает наиболее известные естественные разрезы всех трех седиментационных серий стратотипа (окрестности гг. Куса, Миньяр, Катав-Ивановск, Бакал, Сатка, поселков Инзер, Тузан, Верх. Авзян и ряд др.).

Определение содержаний основных петрогенных оксидов выполнено в ИГГ УрО РАН рентгенофлуоресцентным методом на СРМ-18 (аналитики Н.П. Горбунова, Г.М. Ятлук, Г.С. Неупокоева, В.П. Власов). Определение содержаний элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Камско-Бельского авлакогена выполнено методом ICP-MS в лаборатории ФХМА ИГГ УрО РАН (аналитики Е.С. Шагалов и И.И. Неустроева). Этим же методом под руководством Ю.Л. Ронкина в ИГГ УрО РАН выполнено определение содержаний элементов-примесей для более 70 образцов глинистых сланцев и алевроаргиллитов эталона рифея (аналитики О.П. Лепихина и О.Ю. Попова).

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Петрохимические особенности тонкозернистых терригенных пород рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена рассмотрены нами ранее [29, 31, 33, 34, 37], что позволяет далее остановиться только на самых общих моментах. По соотношению таких основных петрогенных оксидов, как SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и K_2O , обе проанализированные нами выборки достаточно сопоставимы друг с другом и на диаграмме М. Хиррона [58] образуют компактные поля в областях собственно сланцев и вакк (рис. 1).

На диаграмме НКМ–ФМ [54] тонкозернистые терригенные породы рифея обоих структур характеризуются несколькими различной локализацией (рис. 2а). Так, точки составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея Башкирского мегантиклинория сосредоточены в основном в полях преимущественно монтмориллонитовых глин с примесью каолинита и гидрослюд, хлорит-гидрослюдистых, хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистых и гидрослюдистых глин с существенным количеством тонкозернистых полевых шпатов. Алевроаргиллиты и глинистые сланцы рифея Камско-Бельского прогиба сложены преимущественно хлоритом, монтмориллонитом и гидрослюдой или же представляют собой существенно гидрослюдистые глины со значительным количеством дисперсных частиц полевых шпатов; на диаграмме НКМ–ФМ они занимают в основном поля V и VI (рис. 2б).

Некоторое различие исходного минерального состава тонкозернистых терригенных пород рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена фиксируется и по положению полей составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов на диаграмме K/Al – Mg/Al [61] (рис. 3). Точки составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов типового разреза рифея сосредоточены здесь в основном вокруг модельного состава иллита, иллита и калиевого полевого шпата, а также иллита и каолинита. В этой же области сосредоточена примерно половина точек составов тонкозернистых терригенных образований рифея Камско-Бельского авлакогена, другая же половина образцов данной выборки характеризуется более высокими значениями отношений Mg/Al и K/Al , что предполагает присутствие в исходном составе алевроаргиллитов заметной доли хлорита и тонкозернистых калиевых шпатов. Последнее вполне понятно, если иметь в виду, что доминирующим источником тонкой алюмосиликокластики для осадочного выполнения Камско-Бельского авлакогена являлись относительно слабо преобразованные процессами химического выветривания и рециклинга породы фундамента восточного сегмента Восточно-Европейской платформы [30].

Таким образом, сравниваемые далее по абсолютному содержанию и соотношению различных

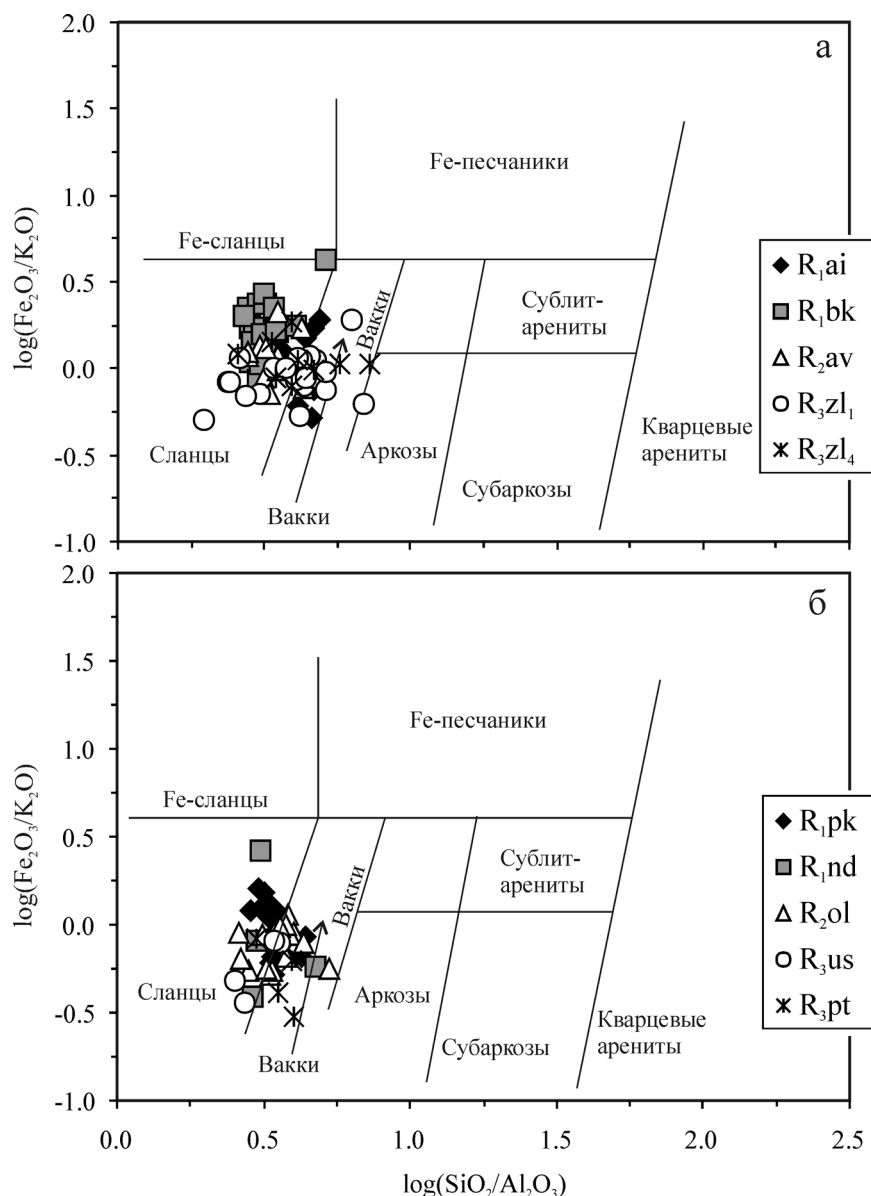


Рис. 1. Положение фигуративных точек составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея на диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (а – Башкирский мегантиклинорий, б – Камско-Бельский авлаоген).

Свиты и подсвиты: R₁ai – айская, R₁bk – бакальская, R₂av – авзянская, R₃zl₁ – бирьянская, R₃zl₄ – бедерышинская, R₁pk – прикамская, R₁nd – надеждинская, R₂ol – ольховская, R₃us – усинская, R₃pt – приютовская.

элементов-примесей тонкозернистые терригенные породы различных литостратиграфических единиц разрезов рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлаогена в значительной степени сопоставимы по своим литохимическим и минералогическим характеристикам.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Сопоставление геохимических особенностей состава тонкозернистых терригенных пород коррелируемых подразделений различных седимен-

тационных серий рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлаогена далее проведено по нескольким направлениям. Это, во-первых, сопоставление абсолютных концентраций ряда элементов-примесей (Nb, Pb, U, Zr, Th, Sr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ni, Cr и V, т.н. “короткий спектр”). Во-вторых, сопоставление содержаний более широкого спектра элементов-примесей, в состав которого кроме перечисленных выше элементов входят также Be, Mn, Co, Cu, Zn, Ga, Mo, Cs, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Hf, W и Bi, т.н. “длинный спектр”). В-третьих, нами выполнено сопоставление медианных значе-

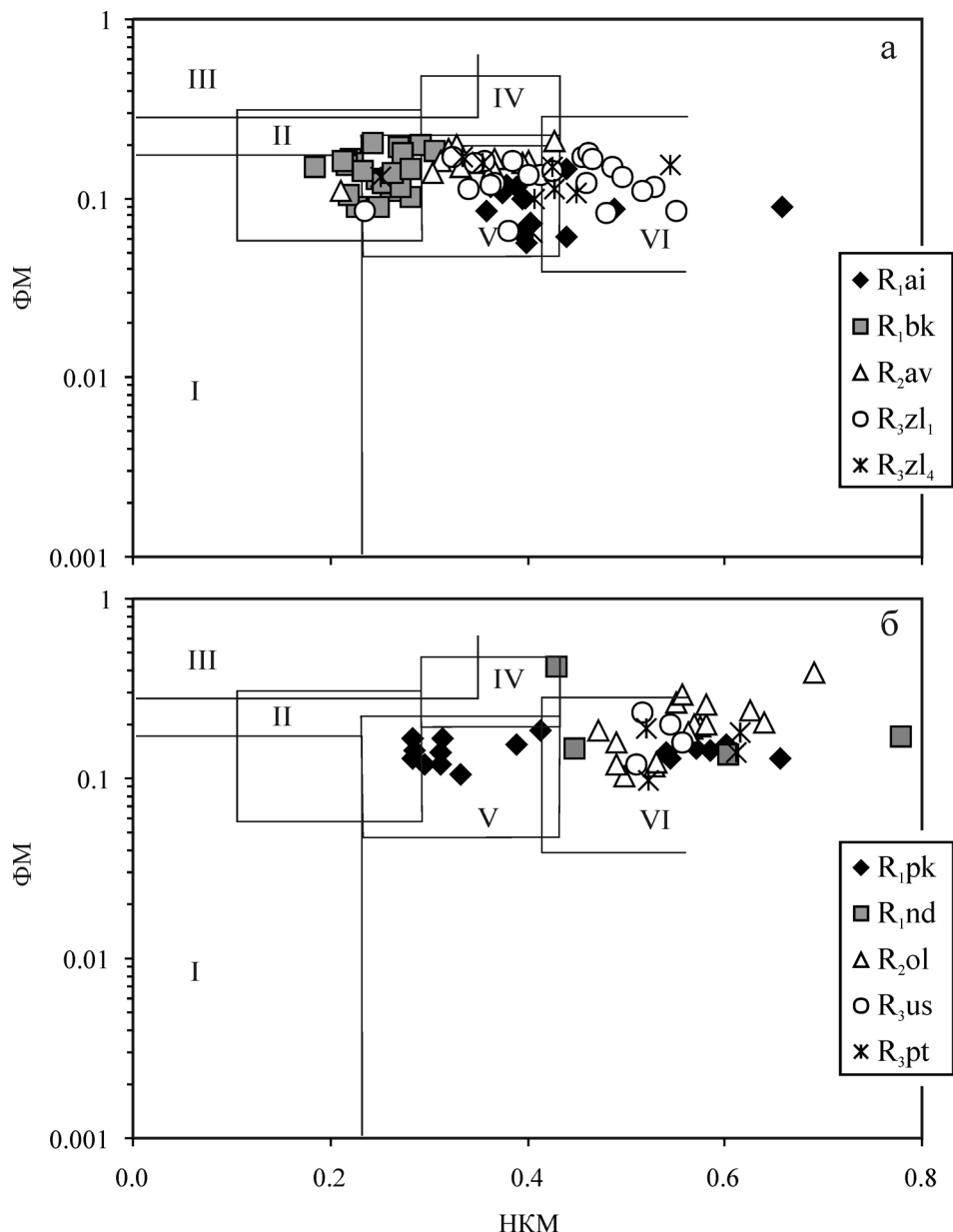


Рис. 2. Положение фигуративных точек составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея на диаграмме НКМ–ΦМ (а – Башкирский мегантиклинорий, б – Камско-Бельский авлакоген).

Поля глинистых пород: I – преимущественно каолинитовых, II – преимущественно монтмориллонитовых с примесью каолинита и гидрослюда, III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюд, IV – хлорит-гидрослюдистых, V – хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистых, VI – гидрослюдистых со значительным количеством дисперсных частиц полевых шпатов. Остальные условные обозначения см. рис. 1.

ний³, присущих тонкозернистым терригенным образованиям коррелируемых литостратиграфических единиц обоих регионов, различных индикаторных отношений элементов-примесей (Th/Sc,

³ В настоящей работе, как и ранее, при анализе ограниченных по объему аналитических выборок, мы используем медианные значения содержаний и отношений тех или иных элементов-примесей, так как данный статистический параметр позволяет дать обобщенную оценку выборок с неизвестным характером распределения [52, 60].

Th/Cr, La/Sc, Co/Hf, Ce/Cr, La/Sm) и основных параметров спектров нормированных на хондрит редкоземельных элементов (La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N и Eu/Eu^*). И, в-четвертых, проведено нормирование содержания Nb, Pb, U, Zr, Th, Sr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ni, Cr и V в частных образцах тонкозернистых терригенных пород различных уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена на содержания их в базальтах и гранитах, а также выполнен анализ полученных данных.

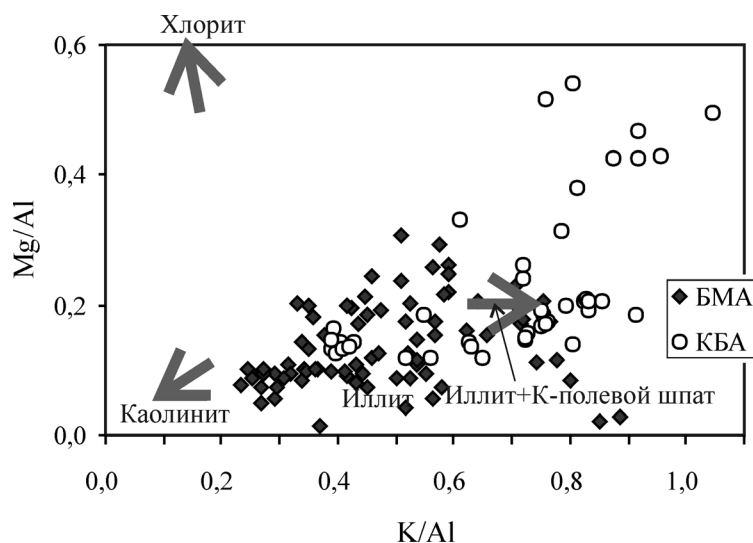


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея на диаграмме K/Al–Mg/Al (БМА – Башкирский мегантиклинорий, КБА – Камско-Бельский авлаоген).

Сопоставление “коротких спектров”

Айская и прикамская свиты нижнего рифея представлены в проанализированных нами выборках, соответственно, 6 и 11 образцами. Сопоставление абсолютных содержаний в них “короткого спектра” элементов-примесей показывает следующее.

В глинистых сланцах айской свиты содержания от 100 до 1000 г/т во всех исследованных образцах характерны для Zr, Rb, Ba и Cr (рис. 4а). В двух из 6 проанализированных образцов данного литостратиграфического подразделения содержания V и Ce также превышают 100 г/т. Содержания от 10 до 100 г/т характерны для Nb, Th, Sr, La, Sc, Y и Ni, тогда как во всех 6 образцах концентрации Pb и U меньше 10 г/т.

Во всех 11 образцах алевроаргиллитов прикамской свиты только Zr и Ba имеют абсолютные содержания больше 100 г/т. Примерно в половине образцов содержания Cr и V также превышают указанный уровень. Содержания U во всех исследованных образцах меньше 10 г/т; примерно в половине образцов аналогичные концентрации присущи также Pb, Th, Sc и Y (рис. 4б).

В целом же “короткие спектры” абсолютных содержаний элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах айской и прикамской свит, на наш взгляд, достаточно сопоставимы.

Бакальская и надеждинская свиты нижнего рифея представлены в нашей коллекции, соответственно, 7 и 4 образцами глинистых сланцев и алевроаргиллитов. Абсолютные содержания Zr, Rb, Ce, Ba и Cr во всех 7 образцах глинистых сланцев бакальской свиты превышают 100 г/т (рис. 4в). Также во всех проанализированных образцах содержания Nb, Th, Sr, La, Sc, Y и Ni варьируют в интерва-

ле от 10 до 100 г/т. Абсолютные содержания U во всех образцах глинистых сланцев бакальской свиты из нашей коллекции составляют менее 10 г/т, тогда как содержания Pb в ряде образцов больше, а в ряде – меньше, чем 10 г/т.

Среди алевроаргиллитов надеждинской свиты только Ba во всех проанализированных образцах присутствует в количестве более 100 г/т (рис. 4г). Абсолютные содержания Zr, Cr и V в алевроаргиллитах как несколько больше, так и несколько меньше 100 г/т. В интервал 10–100 г/т во всех проанализированных нами образцах попадают Sr, La, Ce, Y и Ni; в трех из четырех проанализированных образцов содержание Pb также выше 10 г/т. Абсолютное содержание U во всех образцах ниже 10 г/т, тогда как для Nb, Th и Sc установлены как более низкие, чем 10 г/т, так и более высокие содержания.

Исходя из сказанного выше, “короткие спектры” элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах бакальской и надеждинской свит также вполне сопоставимы друг с другом.

Авзянская и ольховская свиты среднего рифея представлены в проанализированной нами коллекции, соответственно, 8 и 13 образцами. В подавляющем большинстве образцов глинистых сланцев авзянской свиты Башкирского мегантиклинория абсолютные содержания Zr, Rb, Ba и Cr составляют более 100 г/т (рис. 5а). Содержания в интервале между 10 и 100 г/т характерны для Nb, Th, Sr, La, Ce, Sc, Y, Ni и V; в то же время в отдельных образцах содержания Sr и V превышают 100 г/т. Содержания U во всех образцах глинистых сланцев авзянской свиты меньше 10 г/т, а для Pb можно видеть как большие, так и меньшие указанного уровня концентрации.

В алевроаргиллитах ольховской свиты только для Ba в подавляющем большинстве проанализи-

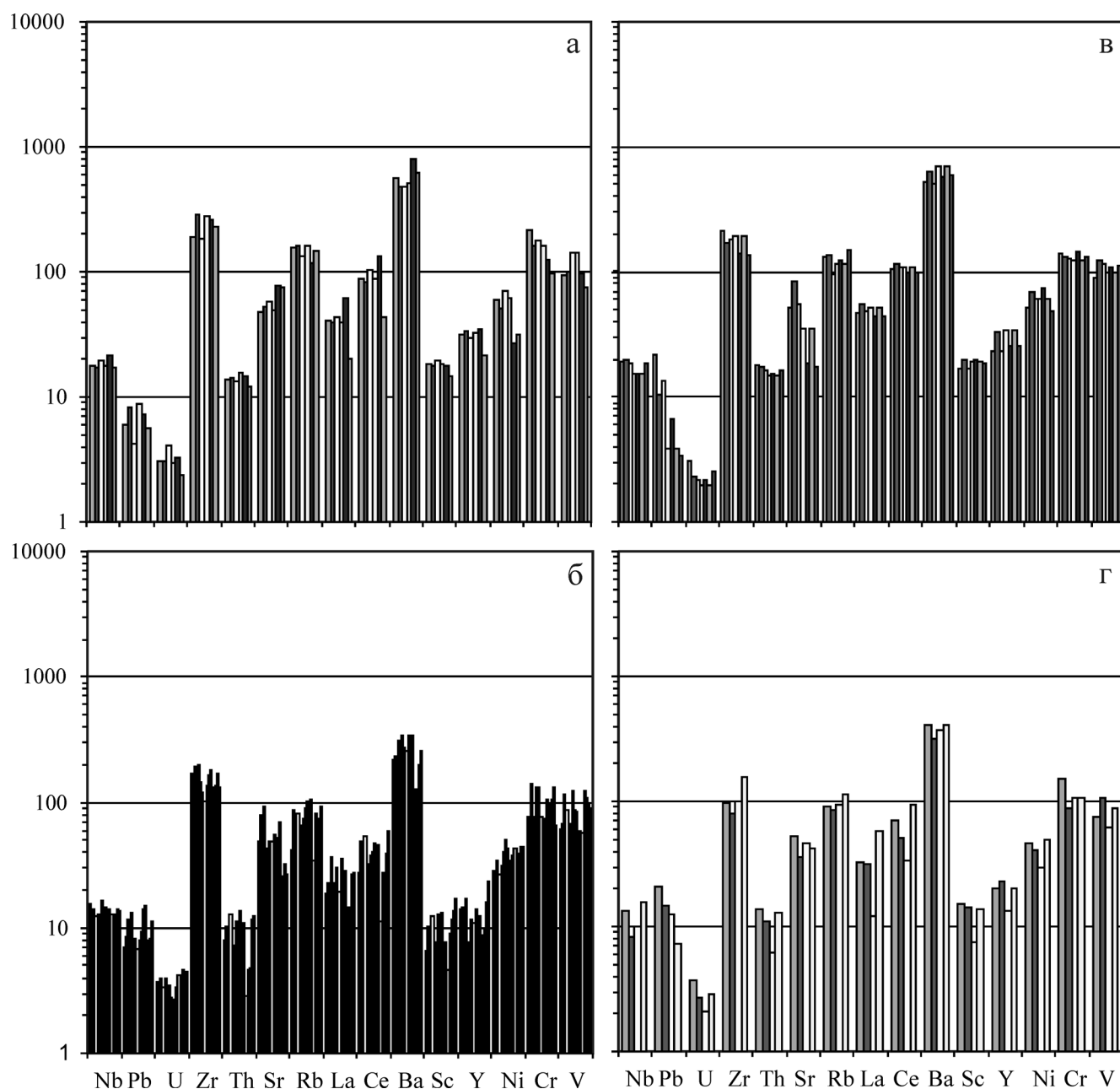


Рис. 4. “Короткие спектры” абсолютных содержаний (г/т) ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах нижнего рифея Башкирского мегаантиклинория (свиты: а – айская, в – бакальская) и Камско-Бельского авлакогена (свиты: б – прикамская, г – надеждинская).

рованных образцов наблюдаются абсолютные содержания выше 100 г/т; в одном же образце содержание Ba превышает 1000 г/т (рис. 5б). Zr, Sr и Rb имеют в тонкозернистых терригенных породах данного уровня абсолютные содержания как несколько больше, так и несколько меньше 100 г/т. В отдельных образцах наблюдается превышение указанного рубежа также для Cr и V. La, Ce, Sc, Y и Ni во всех проанализированных образцах характеризуются содержаниями в интервале 10–100 г/т. В подавляющем большинстве образцов содержания Nb также

выше 10 г/т. Меньше 10 г/т содержится во всех образцах алевроаргиллитов ольховской свиты U, заметные вариации относительно указанного значения характерны также для Pb и Th.

В целом, “короткие спектры” абсолютных концентраций ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных образованиях авзянской и ольховской свит в значительной мере похожи друг на друга, отличия же связаны с несколько меньшими и несколько большими содержаниями в первых, соответственно, Sr и Zr.

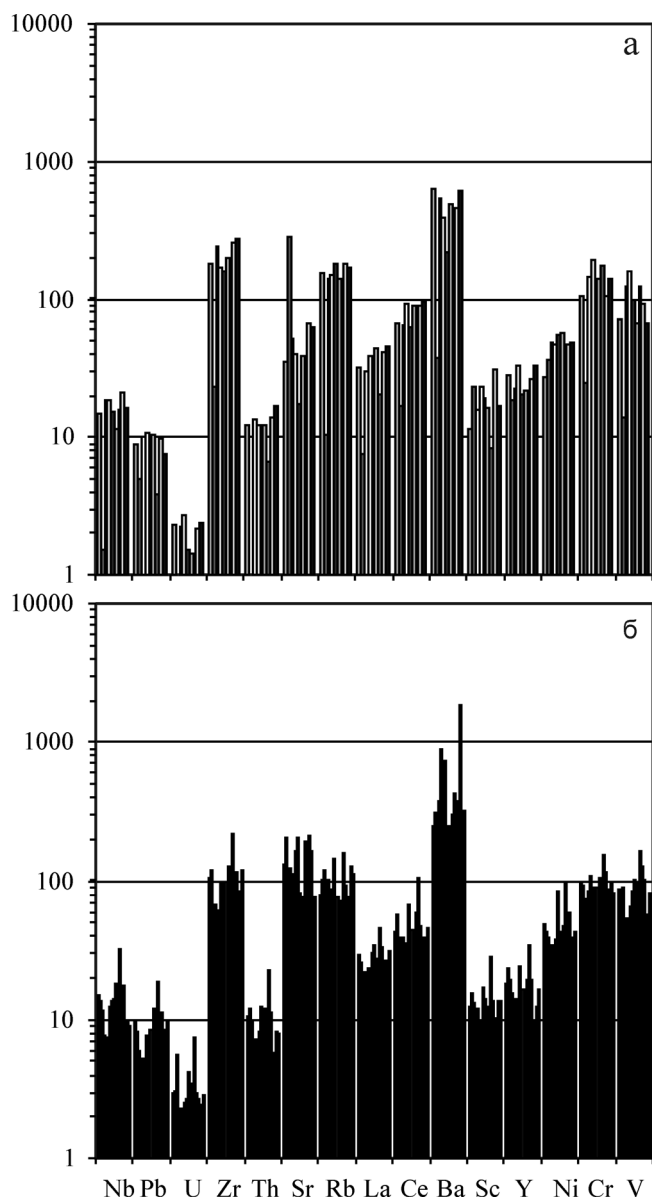


Рис. 5. “Короткие спектры” абсолютных содержаний (г/т) ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах среднего рифея Башкирского мегантиклинория (а), авзянская свита и Камско-Бельского авлаогена (б), ольховская свита.

Сопоставление “коротких спектров” элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах верхнего рифея – бирьянской подсвите зильмердакской свиты и усинской свите, а также в глинистых сланцах и алевроаргиллитах бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты указывает на их сходство.

Сопоставление “длинных спектров”

За неимением места мы остановимся далее на сопоставлении “длинных спектров” только в гли-

нистых сланцах и алевроаргиллитах бирьянской подсвиты зильмердакской свиты (9 образцов) верхнего рифея Башкирского мегантиклинория и усинской свиты (4 образца) Камско-Бельского авлаогена (рис. 6).

Как уже было отмечено выше, по “коротким спектрам” названные литостратиграфические подразделения достаточно похожи. При рассмотрении же “длинных спектров” наиболее отчетливо выраженными общими особенностями тонкозернистых терригенных пород обоих сопоставляемых объектов являются высокое содержание Ba (~400 г/т и более), достаточно сопоставимые абсолютные содержания Be, Sc, Co, Ga, Y, Nb, Mo, Cs, а также всех элементов от La до U (рис. 6). Есть, однако, и заметные отличия. Так, во-первых, абсолютные содержания Zr в значительном числе образцов глинистых сланцев бирьянской подсвиты зильмердакской свиты превосходят 200 г/т, тогда как во всех проанализированных нами алевроаргиллитах усинской свиты они меньше 200 г/т. Во-вторых, абсолютные концентрации Rb в глинистых сланцах бирьянской подсвиты варьируют от 140 до 330 г/т, а в усинских алевроаргиллитах максимальное содержание Rb не превышает 130 г/т. В-третьих, только отдельные образцы тонкозернистых терригенных пород бирьянского уровня каратавия характеризуются абсолютными содержаниями Zn более 50 г/т, тогда как во всех четырех образцах алевроаргиллитов усинской свиты содержания Zn выше 60 г/т. В-четвертых, в 2 из 4 образцов усинских алевроаргиллитов содержания Mn превышают 500 г/т, тогда как глинистые сланцы бирьянской подсвиты в подавляющем большинстве случаев имеют существенно меньшие абсолютные содержания данного элемента. В-пятых, в усинских алевроаргиллитах максимальное содержание Cr составляет ~ 100 г/т, в глинистых же сланцах бирьянской подсвиты в 6 из 9 образцов содержание Cr заметно превышает 100 г/т, а в одном образце достигает почти 350 г/т. Наконец, в-шестых, во всех 4 образцах усинской свиты абсолютные содержания V меньше 100 г/т, в то же время в 7 из 9 образцов глинистых сланцев бирьянской подсвиты зильмердакской свиты содержание V заметно превышает 100 г/т, а в одном образце составляет ~ 200 г/т.

Для того, чтобы исключить сомнения в том, что указанные различия контролируются не особенностями распределения элементов-примесей в верхней континентальной коре (т.е. их кларками), а реальной геологической ситуацией (главным образом, составом пород в областях размыва) проанализированы аналогичные по набору элементов-примесей “длинные спектры” для тонкозернистых терригенных пород различных литостратиграфических подразделений рифея Учуро-Майского региона и Енисейского края, а также алевроаргиллитов и глин

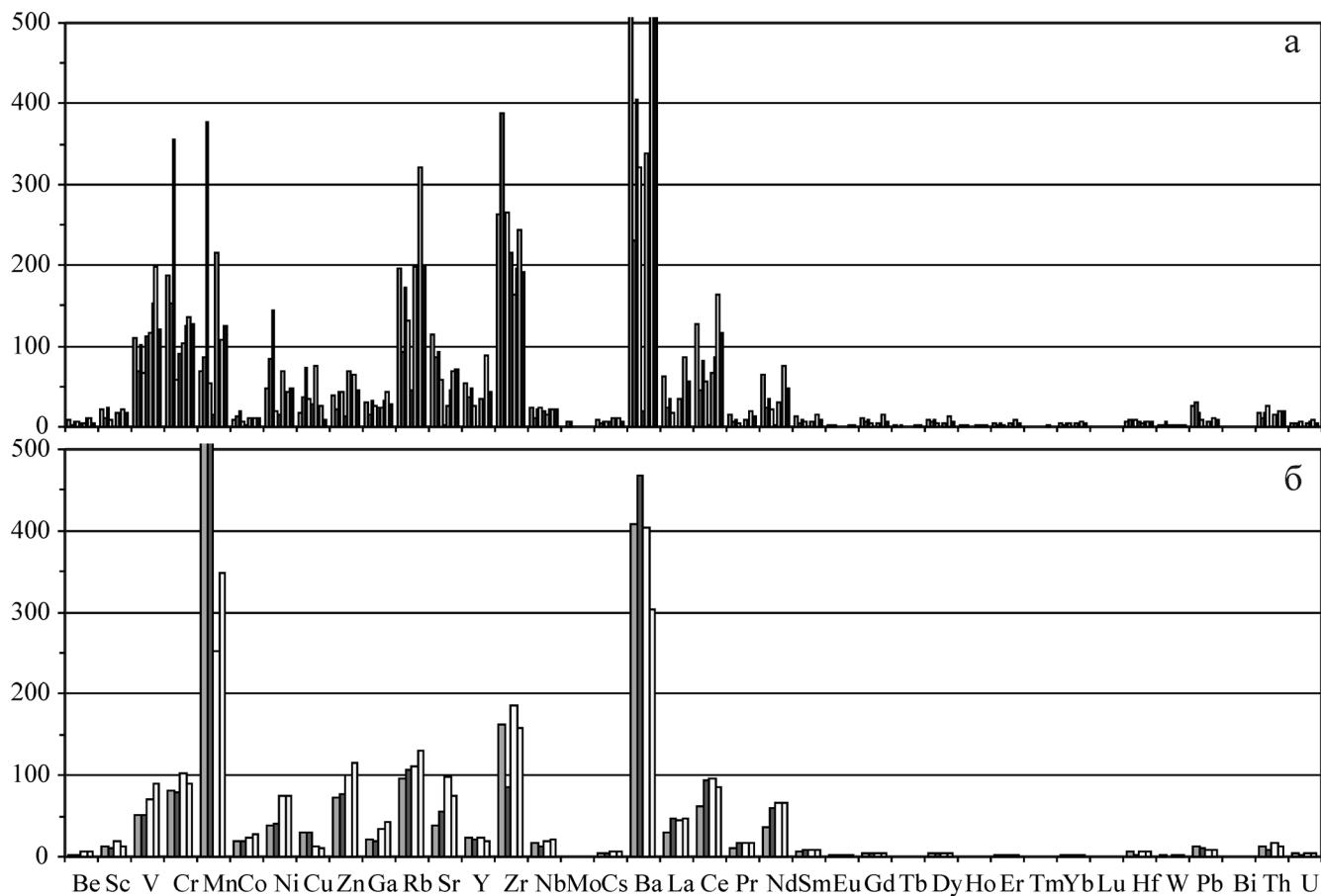


Рис. 6. “Длинные спектры” абсолютных содержаний (г/т) ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах верхнего рифея Башкирского мегантиклинория (а), бирьянская подсвита зильмердакской свиты) и Камско-Бельского авлаогена (б), усинская свита.

юры и мела Западно-Сибирского мегабассейна (для этого использованы данные, положенные в основу ряда наших предшествующих публикаций [24–27, 35, 36, 53]).

Так, тонкозернистые терригенные породы неруенской (8 образцов), удерейской (9 образцов) и чивидинской (5 образцов) свит рифея характеризуются как общими особенностями, так и рядом отличий. Абсолютные содержания Be, Sc, Co, Ni, Zn, Ga, Mo, Cs, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Bi, Th в породах всех названных литостратиграфических единиц составляют меньше, а часто и заметно меньше 50 г/т (рис. 7). В то же время, в глинистых сланцах чивидинской свиты Енисейского края только Ni, Y, Nb и Pb присутствуют как в больших, так и в меньших, чем 50 г/т, концентрациях. Сходная ситуация характерна в отношении Ni и Y и для глинистых сланцев неруенской свиты Учуро-Майского региона, однако содержания Nb и Pb в них заметно меньше 50 г/т. Максимально высокие абсолютные содержания в тонкозернистых терригенных породах всех трех рассматриваемых свит рифея характерны только для Ba.

Абсолютные содержания Mn в значительном числе проанализированных образцов глинистых сланцев удерейской и чивидинской свит также достаточно высоки, но в нашем распоряжении нет данных о содержаниях Mn в тонкозернистых терригенных породах неруенской свиты.

Достаточно высокие, но в целом весьма варьирующие, абсолютные содержания характерны для Zr. Так, в глинистых сланцах неруенской и удерейской свит они в основном попадают в коридор от 200 до 300 г/т, хотя в ряде образцов неруенской свиты наблюдаются и содержания Zr на уровне 350–380 г/т. В тонкозернистых обломочных породах чивидинской свиты минимальное содержание Zr составляет порядка 140 г/т, тогда как максимальное превышает 500 г/т. Абсолютные содержания V в глинистых сланцах неруенской свиты варьируют от ~90 до 270 г/т, при этом в большинстве образцов концентрации находятся в коридоре 100–200 г/т. В глинистых сланцах удерейской и чивидинской свит минимальное содержание V в имеющейся у нас выборке составляет ~175 г/т, а максимальное – превышает 400 г/т.

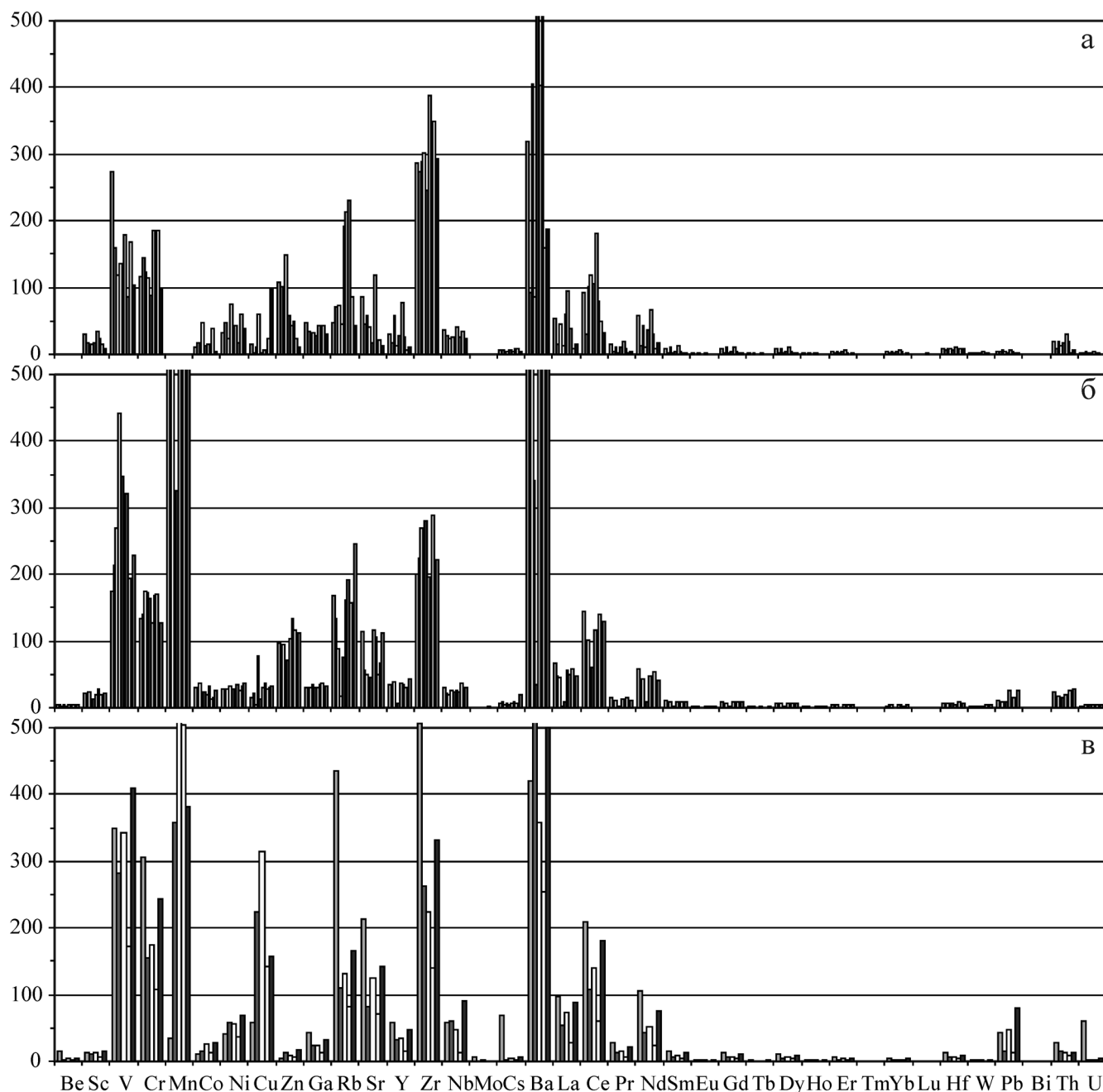


Рис. 7. “Длинные спектры” абсолютных содержаний (г/т) ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона и Енисейского края (свиты: а – неруенская, б – удерейская, в – чивидинская).

Подавляющее большинство образцов глинистых сланцев неруенской свиты характеризуется содержаниями Rb менее 100 г/т, тогда как в 3 из них содержания указанного элемента составляют ~200 г/т. Примерно треть образцов глинистых сланцев удерейского уровня, по имеющимся у нас данным, обладает абсолютными содержаниями Rb менее 100 г/т, для другой трети образцов характерны концентрации Rb в коридоре 100–200 г/т; максимальное же содержание Rb

в тонкозернистых терригенных породах данного уровня составляет ~245 г/т. Примерно такое же распределение абсолютных содержаний Rb характерно для глинистых сланцев чивидинской свиты, а максимальное содержание Rb здесь равно 430 г/т.

Содержание Sr в одном из пяти образцов глинистых сланцев чивидинской свиты составляет ~245 г/т, еще в одном – превышает 300 г/т, тогда как в трех других варьирует от 110 до 175 г/т. В тон-

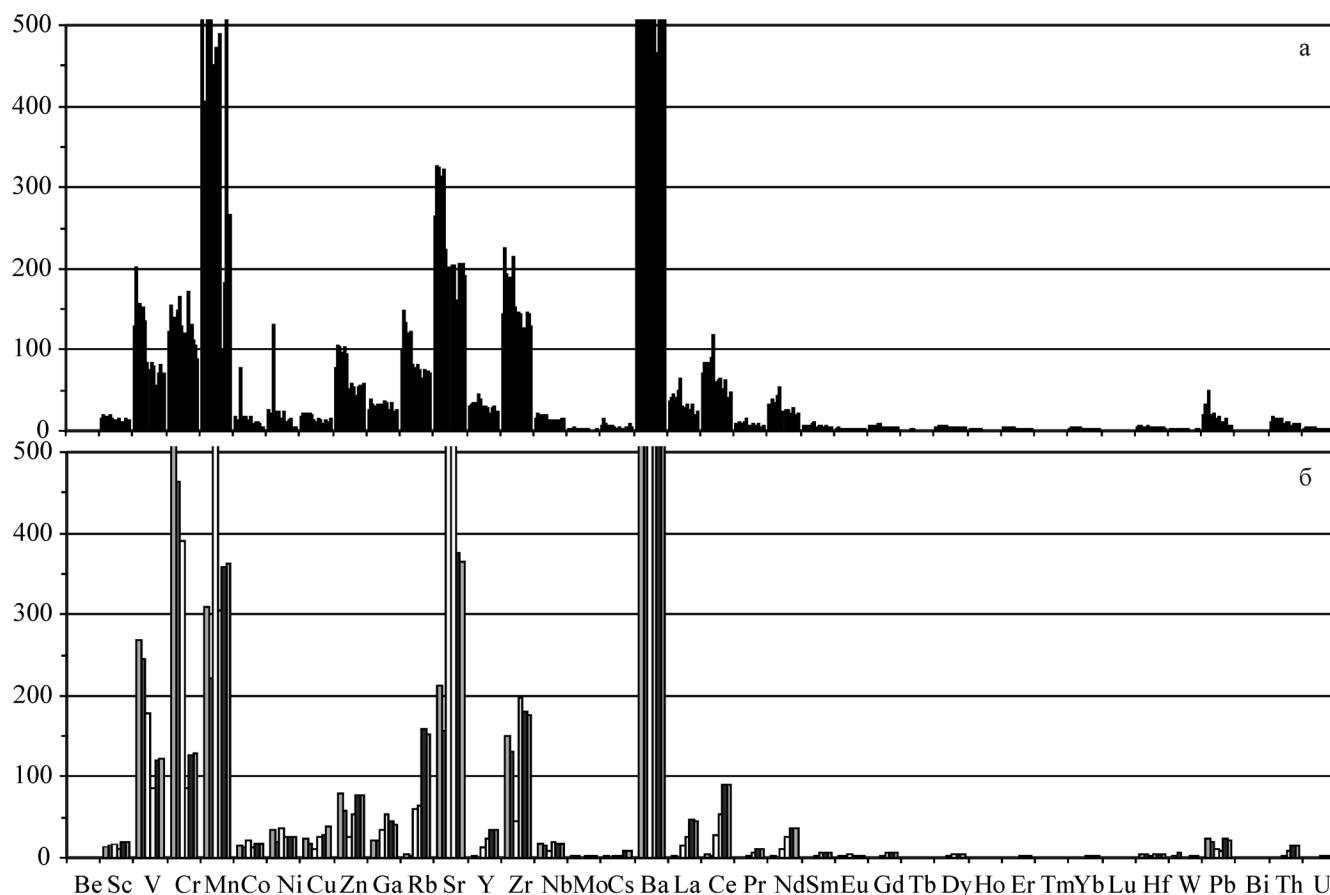


Рис. 8. “Длинные спектры” абсолютных содержаний (г/т) ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах юры и мела Северо-Покачевского месторождения Широного Приобья (пласты: а – ЮВ₂, б – БВ₆₋₇).

козернистых терригенных породах удерейской свиты во всех 9 проанализированных образцах содержание **Сг** варьирует в коридоре 125–175 г/т. Основная же часть образцов неруенской свиты характеризуется абсолютными содержаниями **Сг** от 85 до 145 г/т, и только в двух из них концентрация **Сг** приближается к 180 г/т.

Приведенные выше примеры показывают, что тонкозернистые терригенные породы различных свит рифея имеют многочисленные черты сходства, но в то же время обнаруживают и ряд существенных различий, что связано, скорее всего, с различиями в составе источников сноса и обстановках их формирования.

Общими чертами “длинных спектров” абсолютных концентраций элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах юры (пласт ЮВ₂) и мела (пласт БВ₆₋₇) Северо-Покачевского месторождения Широного Приобья (Западная Сибирь) можно считать весьма высокие абсолютные содержания в подавляющем большинстве проанализированных образцов **Ва** (более 500 г/т) и **Мп** (от 300–350 до более 500 г/т) и весьма низкие концен-

трации **Sc**, **Co**, **Ni**, **Cu**, **Ga**, **Y**, **Nb**, **Mo**, **Cs**, **La**, **Pr**, **Nd**, **Sm**, **Eu**, **Gd**, **Tb**, **Dy**, **Ho**, **Er**, **Tm**, **Yb**, **Lu**, **Hf**, **W**, **Pb**, **Bi**, **Th** и **U** (рис. 8). Содержания **V** в алевроаргиллитах пласта БВ₆₋₇ варьируют от 90 до 270 г/т, а в алевроаргиллитах пласта ЮВ₂ находятся в коридоре 60–210 г/т. Содержания **Сг** в алевроаргиллитах пласта ЮВ₂ составляют от 85 до 170 г/т, а в некоторых образцах тонкозернистых обломочных образований пласта БВ₆₋₇ превышают 500 г/т. Наконец, абсолютные содержания **Сг** в алевроглинистых породах пласта БВ₆₋₇ изменяются от 150 до более 500 г/т, в аналогичных же по гранулометрии пластах ЮВ₂ минимальная концентрация **Сг** составляет 160 г/т, тогда как максимальная – лишь немногим превышает 300 г/т. Таким образом, будучи сходны в значительном числе показателей, проанализированные тонкозернистые терригенные породы имеют и ряд существенных различий, что связано, также как и для рассмотренных выше глинистых сланцев рифея Учуро-Майского региона и Енисейского края, скорее всего, с различиями в составе источников сноса и обстановках накопления осадков.

МЕДИАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ РЯДА
ИНДИКАТОРНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ

Для тонкозернистых терригенных образований айской и прикамской, саткинской и калтасинской, бакальской и надеждинской, авзянской и ольховской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты, бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты рассчитаны и попарно сопоставлены медианные значения ряда индикаторных отношений элементов-примесей (Th/Sc , Th/Cr , La/Sc , Co/Hf , Ce/Cr , La/Sm , La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N и Eu/Eu^*) (рис. 9). При этом рассматриваемые индикаторные отношения условно считались различающимися при расхождении их значений более чем на 25%, при расхождении от 10 до 25% они относились к категории достаточно сопоставимых, и при расхождении менее 10% указанные отношения принимались как сопоставимые.

В результате установлено, что глинистые сланцы и алевроаргиллиты айской и прикамской свит характеризуются сопоставимыми медианными значениями таких индикаторных отношений элементов-примесей как La/Sc , Ce/Cr , La/Sm и La_N/Yb_N , а также отрицательной европиевой аномалии. В то же время, медианные значения отношений Th/Sc , Th/Cr , Co/Hf и параметра Gd_N/Yb_N в них различаются более чем на 25%.

Для тонкозернистых алюмосиликокластических пород саткинской и калтасинской свит вырисовывается несколько иная картина. Рассматриваемые образования сопоставимы всего по трем индикаторным отношениям – La/Sc , Co/Hf и La/Sm . Медианные значения Th/Sc и La_N/Yb_N в них принадлежат к категории достаточно сопоставимых, а все остальные отношения относятся к категории различающихся. Последнее особенно ярко проявлено для Gd_N/Yb_N и величины отрицательной европиевой аномалии (соответственно, 2.00 и 1.48, 0.56 и 0.70).

Тонкозернистые терригенные породы бакальской и надеждинской свит также сопоставимы всего по трем исследуемым нами параметрам, но эти параметры иные, нежели в рассмотренном выше случае. Только два индикаторных отношения (La/Sc и Gd_N/Yb_N) принадлежат здесь к категории достаточно сопоставимых, наибольшие же отличия наблюдаются для медианных значений отношений La_N/Yb_N и La/Sm (соответственно, 14.87 и 9.72, 7.61 и 4.61).

Глинистые сланцы и алевроаргиллиты авзянской и ольховской свит сопоставимы по медианным значениям отношений Th/Sc и La_N/Yb_N . Еще три индикаторных отношения (La/Sc , Gd_N/Yb_N и La/Sm) и параметр Eu/Eu^* различаются для данной пары литостратиграфических единиц рифея не более чем на 25%. Достаточные же различия наблюдаются при сопоставлении медианных значений Th/Cr , Ce/Cr и Co/Hf .

В следующей сравниваемой паре – бирьянской подсвите зильмердакской свиты и усинской свите – тонкозернистые обломочные образования достаточно различны по четырем параметрам. Так, медианная величина отношения Co/Hf в алевроаргиллитах усинской свиты почти в 2.5 раза выше, чем в глинистых сланцах бирьянской подсвиты. Примерно в 2 раза выше в них медианное значение La_N/Yb_N , а величины отношений Ce/Cr и La/Sc выше, соответственно, в 1.61 и 1.67 раза. Для данной пары сопоставимыми являются только значения отношений Th/Cr и La/Sm .

Глинистые же сланцы и алевроаргиллиты бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты, как представляется, имеют больше черт сходства. И хотя в данном случае только один параметр (Gd_N/Yb_N) относится к категории сопоставимых, четыре других индикаторных отношения (Th/Sc , La_N/Yb_N , Co/Hf и La/Sm), а также параметр Eu/Eu^* различаются не более чем на 25%.

Суммируя все сказанное выше, можно отметить, что по медианной величине отношения Th/Sc достаточно различаются только тонкозернистые алюмосиликокластические образования айской и прикамской свит, аналогичные по гранулометрии породы всех других коррелируемых литостратиграфических единиц рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена по данному параметру являются сопоставимыми или достаточно сопоставимыми. Близкая ситуация характерна и для параметра La/Sm – его медианные значения в породах сравниваемых пар литостратиграфических единиц рифея оказались достаточно различными только в одном случае (бакальская и надеждинская свиты). Также только одна сопоставляемая пара свит (саткинская и калтасинская) имеет достаточные различия по величине отрицательной европиевой аномалии.

По медианным значениям отношения Th/Cr глинистые сланцы и алевроаргиллиты бакальской и надеждинской свит, а также бирьянской подсвиты и усинской свиты относятся к категории сопоставимых, тогда как остальные сравниваемые подразделения по данному параметру достаточно различны.

Медианные значения La/Sc в тонкозернистых алюмосиликокластических породах нижнего рифея являются сопоставимыми, а в породах среднего рифея – достаточно сопоставимыми.

По величине отношения La_N/Yb_N достаточно различны глинистые сланцы и алевроаргиллиты бакальской и надеждинской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской подсвиты. Тонкозернистые терригенные породы айской и прикамской, а также авзянской и ольховской свит принадлежат к категории сопоставимых.

Напротив, по значениям отношения Gd_N/Yb_N исходно глинистые и алевроитоглинистые породы айской и прикамской, а также саткинской и калтасин-

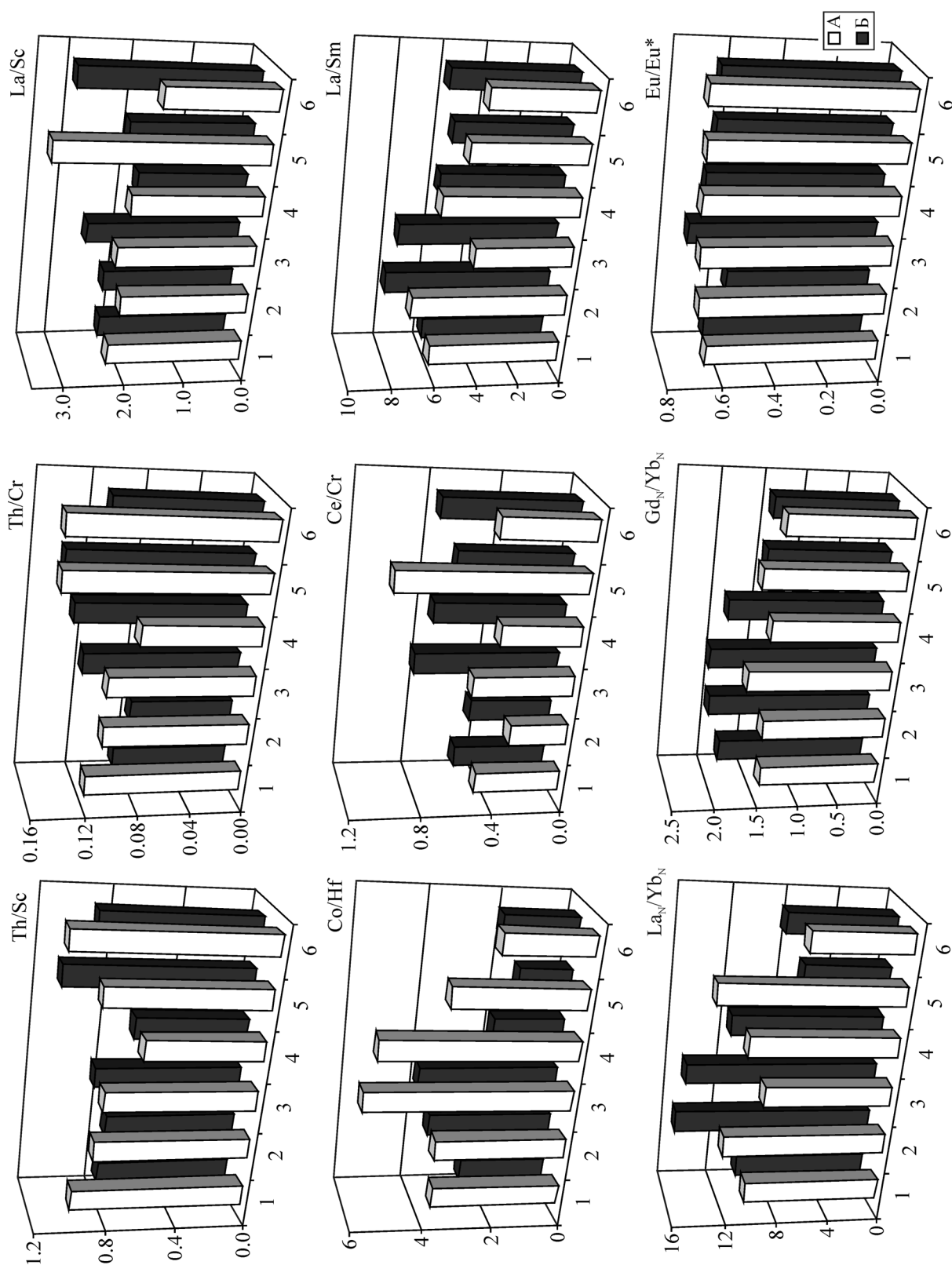


Рис. 9. Медианные значения ряда индикаторных отношений элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифа (А – Камско-Бельский авлакоген; Б – Башкирский мегантиклинорий).
Уровни: 1 – айско-прикамский; 2 – саткинско-калгасинский; 3 – бакальско-надеждинский; 4 – авзянско-ольховский; 5 – бирьянско-усинский; 6 – бедершинско-приютковский.

ской свит следует рассматривать как достаточно различные, в то время как к категории сопоставимых принадлежат только тонкозернистые терригенные образования бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты.

Наконец, от четырех до пяти сопоставляемых пар литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена характеризуются достаточными различиями по медианным значениям Ce/Cr и Co/Hf . По обоим названным параметрам заметно различаются тонкозернистые терригенные породы бакальской и надеждинской, авзянской и ольховской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ РЯДА ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ С СОДЕРЖАНИЯМИ ИХ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ – ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКАХ СНОСА

В качестве объектов для сравнения содержаний ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена и возможных магматических породах источников сноса нами использованы среднепротерозойские базальты ($\text{PR}_2\beta$) и протерозойские граниты (PR_γ) [56].

Нормирование содержаний ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах на содержание их в среднепротерозойских базальтах показывает, что как глинистые сланцы айской, так и алевроаргиллиты прикамской свит в заметной степени обогащены по сравнению с базальтами Nb (соответственно, 4.45 и $3.35 \times \text{PR}_2\beta$), U, Th (5.45 и $3.65 \times \text{PR}_2\beta$), Rb и La (рис. 10а, б). В тонкозернистых терригенных породах айского уровня содержится также заметно больше, чем в базальтах, Ce ($2.9 \times \text{PR}_2\beta$)⁴ и Ba ($1.69 \times \text{PR}_2\beta$); в алевроаргиллитах же прикамской свиты содержания двух указанных элементов заметно ниже (1.26 и $0.77 \times \text{PR}_2\beta$). Меньше или заметно меньше в тонкозернистых обломочных породах обоих уровней концентрации Sc (0.49 и $0.26 \times \text{PR}_2\beta$), Y, Ti (0.49 и $0.35 \times \text{PR}_2\beta$), Ni, Cr и V (0.35 и $0.30 \times \text{PR}_2\beta$). Из сказанного очевидно, что тонкозернистые обломочные образования обоих литостратиграфических подразделений достаточно сопоставимы между собой.

Спектры распределения элементов-примесей в глинистых сланцах и алевроаргиллитах бакальской

и надеждинской свит близки между собой и в целом сопоставимы со спектрами айской и прикамской свит (рис. 10в, г). Здесь также заметно больше чем в $\text{PR}_2\beta$ Nb (соответственно, 4.62 и $2.92 \times \text{PR}_2\beta$), Th (6.19 и $4.62 \times \text{PR}_2\beta$) и Rb (4.40 и $3.33 \times \text{PR}_2\beta$), наблюдается существенный дефицит Sr, а концентрации Sc, Ti и V заметно ниже (соответственно, 0.51 и $0.38 \times \text{PR}_2\beta$, 0.46 и $0.30 \times \text{PR}_2\beta$, 0.38 и $0.29 \times \text{PR}_2\beta$). В то же время, в глинистых сланцах бакальской свиты наблюдается существенно больший, чем в аналогичных по гранулометрии породах айской свиты, разброс содержаний Pb.

Глинистые сланцы и алевроаргиллиты авзянской и ольховской свит также характеризуются достаточно сходными спектрами распределения нормированных на $\text{PR}_2\beta$ элементов-примесей (рис. 10д, е). В то же время ряд образцов алевроаргиллитов из разрезов ольховской свиты обнаруживают заметно более высокие, нежели в среднепротерозойских базальтах, содержания Ba, что не типично ни для подстилающих, ни для перекрывающих уровней рифея Камско-Бельского авлакогена.

Тонкозернистые терригенные породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты демонстрируют весьма высокое общее сходство с ранее рассмотренными спектрами (рис. 10ж, з). Достаточно очевидно и сходство спектров друг с другом. Специфическими же особенностями глинистых сланцев бирьянского уровня следует признать заметно более высокие концентрации Y ($1.21 \times \text{PR}_2\beta$ по сравнению с $0.68 \times \text{PR}_2\beta$ в случае с алевроаргиллитами ольховской свиты) и варьирующие, по сравнению с $\text{PR}_2\beta$, содержания Ni и Cr. Медианное содержание последнего в бирьянских глинистых сланцах относительно $\text{PR}_2\beta$ составляет 0.83 , тогда как в алевроаргиллитах усинского уровня рассматриваемый параметр снижается до 0.54 . Интересно также, что тонкозернистые обломочные породы обоих литостратиграфических подразделений характеризуются максимально высокими относительно среднепротерозойских базальтов медианными содержаниями Nb (соответственно, $5.52 \times \text{PR}_2\beta$ и $4.47 \times \text{PR}_2\beta$).

Формы нормированных на $\text{PR}_2\beta$ спектров элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты как будто бы близки друг другу и спектрам в глинистых сланцах и алевроаргиллитах подстилающих уровней (рис. 10и, к). Однако, внимательное сопоставление показывает, что нормированные на $\text{PR}_2\beta$ медианные содержания Nb, Rb, La, Ce, Y и Ti в породах бедерышинского уровня заметно выше, чем в алевроаргиллитах приютовской свиты, тогда как последние характеризуются существенно более высокими содержаниями Pb и Sr (0.47 против $0.28 \times \text{PR}_2\beta$).

Таким образом, из приведенных выше данных можно сделать достаточно обоснованный вывод о том, что при формировании всех рассмотренных

⁴ Здесь и далее указываются данные для медианных содержаний в целом по тому или иному литостратиграфическому подразделению.

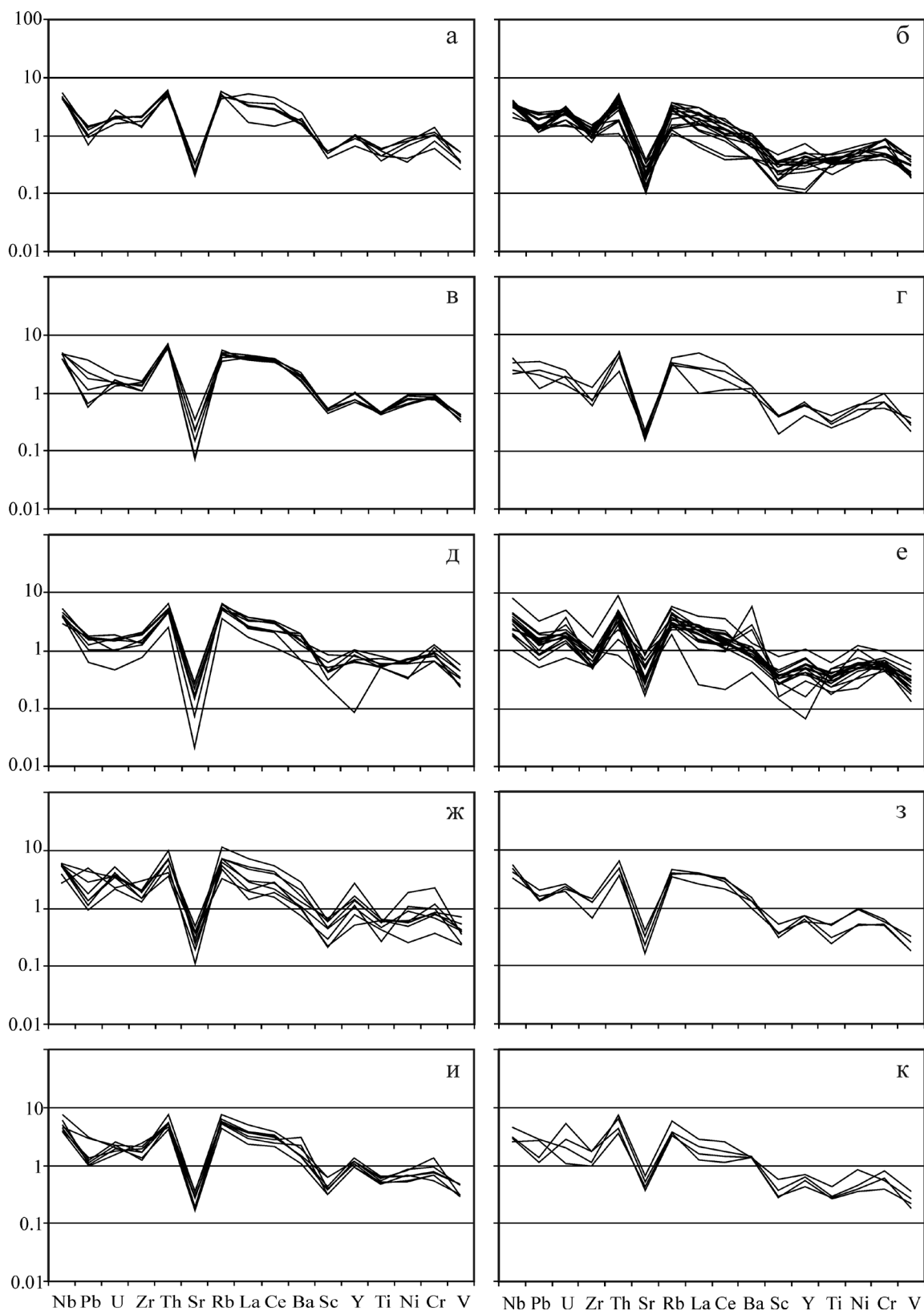


Рис. 10. Содержания ряда элементов-примесей в частных образцах глинистых сланцев и алевроаргиллитов различных литостратиграфических уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированные на их содержания в среднепротерозойских базальтах.

Свиты и подсвиты: а – айская, б – прикамская, в – бакальская, г – надеждинская, д – авзянская, е – ольховская, ж – бирьянская, з – усинская, и – бедерышинская, к – приютовская.

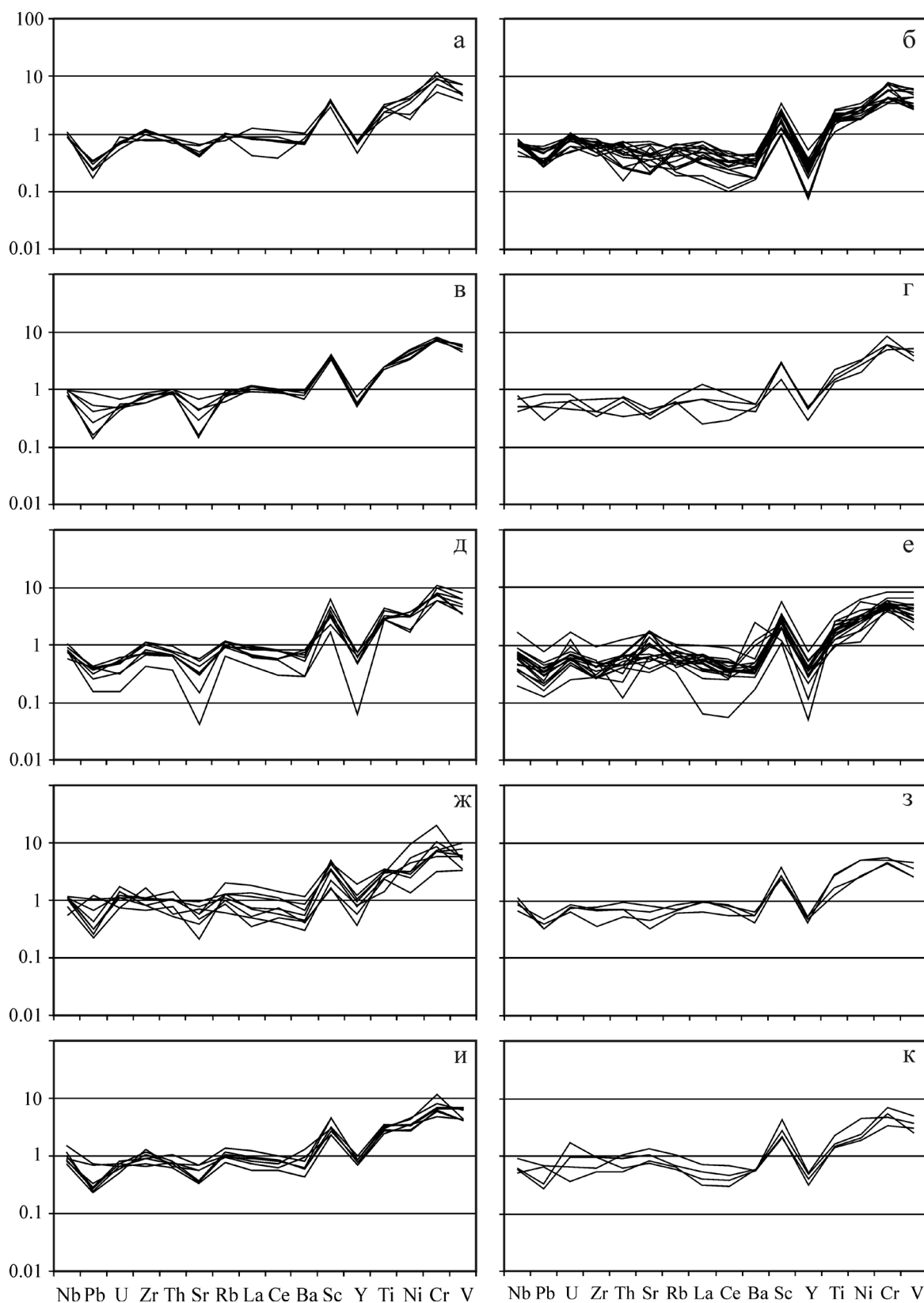


Рис. 11. Содержания ряда элементов-примесей в частных образцах глинистых сланцев и алевроаргиллитов различных литостратиграфических уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированные на их содержания в протерозойских гранитах.

Условные обозначения см. рис. 10.

нами осадочных последовательностей доминирования в источниках сноса пород основного состава не наблюдалось. По сравнению со среднепротерозойскими базальтами, тонкозернистые терригенные породы всех проанализированных литостратиграфических единиц значительно обогащены элементами кислой специализации – Pb, Rb, U, Th, Ba [15], единственным же присутствующим в существенно повышенных концентрациях элементом основной специализации является Nb.

Нормирование содержаний ряда элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах различных уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена на содержания их в протерозойских гранитах (PRγ) демонстрирует заметное общее сходство спайдер-диаграмм (рис. 11), но при внимательном анализе ситуации можно видеть и различие между ними в том или ином количестве деталей. Так, в глинистых сланцах айской свиты отношения $C_{\text{медиана}}/C_{\text{PR}\gamma}$ для Nb, Zr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ti, Cr и V значительно (от 1.33 до 2.77 раз) выше, чем в аналогичных по гранулометрии породах прикамской свиты. Примерно такая же ситуация характерна и для тонкозернистой алюмосиликокластики бакальского и надеждинского уровней нижнего рифея. В то же время, здесь отношения $C_{\text{медиана}}/C_{\text{PR}\gamma}$ для Pb и Sr в породах надеждинской свиты выше, чем в породах бакальской. Алевроаргиллиты ольховской свиты содержат Sr ~ $0.94 \times \text{PR}\gamma$, тогда как в глинистых сланцах авзянской свиты величина этого параметра примерно в 3 раза ниже. Тонкозернистые терригенные породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты по сравнению с алевроаргиллитами усинского уровня характеризуются варьирующими, но в целом более высокими содержаниями U (соответственно, 1.16 против $0.74 \times \text{PR}\gamma$), Rb (1.19 и $0.69 \times \text{PR}\gamma$), Y (0.89 и $0.50 \times \text{PR}\gamma$), V и особенно Cr (7.28 и $4.72 \times \text{PR}\gamma$). В то же время, алевроаргиллиты усинского уровня содержат несколько больше (при сопоставлении медианных значений) La (0.72 и $0.96 \times \text{PR}\gamma$), Ce, Ba (0.49 и $0.54 \times \text{PR}\gamma$) и Ni (3.13 и $3.83 \times \text{PR}\gamma$). Глинистые сланцы бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты в сопоставлении с протерозойскими гранитами обладают относительно алевроаргиллитов приютовской свиты более высокими медианными содержаниями Nb (0.90 и $0.60 \times \text{PR}\gamma$), Zr, Rb (1.01 и $0.66 \times \text{PR}\gamma$), La (0.92 и $0.47 \times \text{PR}\gamma$), Ce, Sc (2.97 и $2.47 \times \text{PR}\gamma$), Y, Ti (2.95 и $1.55 \times \text{PR}\gamma$), Ni, Cr (6.53 и $5.08 \times \text{PR}\gamma$) и V (4.41 и $3.44 \times \text{PR}\gamma$). В целом же, по сравнению с протерозойскими гранитами, в глинистых сланцах и алевроаргиллитах последних четырех литостратиграфических единиц в заметно более высоких концентрациях присутствуют только Sc, Ti, Ni, Cr и V, т.е. элементы основной и ультраосновной специализации [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенный в настоящей работе фактический материал позволяет сделать вывод о достаточно заметном сходстве микроэлементного состава тонкозернистых терригенных пород коррелируемых литостратиграфических под-разделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена (айская и прикамская свиты, бакальская и надеждинская свиты, авзянская и ольховская свиты и ряд других единиц разреза), и считать, что формирование их происходило за счет смешения как основной, так и кислой алюмосиликокластики, соотношение между которыми с течением времени несколько менялось, но в целом оставалось довольно постоянным. В то же время, некоторые особенности состава глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея Башкирского мегантиклинория указывают на существование во время их накопления локальных источников сноса.

Еще одним и весьма важным выводом из выполненного сопоставления концентраций широкого спектра элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена является вывод об отсутствии кардинальных различий абсолютных содержаний большинства элементов-примесей в породах, в различной степени преобразованных постседиментационными процессами.

Автор искренне благодарен М.В. Ишерской (г. Уфа) за предоставленную в его распоряжение коллекцию образцов тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского авлакогена, а также признателен А.Д. Ножкину (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) и Ю.Н. Федорову (ООО “КогалымНИПИ-нефть”, г. Тюмень) за возможность использования в настоящей работе данных по геохимии отложений рифея Енисейского края и мезозойских образований Западной Сибири.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке Интеграционного проекта УрО, СО и ДВО РАН “Реконструкции источников поступления вещества в осадочные бассейны Северной Евразии: обстановки седиментогенеза, потенциальная рудоносность”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев М.М., Морозов С.Г., Постникова И.Е. и др. Геоология и нефтегазоносность рифейских и вендских отложений Волго-Уральской провинции. М.: Недра, 1977. 157 с.
2. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 288 с.
3. Анфимов Л.В., Козлов В.И., Ротарь А.Ф. и др. Зрелость обломочных зерен кварца из песчаников ба-

- зальных свит рифейских серий Южного Урала // Литология и полез. ископаемые. 1983. № 5. С. 114–118.
4. Белоконов Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК “Звезда”, 2001. 108 с.
 5. Богданова С.В. Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М.: Наука, 1986. 224 с.
 6. Вейс А.Ф., Ларионов Н.Н., Воробьева Н.Г., Ли Сень-Джо. Микрофоссилии в стратиграфии рифейских отложений Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий) и Приуралья (Камско-Бельский авлакоген) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2000. Т. 8. № 5. С. 3–28.
 7. Гарань М.И. Верхний докембрий (рифей): Стратиграфия // Геология СССР. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра. 1969. С. 149–200.
 8. Гаррис М.А. Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М.: Наука, 1977. 295 с.
 9. Геология и палеогеография западного склона Урала / Под ред. Ю.Д. Смирнова. Л.: Недра, 1977. 199 с.
 10. Горожанин В.М., Кутявин Э.П. Рубидий-стронциевое датирование глауконита укской свиты // Докембрий и палеозой Южного Урала. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1986. С. 60–63.
 11. Зайцева Т.С., Ивановская Т.А., Горохов И.М. и др. Rb-Sr возраст и ЯГР-спектры глауконитов укской свиты, верхний рифей, Южный Урал // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. М.: ГЕОС, 2000. С. 144–147.
 12. Иванов Д.И. Перспективы нефтегазоносности рифейских отложений платформенного Башкортостана на основе изучения нафтидогенерационного потенциала: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Уфа: ООО “Башнефть-Геопроект”, 2008. 25 с.
 13. Иванова Т.В. Некоторые вопросы седиментогенеза нижнерифейских отложений северо-западной Башкирии // Стратиграфия и литология палеозоя Волго-Уральской области. Казань: Казанский ФАН СССР, 1970. С. 7–14.
 14. Иванова З.П., Веселовская М.М., Клевцова А.А. и др. Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. Т. 1. Доордовикские отложения центральных и восточных областей Русской платформы. Л.: Недра, 1969. 168 с.
 15. Интерпретация геохимических данных / Под ред. Е.В. Складорова. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
 16. Ишерская М.В., Романов В.А. К стратиграфии рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1993. 35 с.
 17. Клевцова А.А. Об основных чертах истории Русской платформы в рифее // Изв. вузов. Геология и разведка. 1971. № 7. С. 3–14.
 18. Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М. и др. Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb-возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал) // Докл. АН. 2003. Т. 391. № 6. С. 794–798.
 19. Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Семихатов М.А. и др. Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст карбонатных пород саткинской свиты, нижнерифейская бурзянская серия Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16. № 2. С. 16–34.
 20. Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. Верхнедокембрийские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 1982. 110 с.
 21. Ленных В.И., Петров В.И. Стратиграфия айской свиты и проблема ее возраста // Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления Тараташского комплекса. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 33–43.
 22. Маслагутов Р.Х. Литолого-стратиграфическая характеристика и палеогеография позднего докембрия Башкирского Приуралья. М.: Недра, 2002. 224 с.
 23. Маслов А.В. Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.
 24. Маслов А.В. Литохимические особенности отложений различных макрофаций в нижнемезозойском разрезе Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: УГГУ, 2007. С. 172–178.
 25. Маслов А.В., Алексеев В.П. Особенности химического состава и РЗЭ-Th-Sc-систематика тонкозернистых терригенных пород нижнего мезозоя Шаймского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 2. С. 21–30.
 26. Маслов А.В., Алексеев В.П., Федоров Ю.Н. Верификация генетических реконструкций по литохимическим показателям для тюменской свиты Шаймского нефтегазоносного района // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Т. 1 (10 научно-практическая конференция). Ханты-Мансийск: “НАЦ РН им. В.И. Шпилемана”, 2007. С. 246–253.
 27. Маслов А.В., Алексеев В.П., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л. РЗЭ систематика тонкозернистых терригенных пород нижнего мезозоя Шаймского нефтегазоносного района // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири. Мат-лы междунар. академической конф. Тюмень: ФГУП “ЗапСибНИИГТ”, 2007. С. 379–384.
 28. Маслов А.В., Ишерская М.В. Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1998. 286 с.
 29. Маслов А.В., Ишерская М.В. Рециклинг тонкого терригенного материала в процессе формирования осадочной мегапоследовательности рифея Камско-Бельского авлакогена // Литосфера. 2008. № 5. С. 39–53.
 30. Маслов А.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т. и др. Основные черты формирования отложений рифея Камско-Бельского авлакогена: результаты исследования литогеохимических особенностей тонкозернистых терригенных пород // Литология и полез. ископаемые. В печати.
 31. Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. Тонкозернистые терригенные породы рифея и венда Камско-Бельского прогиба: сопоставление основных геохимических характеристик // Литосфера. 2008. № 3. С. 36–49.
 32. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (клас-

- сические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с.
33. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. РЗЭ, Ст, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера. 2004. № 1. С. 70–112.
 34. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полез. ископаемые. 2004. № 4. С. 414–441.
 35. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимические особенности тонкозернистых терригенных образований базальных уровней рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: к оценке степени зрелости дорифейских субстратов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Мат-лы научн. чтений памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 10. Пермь: Пермский университет, 2007. С. 171–180.
 36. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.
 37. Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Источники сноса рифейских бассейнов седиментации области сочленения Русской платформы и Южного Урала: синтез петрографических, петро- и геохимических данных // Докл. АН. 2003. Т. 389. № 2. С. 219–222.
 38. Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия. 2004. № 6. С. 648–669.
 39. Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А. и др. U-Pb систематика карбонатных пород протерозоя: инзерская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6. № 4. С. 20–31.
 40. Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Семихатов М.А. и др. Время формирования и преобразования отложенный инзерской свиты, верхний рифей Южного Урала // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии. Тез. докл. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. С. 73–75.
 41. Ожиганова Л.Д. Нижний рифей Западной Башкирии // Стратиграфия и литология верхнего докембрия и палеозоя Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР, 1983. С. 33–39.
 42. Постникова И.Е. Верхний докембрий Русской плиты и его нефтеносность. М.: Недра, 1977. 222 с.
 43. Рабочая схема стратиграфии и корреляции разрезов верхнего протерозоя Западной Башкирии (методические рекомендации). Уфа: БФАН СССР, 1981. 35 с.
 44. Романов В.А., Ишерская М.В. К изучению рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994. 32 с.
 45. Романов В.А., Ишерская М.В. Средний рифей платформенного Башкортостана. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1997. 22 с.
 46. Романов В.А., Ишерская М.В. Стратиграфия рифея платформенного Башкортостана. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1998. 36 с.
 47. Романов В.А., Ишерская М.В. Рифей платформенного Башкортостана: стратиграфия, тектоника и перспективы нефтегазоносности. Уфа: Гилем, 2001. 126 с.
 48. Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Казак А.П. и др. Граница нижнего и среднего рифея на Южном Урале: новые изотопные U-Pb SHRIMP-II ограничения // Докл. АН. 2007. Т. 415. № 3. С. 370–376.
 49. Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М. и др. Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 8. С. 3–14.
 50. Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области / Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Объяснительная записка. Уфа: ИГ УНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, БашНИПИНефть, 2000. 81 с.
 51. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
 52. Ткачев Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных. Л.: Наука, 1975. 233 с.
 53. Федоров Ю.Н., Маслов А.В., Алексеев В.П. и др. Систематика редкоземельных и ряда элементов-примесей в породах юры Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Горные ведомости. 2007. № 12. С. 24–37.
 54. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 55. Якобсон К.Э., Казак А.П. О возможной природе конгломератов в айской свите Урала и их значение для стратиграфии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978. № 3. С. 91–97.
 56. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.
 57. Dickinson W., Suczek C. Tectonic and sand composition // AAPG Bull. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182.
 58. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
 59. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. et al. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2006. С. 119–161.
 60. 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. 163–177.
 61. Turgeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian boundary events (Cretaceous) in the Umbria-Marche Basin of central Italy // Chem. Geol. 2006. V. 234. P. 321–339.

Рецензент Т.В. Карасева

Some geochemical features of the Riphean fine-grained terrigenous rocks from various lithostratigraphic units of the Bashkirian anticlinorium and the Kamsk-Belsk aulacogen (results of data correlation)

A. V. Maslov

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

The results of geochemical investigations of the Riphean fine-grained terrigenous rocks (mudstone, shale) from the Bashkirian anticlinorium (Southern Urals) and Kamsk-Belsk aulacogen (Volga-Urals region) are discussed. It is shown that shales and argillites from different lithostratigraphic units of the Burzian, Yurmatau, Karatau, Kyrpino, Serafimovo and Abdulino Groups are similar in their geochemical composition. It is established that there are no any fundamental differences in absolute concentrations of the wide spectrum of minor elements in the rocks of various stages of the lithogenesis.

Key words: Riphean, Bashkirian anticlinorium, Kamsk-Belsk aulacogen, fine-grained terrigenous rocks, geochemistry.