

УДК 551

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-208-222

КЛАРКИ КОНЦЕНТРАЦИИ РЯДА ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ ВЕРХНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. А. В. Маслов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru

Поступила в редакцию 12.08.2016 г., принята к печати 03.06.2017 г.

В статье проанализированы кларки концентрации ряда редких и рассеянных элементов в глинистых породах каратауской серии верхнего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Для этого из литостратиграфических единиц каратауской серии, в составе которых присутствуют глинистые породы, в ряде представительных разрезов случайным образом отобрано около 90 образцов глинистых сланцев и аргиллитов, не имевших видимых признаков вторичных изменений (так называемые “фоновые образования”). Определение содержаний редких и рассеянных элементов в них выполнено методом ICP-MS. Для расчета и анализа кларков концентрации использованы два “геохимических стандарта” – средний состав верхней континентальной коры, UCC, и средний постархейский австралийский глинистый сланец, PAAS. В первом случае рассматривается распределение Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Hf, Pb, Bi, Th и U, во втором – Li, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th и U. В результате проведенных исследований установлено, что фоновые тонкозернистые обломочные породы данного подразделения типового разреза рифея не обладают какими-либо аномальными содержаниями элементов-примесей и сопоставимы по своим геохимическим особенностям с глинистыми породами различных уровней бурзянской и юрматинской серий нижнего и среднего рифея. Снизу вверх по разрезу серии “пестрота” распределения элементов-примесей в индивидуальных пробах снижается, что в целом коррелируется с трансгрессивной тенденцией развития поздне-рифейского седиментационного бассейна. Источниками тонкой алюмосиликокластики для верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория выступали области питания, в составе которых присутствовали как кислые, так и основные магматические образования.

Ключевые слова: верхний рифей, Башкирский мегантиклинорий, тонкозернистые терригенные образования, кларки концентрации

CLARKS OF CONCENTRATION OF SOME TRACE ELEMENTS IN UPPER RIPHEAN CLAY ROCKS OF BASHKIRIAN MEGANTICLINORIUM (SOUTH URALS)

Andrey V. Maslov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg, 620016, Russia, e-mail: amas2004@mail.ru

Received 12.08.2016, accepted 03.06.2017

The clark of concentration of a number of rare and trace elements in clay rocks of the Karatau Group of the Upper Riphean of the Bashkirian meganticlinorium (South Urals) was analyzed. For this purpose, from the lithostratigraphic units of the Karatau Group, in which clay rocks are present, about 90 samples of shales and mudstones with no visible signs of secondary changes (the so-called “background rocks or deposits”) were randomly selected in a number of representative sections. Determination of the contents of rare and trace elements in them is performed by the ICP-MS method. Two “geochemical standards” were used for the calculation and analysis of clark of concentration: the average composition of the upper continental crust, UCC, and the average post-Achaean Australian shale, PAAS. In the first case, the distribution of Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Hf, Pb, Bi, Th and U, in the second – Li, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th and U is considered. It was established that the background fine-grained clastic rocks of the Upper Riphean Karatau Group do not possess any anomalous contents of trace elements and they are comparable in their geochemical features with clayey rocks of different levels of the Burzyan and Jurmatau groups of Lower and Middle Riphean. From the bottom to up the section of the “diversity” of the distribution of rare and trace elements in individual samples decreases, which, on the whole, correlates with the transgressive tendency of the development of the Late Riphean sedimentary basin. Sources of fine aluminosilicoclastic for the Upper Riphean deposits of the Bashkirian meganticlinorium were catchment areas, in which both acidic and basic magmatic formations were present.

Keywords: Upper Riphean, Bashkirian meganticlinorium, fine-grained terrigenous rocks, clarks of concentration

Для цитирования: Маслов А.В. (2018) Кларки концентрации ряда элементов-примесей в глинистых породах верхнего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). *Литосфера*, 18(2), 208–222. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-208-222

For citation: Maslov A.V. (2018) Clarks of concentration of some trace elements in Upper Riphean clay rocks Bashkirian meganticlinorium (South Urals). *Litosfera*, 18(2), 208–222. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-208-222

Acknowledgments

The author is sincerely grateful to N.S. Glushkova for preparing computer versions of the table and drawings.

The studies were carried out in accordance with the plan of work of the IGG UB RAS approved by the Russian Federation's FAO, within the framework of state/budget subsidies.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что отношение содержания химического элемента в той или иной геохимической системе к его содержанию в земной коре названо, по предложению В.И. Вернадского, кларком концентрации (K_k). Использование K_k позволяет представить как частные, так и общие геохимические особенности различных осадочных образований. Поскольку геохимические характеристики тонкозернистых/глинистых пород в значительной мере отражают состав пород источников сноса и существенно не меняются при литогенезе [McLennan, 1989; Condie, 1993, 1997; и др.], то их K_k позволяют судить о степени дифференцированности крупных блоков континентальной коры или складчатых областей. В предшествующих наших работах [Маслов и др., 2010; и др.] было также особо подчеркнуто, что, как об этом писал в начале XX в. В.И. Вернадский, морфологически однородные геологические области могут быть геохимически весьма различными и одной из основных задач геохимии является выделение геохимических областей земной коры по содержанию химических элементов. Кроме академического интереса изучение K_k элементов-примесей имеет и прикладное значение, поскольку связано с определением баланса рудных элементов в земной коре и является составной частью металлогенического анализа.

В настоящей публикации на основе существенно дополненной базы данных о распределении ряда редких и рассеянных элементов для многих литостратиграфических подразделений каратауской серии верхнего рифея выполнен анализ их кларков концентрации в тонкозернистых обломочных породах (глинистых сланцах, аргиллитах и мелкозернистых глинистых алевролитах). Эта же аналитическая выборка использована для рассмотрения состава размывавшихся на палеоводосборах в позднем рифее комплексов пород, выступавших поставщиками тонкозернистой алюмосиликокластики в бассейн седиментации, существовавший в современной терминологии в области сочленения Восточно-Европейской платформы и западного склона Южного Урала.

Ранее в работе [Геохимия..., 2008] на основе нормирования медианных содержаний ряда элементов-примесей в глинистых породах различных свит рифея Башкирского мегантиклинория по их содержанию в верхней континентальной коре (UCC) было показано, что глинистые сланцы со-

держат существенно меньше Sr ($K_k = 0.07-0.24$), чем UCC. Содержание Mo в тонкозернистых обломочных породах бакальской свиты нижнего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея составляет $(0.53-1.01)UCC$, тогда как в других литостратиграфических подразделениях величина K_k для Mo менее $0.50UCC$. Кларк концентрации Pb выше 0.50 в глинистых сланцах зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея, а также инзерской и уксской свит верхнего рифея. В тонкозернистых обломочных породах миньярской свиты величина $K_k < 0.50$ характерна для Ba, Sr, Co, Mo, Pb, Sm и Eu.

Установлено также, что наибольшим разнообразием в распределении элементов-примесей характеризуются верхнерифейские отложения. Например, глинистые сланцы и мелкозернистые глинистые алевролиты бирьянской подсвиты зильмердакской свиты слабо специализированы на Rb, Cs, Th, U, Ga, Y, Nb, Mo, Gd и Yb. Примерно такие же геохимические особенности присущи глинистым породам бедерышинской подсвиты зильмердакской и катавской свит. Аргиллиты инзерского уровня характеризуются незначительно повышенным против UCC содержанием Rb, Th, Y, Bi, Ce, Sm и Yb. Глинистые породы миньярской свиты обладают весьма низкими концентрациями подавляющего большинства из рассматриваемых нами элементов-примесей, только для Nb $K_k = 1.56$. Аргиллиты уксской свиты имеют слабую геохимическую специализацию на Rb, Sc, Nb и Bi.

В целом для глинистых пород всего стратотипического разреза рифея Южного Урала свойственно присутствие Sr, Mo и Pb в количествах меньших, чем $0.50UCC$. В то же время тонкозернистые терригенные образования нижнего и верхнего рифея слабо специализированы на Rb. Такая же геохимическая специализация характерна для пород нижнего рифея на Ce, а для глинистых сланцев и аргиллитов верхнего рифея – на Nb. Глинистые породы среднего рифея имеют слабую специализацию на Sr.

КАРАТАУСКАЯ СЕРИЯ (ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЛИТОСТРАТИГРАФИИ)

Каратауская серия Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала) является типом верхнего рифея Северной Евразии [Стратотип..., 1983; Семихатов, 2008; Семихатов и др., 2015; и др.]. На западном крыле и в центральных районах Башкирского мегантиклинория она рас-

членяется снизу вверх на зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты (рис. 1), на восточном крыле мегантиклинория выше укской свиты в составе названной серии выделяется еще и криволукская свита.

Зильмердакская свита (мощность от 1200 до 3200 м) состоит преимущественно из аркозовых и субаркозовых песчаников с подчиненными им прослоями гравелитов и конгломератов, алевролитов и глинистых сланцев. Свита объединяет четыре подсвиты (во многом такое ее расчленение является данью традиции, так как каждая из подсвит характеризуется ярко выраженными индивидуальными литологическими особенностями): бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерышинскую. Бирьянская подсвита (800–2500 м) представлена полевошпат-кварцевыми, аркозовыми и субаркозовыми, преимущественно крупно- и среднезернистыми песчаниками с прослоями гравелитов и мелкогалечниковых конгломератов, а также красно-бурыми и кирпично-красными мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и алевроитистыми глинистыми сланцами. Нугушская подсвита (200–350 м) сложена преимущественно алевролитами, глинистыми сланцами и аргиллитами серого, темно-серого и зеленовато-серого цвета. Лемезинская подсвита (150–300 м) представлена в основном светлоокрашенными средне- и, реже, крупнозернистыми кварцевыми песчаниками. Бедерышинская подсвита (250–400 м) объединяет мелко- и среднезернистые песчаники, алевролиты и глинистые сланцы. В виде прослоев и пачек небольшой мощности в ряде ее разрезов присутствуют известняки и доломиты.

Катавская свита (200–300 м) объединяет пестро- и красноцветные тонкополосчатые глинистые известняки и мергели, в нижней ее части в ряде разрезов среди карбонатных пород наблюдаются маломощные прослои глинистых сланцев.

Достоверные данные об изотопном возрасте пород зильмердакской и катавской свит отсутствуют.

Инзерская свита (мощность до 1000 м) сложена в центральных и восточных районах Башкирского мегантиклинория мелкозернистыми глауконитокварцевыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами; в западной части мегантиклинория инзерская свита объединяет две карбонатные и две алюмосиликокластические толщи [Маслов, 1997, 2002; Подковыров и др., 1998].

Rb-Sr возраст раннедиагенетического иллита (политипная модификация 1M) из глинистых сланцев инзерской свиты составляет 805–835 млн лет [Gorokhov et al., 1995]. Время проявления раннего диагенеза в известняках датируется изохронным Pb-Pb методом в 836 ± 25 млн лет [Овчинникова и др., 1998].

Миньярская свита (500–800 м) представлена в основном доломитами, подчиненную роль в ее раз-

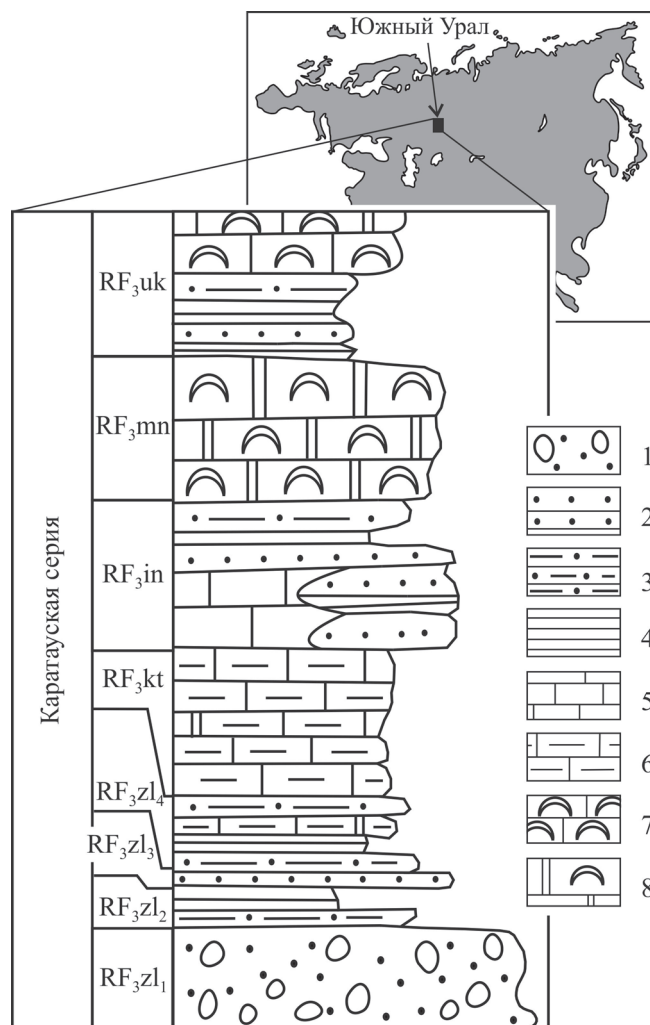


Рис. 1. Схематическая стратиграфическая колонка каратауской серии верхнего рифея Башкирского мегантиклинория.

1 – преимущественно крупно- и грубозернистые аркозовые, субаркозовые и полевошпат-кварцевые песчаники; 2 – песчаники кварцевые и полевошпат-кварцевые; 3 – алевролиты; 4 – глинистые сланцы и аргиллиты; 5 – известняки; 6 – глинистые известняки; 7 – преимущественно строматолитовые известняки; 8 – преимущественно строматолитовые доломиты. Свиты и подсвиты: zl_1 – бирьянская, zl_2 – нугушская, zl_3 – лемезинская, zl_4 – бедерышинская, kt – катавская, in – инзерская, mn – миньярская, uk – укская.

Fig. 1. Schematic stratigraphic column of the Karatau Group (Upper Riphean of the Bashkir meganticlinorium).

1 – predominantly coarse and coarse-grained arkose, subarkose and feldspar-quartz sandstones; 2 – quartz and feldspar-quartz sandstones; 3 – siltstones; 4 – shales and mudstones; 5 – limestones; 6 – clay limestones; 7 – predominantly stromatolite limestones; 8 – predominantly stromatolite dolomites. Formations and subformations: zl_1 – Biryan, zl_2 – Nugush, zl_3 – Lemeza, zl_4 – Bederysh, kt – Katav, in – Inzer, mn – Minyar, uk – Uk.

разрезах играют известняки. В ряде разрезов (преимущественно на востоке мегантиклинория) среди карбонатных пород наблюдаются маломощные прослои аргиллитов и кварцевых песчаников. Pb-Pb возраст доломитов средней части свиты составляет 780 ± 85 млн лет [Овчинникова и др., 2000].

Укская свита (160–300 м) объединяет в нижней части мелкозернистые песчаники и алевролиты с глауконитом, а в верхней – известняки. По данным [Зайцева и др., 2000, 2006], Al-разности глауконита из нижней подсвиты укской свиты, отобранные в разрезах у деревень Кулмас и Бакеево, имеют Rb-Sr и K-Ar датировки в интервале 650–680 млн лет.

Криволукская свита представлена кварцитовидными песчаниками, филлитовидными сланцами и алевролитами с маломощными прослоями известняков. Мощность ее 400–500 м.

Верхний возрастной предел каратауской серии определяет Rb-Sr изотопная датировка гомогенных разностей глобулярных Al-глауконитов (638 ± 13 млн лет), выделенных из песчаников бакеевской свиты перекрывающей укские известняки [Кузнецов и др., 2014; Семихатов и др., 2015; Zaitseva et al., 2013].

Имеющиеся в настоящее время геологические, геохимические и седиментологические данные показывают, что в качестве главного источника тонкой силикокластики для позднерифейского бассейна осадконакопления выступал Средневожский мегаблок Восточно-Европейской платформы [Акимова, 1964; Маслов, 1988; Геологическая..., 1996], сложенный архейскими гранитоидными, габбро-норит-анортозитовыми и осадочно-вулканогенными комплексами, а также раннепротерозойскими осадочно-вулканогенными образованиями, калиевыми гранитоидами и ультраметакристаллическими комплексами [Богданова, 1986; Докембрийская..., 1988]. Песчаники лемезинской подсвиты зильмердакской свиты содержат примерно равное количество палеопротерозойских (41%) и неоархейских (52%) обломочных цирконов [Романюк и др., 2013а, б]. Исследование особенностей распределения в обломочных цирконах элементов-примесей и Lu/Hf изотопной систематики показало, что львиная доля ($\approx 85\%$) цирконов в песчаниках лемезинской подсвиты является результатом размыва “диоритов”, т.е. гранитоидов с $\text{SiO}_2 < 65\%$ [Belousova et al., 2002], а остальные поступали из “сиенитов” архейского возраста. Высказано предположение, что во время формирования лемезинских песчаников площадь палеоводосбора была весьма ограниченной (локальный источник, Бакалинский, Тараташский и/или Средневожский блоки/мегаблоки). Во второй половине позднего рифея существовал, по всей видимости, и ограниченный снос силикокластики с востока [Маслов, 1988, 1997].

ОБРАЗЦЫ И АНАЛИТИКА

Из тех литостратиграфических единиц каратауской серии, в составе которых присутствуют глинистые породы, в ряде представительных разрезов случайным образом отобрано около 90 образцов глинистых сланцев и аргиллитов, не имевших видимых признаков вторичных изменений (так называемые “фоновые образования”). Определение содержания редких и редкоземельных элементов в них выполнено в разные годы методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН под руководством Ю.Л. Ронкина и Д.В. Киселевой. Методика этих работ описана в [Маслов и др., 2004а, б; 2011; Ронкин и др., 2005].

Средние, минимальные и максимальные содержания элементов-примесей в глинистых сланцах и аргиллитах различных литостратиграфических подразделений каратауской серии приведены в табл. 1. Графически эта же информация отражена на рис. 2. Подробная характеристика вещественного состава и общих литогеохимических особенностей глинистых пород верхнего рифея Башкирского мегантиклинория содержится в публикации [Маслов и др., 2007].

КЛАРКИ КОНЦЕНТРАЦИИ

Для анализа кларков концентрации редких и рассеянных элементов в глинистых породах каратауской серии нами использованы два “геохимических стандарта” – средний состав верхней континентальной коры, UCC [Rudnick, Gao, 2003] и средний постархейский австралийский глинистый сланец, PAAS [Тейлор, МакЛеннан, 1988]. В первом случае рассматривается распределение Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Hf, Pb, Bi, Th и U, во втором – Li, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th и U.

Содержание элементов-примесей в глинистых породах каратауской серии и в UCC

Бирьянская подсвита зильмердакской свиты. Сопоставимые с UCC (т.е. в пределах (0.85–1.15) UCC) средние концентрации в глинистых породах данного литостратиграфического подразделения имеют Sc, V, Ni, Zr, Mo, La и Hf (рис. 3а). Средними содержаниями в пределах (1.15–1.50)UCC обладают Cr, Ga, Y, Nb, Cs, Ce, Nd, Eu и Th. Средние концентрации более 1.50UCC присущи Rb, Sm, Gd, Yb, Bi и U. Для Co, Cu, Zn, Ba и Pb характерны несколько пониженные относительно UCC средние содержания, отвечающие коридору значений (0.50–0.85)UCC. Средняя концентрация Sr в тонкозернистых обломочных образованиях бирьянской

Таблица 1. Среднее, минимальное и максимальное содержание элементов-примесей в глинистых породах различных литостратиграфических подразделений каратауской серии Башкирского мегантиклинория, г/т**Table 1.** Average, minimum and maximum content of trace elements (ppm) in clay rocks from various lithostratigraphic subdivisions of the Karatau Group (Bashkirian meganticlinorium)

Элемент	Бирьянская подсвита	Нугушская подсвита	Бедерышинская подсвита	Инзерская свита	Миньярская свита	Укская свита
Li	<u>17.57±4.70</u> 12.55–28.19	<u>40.25±11.22</u> 25.18–53.44	<u>52.35±11.47</u> 33.96–100.92	<u>25.66±6.58</u> 20.99–35.37	<u>40.95±6.93</u> 32.57–48.69	<u>22.91±6.05</u> 10.15–29.62
Sc	<u>12.44±6.41</u> 0.78–24.59	<u>11.85±4.33</u> 2.22–15.91	<u>13.78±2.57</u> 10.67–22.79	<u>16.80±4.40</u> 11.40–25.81	<u>10.86±6.90</u> 2.38–22.13	<u>9.70±3.39</u> 3.17–14.32
V	<u>106.07±35.09</u> 66.59–197.35	<u>84.98±12.18</u> 63.80–105.50	<u>98.95±16.85</u> 66.58–135.19	<u>76.17±19.03</u> 49.12–113.41	<u>72.75±25.71</u> 37.33–105.33	<u>75.95±23.44</u> 26.19–106.85
Cr	<u>114.90±68.50</u> 57.71–355.17	<u>116.52±15.86</u> 90.30–139.91	<u>102.04±25.51</u> 74.35–215.01	<u>96.87±20.53</u> 65.43–121.42	<u>100.54±28.23</u> 55.03–139.38	<u>84.08±22.15</u> 37.39–112.95
Co	<u>9.65±3.79</u> 1.10–18.77	<u>14.25±4.93</u> 3.83–21.23	<u>13.34±4.95</u> 6.00–33.44	<u>13.94±3.56</u> 8.83–18.85	<u>8.64±4.10</u> 1.24–14.89	<u>13.05±3.97</u> 8.34–21.12
Ni	<u>45.00±29.51</u> 14.62–143.48	<u>53.39±15.48</u> 32.08–79.33	<u>34.61±10.61</u> 24.82–67.29	<u>32.81±8.33</u> 19.30–45.32	<u>21.10±8.63</u> 4.58–34.74	<u>25.35±3.76</u> 20.13–31.60
Cu	<u>23.07±20.95</u> 6.44–76.21	<u>28.50±28.99</u> 7.84–87.91	<u>24.45±27.89</u> 0.40–134.63	<u>25.63±17.04</u> 8.04–53.81	<u>18.45±6.95</u> 8.75–27.11	<u>19.71±6.10</u> 6.16–25.36
Zn	<u>53.94±21.29</u> 12.75–93.30	<u>59.37±19.28</u> 18.88–82.93	<u>60.54±23.64</u> 41.63–182.66	<u>69.84±18.40</u> 40.78–93.63	<u>293.23±504.50</u> 7.37–1359.93	<u>63.88±20.65</u> 30.56–103.07
Ga	<u>25.95±7.61</u> 14.76–42.42	<u>21.37±2.63</u> 17.62–25.27	<u>21.42±3.59</u> 15.09–30.51	<u>23.43±4.94</u> 17.44–32.22	<u>21.87±7.26</u> 9.88–30.91	<u>21.08±6.65</u> 6.60–28.66
Rb	<u>163.89±67.42</u> 44.91–320.17	<u>108.97±39.68</u> 27.50–154.72	<u>158.12±26.21</u> 106.11–234.02	<u>151.01±34.78</u> 110.61–205.91	<u>110.27±38.71</u> 61.22–166.13	<u>118.73±50.87</u> 33.66–174.29
Sr	<u>46.33±29.59</u> 1.57–113.96	<u>66.35±20.91</u> 17.84–83.83	<u>58.16±10.98</u> 39.97–85.25	<u>68.11±30.82</u> 29.70–115.95	<u>74.58±49.66</u> 18.75–149.44	<u>59.64±42.88</u> 14.63–156.31
Y	<u>31.52±20.65</u> 0.53–88.13	<u>26.43±12.42</u> 3.41–42.00	<u>25.62±6.49</u> 18.04–44.98	<u>33.81±7.63</u> 24.82–46.95	<u>17.44±8.52</u> 2.60–28.25	<u>19.68±9.75</u> 2.76–37.96
Zr	<u>215.79±67.64</u> 95.66–387.56	<u>225.83±53.07</u> 167.73–299.93	<u>194.85±42.02</u> 129.92–315.00	<u>191.67±45.84</u> 127.28–251.84	<u>218.74±118.72</u> 88.23–474.30	<u>219.89±80.87</u> 70.83–363.29
Nb	<u>18.02±4.40</u> 10.82–24.05	<u>17.89±2.62</u> 15.09–22.94	<u>15.27±3.45</u> 11.27–29.70	<u>17.21±3.68</u> 11.59–22.69	<u>15.69±7.73</u> 1.14–23.40	<u>17.96±6.27</u> 5.34–26.96
Mo	<u>1.23±2.04</u> 0.30–7.03	<u>0.28±0.11</u> 0.15–0.43	<u>0.61±1.10</u> 0.19–7.09	<u>0.29±0.17</u> 0.16–0.71	<u>1.04±1.61</u> 0.13–4.92	<u>0.27±0.06</u> 0.17–0.34
Cs	<u>6.87±2.67</u> 2.78–11.67	<u>6.75±2.49</u> 3.75–11.74	<u>7.61±1.50</u> 4.68–11.62	<u>6.64±1.84</u> 4.73–9.93	<u>6.08±2.31</u> 2.82–9.71	<u>7.68±2.74</u> 1.33–10.00
Ba	<u>472.53±208.20</u> 19.23–893.35	<u>453.06±165.90</u> 62.68–590.63	<u>542.56±129.03</u> 332.94–951.60	<u>389.85±194.50</u> 263.87–886.01	<u>443.01±374.83</u> 82.04–1263.15	<u>331.67±173.35</u> 72.70–520.03
La	<u>35.30±23.49</u> 0.55–87.11	<u>33.39±12.65</u> 4.67–44.79	<u>38.74±17.12</u> 20.65–132.68	<u>42.16±8.31</u> 32.25–54.91	<u>18.39±8.58</u> 4.45–32.78	<u>24.25±10.93</u> 3.82–39.44
Ce	<u>78.49±47.72</u> 2.13–201.09	<u>76.90±31.98</u> 9.78–116.95	<u>81.02±28.03</u> 43.71–228.50	<u>98.36±27.38</u> 71.99–158.55	<u>42.09±20.42</u> 9.61–78.42	<u>48.31±23.41</u> 7.78–84.71
Nd	<u>36.25±21.50</u> 1.23–90.41	<u>32.22±12.93</u> 5.31–43.61	<u>34.28±8.23</u> 20.13–64.33	<u>37.76±6.62</u> 29.58–47.14	<u>14.90±7.12</u> 3.55–27.52	<u>20.72±8.65</u> 3.99–31.86
Sm	<u>7.28±3.80</u> 0.32–15.14	<u>6.01±2.49</u> 1.02–8.86	<u>6.47±1.09</u> 3.91–9.27	<u>7.13±1.37</u> 5.32–8.85	<u>2.56±1.24</u> 0.54–4.52	<u>3.92±1.75</u> 0.81–6.63
Eu	<u>1.36±0.74</u> 0.05–3.03	<u>1.12±0.47</u> 0.17–1.69	<u>1.32±0.26</u> 0.78–2.14	<u>1.16±0.22</u> 0.89–1.53	<u>0.50±0.23</u> 0.07–0.79	<u>0.73±0.33</u> 0.14–1.20
Gd	<u>6.13±3.40</u> 0.20–14.40	<u>4.83±2.01</u> 0.78–7.23	<u>5.73±1.24</u> 3.42–10.63	<u>5.84±1.46</u> 4.08–8.05	<u>2.29±1.11</u> 0.35–3.79	<u>3.54±1.56</u> 0.67–6.17

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Элемент	Бирьянская подсвита	Нугушская подсвита	Бедерышинская подсвита	Инзерская свита	Миньярская свита	Укская свита
Yb	$\frac{3.43 \pm 1.58}{0.19-7.07}$	$\frac{2.55 \pm 0.83}{0.65-3.32}$	$\frac{3.00 \pm 0.57}{2.22-5.20}$	$\frac{3.28 \pm 0.58}{2.50-4.20}$	$\frac{2.11 \pm 1.00}{0.45-3.44}$	$\frac{1.89 \pm 0.82}{0.41-2.97}$
Lu	$\frac{0.52 \pm 0.23}{0.03-1.01}$	$\frac{0.38 \pm 0.12}{0.10-0.49}$	$\frac{0.45 \pm 0.09}{0.34-0.81}$	$\frac{0.47 \pm 0.10}{0.35-0.62}$	$\frac{0.31 \pm 0.14}{0.08-0.51}$	$\frac{0.28 \pm 0.12}{0.06-0.43}$
Hf	$\frac{6.30 \pm 1.62}{4.11-9.64}$	$\frac{6.15 \pm 1.40}{4.81-8.54}$	$\frac{5.68 \pm 1.05}{3.83-8.39}$	$\frac{5.35 \pm 1.18}{3.65-6.94}$	$\frac{5.86 \pm 2.93}{2.47-11.84}$	$\frac{5.55 \pm 2.11}{1.67-9.23}$
Pb	$\frac{11.73 \pm 6.81}{0.49-29.89}$	$\frac{7.80 \pm 4.07}{1.16-14.14}$	$\frac{8.09 \pm 4.45}{3.99-22.29}$	$\frac{12.10 \pm 11.80}{3.11-41.10}$	$\frac{9.77 \pm 7.31}{1.92-22.12}$	$\frac{11.27 \pm 2.49}{7.84-15.77}$
Bi	$\frac{0.26 \pm 0.14}{0.07-0.51}$	$\frac{0.22 \pm 0.22}{0.07-0.75}$	$\frac{0.19 \pm 0.09}{0.04-0.50}$	$\frac{0.35 \pm 0.27}{0.13-0.96}$	$\frac{0.17 \pm 0.06}{0.09-0.29}$	$\frac{0.25 \pm 0.09}{0.08-0.39}$
Th	$\frac{13.61 \pm 5.82}{0.66-25.55}$	$\frac{10.78 \pm 3.97}{1.53-13.36}$	$\frac{11.63 \pm 2.35}{8.22-19.19}$	$\frac{14.90 \pm 2.78}{10.96-19.77}$	$\frac{12.00 \pm 5.30}{2.50-17.43}$	$\frac{9.38 \pm 4.59}{1.21-15.44}$
U	$\frac{4.85 \pm 1.75}{0.71-7.91}$	$\frac{2.37 \pm 0.75}{0.75-3.23}$	$\frac{3.12 \pm 0.92}{1.91-5.62}$	$\frac{2.54 \pm 0.56}{1.82-3.70}$	$\frac{3.86 \pm 2.35}{1.22-8.40}$	$\frac{1.99 \pm 0.56}{0.94-2.68}$
n	18	8	38	9	8	8

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное содержание; n – количество проанализированных образцов.

Note. In the numerator – the arithmetic mean and standard deviation, in the denominator – the minimum and maximum content; “n” is the number of samples analyzed.

подсвиты зильмердакской свиты составляет всего 0.15UCC.

Сопоставимыми с UCC средними концентрациями (C_{cp}) в глинистых сланцах *нугушской подсвиты зильмердакской свиты* обладают Sc, V, Ni, Cu, Zn, La, Th и U. Для Cr, Ga, Rb, Y, Zr, Nb, Cs, всех РЗЭ из анализируемого нами списка, а также для Hf и Bi характерны несколько более высокие средние содержания, отвечающие коридору значений (1.15–1.50)UCC. Напротив, Co и Ba имеют средние концентрации несколько более низкие, чем это характерно для UCC (соответственно 0.82UCC и 0.73UCC). Значения C_{cp} для Sr, Mo и Pb составляют менее 0.50UCC (рис. 3б).

Бедерышинская подсвита зильмердакской свиты. Тонкозернистые обломочные образования бедерышинской подсвиты обладают сопоставимыми с UCC средними содержаниями Sc, V, Cr, Zn, Zr, Ba, Hf, Th и U. Средние концентрации Co, Ni, Cu и Mo в них несколько ниже, чем в UCC, а Sr и Pb имеют средние содержания соответственно 0.18UCC и 0.48UCC. Несколько более высокие средние содержания, чем в UCC, характерны для Ga, Y, Nb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd и Bi, тогда как Rb, Cs и Yb обладают величинами K_k относительно UCC соответственно 1.88, 1.55 и 1.50 (рис. 3в).

Инзерская свита. Минимальными средними концентрациями (менее 0.50UCC) в глинистых породах инзерской свиты характеризуются Sr и Mo (рис. 3г). Такие элементы, как V, Co, Ni, Ba и Pb, имеют среднее содержание (0.50–0.85)UCC. Сопоставимые с UCC средние концентрации характерны для Cr, Cu, Zn, Zr, Hf и U. Средними содержаниями (1.15–1.50)UCC обладают Sc, Ga, Nb, Cs, La, Nd, Eu, Gd и Th. Более высокие средние концентрации имеют Rb, Y, Ce, Sm и Yb. Содержание Bi в одной из 9 проанализированных проб составляет 6.00UCC, в трех других – (2.00–3.79)UCC, еще в трех – от 1.24 до 1.62, что в итоге дает величину $C_{cp} = 2.20UCC$.

Тонкозернистые обломочные породы *миньярской свиты* характеризуются несколько меньшим, чем глинистые породы подстилающих их уровней разреза каратауской серии, числом элементов-примесей, средние концентрации которых сопоставимы с их концентрациями в UCC. Это Cr, Zr, Mo, Yb, Hf, Bi и Th (рис. 3д). Средние концентрации в пределах 1.15–1.50UCC присущи только Ga, Rb, Cs и U. Ни один из редких и рассеянных элементов из нашего списка не обладает средней концентрацией 1.50UCC и более, хотя в индивидуальных пробах в той или иной степени более высокие, чем указанное значение, концентрации свойственны 14 элементам, среди которых Sc, Cr, Rb, Nb, Ba, Yb, Bi, U и др. В двух пробах глинистых сланцев концентрация Zn составляет 11.67UCC и 20.30UCC, однако, не будучи твердо уверенными, что это не аналитическая ошибка, мы указанные данные не принимаем здесь во внимание.

Распределение элементов-примесей в аргиллитах *нижней подсвиты укской свиты* относительно

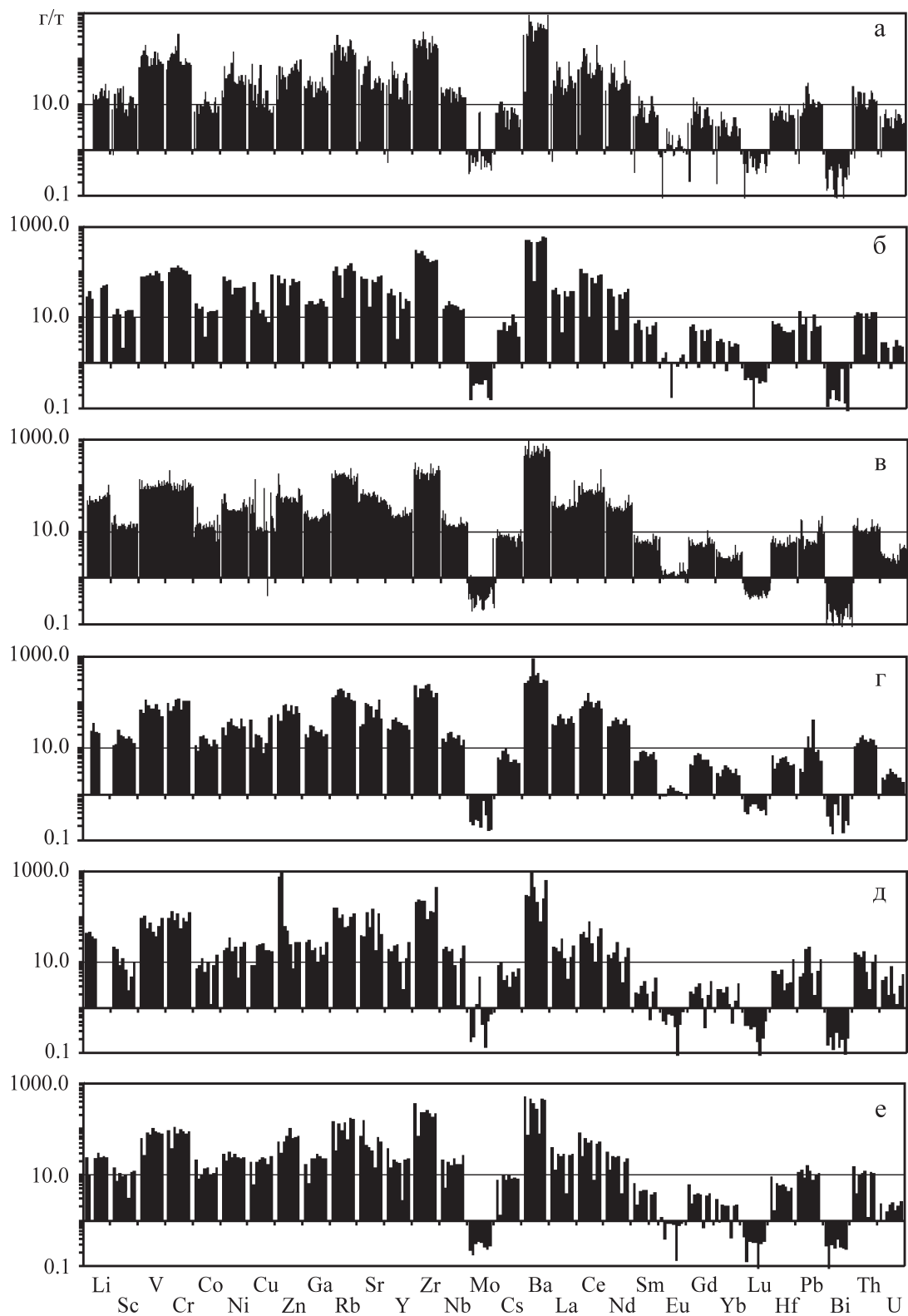


Рис. 2. Абсолютные концентрации ряда редких и рассеянных элементов в тонкозернистых обломочных породах верхнерипейской каратауской серии.

Свиты и подсвиты: а – бирьянская, б – нугушская, в – бедерышинская, г – инзерская, д – миньярская, е – укская.

Fig. 2. Absolute concentrations of trace elements in fine-grained clastic rocks of the Upper Riphean Karatau Group.

Formations and subformations: а – Biryansky, б – Nugush, в – Bederysh, г – Inzer, д – Minyar, е – Uk.

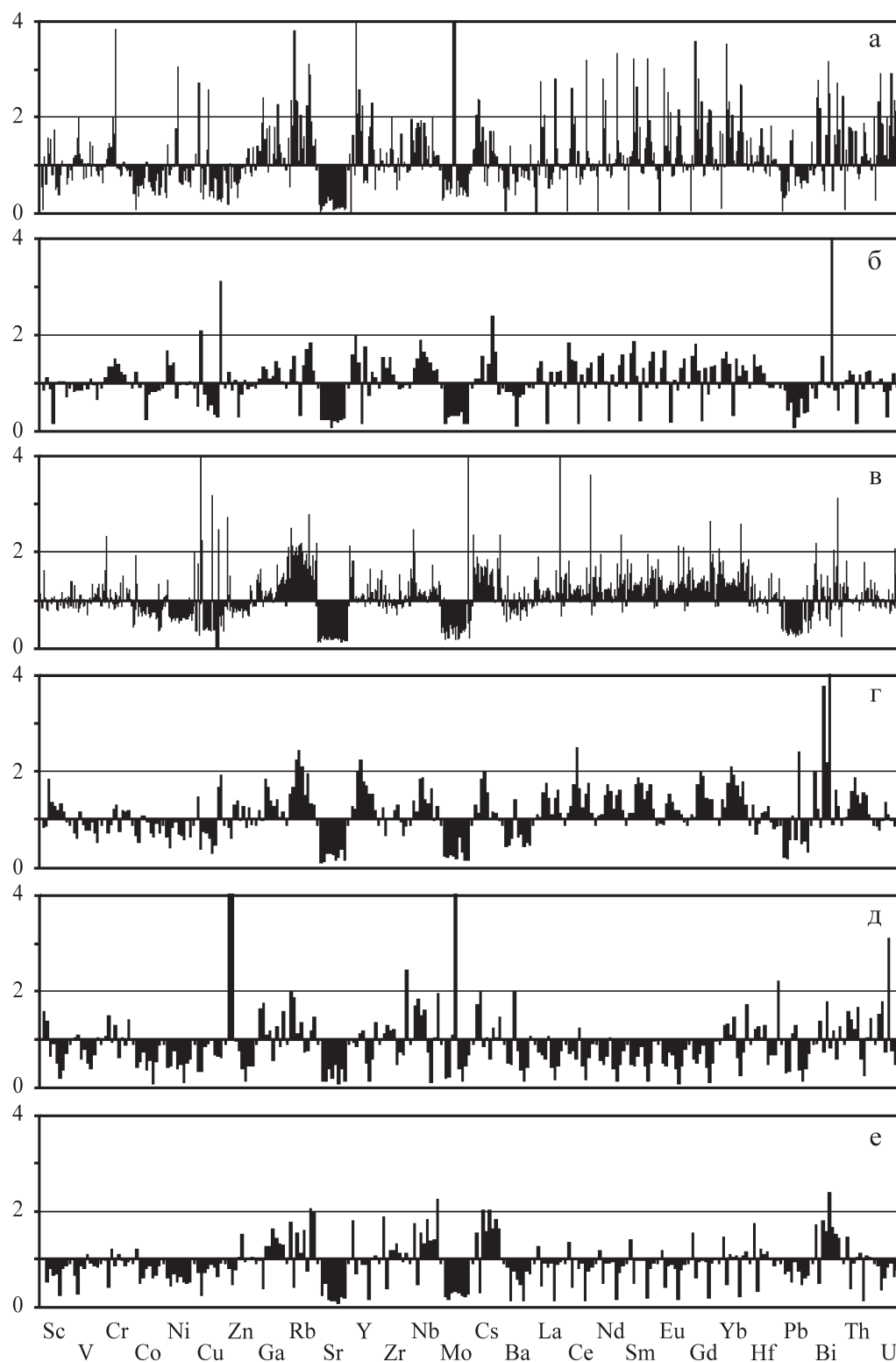


Рис. 3. Нормированное по UCC содержание редких и рассеянных элементов в глинистых породах различных литостратиграфических уровней каратауской серии.

Условные обозначения – см. рис. 2.

Fig. 3. Normalized to UCC content of trace elements in clay rocks of various lithostratigraphic levels of the Karatau Group.

Legend – see Fig. 2.

но UCC имеет несколько особенностей. Первая состоит в том, что только для трех элементов (Nb, Cs и Bi) средняя концентрация составляет 1.50UCC и несколько более. Вторая особенность – только два элемента (Ga и Rb) имеют среднюю концентрацию в пределах (1.15–1.50)UCC. Сопоставимые с UCC средние содержания характерны для Cr, Zn, Y, Zr, Gd, Yb, Hf и Th. Заметное количество элементов-примесей в глинистых породах данного уровня каратауской серии имеют несколько меньшие, чем UCC, средние концентрации. К их числу относятся Sc, V, Co, Ni, Cu, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Pb и U. Наконец, Sr и Mo обладают заметно более низкими, чем UCC, средними концентрациями (соответственно 0.19 и 0.24) (рис. 3е).

Визуально нормированные по UCC спектры распределения редких и рассеянных элементов в глинистых породах каратауской серии снизу вверх по разрезу становятся все менее “пестрыми”, но параллельно с этим концентрации многих элементов снижаются. В целом указанные особенности соответствуют постепенному нарастанию трансгрессивной тенденции в эволюции позднерифейского бассейна осадконакопления [Маслов, 1988].

Содержание элементов-примесей в глинистых породах каратауской серии и в PAAS

Тонкозернистые обломочные породы *бирьянской подсвиты зильмердакской свиты* имеют сопоставимые с PAAS ($0.85 < \text{PAAS} < 1.15$) средние концентрации следующих элементов-примесей: Cr, Rb, Zr, Nb, La, Ce, Nd, Bi и Th (рис. 4а). Несколько более высокими средними содержаниями ((1.15–1.50)PAAS) характеризуются Ga, Y, Mo, ряд средних и тяжелых РЗЭ, а также Hf. Единственным элементом, среднее содержание которого превышает 1.50PAAS, является U. Средние концентрации Sc, V, Ni, Zn, Ba и Pb составляют порядка (0.50–0.85)PAAS, а для Li, Co, Cu, Sr и Cs они меньше 0.50PAAS.

Нугушская подсвита зильмердакской свиты. В глинистых породах данного литостратиграфического подразделения в сопоставимом с PAAS количестве присутствуют Cr, Ni, Ga, Y, Zr, Nb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Lu и Bi. Несколько более высокое (1.23PAAS) среднее содержание свойственно только Hf. Значительное количество элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах нугушской подсвиты обладает средними концентрациями, составляющими (0.50–0.85)PAAS. К их числу принадлежат Li, Sc, V, Co, Cu, Zn, Rb, Ba, Th и U. Еще меньше средние концентрации таких элементов, как Sr, Mo, Cs и Pb (соответственно 0.33, 0.28, 0.45 и 0.39PAAS) (рис. 4б).

Бедерышинская подсвита зильмердакской свиты. Сопоставимые с PAAS средние concentra-

ции в глинистых породах данного уровня каратауской серии характерны для Sc, Cr, Ga, Rb, Y, Zr, La, Ce, Nd, Yb, Lu, Hf и U. Три элемента, Sm, Eu и Gd, имеют значения $C_{\text{ср}}$ соответственно 1.17, 1.23 и 1.23PAAS. Средние концентрации еще трех элементов, Cu, Sr и Pb, составляют менее 0.50PAAS (рис. 4в). Остальные редкие и рассеянные элементы из изучаемого нами списка характеризуются средними содержаниями от 0.50 до 0.85PAAS.

В глинистых сланцах *инзерской свиты* так же, как и в глинистых породах бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты, нет элементов-примесей, средние концентрации которых были бы больше 1.50PAAS. Однако детали распределения редких и рассеянных элементов несколько иные. Сопоставимые с PAAS средние содержания присущи здесь Sc, Cr, Rb, Zr, Nb, La, Nd, Eu, Hf и Th. Средние содержания от 1.15 до 1.50PAAS характерны для Ga, Y, Ce, Sm, Gd, Yb, Lu и Bi. В количестве менее 0.50PAAS присутствуют в среднем Li, Sr, Mo и Cs, остальные элементы имеют средние концентрации от 0.50 до 0.85PAAS (рис. 4г).

Глинистые породы *миньярской свиты* имеют достаточно хорошо выраженную специфику. Существенное количество элементов-примесей присутствуют здесь в средних концентрациях менее 0.50PAAS (V, Co, Ni, Cu, Sr, Cs, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Pb). Среднее содержание Li, Sc, Rb, Y, Nb, Ba, Ce, Yb, Lu, Bi и Th в них варьирует от 0.50 до 0.85PAAS. Таким образом, из 30 элементов-примесей, распределение которых относительно PAAS мы рассматриваем, 23 ($\approx 77\%$) характеризуются средними концентрациями 0.85PAAS и ниже. Сопоставимыми с PAAS средними концентрациями обладают только Cr, Ga, Zr и Mo, а интервалу $C_{\text{ср}} = (1.15–1.50)$ PAAS отвечают Hf и U (рис. 4д).

Нижняя подсвита укской свиты. Аргиллиты данного уровня каратауской серии обладают достаточно близким к глинистым породам миньярской свиты распределением редких и рассеянных элементов. Так, сопоставимыми с PAAS средними концентрациями характеризуются всего пять элементов (Ga, Zr, Nb, Hf и Bi). Средние содержания Li, Ni, Cu, Sr и Mo не превышают 0.50PAAS. Средние концентрации остальных элементов-примесей из нашего списка отвечают интервалу значений (0.50–0.85)PAAS (рис. 4е).

Нормированные по PAAS спектры элементов-примесей в тонкозернистых обломочных образованиях каратауской серии обладают в целом достаточно пестрым распределением (особенно в области РЗЭ) в разрезах зильмердакской и инзерской свит. Глинистые породы миньярской и укской свит характеризуются существенно более низкими по сравнению с PAAS концентрациями многих редких и рассеянных элементов.

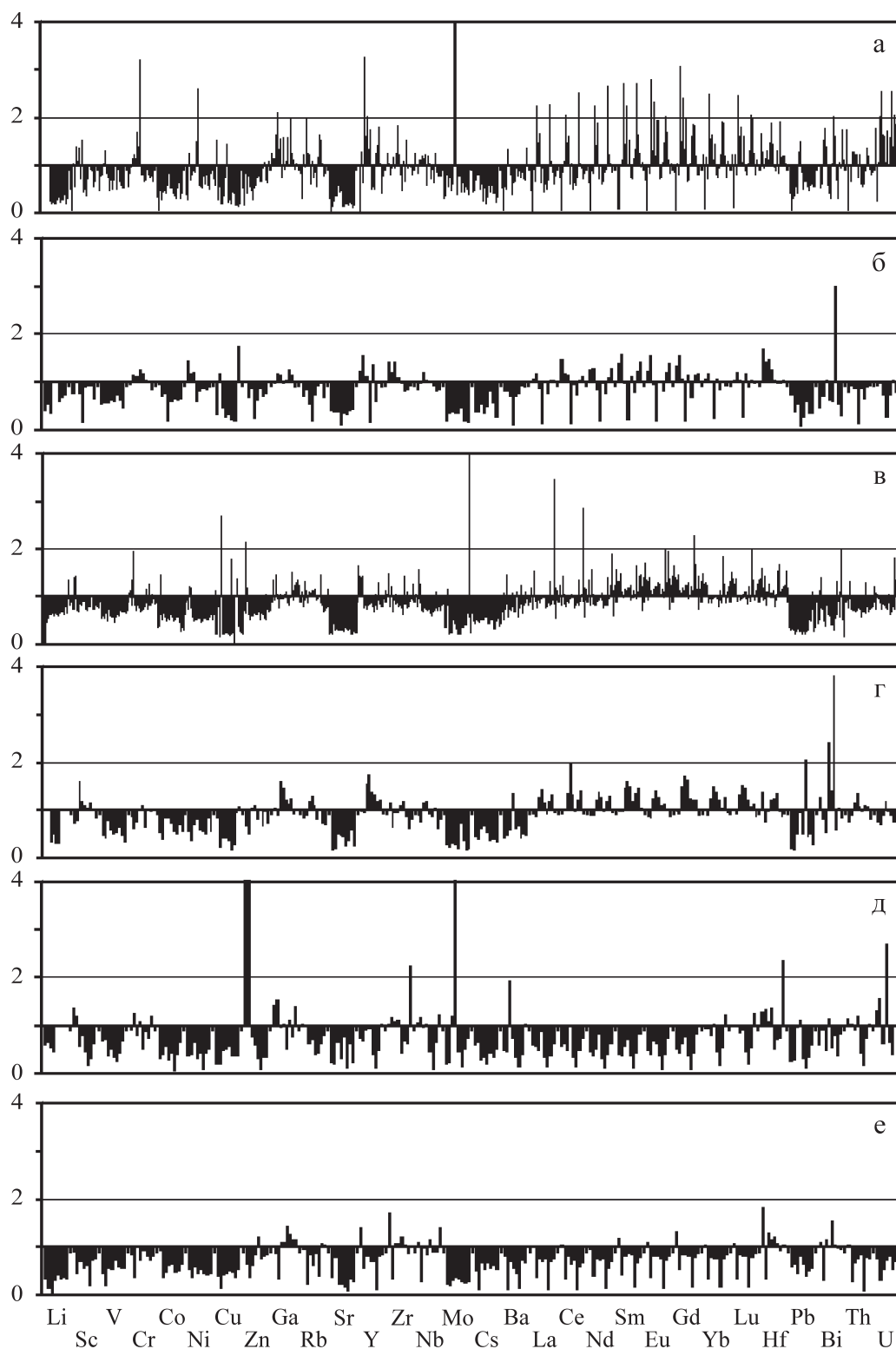


Рис. 4. Нормированное по ПААС содержание редких и рассеянных элементов в глинистых породах различных литостратиграфических уровней каратауской серии.

Условные обозначения – см. рис. 2.

Fig. 4. PAAS-normalized content of trace elements in clay rocks of various lithostratigraphic levels of the Karatau Group.

Legend – see Fig. 2.

ИСТОЧНИКИ СНОСА

Для реконструкции состава пород в источниках сноса нами использованы данные о присущих глинистым породам различных литостратиграфических единиц каратауской серии величинах $(La/Yb)_N$, Eu/Eu^* , Th/Co , La/Sc и Th/Cr . Указанные параметры позволили построить ряд парных диаграмм – $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* , La/Sc – Th/Co и $(La/Yb)_N$ – Th/Cr , на которые вынесены не только точки состава глинистых пород верхнего рифея Башкирского мегантиклинория, но и точки UCC, PAAS, а также средние точки гранитоидов протерозоя и базальтов среднего протерозоя, последние по данным [Condie, 1993] (рис. 5).

Распределение индивидуальных точек глинистых пород различных свит и подсвит верхнего рифея на всех перечисленных диаграммах примерно одинаковое. В основном указанные точки сосредоточены вокруг средних точек UCC и PAAS, будучи удаленными от средних точек гранитоидов

и базальтов на более или менее сходное расстояние. Это свидетельствует, во-первых, о достаточно гомогенном составе проанализированной нами совокупности образцов, т.е. о хорошем перемешивании тонкой силикокластики на путях переноса, а во-вторых, предполагает, что в источниках сноса, поставлявших пелитовую взвесь в седиментационный бассейн, существовавший на востоке (в современных координатах) Восточно-Европейской платформы, на протяжении всего позднего рифея присутствовали как основные, так и кислые магматические образования.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В целом приведенные выше данные о распределении редких и рассеянных элементов в глинистых породах каратауской серии Башкирского мегантиклинория показывают, что фоновые тонкозернистые обломочные породы данного крупного подразделения типового разреза рифея не облада-

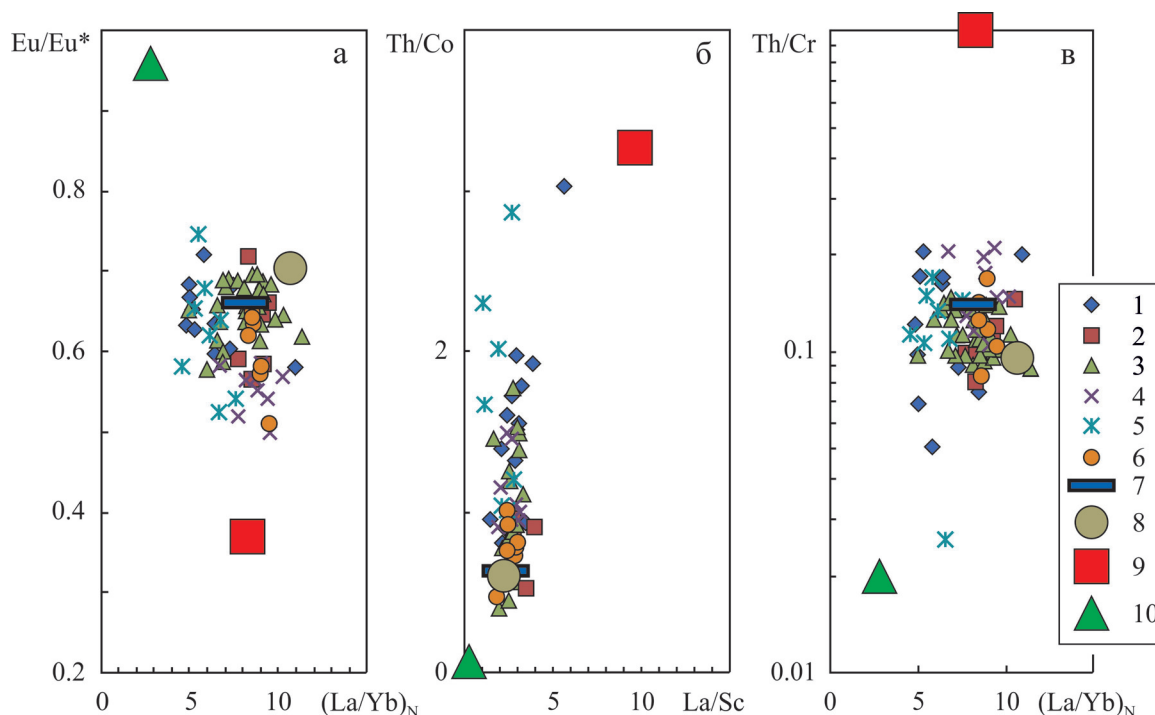


Рис. 5. Положение фигуративных точек состава тонкозернистых обломочных пород различных литостратиграфических подразделений каратауской серии на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* (а), La/Sc – Th/Co (б) и $(La/Yb)_N$ – Th/Cr (в).

1–6 – глинистые породы различных свит и подсвит: 1 – бирьянская, 2 – нугушская, 3 – бедерышинская, 4 – инзерская, 5 – миньярская, 6 – укская; 7 – PAAS; 8 – UCC; 9 – гранитоиды протерозоя; 10 – базальты среднего протерозоя.

Fig. 5. The position of the data points of the fine-grained clastic rocks of various lithostratigraphic subdivisions of the Karatau Group on the $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* (a), La/Sc – Th/Co (b) and $(La/Yb)_N$ – Th/Cr (c) diagrams.

1–6 – clay rocks of various formations and subformations: 1 – Biryana, 2 – Nugush, 3 – Bederysh, 4 – Inzer, 5 – Minyar, 6 – Uk; 7 – PAAS; 8 – UCC; 9 – Proterozoic granitoids; 10 – Middle Proterozoic basalts.

ют какими-либо аномальными содержаниями рассматриваемых нами элементов-примесей. Снизу вверх по разрезу серии “пестрота” их содержаний в индивидуальных пробах снижается, уменьшаются в большинстве случаев и их средние содержания.

Если сравнить нормированные по UCC и PAAS содержания элементов-примесей в глинистых породах различных литостратиграфических подразделений каратауской серии с распределением этих элементов, например, в глинистых сланцах саткинской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория [Маслов и др., 2013б], то мы увидим, что средние содержания большинства элементов в последних меньше, чем в UCC. Только средние содержания Ga, Bi и Th сопоставимы в породах данного уровня с концентрациями этих элементов в UCC. Среднее содержание Rb в глинистых породах саткинской свиты составляет 1.25UCC, тогда как концентрация Sr – всего 0.09UCC. Для Co, Ni, Sr, Y, Zr, Ba и Pb минимальные и максимальные содержания меньше, чем содержания перечисленных элементов в UCC. Примерно такие же особенности распределения редких и рассеянных элементов относительно UCC характерны и для тонкозернистых обломочных пород айского уровня бурзянской серии нижнего рифея Башкирского мегантиклинория [Маслов и др., 2013а]. Сопоставление средних содержаний элементов-примесей в глинистых сланцах саткинской свиты и PAAS показывает, что первые характеризуются “тотальным дефицитом” всех малых элементов. Максимальные содержания V, Co, Ni, Cu, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Yb, Lu и Pb в исследованных образцах меньше, чем содержания перечисленных элементов в PAAS, соответственно, еще меньше средние.

В глинистых породах зигазино-комаровской свиты среднего рифея Башкирского мегантиклинория средние содержания только Ga, Ba и Hf в определенной мере сопоставимы с их концентрациями в PAAS [Маслов и др., 2014]. Значения $C_{\text{ср}}$ для остальных элементов из нашего списка составляют менее 0.75PAAS. Глинистые породы авзянской свиты отличаются от аналогичных по гранулометрическому составу пород зигазино-комаровского уровня тем, что сопоставимые с PAAS средние содержания имеют здесь Li, Sc, Cr, Ga, Nd, Sm и Hf.

Таким образом, при несколько более “пестром”, по сравнению с подстилающими образованиями, распределении редких и рассеянных элементов в фоновых глинистых породах верхнего рифея общие геохимические особенности их принципиально не различаются. Источниками сноса тонкой алюмосиликокластики для верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория выступали палеоводосборы, в составе которых присутствовали как кислые, так и основные магматические образования.

Автор искренне признателен Н.С. Глушковой за подготовку компьютерных версий таблицы и рисунков.

Исследования выполнены в соответствии с утвержденным ФАНО РФ планом работ ИГГ УрО РАН в рамках государственных/бюджетных субсидий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов Г.Н. (1964) О направлении и источниках сноса обломочного материала в отложениях верхнерифейской зильмердакской свиты Южного Урала. *Докл. АН СССР*, **158**(5), 1099-1101.
- Богданова С.В. (1986) Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М.: Наука, 224 с.
- Геологическая карта Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления (в границах бывшего СССР). Довенские образования. (1996) М-6 1 : 2 500 000. СПб.: Роскомнедра, 4 л.
- Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. (2008) Екатеринбург: УрО РАН, 274 с.
- Докембрийская геология СССР. (1988) Л.: Наука, 440 с.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Мельников Н.Н., Крупенин М.Т., Яковлева О.В. (2006) Кристаллохимическая оценка поведения Rb-Sr и K-Ag систем в процессах формирования структуры верхнерифейских глауконитов (укская свита, Южный Урал). *Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма*. Материалы III Российской конф. по изотопной геохронологии. Т. 1. М.: ГЕОС, 251-254.
- Зайцева Т.С., Ивановская Т.А., Горохов И.М., Яковлева О.В., Кутявин Э.П., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б. (2000) Rb-Sr возраст и ЯГР-спектры глауконитов укской свиты, верхний рифей, Южный Урал. *Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты*. М.: ГЕОС, 144-147.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. (2014) Возможности стронциевой изотопной хемотратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **22**(6), 3-25.
- Маслов А.В. (1988) Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 133 с.
- Маслов А.В. (1997) Осадочные ассоциации рифея стратотипической местности (эволюция взглядов на условия формирования, литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 220 с.
- Маслов А.В. (2002) Тангаурская подсерия верхнего рифея Алатауского антиклинория Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **10**(5), 3-22.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Ковалев С.Г. (2014) Кларки концентрации редких и рассеянных элементов в глинистых сланцах и песчаниках юрматинской серии (средний рифей, Южный Урал). *Ежегодник-2013*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161, 72-77.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Ковалев С.Г. (2013а) Литогеохимические особенности терригенных пород айской

- свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория: новые данные. *Ежегодник-2012*. Тр. ИГТ УрО РАН. Вып. 160, 118-122.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Ковалев С.Г. (2013б) Литогеохимические особенности глинистых сланцев саткинской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория: новые данные. *Вестник ПГУ. Геология*, (1), 26-33.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2007) Литогеохимические особенности глинистых сланцев и аргиллитов верхнего рифея Башкирского мегантиклинория в координатах реального времени. *Литосфера*, (5), 38-67.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Киселева Д.В. (2011) Литогеохимия тонкозернистых алюмосиликокластических пород серебрянской серии венда Среднего Урала. *Геохимия*, (10), 1032-1062.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2004а) Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса. *Литология и полез. ископаемые*, (4), 414-441.
- Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Дмитриева Н.В., Ронкин Ю.Л. (2010) Кларки концентрации элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. *Тихоокеан. геология*, 29(5), 23-43.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Лепихина О.П. (2004б) Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса. *Геохимия*, (6), 648-669.
- Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Гороховский Б.М., Левский Л.К. (2000) Возможности Pb-Pb датирования карбонатных пород с открытыми U-Pb системами: миньярская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 8(6), 3-19.
- Овчинникова Г.В., Васильева Г.В., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский Б.М., Левский Л.К. (1998) U-Pb систематика протерозойских карбонатных пород: инзерская свита уральского стратотипа рифея (Южный Урал). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 6(4), 20-31.
- Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В. (1998) Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 6(4), 3-19.
- Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. (2013а) Геохимическая и (LA-ICP-MS) Lu/Hf систематика детритных цирконов из лемезинских песчаников верхнего рифея южного Урала. *Докл. АН*, 453(6), 657-661.
- Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С. (2013б) Первые результаты U/Pb LA-ICP-MS датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинория (Южный Урал). *Докл. АН*, 452(6), 642-645.
- Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Голик С.В., Журавлев Д.З., Попова О.Ю. (2005) Мультиэлементный анализ геологических образцов кислотным разложением и окончанием на HR ICP-MS Element2. *Ежегодник-2004*. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 423-433.
- Семихатов М.А. (2008) Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия. *Бюл. МОИП. Отд. геол.*, 83(5), 36-58.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. (2015) Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 23(6), 16-27.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) М.: Наука, 184 с.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. (2002) Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143, 602-622.
- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, 104, 1-37.
- Condie K.C. (1997) Plate tectonics and crustal evolution. Oxford: Butterworth Heinemann, 282 p.
- Gorokhov I.M., Mel'nikov N.N., Turchenko T.L., Kut'yavin E.P. (1995) Two illite generations in an Upper Riphean shale: the Rb-Sr isotopic evidence. *Terra Abstracts (Abstracts supplement to Terra Nova)*, 7(1), 330-331.
- McLennan S.M. (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. B.R. Lipin, G.A. McKay (Eds). Rev. Mineral., 21, 169-200.
- Rudnick R.L., Gao S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Konstantinova G.V., Turchenko T.L., Mel'nikov N.N. (2013) Globular phyllosilicates of the Vendian Bakeevo Formation, the South Urals – crystallochemical and Rb-Sr isotope data. *Материалы Второй Международной конференции «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы – CMLM2013»*. СПб.: Фалкон Принт, 79.

REFERENCES

- cambrian (on the example of the Volga-Ural segment)]. Moscow, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)
- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.
- Condie K.C. (1997) Plate tectonics and crustal evolution. Oxford: Butterworth Heinemann, 282 p.
- Dokembriiskaya geologiya SSSR* [Precambrian Geology of the USSR]. (1988) St.Petersburg, Nauka Publ., 440 p. (In Russian)
- Geokhimiya tonkozernistykh terrigennykh porod verkhne-go dokembriya Severnoi Evrazii* [Geochemistry of fine-grained terrigenous rocks of the Upper Precambrian of Northern Eurasia]. (2008) Ekaterinburg, UrB RAS Publ., 274 p. (In Russian)
- Geologicheskaya karta Vostochno-Evropeiskoi platformy i ee skladchatogo obramleniya (v granitsakh byvshego SSSR). Dovendskie obrazovaniya. Masshtab 1 : 2 500 000* [Geological map of the East European platform and its folded frame (within the boundaries of the former USSR). The Pre-Vendian formations. Scale 1 : 2 500 000]. (1996) St.Petersburg, Roscomnedra Publ., 4 sh. (In Russian)
- Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Turchenko T.L., Kut'yavin E.P. (1995) Two illite generations in an Upper Riphean shale: the Rb-Sr isotopic evidence. *Terra Abstracts (Abstracts supplement to Terra Nova)*, **7**(1), 330-331.
- Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Semikhatov M.A. (2014) The Sr isotope chemostratigraphy as a tool for solving stratigraphic problems of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **22**(6), 553-575.
- Maslov A.V. (1988) *Litologiya verkhnerifeiskikh otlozhenii Bashkirskogo megantiklinoriya* [Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkirian meganticlinorium]. Moscow, Nauka Publ., 133 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (1997) *Osadochnye assotsiatsii rifeya stratopicheskoi mestnosti (evolutsiya vzglyadov na usloviya formirovaniya, litofatsial'naya zonal'noct')* [Sedimentary associations of the Riphean of the stratotype region (evolution of views on formation conditions, lithofacies zoning)]. Ekaterinburg, IGG UrB RAS Publ., 220 p. (In Russian)
- Maslov A.V. (2002) The Tangaur Subgroup of the Upper Riphean of the Alatau anticlinorium, Southern Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **10**(5), 3-22. (In Russian)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Kovalev S.G. (2013a) Lithochemical features of terrigenous rocks of the Ai Formation of the Lower Riphean of the Bashkirian Meghtiklinorium: new data. *Ezhegodnik-2012*. Tr. IGG UrB RAS. Vyp. 160, 118-122. (In Russian)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Kovalev S.G. (2014) Clarke concentrations of rare and trace elements in shales and sandstones of the Jurmatau Group (Middle Riphean, Southern Urals). *Ezhegodnik-2013*. Tr. IGG UrB RAS. Vyp. 161. 72-77. (In Russian)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Kovalev S.G. (2013b) Lithochemical features of the shales of the Lower Riphean Satka Formation Bashkirian meganticlinorium: new data. *Vestn. Perm. Univ. Geology*, (1), 26-33. (In Russian)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2007) Lithochemical features of the Upper Riphean shales and mudstones of the Bashkirian megantiklinorium in real-time coordinates. *Lithosfera*, (5), 38-67. (In Russian)
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Kiseleva D.V. (2011) Litho-geochemistry of the fine-grained siliciclastic rocks of the Vendian Serebryanka Group of the Central Urals. *Geochemistry International*, **49**(10), 974-1001.
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L., Gareev E.Z., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2004a) Fine-grained aluminosiliciclastic rocks of the middle riphean stratotype section in the Southern Urals: Formation conditions, composition and provenance evolution. *Lithol. Miner. Resour.*, **39**(4), 357-381.
- Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Nozhkin A.D., Letnikova E.F., Dmitrieva N.V., Podkovyrov V.N. (2010) Clarks of concentrations of trace elements in the Riphean fine-grained terrigenous rocks of the Uchur-Maya region and the Yenisei Range. *Rus. J. Pac. Geol.*, **4**(5), 379-397.
- Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Lepikhina O.P., Gareev E.Z. (2004b) The lower Riphean fine-grained aluminosilicate clastic rocks of the Bashkirian anticlinorium in the southern Urals: Composition and evolution of their provenance. *Geochem. Int.*, **42**(6), 561-578.
- McLennan S.M. (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. B.R. Lipin, G.A. McKay (Eds). Reviews in Mineralogy. **21**, 169-200.
- Ovchinnikova G.V., Vasil'eva I.M., Semikhatov M.A., Gorokhov I.M., Kuznetsov A.B., Gorokhovskiy B.M., Levsky L.K. (2000) Possibilities of Pb-Pb dating of carbonate rocks with open U-Pb systems: Minyar Formation of the Stratotype of the Upper Riphean, Southern Urals. *Stratigr. Geol. Korrel.*, **8**(6), 3-19. (In Russian)
- Ovchinnikova G.V., Vasil'eva I.M., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Gorokhovskiy B.M., Levsky L.K. (1998) U-Pb systematics of Proterozoic carbonate rocks: Inzer Formation of the Ural Stratotype of Riphean (South Ural). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **6**(4), 20-31. (In Russian)
- Podkovyrov V.N., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Vinogradov D.P., Kozlov V.I., Kislova I.V. (1998) Isotope composition of carbonate carbon in the stratotype of the upper Riphean (the Karatau Group of the Southern Urals). *Stratigr. Geol. Korrel.*, **6**(4), 3-19. (In Russian)
- Romanyuk T.V., Kuznetsov N.B., Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Belousova E.A., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N. (2013a) Geochemical and Lu-Hf (LA-ICP-MS) systematic of detrital zircons from lower neoproterozoic Lemeza Sandstones, Southern Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **453**(2), 1200-1204.
- Romanyuk T.V., Maslov A.V., Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Kuznetsov N.B., Seregina E.S., Belousova E.A., Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N. (2013b) First data on LA-ICP-MS U/Pb zircon geochronology of Upper Riphean sandstones of the Bashkirian Anticlinorium (South Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **452**(2), 997-1000.
- Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Golik S.V., Zhuravlev D.Z., Popova O.Yu. (2005) Multi-element analysis of geological samples by acid decomposition and termination on HR ICP-MS Element2. *Ezhegodnik-2004*. Ekaterinburg, IGG UrB RAS, 423-433. (In Russian)
- Rudnick R.L., Gao S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, **3**, 1-64.

- Semikhatov M.A. (2008) Chronostratigraphy and chronometry: competing concepts of the general dismemberment of the Precambrian. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **83**(5), 36-58. (In Russian)
- Semikhatov M.A., Chumakov N.M., Kuznetsov A.B. (2015) Isotope age of boundaries between the general stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) in Russia: The evolution of opinions and the current estimate. *Stratigr. Geol. Correl.*, **23**(6), 568-579.
- Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya.* (Otv. red. B.M. Keller, N.M. Chumakov) [Stratotype of Riphean. Stratigraphy. Geochronology (Eds B.M. Keller, N.M. Chumakov)]. (1983) Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1988) *Kontinental'naya kora, ee sostav i evolutsiya* [Continental crust, its composition and evolution]. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian)
- Zaitseva T.S., Gorokhov I.M., Ivanovskaya T.A., Mel'nikov N.N., Krupenin M.T., Yakovleva O.V. (2006) Crystal-chemical assessment of the behavior of Rb-Sr and K-Ar systems in the formation of the structure of Upper Riphean glauconite (Uk Formation, Southern Urals) *Izotopnoe datirovanie protsessov rudoobrazovaniya, magmatizma, osadkonakopleniya i metamorfizma: Materialy III Russian conf. po izotopnoi geokhronologii* [Isotopic dating of the processes of ore formation, magmatism, sedimentation and metamorphism. Proc. III Russian Conf. on Isotope Geochronology]. V. 1. Moscow, GEOS Publ., 251-254. (In Russian)
- Zaitseva T.S., Ivanovskaya T.A., Gorokhov I.M., Yakovleva O.V., Kutyavin E.P., Mel'nikov N.N., Kuznetsov A.B. (2000) Rb-Sr age and JAG-spectra of glauconites of the Uk Formation, Upper Riphean, Southern Urals. *Izotopnoe datirovanie geologicheskikh protsessov: novye metody i rezul'taty* [Isotope dating of geological processes: new methods and results]. Moscow, GEOS Publ., 144-147.
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Konstantinova G.V., Turchenko T.L., Mel'nikov N.N. (2013) Globular phyllosilicates of the Vendian Bakeevo Formation, the South Urals – crystallochemical and Rb-Sr isotope data. Materials of the Second International Conference "Clays, Clay Minerals and layered materials – CMLM2013". St.Petersburg, Falkon Print, 79.