

УДК 551

## РЕЦИКЛИНГ ТОНКОГО ТЕРРИГЕННОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНОЙ МЕГАПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РИФЕЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА

А.В. Маслов\*, М.В. Ишерская\*\*

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

\*\*Институт геологии Уфимского научного центра РАН  
450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

Поступила в редакцию 16 января 2008 г.

В статье проанализированы литогеохимические данные о природе тонкой алюмосиликокластики, поступавшей в течение рифея в Камско-Бельский авлакоген (Волго-Уральская область). Показано, что в составе глинистых сланцев, алевроаргиллитов и аргиллитов кырпинской, серафимовской и абдулинской серий существенную роль играет петрогенный («first cycle») материал. Это позволяет использовать особенности состава тонкообломочных образований рифея Камско-Бельского авлакогена для разнообразных генетических реконструкций на основе прецизионных геохимических данных.

Ключевые слова: рифей, Камско-Бельский авлакоген, тонкозернистые терригенные образования, литохимия, геохимия, рециклинг.

## RECYCLING OF FINE-GRAINED TERRIGENOUS MATERIAL DURING FORMATION OF RIPHEAN MEGASEQUENCES (KAMSK-BELSK AULACOGEN)

A.V. Maslov\*, M.V. Isherskaya\*\*

\*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

\*\*Institute of Geology, Ufa Science Centre of RAS

The results of litho-geochemical investigations of fine-grained terrigenous deposits in the Riphean Kamsk-Belsk aulacogen/depression (Volga-Urals region) are discussed. It is shown that shales and argillites from the Kurpino, Serafimovo and Abdulino Groups contain mainly first cycle fine-grained terrigenous material. So, it allows using some peculiarities of their composition for various genetic reconstructions on the basis of sensitive geochemical data.

Key words: Riphean, Kamsk-Belsk aulacogen, fine-grained terrigenous rocks, lithochemistry, geochemistry, recycling.

### ВВЕДЕНИЕ

Привнос в область осадконакопления неперетолженной (т.н. «first cycle», или петрогенной) кластики с одной стороны и рециклированного (литогенного) материала, – с другой, являются основными процессами, в самом общем виде контролирующими формирование обломочных образований [Veizer, 1984; Veizer, Jansen, 1985; Тейлор, МакЛеннан, 1988; Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995; Юдович, Кетрис, 2000; Geochemistry..., 2003, и др.]. Длительное переотложение способствует заметному обогащению кластических осадков химически и механически наиболее зрелыми компонентами (такими как, например, кварц и иллит) и

ведет к появлению в разрезах литогенных песчаников, алевролитов и глинистых пород [Юдович, Кетрис, 2000]. «First cycle» обломочные породы (или породы петрогенные), образованные за счет областей сноса с доминированием гранитоидов, также содержат существенное количество кварца, но наряду с ним среди обломочных компонентов в значительном количестве присутствуют и полевые шпаты. Находящиеся в ассоциации с песчаниками указанного состава тонкозернистые обломочные образования, так же как и в случае литогенных глин, содержат повышенные концентрации калия и алюминия, однако величина отношения  $K_2O/Al_2O_3$  в них в целом выше, чем в многократно переотложенных осадках.

Разграничение литогенных и петрогенных пород обычными петрографическими методами представляет довольно трудную задачу. Значительную помощь в ее решении оказывают литогеохимические методы. Так, Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [2000] на основе анализа особенностей соотношения главных химических компонентов обломочных пород сформулирован ряд критериев распознавания литогенных и петрогенных образований. По данным указанных авторов, в «**first cycle**»/петрогенных породах как правило сохраняются исходные (т.е. существовавшие в исходных магматических породах) корреляции между основными петрогенными оксидами и петрохимическими модулями. Например, между титановым ( $TM = TiO_2 / Al_2O_3$ ) и железным ( $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$ ) модулями наблюдается положительная корреляция, а между модулями общей щелочности ( $HKM = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ ) и гидролизатным ( $ГМ = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$ ) – отрицательная.

По данным Р. Кокса с соавторами [Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995], многократно переотложенные тонкозернистые обломочные породы характеризуются значениями отношения  $K_2O / Al_2O_3 < 0,3$ . Напротив, в «**first cycle**» глинах калий содержится преимущественно в тонкодисперсных полевых шпатах и, благодаря этому, величина отношения  $K_2O / Al_2O_3$  составляет в указанных образованиях более 0,4. Вследствие длительного переотложения они обеднены наиболее растворимыми компонентами (содержания, например, **U** и **Sr** **вверх по разрезу снижаются**), тогда как содержания минимально растворимых элементов (Th, Y и др.) несколько увеличиваются с течением времени. Процессы рециклинга ведут также к постепенному увеличению отношения легких редкоземельных элементов (ЛРЗЭ) к тяжелым (ТРЗЭ) при практически неизменной величине европиевой аномалии, т.к. при процессах рециклинга не происходит фракционирования европия относительно других редких земель [Cox, Lowe, 1995].

Ранее нами, на основе анализа литогеохимических данных, уже была рассмотрена природа тонкой алюмосиликокластики, поступавшей в течение рифея в область седиментации, существовавшую в пределах современного Башкирского мегантиклинория [Маслов и др., 2005]. В результате установлено, что только при формировании песчано-глинистых и конгломерато-песчано-глинистых последовательностей нижнеайского, машакского, бирьянского и бедерышинского уровней можно предполагать существенную роль процессов привноса петрогенного материала; в составе других терригенных последовательностей преобладает литогенная тонкая алюмосиликокластика.

Доля пород с преобладанием петрогенного материала увеличивается снизу вверх по стратотипическому разрезу от примерно 25 % в нижнем рифее, до ~45 % в среднем и более 50 % в верхнем, что указывает, на наш взгляд, на постепенное расширение площади палеоводосборов и вовлечение в размыв относительно слабо преобразованного процессами выветривания и переотложения обломочного материала.

Настоящая работа посвящена анализу литогеохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород осадочной мегапоследовательности рифея Камско-Бельского авлакогена/прогиба, расположенного между западным склоном Южного Урала (стратотипическая местность рифея) и Татарским сводом – основным поставщиком обломочного материала в расположенные к востоку и юго-востоку от него крупные осадочные бассейны [Иванова и др., 1969; Алиев и др., 1977; Аксенов, 1998; Белоконь и др., 2001; Масагутов, 2002, и др.]. Сведения о природе тонкой алюмосиликокластики (литогенная/петрогенная) в разрезах рифея указанной структуры в литературе отсутствуют, и мы постарались восполнить этот пробел в рамках исследований по Интеграционному проекту УрО и СО РАН «Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга».

#### ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ РИФЕЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА

В Камско-Бельском авлакогене присутствуют терригенные и карбонатные образования всех трех стратонев рифея – бурзяния, юрматиния и каратавия. Характеристика вскрытых глубокими скважинами различных интервалов разреза рифея приведена во многих, в том числе и наших, работах [Иванова и др., 1969; Иванова, 1970; Алиев и др., 1977; Постникова, 1977; Андреев и др., 1981; Лагутенкова, Чепикова, 1982; Ожиганова, 1983; Стратотип..., 1983; Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1994, 1998, 1999, 2001; Лозин, 1994, 1999, и др.; Аксенов, 1998; Маслов, Ишерская, 1998, 2008; Стратиграфическая..., 2000; Масагутов, 2002; Маслов и др., 2008, и др.], поэтому ниже даны только краткие сведения, необходимые для дальнейшего обсуждения материала.

Нижний рифей Камско-Бельского авлакогена представлен кырпинской серией, объединяющей прикамскую<sup>1</sup>, калтасинскую и надеждинскую свиты [Маслов, Ишерская, 1998]. Наиболее полные

<sup>1</sup> Вместо прикамской свиты М.В. Ишерской и В.А. Романовым [2001] в нижней части кырпинской серии выделены актанышская и можаровская свиты, однако далее, при рассмотрении геохимических особенностей тонкозернистых терригенных пород, мы для удобства восприятия будем продолжать термином прикамская свита, включая в него все терригенные докалтасинские образования Камско-Бельского прогиба.

разрезы серии вскрыты глубокими и сверхглубокими скважинами на северо-западе Камско-Бельского прогиба [Ожиганова, 1983; Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1998, 2001; Масагутов, 2002].

*Прикамская свита* залегает непосредственно на кристаллическом фундаменте и представлена пестро- и красноцветными песчаниками (преобладают), гравелитами, алевролитами и, в верхней части, более тонкозернистыми отложениями, иногда с примесью карбонатного материала. В сводном разрезе прикамской свиты снизу вверх выделяются четыре подсвиты [Маслов, Ишерская, 1998]. Самая нижняя, азякульская подсвита, объединяет мелко-, средне- и крупнозернистые розовые и розовато серые кварцевые и полевошпато-кварцевые песчаники. Норкинская подсвита складывается в основном краснобурыми и темно-фиолетовыми алевроаргиллитами и полевошпато-кварцевыми или субаркозовыми алевролитами; подчиненную роль в ее разрезах играют мелкозернистые полевошпато-кварцевые песчаники и мергели. Ротковская подсвита представлена красноцветными полевошпато-кварцевыми и кварцевыми мелко- и разнозернистыми песчаниками; подчиненную роль играют здесь гравелиты, конгломераты, алевролиты и глинистые сланцы. Завершающая разрез прикамской свиты минаевская подсвита сложена пестроцветными полевошпато-кварцевыми алевролитами, доломитами и мергелями, гравийно-галечниковыми породами, а также глинистыми сланцами и алевроаргиллитами. Мощность прикамской свиты составляет от 100 до 1800 м. Изотопный возраст минералогически неизученного глауконита (К-Аг метод) из песчаников прикамской свиты составляет  $1542 \pm 18$  млн. лет (скв. 203, Мензелино-Актаныш), а в скв. 3 Бураево –  $1520-1425$  млн. лет [Стратотип..., 1983]. Тонкозернистые терригенные породы данного уровня кырпинской серии имеют изотопный возраст от  $1482 \pm 15$  до  $1408 \pm 14$  млн. лет (**Rb-Sr метод, фракция** менее 0,001 мм) [Горожанин, 1983].

*Калтасинская свита* (60-3500 м) представлена преимущественно карбонатными породами; обломочные породы – алевролиты и алевроаргиллиты – играют в разрезах свиты резко подчиненную роль и приурочены главным образом к ее средней, арланской, подсвите. Максимальные мощности отложений калтасинской свиты (3000-3500 м) характерны для центральной части Камско-Бельского прогиба, тогда как на северной его периферии мощность свиты не превышает первых десятков метров [Фролович, 1980; Ишерская, Романов, 1993]. По данным Г.А. Казакова с соавторами [Казаков и др., 1967; Стратотип..., 1983], изотопный возраст аутигенного глауконита, отобранного из пород калтасинской свиты, составляет 1470-1490 млн. лет (К-Аг метод).

*Надеждинская свита* (150-730 м) объединяет пестроцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями гравелитов и конгломератов; в верхней

ее части преобладают тонкозернистые терригенные и карбонатно-терригенные отложения. К-Аг возраст прорывающих отложения свиты габбро-диабазов составляет ~1370 млн. лет [Стратотип..., 1983].

Прикамская свита кырпинской серии сопоставляется с айской свитой типового разреза рифея; калтасинская свита – с саткинской [Стратотип..., 1983; Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998]. Отложения надеждинской свиты соответствуют либо бакальской, либо машакской свитам [Романов, Ишерская, 1994].

Среднерифейские образования (серафимовская серия) залегают на отложениях нижнего рифея трансгрессивно и представлены тукаевской и ольховской свитами [Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1994; Маслов, Ишерская, 1998].

*Тукаевская свита* (мощность до 630 м) объединяет преимущественно пестроцветные аркозовые и близкие к ним по составу песчаники; глинистые сланцы и алевролиты играют в разрезах свиты подчиненную роль. Глауконит из песчаников тукаевской свиты имеет изотопный возраст  $1253 \pm 20$  и  $1274 \pm 12$  млн. лет [Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998].

*Ольховская свита* (340-840 м) представлена пестроцветными аргиллитами, мергелями, алевролитами и доломитами; в нижней части свиты присутствуют темноцветные алевролиты и глинистые сланцы (т.н. акбердинский горизонт) [Андреев и др., 1981; Стратотип..., 1983]. **К-Аг изотопный возраст** даек габбро-диабазов, секущих отложения ольховской свиты, варьирует от 1138 до 1120 млн. лет [Стратотип..., 1983].

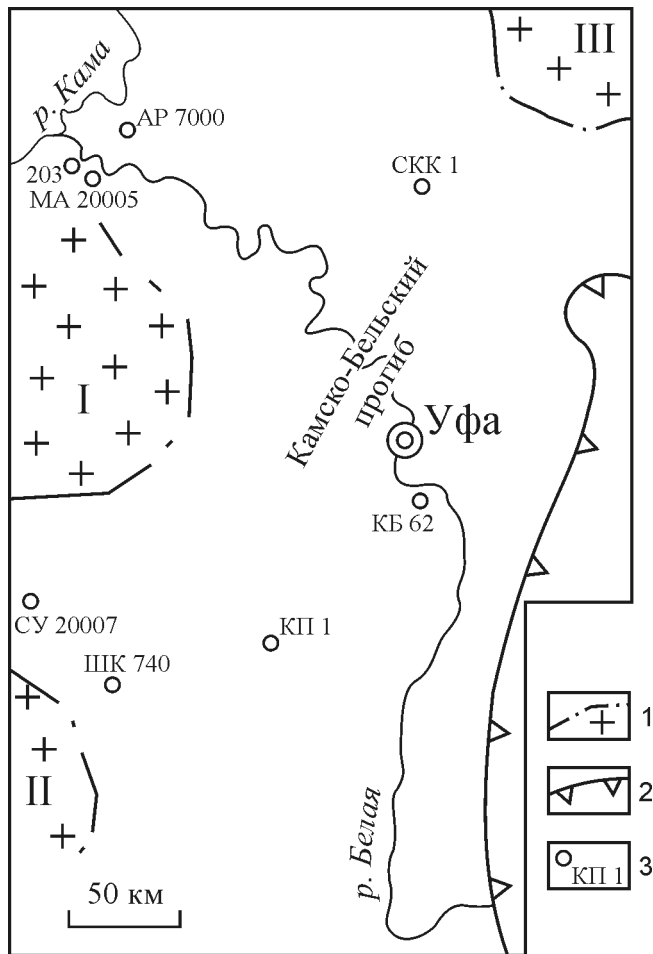
Тукаевская свита Камско-Бельского авлакогена сопоставляется с зигальгинской свитой Башкирского мегантиклинория, а верхняя часть ольховской – соответствует авзянскому уровню юрматиния [Романов, Ишерская, 1994; Маслов, Ишерская, 1998; Маслов, 2000]; акбердинский горизонт, по мнению большинства исследователей, может быть скоррелирован с зигазино-комаровским уровнем типового разреза среднего рифея.

Верхнерифейская абдулинская серия (усинская, леонидовская, приютовская и шиханская свиты) залегает с размывом 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 аргиллитами.

*Леонидовская свита* (мощность от 57 до 1300 м и более), залегающая согласно на отложениях усинского уровня [Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998], представлена пестро- и сероцветными кварцевыми песчаниками с каолиновым цементом.

*Приютовская свита* (76-676 м) объединяет пестроцветные глинистые сланцы, алевролиты, мергели, доломиты, песчаники и терригенно карбонат-



**Рис. 1.** Положение исследованных параметрических и поисково-разведочных скважин на территории Камско-Бельского авлакогена, по [Романов, Ишерская, 1998] с упрощениями.

1 – своды (I – Татарский, II – Оренбургский, III – Пермско-Башкирский/Красноуфимский); 2 – западная граница Урала; 3 – скважины (АР 7000 – Арлан 7000, 203 – Мензелино-Актаныш 203, МА 20005 – Мензелино-Актаныш 20005, СКК 1 – Северо-Кушкуль 1, КБ 62 – Кабаково 62, СУ 20007 – Сулли 20007, ШК 740 – Шкапово 740, КП 1 – Кипчак 1).

ные породы. Изотопный возраст минералогически не изученного глауконита, отобранного из песчаников приютовской свиты, варьирует от 843 до 896 млн. лет [Стратотип..., 1983].

*Шиханская свита* (мощность от 0 до 360 м представлена серо-, зелено- и красноцветными глинистыми и строматолитовыми известняками (преобладают), доломитами и мергелями.

Более молодые, нежели шиханская свита, образования в Камско-Бельском авлакогене и всей Волго-Уральской области отсутствуют.

По данным интерпретации временных сеймопрофилей и ряду других признаков, усинская свита

может быть скоррелирована с бирьянско-нугушским уровнем каратауской серии верхнегорифея Башкирского мегантиклинория, леонидовская свита соответствует лемезинской подсвите зильмердакской свиты, а приютовская свита – бедерышинской подсвите той же свиты. Шиханская свита по своему литологическому составу близка катавской свите [Рабочая..., 1981; Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1994, 2001; Маслов, Ишерская, 1998; Стратиграфическая..., 2000].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение содержаний петрогенных элементов и элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах (глинистые сланцы, алевроаргиллиты, мелкозернистые глинистые алевролиты) основных литостратиграфических подразделений рифея центральной и западной частей Камско-Бельского авлакогена (параметрические и поисково-разведочные скважины Кабаково 62, Северо-Кушкуль 1, Кипчак 1, Шкапово 740, Мензелино-Актаныш 203 и 20005, Сулли 20007 и Арлан 7000) (рис. 1) выполнено в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (аналитики Н.П. Горбунова, В.П. Власов, Л.А. Татарина, Г.С. Неупокоева, Е.С. Шагалов и И.И. Неустроева) на рентгеновском спектрометре СРМ-18 и методом ICP-MS на масс-спектрометре ELAN9000. Для анализа использованы случайным образом отобранные образцы тонкозернистых алюмосиликокластических пород из коллекции керна глубоких скважин М.В. Ишерской (г. Уфа) (табл. 1).

## ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД РИФЕЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА

Глинистые сланцы и алевроаргиллиты в разрезах прикамской свиты характеризуются тонкочешуйчатыми или пелитоморфно-тонкочешуйчатыми структурами, имеют преимущественно гидрослюдистый, реже – каолинит-гидрослюдистый состав, интенсивно пигментированы гидрооксидами и оксидами железа; в отдельных прослоях в них присутствует диагенетический пирит [Масагутов, 2002]. Аргиллиты, присутствующие в составе терригенных и карбонатно-терригенных пачек в разрезах калтасинской свиты имеют гидрослюдистый или хлорит-гидрослюдистый состав. Тонкозернистые терригенные образования в составе надеждинской свиты представлены в основном тонкочешуйчатым серицит-гидрослюдистым агрегатом, импрегнированным тонкодисперсным гематитом, а в ряде случаев – и тонкозернистым доломитом. Аргиллиты и глинистые сланцы тукаевской свиты – это серицит-гидрослюдистые, гидрослюдисто серицитовые или

железисто-гидроslюдистые породы с пелитоморфно-тонкочешуйчатыми структурами [Иванова и др., 1969; Лагутенкова, Чепикова, 1982]. В составе акбердинского горизонта ольховской свиты преобладают гидроslюдистые и серицит-гидроslюдистые аргиллиты с тонкочешуйчато-волокнутой структурой и значительной примесью тонкодисперсного углеродистого материала. В средней и верхней частях ольховской свиты среди тонкообломочных терригенных пород преобладают гидроslюдистые аргиллиты с пелитоморфно-тонкочешуйчатой структурой и примесью алевритовых зерен кварца и полевых шпатов. В отдельных прослоях аргиллиты содержат существенную примесь тонкодисперсного гематита и тонкокристаллического доломита. В разрезах усинской и приютовской свит преобладают гидроslюдистые, серицит-гидроslюдистые и гидроslюдисто смектитовые аргиллиты. Для них характерна неравномерная пигментация оксидами железа, примесь (5-15 %) алевритовых зерен кварца и полевых шпатов, а в некоторых случаях присутствие тонких глинисто-битуминозных пропластков и линз [Масагутов, 2002]. Структуры аргиллитов – тонкочешуйчатая и пелитоморфно-тонкочешуйчатая.

Медианные содержания<sup>2</sup> петрогенных оксидов и ряд статистических параметров для всей проанализированной нами выборки образцов глинистых сланцев, алевроаргиллитов и аргиллитов приведены в табл. 2. Анализ данной таблицы показывает, что по химическому составу тонкозернистые терригенные породы рифея Камско-Бельского прогиба наиболее близки к гидроslюдистым глинам. Медианное содержание  $\text{SiO}_2$  в них составляет  $5851 \pm 3,49$  %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $18,47 \pm 2,10$  %,  $\text{TiO}_2$  –  $0,63 \pm 0,09$  %. В то же время, как и для большинства других тонкозернистых обломочных пород позднего докембрия [Юдович, Кетрис, 2000], для рассматриваемой выборки характерны весьма значительное медианное содержание оксида калия –  $7,78 \pm 1,69$  %.

Если обратиться к рассмотрению ряда статистических параметров химического состава тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена по свитам (табл. 3), то мы увидим, что максимальное медианное содержание оксида кремния характерно для глинистых сланцев и алевроаргиллитов прикамской свиты нижнего рифея ( $60,83 \pm 2,29$  %), а минимальное ( $54,64 \pm 2,22$  %) – для аналогичных по гранулометрии пород усинского уровня верхнего рифея. Максимальное медианное содержание оксида алюминия ( $18,93 \pm 1,64$  %) присуще

глинистым сланцам и аргиллитам тукаевской свиты среднего рифея, а минимальное ( $16,03 \pm 2,31$  %) характерно для аргиллитов приютовской свиты верхнего рифея. Снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена, в интервале от прикамской до усинской свиты, в тонкозернистых обломочных породах нарастает медианное содержание оксида калия (от  $5,62 \pm 1,90$  до  $9,16 \pm 1,52$  %). Медианные значения гидролизатного модуля (ГМ) варьируют от  $0,35 \pm 0,08$  (приютовская свита) до  $0,50 \pm 0,09$  (тукаевская свита) и по данному параметру исследуемые глинистые породы принадлежат нормо- и суперсиаллитам по классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2000]. Максимальные значения химического индекса изменения (СИА) характерны для тонкозернистых обломочных пород прикамской свиты ( $68 \pm 6$ ) и арланской подсвиты калтасинской свиты ( $70 \pm 1$ ) нижнего рифея, минимальные – для аргиллитов приютовской свиты верхнего рифея ( $53 \pm 9$ ). Глинистые сланцы, аргиллиты и алевроаргиллиты надеждинской, тукаевской, ольховской и усинской свит характеризуются значениями СИА от  $59 \pm 6$  до  $65 \pm 5$ , что указывает на относительно слабую преобразованность исходного алюмосилико-кластического материала в областях мобилизации тонкой кластики.

На диаграмме М. Хиррона [Herron, 1988]  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_{\text{tot}}/\text{K}_2\text{O})$  фигуративные точки составов исследуемых пород весьма компактно локализованы в поле глинистых сланцев и только незначительная их часть попадает в поле вакк (рис. 2 А). Это показывает, что имеющийся в нашем распоряжении банк данных является представительным именно для тонкозернистых обломочных пород и рассматриваемые далее в тексте особенности входящих в него индивидуальных образцов корректно характеризуют те закономерности, что присущи такого рода образованиям.

На классификационной диаграмме НКМ–ФМ, предложенной Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [2000], фигуративные точки составов глинистых пород рифея Камско-Бельского прогиба локализованы преимущественно в полях V и VI, отвечающих соответственно хлорит-монтмориллонит-гидроslюдистым и гидроslюдистым со значительным количеством дисперсных частиц полевых шпатов глинам (рис. 2 Б). Обращает на себя внимание, что точки составов тонкозернистых обломочных пород прикамской свиты образуют на этой диаграмме два кластера, различающиеся по значениям модуля нормированной щелочности. Кластер с низкими (в интервале 0,28-0,41, поле V)

<sup>2</sup> В настоящей работе, как и ранее, при анализе ограниченных по объему аналитических выборок мы используем медианные значения содержаний и отношений тех или иных оксидов и элементов, так как данный статистический параметр позволяет дать обобщенную оценку выборок с неизвестным характером распределения [Rock et al., 1987].

Таблица 1. Привязка проанализированных образцов

Скважина	№ образца	Интервал отбора, м	
Прикамская свита			
Сулли 20007	ПБ-51	3070-3075	
	ПБ-17	3138-3145	
	ПБ-22	3138-3145	
	ПБ-16	3170-3173	
	ПБ-47	3176-3180	
Мензелино-Актаныш 20005	ПБ-18	3181-3190	
	ПБ-37	3099-3101	
	ПБ-50	3197-3199	
	ПБ-43	3197-3199	
Мензелино-Актаныш 203	ПБ-15	3199-3202	
	ПБ-21	3249-3257	
	ПБ-23	3305Б9-3313	
	ПБ-27	3305,9-3313	
	ПБ-24	2989-2991	
Калтасинская свита	ПБ-25	3048-3056,5	
	ПБ-26	3257-3264,7	
	Арлан 7000	ПБ-35	2448,8-2453,6
		ПБ-38	2551-2554
ПБ-36		2551-2554	
ПБ-34		2554-2559	
Надеждинская свита			
Сулли 20007	ПБ-49	2818-2820	
	ПБ-53	2818-2820	
Кабаково 62	ПБ-42	5453-5454	
	ПБ-1	5469-5471	
Тукаевская свита			
Кабаково 62	ПБ-14	4980-4981	
	ПБ-3	5237-5239	
	ПБ-40	5237-5239	
	ПБ-39	5353-5354	
Ольховская свита			
Кабаково 62	ПБ-33	4483-4485	
	ПБ-2	4656-4657	
	ПБ-3	4656-4657	
	ПБ-4	4762-4765	
	ПБ-13	4762-4765	
Кипчак 1	ПБ-44	4318-4320	
	ПБ-48	4464-4467	
	ПБ-46	4504-4507	
	ПБ-45	4553-4556	
Северо-Кушкуль 1	ПБ-31	2858-2864	
	ПБ-6	2980-2986	
	ПБ-28	3371-3374	
	ПБ-30	3145-3148	
	ПБ-12	3307-3315	
	ПБ-11	3307-3315	
	ПБ-8	3315-3319,5	
ПБ-29	3315-3319,5		
Усинская свита			
Сулли 20007	ПБ-52	2782-2787	
	ПБ-20	2785-2792	
	ПБ-41	2785-2792	
	ПБ-19	2785-2792	
Приютовская свита			
Шкапово 740	ПБ-32	3511,6-3512,6	
	ПБ-9	3564-3565	
	ПБ-10	3575-3579	
	ПБ-7	3582,8-3585,2	

значениями НКМ объединяет породы норкинской подсвиты прикамской свиты, вскрытые скв. 203 Мензелино-Актаныш. Кластер с высокими значениями НКМ (от 0,54 до 0,66) представлен породами минаевской подсвиты прикамской свиты, вскрытыми скв. 20007 Сулли. По всей видимости, указанная особенность отражает вовлечение в разрыв в процессе формирования отложений прикамской свиты все менее зрелых образований – т.е. все более слабо преобразованной процессами выветривания на палеоводосборах кластики. К полю V диаграммы тяготеют и фигуративные точки составов глинистых пород арланской подсвиты калтасинской свиты, что косвенно указывает на возможный новый этап усиления процессов выветривания в области сноса в середине (или в течение всего) калтасинского времени. Это предположение подтверждается и достаточно высокими значениями индекса CIA в глинистых породах двух указанных литостратиграфических подразделений.

На диаграмме  $TiO_2$ -ГМ [Юдович, Кетрис, 2000] подавляющее большинство фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена локализовано в области перекрытия полей существенно гидрослюдистых и смектитовых глин (рис. 2 В), часть же точек, характеризующих составы глинистых сланцев и алевроаргиллитов из разрезов надеждинской, усинской и ольховской свит, сосредоточена в поле преимущественно смектитовых глин.

### ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ИНДИКАТОРОВ РЕЦИКЛИНГА ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ В РАЗРЕЗЕ РИФЕЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА

Обратимся теперь к анализу особенностей изменения в разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена отношений  $K_2O/Al_2O_3$ ,  $Eu/Eu^*$  и ЛРЗЭ/ТРЗЭ, а также содержаний Th, Y, U и Sr.

Медианные значения  $K_2O/Al_2O_3$  варьируют в целом от  $0,31 \pm 0,03$  (арланская подсвита калтасинской свиты) до  $0,52 \pm 0,06 \dots \pm 0,05$  (соответственно ольховская и приютовская свиты) (табл. 4). В восходящем разрезе (рис. 3а) в нижней части рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского прогиба наблюдается резкий спад величины  $K_2O/Al_2O_3$  от 0,46 до 0,31, а затем, начиная с надеждинского уровня (верхи нижнего рифея), и вплоть до приютовского уровня (середины верхнего рифея), на протяжении примерно 500-550 млн. лет можно видеть постепенный рост значений рассматриваемого параметра до 0,48-0,52. Показательно, что экскурс медианной величины  $K_2O/Al_2O_3$  на отрезке прикамская свита-калтасинская свита в область низких значений не сопровождается симбатным снижением ни ГМ, ни

СИА, что указывает на отсутствие взаимосвязи данного явления с преобразованием кластики процессами выветривания на палеоводосборах.

Анализ изменения величины  $K_2O/Al_2O_3$  с использованием данных по частным образцам также показывает, что низкие значения данного параметра, подобные тем, что по данным Р. Кокса с соавторами [Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995], свойственны литогенным глинам, характерны только для алевроаргиллитов и глинистых сланцев второй снизу подскиты прикамской свиты и арланской подскиты калтасинской свиты. Тонкозернистые обломочные породы остальных литостратиграфических единиц рифейской мегапоследовательности характеризуются значениями  $K_2O/Al_2O_3 \geq 0,35-0,40$  и обнаруживают устойчивую тенденцию к росту рассматриваемого отношения вверх по разрезу (рис. 4). Исходя из сказанного, можно предполагать, что значительная часть тонкозернистой алюмосиликокластики в разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена имеет петрогенную природу.

Еще одним аргументом в пользу сделанного выше вывода является наличие положительной (однако достаточно слабой) корреляции между ТМ и ЖМ ( $r = 0,21$ ), с одной стороны, и отрицательной – между НКМ и ГМ ( $r = -0,32$ ) – с другой, во всей выборке образцов глинистых сланцев и аргиллитов рифейской мегапоследовательности, что, по представлениям Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2000], указывает на петрогенный характер тонкой алюмосиликокластики. Вместе с тем, при обращении к анализу корреляционных связей между указанными модулями в выборках для каждой из свит мы наблюдаем существенно более сложную картину. Так, алевроаргиллиты и глинистые сланцы прикамской свиты ( $n = 16$ ) характеризуются отрицательной корреляцией между обеими парами модулей и, следовательно, не могут рассматриваться, на основе данного критерия, как петрогенные образования. Глинистые сланцы калтасинского уровня нижнего рифея ( $n = 4$ ) обладают значимой отрицательной корреляцией между модулями ТМ и ЖМ ( $r = -0,66$ ) и, в то же время, корреляция между модулями НКМ и ГМ в них значимая положительная ( $r = 0,94$ ). Из сказанного следует, что и тонкозернистые обломочные породы данного уровня являются литогенными образованиями. Для глинистых сланцев надеждинской свиты ( $n = 4$ ) соотношения между рассматриваемыми нами парами модулей отвечают критериям, характеризующим петрогенные тонкозернистые алюмосиликокластические образования – корреляция между ТМ и ЖМ сильная положительная ( $r = 0,95$ ), между НКМ и ГМ – сильная отрицательная ( $r = -0,81$ ). К петрогенным образованиям принадлежат также глинистые сланцы и аргиллиты ольховского уровня серафимовской серии среднего рифея ( $n = 17$ ). Напротив, тонкозернистые обломочные породы усинской и приотов-

**Таблица 2.** Некоторые общие статистические параметры для всей исследованной выборки образцов тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского прогиба

	Мд	СО	Мин	Макс
SiO <sub>2</sub>	58,51	3,49	51,55	65,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,47	2,10	12,26	21,09
TiO <sub>2</sub>	0,63	0,09	0,42	0,78
Fe <sub>общ.</sub>	5,84	1,94	2,54	14,19
MgO	2,65	1,06	1,97	6,63
CaO	0,30	1,22	0,30	5,03
MnO	0,03	0,05	0,02	0,24
Na <sub>2</sub> O	0,80	0,43	0,40	1,90
K <sub>2</sub> O	7,78	1,69	4,50	10,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,10	0,06	0,73
ППП	4,20	1,59	2,30	9,80

Примечание. Мд – медиана, СО – стандартное отклонение, Мин и Макс – соответственно минимальное и максимальное содержание. Все параметры приведены в мас. %.

ской свит верхнего рифея по соотношениям между модулями ТМ и ЖМ, а также НКМ и ГМ, являются, исходя из критериев, предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [2000], по всей видимости, породами литогенными.

Медианные для свит содержания U не обнаруживают какой-либо ясно выраженной тенденции к росту или снижению снизу вверх по всему разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена (табл. 4, рис. 3а): в алевроаргиллитах и глинистых сланцах прикамской свиты кырпинской серии рассматриваемая величина составляет  $3,33 \pm 0,63$  г/т, в глинистых сланцах надеждинской свиты той же серии она равна  $3,22 \pm 0,69$  г/т, в тонкозернистых обломочных породах ольховской свиты среднего рифея –  $3,00 \pm 1,36$  г/т, а в аргиллитах приотовской свиты верхнего рифея –  $3,62 \pm 2,61$  г/т. Тенденция к росту или снижению содержания урана в тонкозернистых обломочных породах не наблюдается и при рассмотрении данных по индивидуальным образцам (рис. 5а), однако бросаются в глаза довольно большие вариации в содержании U в конкретных образцах глинистых и алевроглинистых пород тукаевской, ольховской и прикамской свит, что отражается и в достаточно больших величинах стандартных отклонений.

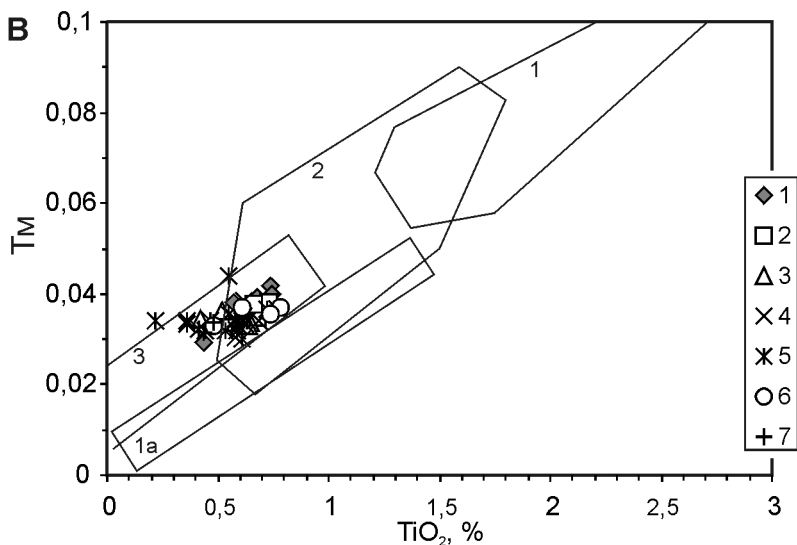
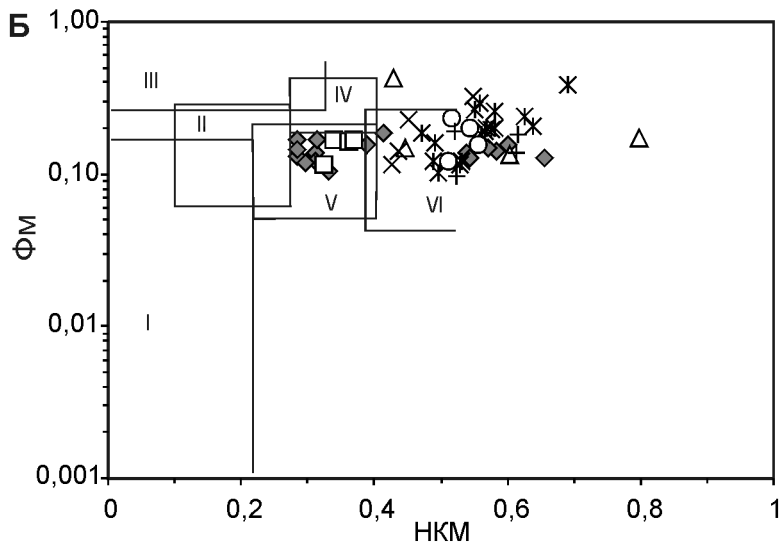
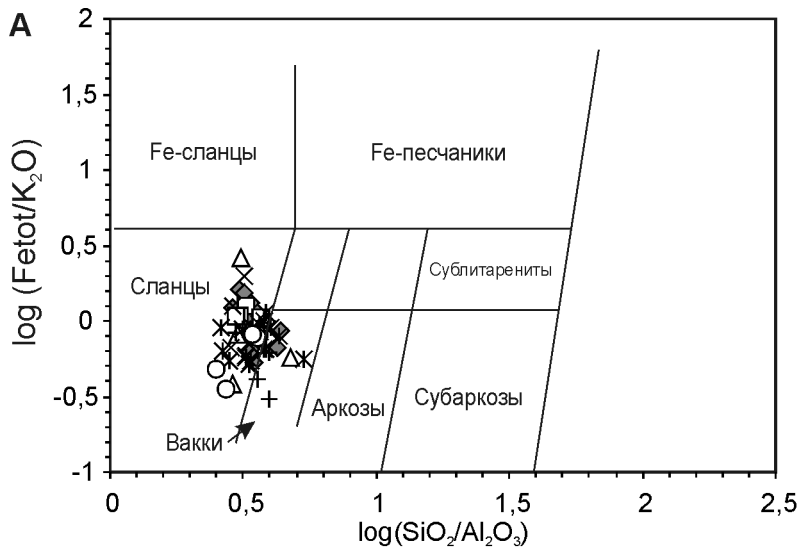
Медианные для свит содержания Sг в тонкозернистых терригенных породах рифея Камско-Бельского авлакогена, элемента также как и U, обладающего относительно большой растворимостью, напротив, характеризуются вполне ясно выраженной тенденцией к росту вверх по разрезу. Так, в по-

**Таблица 3.** Медианные, минимальные и максимальные содержания (мас. %) основных петрогенных оксидов и значения ряда литохимических индексов в тонкозернистых терригенных породах рифея Камско-Бельского прогиба

Оксид	Свиты																											
	Прикамская			Калташанская			Надеждинская			Тукаевская			Ольховская			Усинская			Приотовская									
	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс	Мд	СО	Макс							
SiO <sub>2</sub>	60,83	2,29	56,69	65,09	59,00	3,14	57,61	64,63	57,04	6,48	44,53	58,03	55,74	4,23	51,55	61,42	57,22	3,22	52,13	61,14	54,64	2,22	52,14	56,42	56,25	3,71	54,90	62,96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,29	1,42	14,85	19,72	18,85	0,89	17,52	19,54	16,85	3,63	12,26	19,49	18,93	1,64	16,19	20,03	17,88	2,35	13,74	21,00	18,59	3,23	14,58	21,09	16,03	2,31	13,94	18,48
TiO <sub>2</sub>	0,66	0,08	0,43	0,75	0,67	0,03	0,65	0,73	0,58	0,11	0,42	0,65	0,62	0,04	0,58	0,69	0,59	0,09	0,44	0,77	0,67	0,14	0,48	0,78	0,52	0,08	0,44	0,61
Fe <sub>общ.</sub>	5,89	1,17	4,44	8,56	6,77	0,90	5,11	7,10	5,07	5,04	3,97	14,70	7,62	4,43	14,19	6,66	1,56	3,87	8,05	5,18	1,27	3,61	6,65	4,16	2,09	2,54	7,37	
MgO	2,32	0,41	1,97	3,17	2,71	0,34	2,34	3,18	3,90	0,95	3,14	5,34	2,59	0,19	2,44	2,89	2,55	1,00	2,18	5,23	4,01	1,56	3,19	6,63	4,17	1,42	2,65	5,39
CaO	0,30	0,16	0,30	0,83	0,30	0,00	0,30	0,30	0,30	1,20	0,30	2,70	0,40	0,38	0,30	1,10	0,30	1,62	0,30	5,03	0,54	1,81	0,30	4,05	2,23	1,96	0,30	3,87
MnO	0,04	0,03	0,02	0,12	0,03	0,00	0,03	0,04	0,15	0,25	0,03	0,56	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,06	0,09	0,09	0,04	0,24	0,06	0,01	0,03	0,06
Na <sub>2</sub> O	1,05	0,25	0,50	1,30	0,70	0,15	0,60	0,90	1,55	0,56	0,60	1,90	0,70	0,55	0,50	1,70	1,20	0,53	0,40	1,80	0,60	0,53	0,50	1,60	0,75	0,19	0,40	0,80
K <sub>2</sub> O	5,62	1,90	4,50	9,30	5,86	0,80	4,90	6,60	7,46	2,02	5,57	10,26	7,72	0,40	7,17	8,03	8,34	1,00	7,05	10,81	9,16	1,52	7,04	10,15	8,48	0,45	7,78	8,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,03	0,06	0,17	0,09	0,02	0,09	0,13	0,16	0,04	0,09	0,19	0,22	0,30	0,06	0,73	0,12	0,04	0,06	0,18	0,16	0,02	0,13	0,17	0,13	0,02	0,10	0,15
шпг	3,80	0,89	2,30	5,60	4,60	0,70	3,40	5,00	5,05	5,50	3,90	15,50	4,05	0,36	3,90	4,70	4,25	2,07	3,20	9,80	4,75	2,35	4,60	9,40	5,85	2,00	3,30	7,80
ГМ	0,41	0,05	0,32	0,51	0,45	0,05	0,36	0,47	0,43	0,16	0,30	0,68	0,50	0,09	0,39	0,60	0,41	0,06	0,38	0,54	0,43	0,05	0,40	0,51	0,35	0,08	0,31	0,48
СІА	68	6	56	74	70	1	69	71	61	10	43	65	65	5	56	66	60	7	42	64	59	6	48	63	53	9	45	62

Примечание. Мд – медиана, СО – стандартное отклонение, Мин и Макс – соответственно, минимальное и максимальное значение, ГМ – гидролизатный модуль, СІА – химический индекс изменения.





**Рис. 2.** Положение фигуративных точек составов глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$   $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}}/\text{K}_2\text{O})$  (А), НКМ–ФМ (Б) и  $\text{TiO}_2$ –ТМ (В).

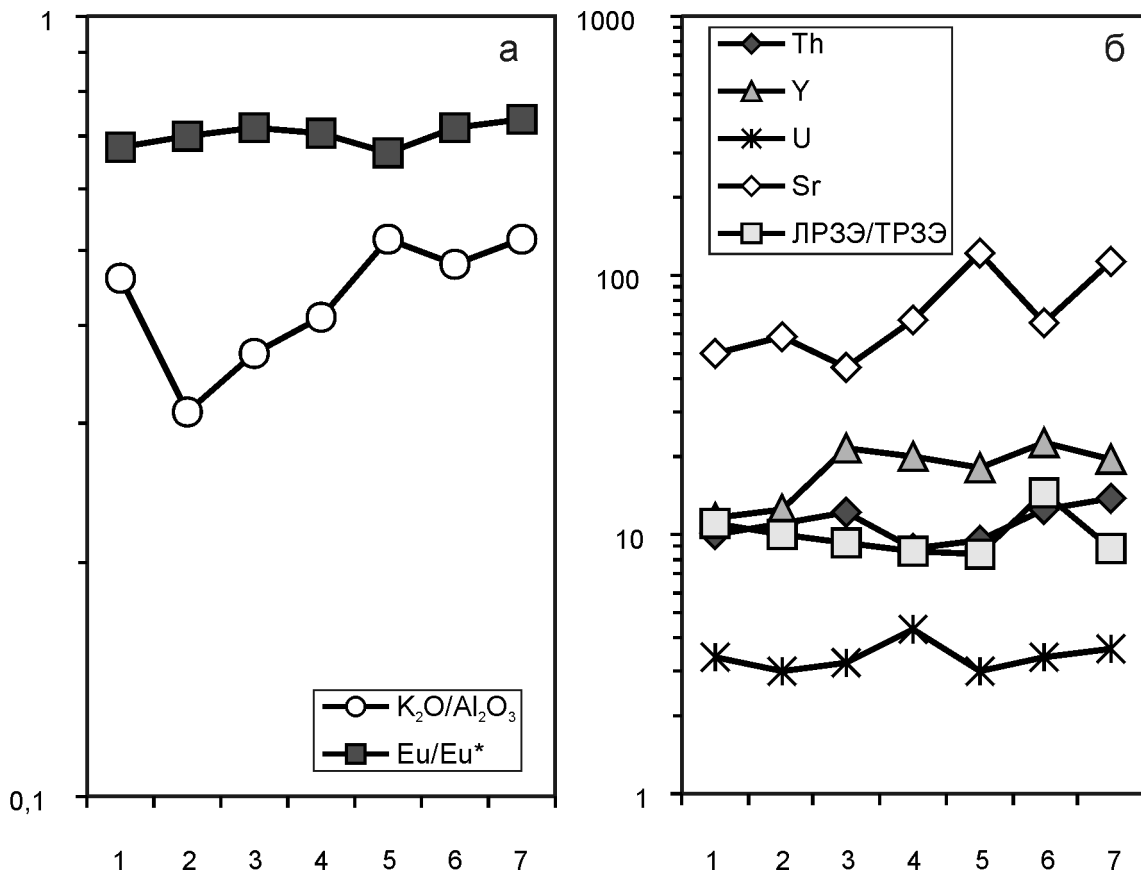
Б: I – поле преимущественно каолинитовых глин, II – поле преимущественно монтмориллонитовых с примесью каолинита и гидрослюды глин, III – поле преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюды глин, IV – поле хлорит-гидрослюды глин, V – поле хлорит-монтмориллонит-гидрослюды глин, VI – поле гидрослюды глин со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

В: 1 – поле каолинитовых глин, 1а – поле низкомолекулярных каолинитовых глин-продуктов катагенетического преобразования смектитовых или каолинитовых субстратов, 2 – поле преимущественно гидрослюды глин, 3 – поле существенно смектитовых глин.

Здесь и далее, на рис. 3-7, свиты: 1 – прикамская, 2 – калтасинская, 3 – надеждинская, 4 – тукаевская, 5 – ольховская, 6 – усинская, 7 – приоттовская.

**Таблица 4.** Медианные для свит значения ряда индикаторных отношений и содержаний некоторых элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского прогиба

Элементы, оксиды и отношения	Свиты						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Th	10,1±2,6	11,1±2,3	12,3±1,8	8,9±3,2	9,5±2,1	12,4±2,9	13,8±4,5
Y	11,7±3,6	12,4±5,4	21,5±1,6	20,1±4,3	18,1±3,6	22,4±2,6	19,7±3,9
U	3,3±0,6	2,9±0,2	3,2±0,7	4,3±0,8	3,0±1,4	3,3±0,4	3,6±2,6
Sr	49,6±18,3	58,3±23,3	44,7±12,5	67,1±14,5	121,4±47,3	65,1±25,4	112,0±30,8
ЛРЗЭ/ТРЗЭ	11,1±1,6	10,0±0,6	9,3±1,5	8,7±1,6	8,5±0,8	14,4±3,1	8,7±0,9
Eu/Eu*	0,68±0,05	0,70±0,01	0,72±0,03	0,71±0,03	0,67±0,04	0,72±0,02	0,74±0,03
K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46±0,13	0,31±0,03	0,37±0,03	0,41±0,02	0,52±0,06	0,48±0,01	0,52±0,05



**Рис. 3.** Вариации медианных для свит рифея Камско-Бельского авлакогена значений K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Eu/Eu\* (а), величины ЛРЗЭ/ТРЗЭ и содержаний (в г/т) U, Sr, Th и Y (б).

родах прикамской, калтасинской и надеждинской свит нижнего рифея его медианные содержания составляют соответственно  $49,6 \pm 18,3$ ,  $58,3 \pm 23,3$  и  $44,7 \pm 12,5$  г/т, тогда как выше по разрезу, в алевроаргиллитах и глинистых сланцах серафимовской и абдулинской серий они повышаются до 65-120 г/т. Из приведенных в табл. 4 данных очевидно, что с учетом величин стандартных отклонений тонкозернистые обломочные породы ольховской и приутовской свит значительно отличаются от аналогичных по гранулометрии пород других литостратиграфических единиц рифейской мегапоследовательности. При анализе содержаний Sr в частных пробах видно, что его поведение в вертикальном разрезе почти симбатно поведению U (рис. 5б): в глинистых сланцах и алевроаргиллитах прикамской, калтасинской, надеждинской и тукаевской свит содержания стронция варьируют от 33 до 95 г/т, тогда как в тонкозернистых обломочных породах более высоких уровней разреза разброс содержаний Sr увеличивается до 39-205 г/т.

Таким образом, для U снизу вверх по разрезу рифея каких-либо определенных тенденций нет, тогда как для Sr наблюдается тенденция к постепенному росту содержаний.

Медианные для свит содержания тория, элемента из группы слаборастворимых, снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена испытывают тенденцию к слабому росту (рис. 3б). В глинистых сланцах и алевроаргиллитах прикамской и калтасинской свит кырпинской серии нижнего рифея рассматриваемая величина составляет соответственно  $10,07 \pm 2,60$  и  $11,12 \pm 2,32$  г/т, а в близких по гранулометрии образованиях усинской и приутовской свит абдулинской серии верхнего рифея –  $12,44 \pm 2,90$  и  $13,82 \pm 4,54$  г/т. Вместе с тем, значительная в последнем случае величина стандартного отклонения не позволяет рассматривать указанную тенденцию как статистически значимую. Если обратиться к анализу особенностей изменения снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского прогиба содержаний Th в частных пробах (рис. 6а), то мы увидим, что в тонкозернистых терригенных породах кырпинской и серафимовской серий пределы вариаций данного параметра достаточно сходны (прикамская свита – 4,8-13,7, калтасинская свита – 9-14,4, надеждинская свита – 11,0-13,6, тукаевская свита – 5,8-12,5 и ольховская свита – 7,2-12,1 г/т). В глинистых сланцах и аргиллитах усинской и приутовской свит содержания тория несколько выше и пределы вариаций составляют соответственно 9,5-16,6 и 9,4-19,2 г/т.

Иттрий, также считающийся одним из относительно нерастворимых элементов, обнаруживает несколько иной тип изменения медианных для свит содержаний снизу вверх по разрезу (рис. 3б). Минимальные медианные его содержания характерны для двух свит из основания рифейской мегапоследовательности – прикамской и калтасинской (соответ-

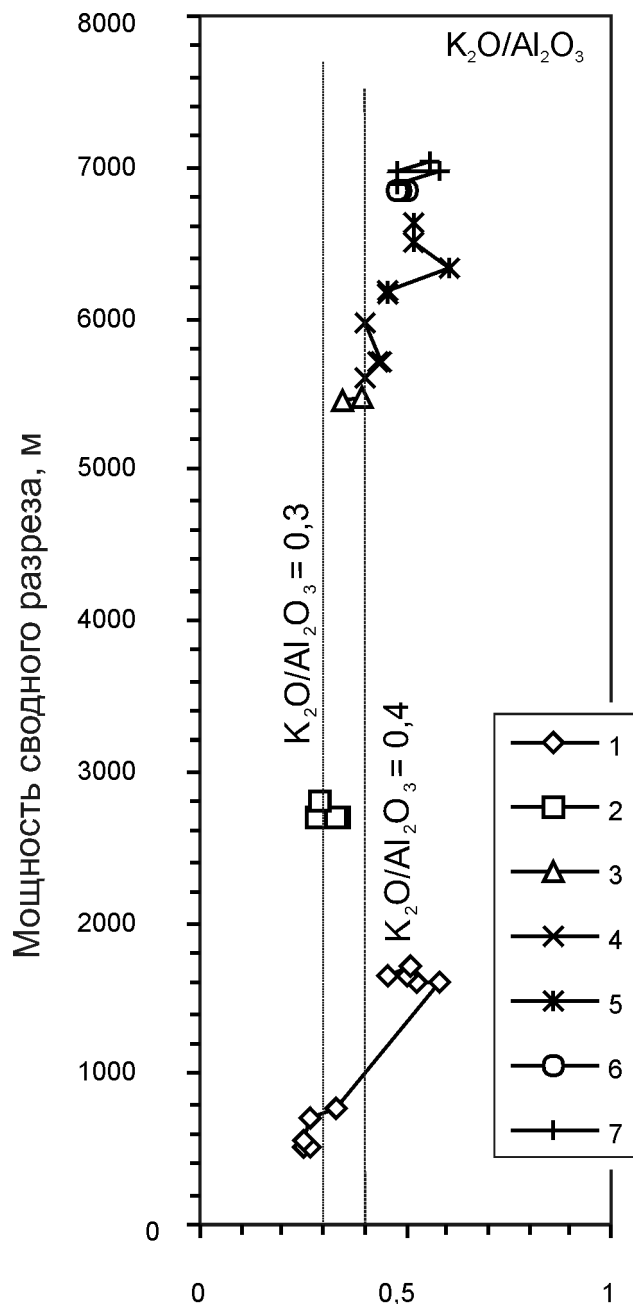


Рис. 4. Вариации значений  $K_2O/Al_2O_3$  в частных пробах тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена.

ственно  $11,7 \pm 3,6$  и  $12,4 \pm 5,4$  г/т). Выше, практически во всем надеждинско-приутовском интервале, т.е. на протяжении примерно 500 млн. лет, медианное содержание Y в тонкозернистых обломочных породах заметно увеличивается и составляет от  $18,1 \pm 3,6$  (ольховская свита) до  $22,4 \pm 2,6$  (усинская свита) г/т. При анализе содержания Y в частных пробах (рис. 6б) тенденция к росту концентраций вверх по разрезу проявлена несколько более от-

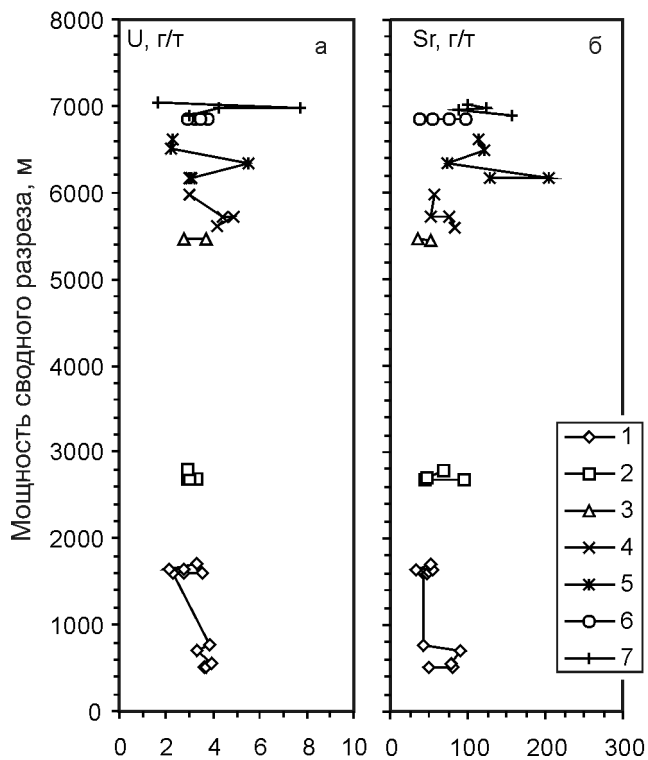


Рис. 5. Вариации содержаний (в г/т) U (а) и Sr (б) в частных пробах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена.

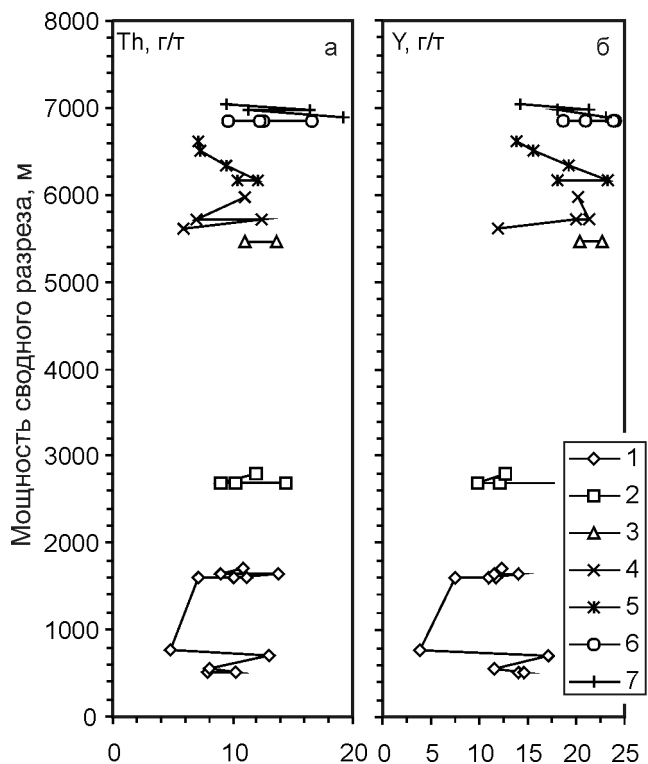


Рис. 6. Вариации содержаний (в г/т) Th (а) и Y (б) в частных пробах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена.

четливо. Особенно наглядно это можно видеть при сопоставлении пределов вариации содержаний Y в частных пробах различных литостратиграфических подразделений (прикамская свита – 3,8-17,1, калтасинская свита – 9,9-22,0, тукаевская свита – 12-21,4, ольховская свита – 13,9-23,2 и приутовская свита – 14,2-23,2 г/т).

Резюмируя сказанное, можно отметить, что для обоих относительно слабо растворимых элементов наблюдается тенденция к некоторому увеличению содержаний вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена (как медианных для свит, так и в частных пробах).

Для отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ по медианным для свит значениям как будто бы намечается тенденция к постепенному снижению значений снизу вверх по разрезу рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского авлакогена (табл. 4): в глинистых сланцах и алевроаргиллитах прикамского уровня ЛРЗЭ/ТРЗЭ<sub>медиана</sub> составляет  $11,1 \pm 1,6$ , в тонкозернистых терригенных породах надеждинской свиты –  $9,3 \pm 1,5$ , в глинистых сланцах и аргиллитах ольховской свиты –  $8,5 \pm 0,8$ . Примерно такое же значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ<sub>медиана</sub> характерно для тонкозернистых алюмосиликокластических образований приутовской свиты ( $8,7 \pm 0,9$ ). Исключением в этом ряду являются глинистые сланцы усинской свиты, характеризующиеся медианным значением ЛРЗЭ/ТРЗЭ равным  $14,3 \pm 3,1$ . Тенденция к постепенному уменьшению вверх по разрезу величины отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ фиксируется и по частным пробам (рис. 7а). Выявленные особенности поведения отношения ЛРЗЭ/ТРЗЭ в глинистых сланцах и аргиллитах не свидетельствуют, таким образом, в пользу предположения о росте степени рециклинга тонкой алюмосиликокластики вверх по разрезу рифея.

В то же время, величина европиевой аномалии в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена не претерпевает снизу вверх по разрезу каких-либо значимых изменений. Это видно как по медианным для свит значениям (рис. 3а), так и по величинам отрицательной Eu аномалии в частных образцах глинистых сланцев, алевроаргиллитов и аргиллитов (рис. 7б).

#### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Преобладание среди тонкозернистых терригенных отложений рифея Камско-Бельского авлакогена пород со значениями  $K_2O/Al_2O_3 > 0,35-0,40$  позволяет считать, что значительная часть тонкозернистой алюмосиликокластики имеет петрогенную природу. Алевроаргиллиты и глинистые сланцы калтасинской и прикамской свит (последние вообще ассоциируют с аркозовыми, полевошпато-кварцевыми и кварцевыми псаммитами), скорее всего, также являются «first cycle» образованиями, а свойственные

им более низкие значения отношения  $K_2O/Al_2O_3$ , обусловлены, по всей видимости, формированием исходных осадков в обстановках близких к гумидным (величина CIA в тонкозернистых обломочных породах прикамской свиты составляет  $68 \pm 6$ , в аргиллитах калтасинской свиты она равна  $70 \pm 1$ , а выше по разрезу варьирует между  $53 \pm 9$  и  $65 \pm 5$ , т.е. несколько ниже).

Наличие для всей выборки химических анализов тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского прогиба положительной корреляции между ТМ и ЖМ, с одной стороны, и отрицательной между НКМ и ГМ, с другой, также указывает на петрогенный характер тонкой алюмосиликокластики. То, что для ряда литостратиграфических единиц разреза (прикамская, калтасинская, усинская и приутовская свиты) последний критерий в ряде случаев «не работает», по всей видимости, связано либо с малой представительностью аналитических выборок, либо, как это характерно для прикамского уровня, с объединением в одну выборку несколько различного по генезису материала.

Для песчаников айской свиты эталонного разреза рифея Башкирского мегантиклинория, с которой коррелируется прикамская свита Камско-Бельского авлакогена, типична отрицательная корреляция между модулями ГМ и НКМ и положительная корреляция между ЖМ и ТМ, что позволяет «...с высокой степенью вероятности» [Маслов и др., 2005] рассматривать их как породы петрогенные. Завершающие разрез бурзянской серии псаммиты юшинской свиты по соотношениям модулей также являются «first cycle» породами, что соответствует сделанному нами выше выводу о петрогенной природе тонкой алюмосиликокластики в разрезах надеждинской свиты.

Вместе с тем, для значительной части эталонного разреза рифея можно видеть участие в составе терригенных образований (как песчаников, так и глинистых пород) существенной доли литогенного материала. Так, в глинистых сланцах бурзянской серии содержание Th слабо растет вверх по разрезу, содержание Y не обнаруживает какого-либо ясно выраженного тренда, содержания U и Sg вверх по разрезу серии постепенно снижаются. Отношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ несколько растет вверх по разрезу, а величина Eu/Eu\* практически не меняется. Значение отношения  $K_2O/Al_2O_3$  в глинистых сланцах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория ни для одного литостратиграфического подразделения не превышает 0,3. Все это указывает на формирование тонкообломочных пород бурзянской серии под существенным влиянием процессов рециклинга. В глинистых сланцах среднерифейской юрматинской серии Башкирского мегантиклинория отношение  $K_2O/Al_2O_3$  заметно варьирует от уровня к уровню, однако в подавляющем большинстве случаев не превышает 0,3. Кроме того, рост вверх по разрезу серии величины ЛРЗЭ/ТРЗЭ и отсутствие замет-

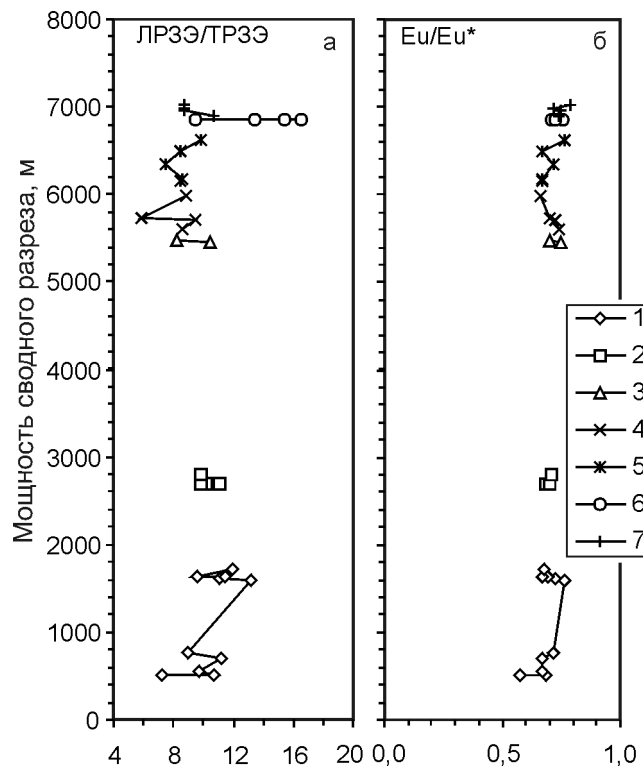


Рис. 7. Вариации значений ЛРЗЭ/ТРЗЭ (а) и Eu/Eu\* (б) в частных пробах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена.

ного фракционирования Eu, относительно других РЗЭ, указывают, что тонкозернистые терригенные образования рассматриваемого интервала сформированы в значительной мере с участием рециклированного материала. Базальные уровни каратауской серии Башкирского мегантиклинория сложены песчаниками с существенной долей литогенного компонента. Только в конце зильмердакского времени (бедерьшинский век) в бассейн седиментации, по всей видимости, поступал материал первого цикла седиментации. В глинистых сланцах зильмердакской свиты, так же как и в тонкозернистых обломочных породах миньярской и уской свит, величина отношения  $K_2O/Al_2O_3$  превышает 0,3, что позволяет предполагать поступление в область седиментации, на фоне преобладающего привноса тонкой рециклированной алюмосиликокластики, какой-то части «first cycle» материала. Содержания Th и Y в глинистых породах каратавия с течением времени несколько снижаются, тогда как изменений содержаний Sr и U нет. Параметр ЛРЗЭ/ТРЗЭ вверх по разрезу серии несколько растет, а величина отрицательной европиевой аномалии практически не меняется (за исключением некоторого уменьшения в самом конце каратавия) [Маслов и др., 2005].

Для рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского прогиба картина заметно иная. Содержа-

ния U в тонкообломочных породах снизу вверх по разрезу рифея каких-либо определенных изменений не испытывают, тогда как для Sg наблюдается тенденция к постепенному росту. Содержания Th и Y вверх по разрезу несколько растут. Все это позволяет предполагать отсутствие существенно-го вклада процессов рециклинга в формирование тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского прогиба. Особенности поведения ЛРЗЭ/ТРЗЭ в глинистых сланцах и аргиллитах (при том, что величина Eu/Eu\* не претерпевает снизу вверх каких-либо значимых изменений) также свидетельствуют не в пользу предположения о росте степени рециклинга тонкой алюмосиликокластики вверх по разрезу рифея.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили показать, что в составе тонкозернистой терригенной кластики, участвующей в сложении мощной рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского прогиба существенную или ведущую роль играет петрогенный («first cycle») материал, не подвергшийся сколько-нибудь значительному преобразованию на палеоводосборах и путях переноса кластики. Это дает возможность в значительной мере корректно использовать присущие ему особенности состава для различных генетических построений на основе прецизионных геохимических данных.

*Исследования проведены в рамках Интеграционного проекта УрО и СО РАН (проект ИП СО РАН 6.6 «Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга»).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов Е.М. История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое: Автореф. докт. дис. СПб.: ИГГД РАН, 1998. 106 с.
- Алиев М.М., Морозов С.Г., Постникова И.Е. и др. Геология и нефтегазоносность рифейских и вендских отложений Волго-Уральской провинции. М.: Недра, 1977. 157 с.
- Андреев Ю.В., Иванова Т.В., Келлер Б.М. и др. Стратиграфия верхнего протерозоя восточной окраины Русской плиты и западного склона Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 10. С. 57-68.
- Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Стресс и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК «Звезда», 2001. 108 с.
- Горожанин В.М. Новые геохронологические данные по верхнему докембрию Татари (скв. 20005 Карачевская) // Стратиграфия и литология верхнего докембрия и палеозоя Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР, 1983. С. 48-51.
- 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.
- Иванова З.П., Веселовская М.М., Клевцова А.А. и др. Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. Т. I. Доордовикские отложения центральных и восточных областей Русской платформы. Л.: Недра, 1969. 168 с.
- Ишерская М.В., Романов В.А. К стратиграфии рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1993. 35 с.
- Казаков Г.А., Кнорре К.Г., Стрижов В.П. Новые данные о возрасте нижних свит Нижнебавлинской серии Волго-Уральской области // Геохимия. 1967. № 4. С. 482-485.
- Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. Верхнедокембрийские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 1982. 110 с.
- Лозин Е.В. Тектоника и нефтеносность платформенного Башкортостана. Ч. I. М.: ВНИИОЭНГ, 1994. 73 с.
- Лозин Е.В. Тектоническое развитие и перспективы нефтегазоносности рифейских и вендских образований юго-востока Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифейских и вендских отложений восточной части Восточно-Европейской платформы. Ч. 1. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. С. 49-54.
- Масагутов Р.Х. Литолого-стратиграфическая характеристика и палеогеография позднего докембрия Башкирского Приуралья. М.: Недра, 2002. 224 с.
- Маслов А.В. Среднерифейский бассейн осадконакопления области сочленения Русской платформы и Южного Урала: литологические и фациальные особенности отложений, палеогеография и основные черты эволюции // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2000. Т. 8. № 1. С. 17-34.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т. Терригенные осадочные последовательности типового разреза рифея: соотношение процессов рециклинга и привноса «first cycle» материала // Геохимия. 2005. № 2. С. 158-181.
- Маслов А.В., Ишерская М.В. Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 286 с.
- Маслов А.В., Ишерская М.В. Тонкозернистые терригенные породы рифея Камско-Бельского прогиба: основные черты геохимической систематики // Литосфера. 2008. № 2. С. 46-66.
- 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. В печати.
- 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.

*Постникова И.Е.* Верхний докембрий Русской плиты и его нефтеносность. М.: Недра, 1977. 222 с.

Рабочая схема стратиграфии и корреляции разрезов верхнего протерозоя Западной Башкирии (методические рекомендации) / Н.Н. Лисовский, В.С. Афанасьев, Л.Д. Ожиганова и др. Уфа: БФАН СССР, 1981. 35 с.

*Романов В.А., Ишерская М.В.* К изучению рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994. 32 с.

*Романов В.А., Ишерская М.В.* Стратиграфия рифея платформенного Башкортостана. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1998. 36 с.

*Романов В.А., Ишерская М.В.* Стратиграфия рифея платформенного Башкортостана // Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазосности рифейских и вендских отложений восточной части Восточно-Европейской платформы. Ч. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. С. 59-60.

*Романов В.А., Ишерская М.В.* Рифей платформенного Башкортостана: стратиграфия, тектоника и перспективы нефтегазосности. Уфа: Гилем, 2001. 126 с.

Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка / Отв. ред. Е.М. Аксенов, В.И. Козлов Уфа: ИГ УНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, БашНИПИНефть, 2000. 81 с.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.

*Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

*Фролович Г.М.* Сопоставление разрезов докембрийских отложений Камско-Бельской впадины // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 4. С. 75-85.

*Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

*Cox R., Lowe D.R.* Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review // J. Sediment. Res. 1995. V. A65. P. 1-12.

*Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L.* The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. P. 2919-2940.

Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments / D.R. Lentz (ed.). Geol. As. Canada. 2003. GeoText 4. 184 p.

*Herron M.M.* Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820-829.

*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.

*Veizer J.* Recycling on the evolving Earth: geochemical record in sediments // Proc. 27<sup>th</sup> Int. Geol. Congress. 1984. V. 11. Utrecht. VNU Sci. Press. P. 325-345.

*Veizer J., Jansen L.* Basement and sedimentary recycling-2: time dimension to global tectonics // J. Geol. 1985. V. 93. № 6. P. 625-643.

*Рецензенты: доктор геол.-мин. наук Р.Х. Масагутов  
доктор геол.-мин. наук В.П. Алексеев*