

ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.311.491:550.42 (470.5)

Низкоуглеродистые черные сланцы Южного и некоторых районов Среднего и Северного Урала: новые данные по геохимической характеристике**А.В. Маслов^{a, b}, Г.А. Петров^a, Э.З. Гареев**^aИнститут геологии и геохимии УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Вонсовского, 15. E-mail: amas2004@mail.ru^bИнститут геологии УНЦ РАН, 450077, Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2
(Статья поступила в редакцию 20 апреля 2016 г.)

Проанализировано распределение широкого спектра редких и рассеянных элементов в низкоуглеродистых глинистых сланцах ряда литостратиграфических подразделений рифея, венда и нижнего палеозоя Южного, Среднего и южной части Северного Урала (саткинская, большеинзерская, суранская, юшинская, зигазинокомаровская, вёлсовская, бутонская, безгодовская и другие свиты). Установлено, что они довольно существенно различаются по содержаниям элементов-примесей. Последние в большинстве случаев примерно сопоставимы с концентрациями микроэлементов в таком известном геохимическом объекте, как средний постархейский австралийский глинистый сланец (РААС), или ниже. Это существенно отличает уральские черносланцевые отложения от наиболее ярких примеров black shales (например, черные сланцы венда и кембрия Китая и др.), характеризующихся значительно большими, чем в РААС, концентрациями многих элементов-примесей. Высказано предположение, что определенную или существенную роль в этом могут играть различия в геодинамической позиции черносланцевых отложений, вариации биопродуктивности, ассоциация со специфическими породными ассоциациями, степень вторичных преобразований и/или что-то другое.

Ключевые слова: *низкоуглеродистые черные сланцы, рифей, венд, палеозой, Южный Урал, Средний Урал, юг Северного Урала.*

DOI: 10.17072/psu.geol.16.1.48

Введение

Черные сланцы (ЧС) – один из интереснейших геохимических объектов (Юдович, Кетрис, 1994). Об особенностях их формирования и распределении в них редких и рассеянных элементов написаны сотни статей и монографий. Тем не менее вопрос этот все еще актуален, в том числе для Южного и Среднего Урала.

Исследованием черных сланцев на Урале в разные годы занимались Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис, В.Н. Саонов, Ю.А. Волченко, Л.И. Гурская, О.Б. Азовкова, К.К. Золоев, М.В. Рыкус, В.И. Сначев, С.Г. Ковалев и многие др. Однако и сейчас попытки получить представление о распределении в ЧС разных стратиграфических уровней и районов Урала широкого спектра элементов-примесей (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb,

Mo, Sn, Cs, Ba, РЗЭ, Hf, Pb, Th, U и др.) т.е. тех, сведения о концентрации которых имеются и для такого геохимического стандарта, как PAAS, наталкиваются на серьезные трудности. В большинстве известных нам работ такой информации просто нет.

В связи с этим в настоящей статье приведены общие сведения о распределении перечисленных выше элементов в черных сланцах некоторых литостратиграфических уровней рифея, венда и палеозоя Южного и Среднего Урала, и ряда зарубежных объектов. При этом из-за ограниченности объема статьи речь пойдет преимущественно о тех элементах, концентрации которых превышают $3 \times \text{PAAS}$ (PAAS – средний постархейский глинистый сланец (Тейлор, МакЛеннан, 1988), здесь рассматривается нами как геохимический фон), т.е. могут считаться геохимическими аномалиями¹. Мы также отдаем себе отчет в различиях методов, использованных разными учёными-геологами, для определения содержаний тех или иных элементов, различной степени постседиментационных изменений пород, а также различных обстановок формирования черносланцевых отложений (палеотектоника, палеоклимат, петрофонд и палеогеография), рассматривающихся далее – от интракратонных бассейнов до обстановок задугового спрединга.

Западный склон Южного, Среднего и южной части Северного Урала

В типовом разрезе рифея Башкирского антиклинория (западный склон Южного

Урала) известно несколько уровней развития темноокрашенных глинистых сланцев, рассматривающихся рядом исследователей (Маслов, 1988; Рыкус и др., 1993) как черносланцевые: верхняя часть айской свиты, средние уровни саткинской свиты, бакальская и большеинзерская свиты и ряд других литостратиграфических подразделений, а также зигазино-комаровская свита. Далее мы охарактеризуем некоторые из них.

В разрезах *саткинской свиты* (RF₁) черные или темноокрашенные низкоуглеродистые глинистые сланцы приурочены к ее средней, половинкинской, подсвите (Маслов и др., 2013; Маслов и др., 2002). Они опробованы нами как по ряду естественных разрезов, так и по буровым скважинам.

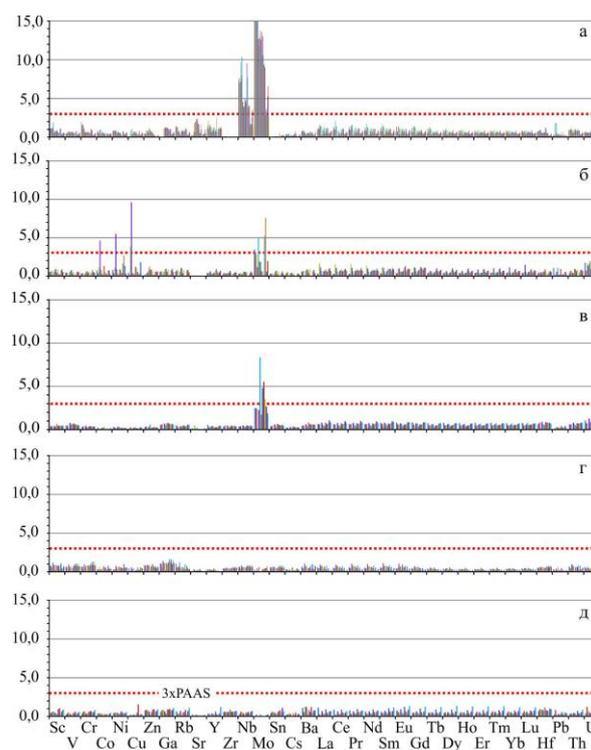


Рис. 1. Распределение нормированных по PAAS редких и рассеянных элементов в низкоуглеродистых глинистых сланцах саткинской (а) большеинзерской (б), суранской (в), юшинской (г) и зигазино-комаровской (д) свит нижнего и среднего рифея Башкирского антиклинория. Количество столбиков в ячейке элемента здесь и далее отвечает количеству проанализированных образцов

¹ Это несколько отличается от расчета аномальных содержаний элементов-примесей в черных сланцах, принятого в работе (Юдович, Кетрис, 1994), но, как показывает предпринятое нами сопоставление, не дает принципиально иных результатов. Так, в соответствии с (Юдович, Кетрис, 1994), аномальными для V, Th, Sr и Co считаются концентрации соответственно более 400, 10, 160 и 30 г/т, тогда как значения $> 3 \times \text{PAAS}$ для перечисленных элементов составляют более 450, 45, 330 и 69 г/т, т.е. являются заведомо аномальными.

В исследованных образцах ($n = 27$) только содержания Nb и Mo в большинстве случаев превышают указанное пороговое значение ($3 \times \text{PAAS}$) (рис. 1,а). Максимальная концентрация Nb немного превышает $10 \times \text{PAAS}$, а средняя составляет $\sim 5 \times \text{PAAS}$. Для Mo эти же параметры равны соответственно 17 и $\sim 11 \times \text{PAAS}$. Содержания подавляющего большинства других редких и рассеянных элементов, за исключением Ga, Sr, Y, La, Pr и Sm, составляют менее $0,85 \times \text{PAAS}$.

Большеинзерская свита (RF_1) представлена в основном мелко- и среднезернистыми кварцевыми и полевошпатовыми песчаниками при подчиненной роли низкоуглеродистых глинистых сланцев, алевролитов, известняков и доломитов (Маслов и др., 2002). В литературе (Ковалев и др., 2013) имеются сведения о содержании широкого спектра редких и рассеянных элементов в углеродсодержащих сланцах большеинзерской свиты Исмакаевского рудного поля ($n = 14$). Указанные образования подверглись определенной тектонотермальной переработке, но в целом могут рассматриваться как в той или иной степени представительные для данного уровня нижнего рифея Башкирского антиклинория. Опираясь на приведенные (Ковалев и др., 2013) аналитические данные можно сделать вывод, что только в одной из 14 исследованных проб концентрация Co и Ni выше $3 \times \text{PAAS}$ (см. рис. 1б). Содержание Cu выше $3 \times \text{PAAS}$ в двух пробах. В 3 пробах из 14 содержание Mo превышает значение $3 \times \text{PAAS}$. Следует подчеркнуть, что распределение перечисленных выше элементов в пробах весьма неравномерное. Так, минимальная концентрация Co составляет $0,14 \times \text{PAAS}$, а максимальная – $4,7 \times \text{PAAS}$. Для Cu разброс еще больше – $0,1 \dots$ и $9,6 \times \text{PAAS}$. Если это не связано с теми или иными аналитическими погрешностями, то требует особого внимания. Содержание остальных элементов примерно такое же, как в PAAS , или несколько ниже.

Суранская свита (RF_1) подразделяется на пять подсвит – миньякскую, бердагу-

ловскую, ангастакскую, сердаукскую и лапыштинскую. В разрезах первой и пятой подсвит преобладают хемогенные и механогенные известняки и доломиты. Вторая и четвертая подсвиты сложены в основном глинистыми и карбонатно-глинистыми, в той или иной мере углеродистыми, сланцами и мелкозернистыми алевролитами, с подчиненными им прослоями и пакетами мергелистых и низкоуглеродистых известняков и доломитов (Маслов и др., 2002). Нами исследовано 11 проб низкоуглеродистых глинистых сланцев данного уровня, отобранных из типовых разрезов бердагуловской и сердаукской подсвит в бассейне р. Бол. Инзер. Из них только в 4 пробах содержание Mo составляет более $3 \times \text{PAAS}$ (максимум $\sim 8,5 \times \text{PAAS}$) (см. рис. 1,в). Содержания остальных элементов заметно меньше, чем $3 \times \text{PAAS}$, и только средняя концентрация U составляет $\sim 1,0 \times \text{PAAS}$.

Юшинская свита (RF_1) представлена исключительно силикокластическими образованиями – глинистыми сланцами и низкоуглеродистыми их разновидностями, алевролитами, мелко- и среднезернистыми песчаниками (Маслов и др., 2002). Ни одна из 16 проанализированных проб низкоуглеродистых глинистых сланцев данного уровня не имеет аномального содержания какого-либо из рассматриваемых нами элементов (см. рис. 1,г). Наиболее близкой к PAAS средней концентрацией характеризуется Ga ($1,1 \times \text{PAAS}$).

Зигазино-комаровская свита (RF_2) сложена в основном темноцветными низкоуглеродистыми алеврито-глинистыми породами с прослоями песчаников, известняков и доломитов (Маслов и др., 2002). Для черных сланцев данного уровня юрматиния Башкирского антиклинория характерна такая же, как для юшинской свиты, ситуация. Ни один из исследуемого нами списка элементов-примесей не имеет средней концентрации выше $0,9 \times \text{PAAS}$ (см. рис. 1,д). Максимальные концентрации, несколько превышающие $1,25 \times \text{PAAS}$, характерны только для Cu, Ba, Eu, Gd, Dy, Ho, Er и Tm.

На Среднем и Северном Урале (Кваркушко-Каменногорский и Ляпинско-Кутимский антиклинории) черные сланцы присутствуют в разрезах муравьинской, вёлсовской, федотовской, кырминской, бутонской и ряда других свит (Петров и др., 2015; Петров, Маслов, 2010 и др.).

Муравьинская свита (RF₂) представлена сланцами хлорит-серицит-кварцевого, серицит-кварцевого, хлорит-кварцевого состава с прослоями углеродсодержащих разностей, филлитов, кварцитопесчаников, кварцитов, реже мраморизованных известняков и доломитов (Государственная ..., 2006). Из 10 исследованных образцов черных сланцев данного подразделения, отобранных в южной части Ляпинско-Кутимского мегантиклинория, концентрации только Cr и U во всех из них существенно выше 3×PAAS (рис. 2,а).

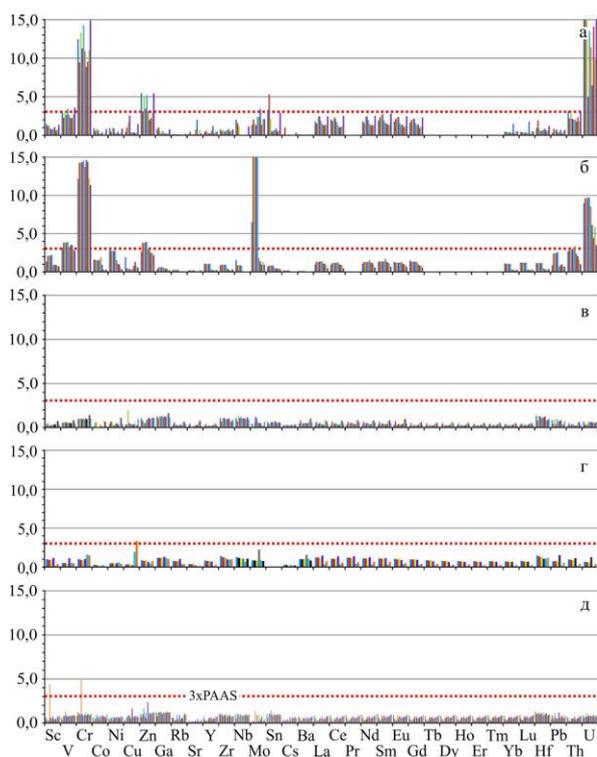


Рис. 2. Распределение нормированных по PAAS редких и рассеянных элементов в низкоуглеродистых глинистых сланцах муравьинской (а), вёлсовской (б), федотовской (в), бутонской (г) и безгодовской (д) свит рифея, венда и нижнего палеозоя (?) южной части Ляпинско-Кутимского и Кваркушко-Каменногорского антиклинориев

К уровню 2×PAAS в подавляющем большинстве проанализированных образцов близки также содержания V, Zn и U.

Вёлсовская свита (RF₃) объединяет серицит-углеродисто-кварцевые, (углеродисто)-хлорит-серицит-кварцевые, иногда альбит- или магнетитсодержащие сланцы, филлиты, доломиты, известняки, в верхней части с прослоями метавулканитов (актинолит)-эпидот-альбит-хлоритового состава и кварцитопесчаников (Государственная ..., 2006). В 10 исследованных нами представительных образцах углеродистых сланцев вёлсовской свиты уровень 3×PAAS во всех пробах превосходит (и достаточно много) содержания Cr (максимальная концентрация составляет ~14×PAAS) и U (C_{Umax} ~9×PAAS) (см. рис. 2,б). Достаточно близки или немного превосходят принятый нами пороговый уровень также содержания V, Zn и Th. В 5 образцах углеродистых сланцев содержания Mo существенно выше указанного порогового уровня, в остальных – примерно сопоставимы с концентрацией Mo в PAAS или немного выше ее.

Федотовская свита (RF₃) представлена преимущественно темноокрашенными глинистыми сланцами с редкими прослоями алевролитов и песчаников, в ее нижней части в ряде разрезов присутствуют эффузивы основного и кислого состава, выделенные С.В. Младших в щегровитскую свиту, а в верхней – прослой известняков и карбонатно-глинистых сланцев (Маслов и др., 2002 и др.). Черные сланцы данного уровня характеризуются отсутствием микроэлементов, средние концентрации которых были бы выше, чем 3×PAAS. Напротив, среднее содержание большинства редких и рассеянных элементов сопоставимо (в интервал 0,85–1,25×PAAS попадают Cr, Zn, Zr, Nb и Hf) или даже меньше, чем в среднем постарейском австралийском глинистом сланце (см. рис. 2,в). Максимальные концентрации Cr, Cu и Ga составляют соответственно всего 1,4, ~2,0 и 1,7×PAAS.

Бутонская свита (V₁) сложена полосчатыми темно-серыми низкоуглероди-

стыми глинистыми сланцами с маломощными прослоями алевролитов и мелкозернистых кварцевых и полевошпат-кварцевых песчаников (Маслов и др., 2002). Это один из немногих объектов среди отложений верхнего рифея и венда западного склона Среднего Урала, который по своему внешнему виду, несомненно, принадлежит черносланцевым отложениям. Тем не менее только в одной из исследованных нами 6 представительных проб темноокрашенных глинистых сланцев данного уровня концентрация Си составляет более $3 \times \text{PAAS}$; еще в одной максимальное содержание Мо достигает величины $2,2 \times \text{PAAS}$. Средние концентрации Cr, Cu, Ga, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm и Hf попадают в интервал $0,85-1,25 \times \text{PAAS}$ (см. рис. 2,г). Максимальные концентрации большинства перечисленных элементов (за исключением Си и Мо) составляют от $1,3$ до $1,6 \times \text{PAAS}$.

Безгодовская свита (ордовик-силур, верхний венд?) объединяет темно- и зеленовато-серые тонкополосчатые глинистые сланцы и мелкозернистые алевролиты с подчиненными им песчаниками (Юдович, Кетрис, 1994). Опробование темноцветных глинистых сланцев и алевролитов данного уровня выполнено нами в бассейне среднего течения р. Усьвы выше и ниже д. Безгодово, т.е. в типовой местности. Только в двух из 18 проанализированных проб содержания Sc и Cr составляют более $3 \times \text{PAAS}$ (см. рис. 2,д). Средние концентрации Cr, Zn, Ga, Zr, Nb, Sn и Hf примерно соответствуют тем, что характерны для PAAS. Максимальные содержания многих из перечисленных элементов-примесей варьируют от $1,3$ до $1,7 \times \text{PAAS}$.

Другие районы Южного Урала

Сведения о распределении редких и рассеянных элементов в углеродсодержащих сланцах других зон и районов Южного Урала (заметно менее полные, чем рассмотренные выше) приведены в публикации (Геология ..., 2012) и ряде других ра-

бот. Ниже мы остановимся только на данных о содержаниях элементов-примесей в черных сланцах ряда лито/тектоностратиграфических единиц максютовского и суваянского комплексов зоны Урала, а также некоторых свит палеозоя восточного склона Южного Урала.

Кайраклинская свита объединяет графит-мусковит-кварцевые графит-кварцевые, мусковит-кварцевые сланцы, графитистые и безграфитистые кварциты, чередующиеся с ортосланцами альбит-актинолитового состава (Захаров, Пучков, 1994). Только в 5 из 27 проб углеродсодержащих сланцев данного подразделения максютовского комплекса, сведения о которых приведены (Геология ..., 2012), концентрация Cr превышает $3 \times \text{PAAS}$ (для 2 проб $C_{Cr} > 20 \times \text{PAAS}$) (рис. 3а). Величина C_{Cr} среднее составляет здесь $3,8 \times \text{PAAS}$, это в высшей мере условный параметр, т.к. разброс минимальной и максимальной концентрации хрома равен $0,2 \dots 28,6 \times \text{PAAS}$. Содержания Co во всех пробах существенно ниже, чем в PAAS ($0,1-0,3$), а содержание Ni только в 1 пробе выше принятого нами порогового значения ($6,0 \times \text{PAAS}$); среднее содержание

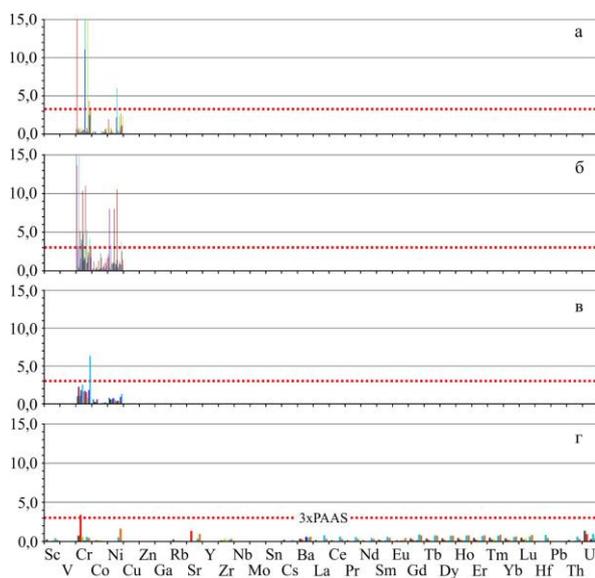


Рис. 3. Распределение нормированных по PAAS редких и рассеянных элементов в углеродистых сланцах кайраклинской (а), караглинской (б), акбашской (в) и уткальской (г) свит

никеля в углеродсодержащих породах кайраклинской свиты составляет $\sim 1,0 \pm 1,3$.

Карамалинская свита того же комплекса близка по составу слагающих ее образований к кайраклинской свите (Захаров, Пучков, 1994). Существенная часть углеродистых сланцев данного подразделения (15 из 32 проб) характеризуется более высокими, чем $3 \times \text{РААС}$, содержаниями Cr ($C_{\text{Cr среднее}} = 4,7 \times \text{РААС}$, минимум – 0,4, максимум – 30,0). Превышение указанного порогового значения по Ni характерно для 5 проб ($C_{\text{Ni среднее}} = 1,9 \times \text{РААС}$) (см. рис. 3,б). Концентрации Co в основном заметно ниже, чем в РААС, но для нескольких проб достигают величины $\sim 2 \times \text{РААС}$; величина $C_{\text{Co среднее}}$ составляет $0,6 \times \text{РААС}$, минимальное содержание кобальта примерно в 25 раз меньше максимального.

*Акбикская свита*² суванякского комплекса сложена кварцитопесчаниками, кварцитами, филлитизированными алевролитами, серицит-кварцевыми сланцами и их хлоритовыми разностями (Геологическая ..., 2001). Сведения о содержании Cr, Co и Ni в низкоуглеродистых сланцах данного подразделения приведены (Геология ..., 2012). По этим данным только в одной из 11 проб содержание Cr выше, чем $3 \times \text{РААС}$, тогда как концентрация Co существенно ($C_{\text{Co среднее}} = 0,3 \times \text{РААС}$), а Ni заметно ниже ($C_{\text{Ni среднее}} = 0,7 \times \text{РААС}$) содержаниям, присущих указанному геохимическому стандарту (см. рис. 3,в). Максимальные концентрации кобальта и никеля составляют соответственно 0,6 и $1,3 \times \text{РААС}$.

Уткальская свита того же комплекса включает графит-кварцевые, слюдисто-кварцевые и слюдисто-хлорит-кварц-плагиоклазовые сланцы, кварциты и слюдистые кварциты (Геология ..., 2012 и

др.). Анализ данных о распределении редких и рассеянных элементов в углеродистых сланцах уткальской свиты, приведенных в работе (Геология ..., 2012), показывает, что только для одной из 6 проанализированных проб характерно содержание $\text{Cr} > 3 \times \text{РААС}$ (см. рис. 3,г). Концентрации остальных элементов в существенной степени ниже, чем в РААС. Сопоставимым с РААС средним содержанием обладают только Cr и Sr.

Поляковская свита ордовика (западный фланг Магнитогорского мегасинклинория, Кыштымская площадь, север Южного Урала) объединяет афировые базальты, глинисто- и углеродисто-кремнистые сланцы, кремнистые туффиты, углеродистые песчаники и алевролиты, а также вулканомиктовые песчаники (Геология ..., 2012). Авторами монографии (Геология ..., 2012) приведены сведения о содержании в 44 пробах углеродистых сланцев данной свиты Cr, Co, Ni, Cu и Zn. Концентрация $C_{\text{орг}}$ в указанных породах варьирует от 1 до 3%. Анализ указанных данных показывает, что содержания Cr и Zn в углеродистых сланцах выше $3 \times \text{РААС}$

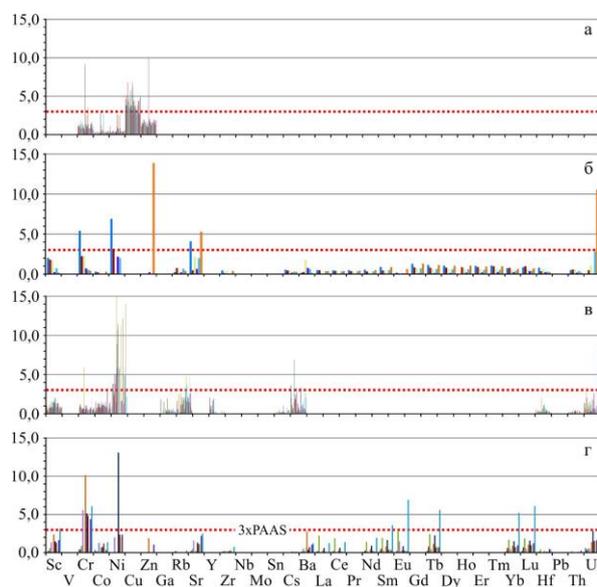


Рис. 4. Распределение нормированных по РААС редких и рассеянных элементов в углеродистых сланцах поляковской (а), бетринской (б) и чулакской (в) свит, а также флишоидной толщи девона Амурского месторождения (г)

² В настоящее время «акбикская свита» считается аналогом нижней подсвиты курташской свиты (O₂). Последняя сложена в основном желтовато-серыми, серыми, зеленоватыми массивными или рассланцованными преимущественно алевропсаммитовыми кварцитами при подчиненной роли хлорит-кварцевых сланцев.

только в 1 пробе, а содержания Cu – в 36 пробах (рис. 4,а). Концентрации же Co и Ni в подавляющей части проб заметно ниже, чем в PAAS. Среднее содержание Cr составляет $1,3 \times \text{PAAS}$ (минимум – 0,4, максимум – $9,2 \times \text{PAAS}$). Средние концентрации Co и Ni здесь существенно ниже, чем в PAAS ($0,4$ и $0,6 \times \text{PAAS}$ соответственно). Напротив, параметры $C_{\text{Среднее}}$ и $C_{\text{ZnСреднее}}$ составляют $4,1$ и $2,6 \times \text{PAAS}$, максимальные же концентрации указанных элементов-примесей достигают $6,8$ и $48,2 \times \text{PAAS}$.

Бетринская свита девона Уралтауского антиклинория объединяет углеродистоглинистые (низкоуглеродистые), глинисто-кремнистые и глинисто-углеродистые сланцы, а также глинистые и кремнистоглинистые сланцы, кварцевые алевролиты (Геология ..., 2012). Содержания Cr, Ni, Zn и U составляют более $3 \times \text{PAAS}$ только в ~15% проанализированных проб низкоуглеродистых сланцев этой свиты, а концентрация Sr превышает указанный пороговый уровень примерно в 30% проб (см. рис. 4,б). Средние содержания ($n = 6$) Cr, Ni, Sr и U составляют соответственно $1,9$, $3,6$, $2,5$ и $2,5 \times \text{PAAS}$, максимальные – $5,4$, $6,9$, $5,3$ и $10,6 \times \text{PAAS}$. Среднее содержание Sc в низкоуглеродистых сланцах бетринской свиты сопоставимо с концентрацией данного элемента в PAAS, тогда как максимальное достигает $\sim 2,0 \times \text{PAAS}$.

На Амурском месторождении (южное продолжение Арамильско-Сухтелинского синклиория) пороговое значение $3 \times \text{PAAS}$ для Cr в ЧС *флишовой толщи девона* превышено в 1 из 42 проб, для Ni – в 19, для Sr – в 3, для Ba – в 4, а для U – в 2 и еще в 3 пробах немного ниже (см. рис. 4,в). Сопоставимые с PAAS средние концентрации присущи здесь Sc и Co. Максимальные концентрации Sc, Co, Zr и Hf варьируют от $\sim 2,0$ до $2,9 \times \text{PAAS}$, а максимальные содержания Ni, Zn, Ba и U составляют соответственно $16,7$, $41,1$, $6,9$ и $8,6 \times \text{PAAS}$.

В разрезах *чулаксайской свиты* (RF₂?, PZ?) Джабык-Карагайского антиклинория (Восточно-Уральская мегазона) графити-

стые сланцы и кварциты также пользуются широким распространением (Геология ..., 2012; Тейлор С.Р., МакЛеннан, 1988). Основываясь на приведенных в работе (Геология ..., 2012) данных, можно сделать вывод, что из 11 исследованных проб характеризуются превышением уровня $3 \times \text{PAAS}$ для Sc только 1 проба, для Cr – 6 проб, для Ni, Sm, Eu, Tb, Yb и Lu также 1 проба (см. рис. 4,г). Сопоставимыми с PAAS средними концентрациями обладают Sc, Sr, Sm, Eu, Yb и U. Концентрация большинства других редких и рассеянных элементов, определенных в данной выборке, заметно ниже, чем в PAAS. Так, для Hf $C_{\text{Среднее}}$ составляет $0,2 \times \text{PAAS}$, для La, Ba, Rb и Co – $0,5$, $0,7$, $0,1$ и $0,7 \times \text{PAAS}$. Вместе с тем максимальные концентрации Cr, Ni и U достигают величин соответственно $10,2$, $13,1$ и $2,8 \times \text{PAAS}$.

Докембрийские и раннепалеозойские углеродистые сланцы ряда других регионов России и мира

В данном разделе приведены сведения о распределении редких и рассеянных элементов в ряде докембрийских и раннепалеозойских объектов, при характеристике которых авторы работ используют термин *black shales* без каких-либо оговорок. Выбор указанных объектов в значительной мере случаен.

Так, палеопротерозойские черные сланцы *формации Cumbum*, серия Nallamalai, бассейн Cuddapah, Индия (Manikyamba et al., 2008) примерно в половине из 13 проб содержат существенно более высокие, чем $3 \times \text{PAAS}$, концентрации Ga, Mo и Ba, тогда как среднее содержание V, Cr, Zn, La, Pr, Sm, Eu, Gd, Hf и Th в той или иной мере сопоставимо с их концентрацией в PAAS (рис. 5,а). Максимальные концентрации V, Cr, Cu, Zn, La, Hf и U варьируют в интервале $1,25$ – $3,0 \times \text{PAAS}$. В то же время максимальная концентрация Ga составляет $6,1 \times \text{PAAS}$, Mo – почти $14 \times \text{PAAS}$, а Ba $\sim 17 \times \text{PAAS}$.

Черные сланцы палеопротерозойской *формации Wollogorang*, серия Tawallah,

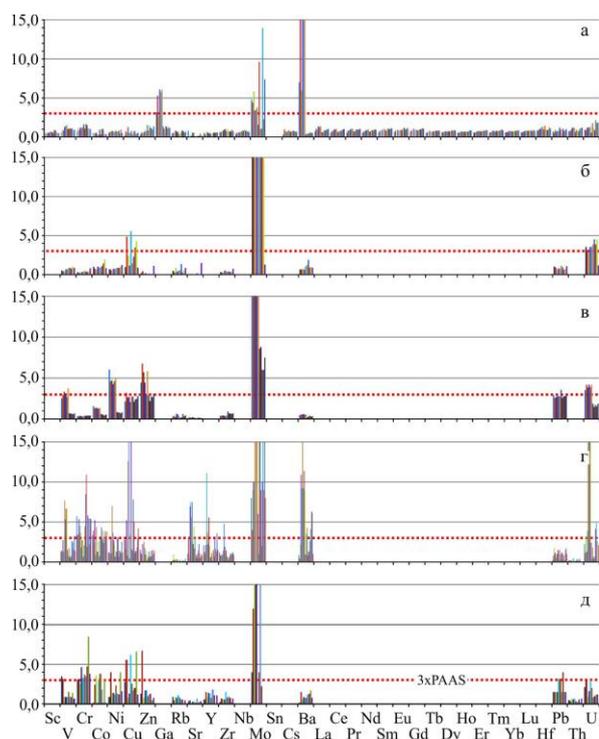


Рис. 5. Распределение нормированных по PAAS редких и рассеянных элементов в докембрийских углеродистых сланцах формаций *Sibitum* (а), *Wollogorang* (б) и *Velkerri* (в), а также рифейских углеродистых отложениях Котерского синклинория (г) и ильчирской свиты юго-восточной части Восточного Саяна (д)

бассейн Мак-Артур, Северная Австралия (Kendall et al., 2009), демонстрируют превышение порогового уровня только в части проб для Cu и U, тогда как практически в 9 из 10 проанализированных проб концентрация Mo > 20×PAAS (см. рис. 5,б). В сопоставимых с PAAS концентрациях здесь присутствуют только Co, Ba и Pb. Среднее содержание Cu равно 2,7×PAAS, U – 3,5×PAAS. Максимальные содержания Co, Cu, Mo и U достигают соответственно ~2,0, 5,6, 58,0 и 4,5×PAAS.

В этом же бассейне черные сланцы присутствуют в разрезах мезопротерозойской формации *Velkerri*, серия Roper. В преобладающей части проб (n = 11) более высокие, чем 3×PAAS, концентрации присутствуют V, Ni, Zn, Mo, Pb и U, тогда как содержание Cr, Rb, Sr, Zr и Ba заметно ниже, чем в PAAS (см. рис. 5,в). Сопоставимая с PAAS средняя концентрация при-

суца здесь только Co. Разброс максимальных содержаний отдельных элементов достаточно высок. Так, для V величина C_{max} равна 3,7×PAAS, для Zn этот же параметр составляет 6,8×PAAS, а для Mo – 119,0×PAAS.

На севере Байкальской горной области рифейские углеродистые отложения (углеродистые алевросланцы, метапесчаники и известковистые песчаники) достаточно широко представлены в Котерском синклинории и ряде других структур (няндонинская, уколкитская, баргузинская свиты) (Жмодик и др., 2008; Миронов и др., 2002). Рассматриваемые образования характеризуются большим количеством элементов-примесей, средние концентрации которых выше, чем в большинстве рассмотренных нами ранее примеров (см. рис. 5,г). Так, для V, Co, Ni, Sr и Y параметр $C_{среднее}$ варьирует от 2 до 3×PAAS. Для Cr и Cu он составляет соответственно 4,3 и 4,8×PAAS. Средняя концентрация Ba превышает содержание данного элемента в PAAS более чем в 5 раз, максимальное же содержание бария достигает ~15×PAAS. Для молибдена, напротив, среднее содержание примерно равно 16×PAAS, тогда как максимальное «взлетает» до ~60×PAAS. Весьма высоким является здесь и среднее содержание U (~7×PAAS), максимальная же его концентрация в углеродистых отложениях Котерского синклинория достигает ~27×PAAS.

В юго-восточной части Восточного Саяна углеродистые образования ассоциируют с офиолитами (ильчирская свита, верхний рифей), а также залегают среди карбонатных пород дабанжалгинской свиты нижнего палеозоя (Жмодик и др., 2008; Миронов и др., 2002). В углеродистых породах ильчирской свиты (n = 13) средние содержания V, Co, Ni, Zn, Pb и U составляют от 1,5 до 2,1×PAAS. Средние концентрации Cr и Cu равны соответственно 4,1 и 3,1×PAAS (см. рис. 5,д). На этом фоне резко выделяется молибден. Его средняя концентрация составляет ~12×PAAS, тогда как максимальная –

21×РААС. Для углеродистых образований дабанжалгинской свиты аналитических данных мало ($n = 3$), но и эта информация показывает определенную их специфику. Так, среднее содержание V составляет $\sim 16 \times \text{РААС}$ ($C_{\text{max}} = 20 \times \text{РААС}$). Средняя концентрация Cr также достаточно высока ($\sim 5 \times \text{РААС}$). Так же, как в углеродистых породах Котерского синклиория, здесь ощутимо повышено среднее содержание Y ($2,1 \times \text{РААС}$); распределение его в проанализированных пробах весьма неравномерное (минимум – 0,9, максимум – $3,3 \times \text{РААС}$). Содержание Mo варьирует от ~ 37 до $\sim 126 \times \text{РААС}$. И наконец, среднее содержание U составляет $\sim 10 \times \text{РААС}$ при максимальном значении – $17 \times \text{РААС}$.

Нижнекембрийские черные сланцы Северо-Таримского бассейна (разрез Xiaerbulake, $n = 12$), Западный Китай, характеризуются, по данным (Yu et al., 2009) существенно более высокими, чем $3 \times \text{РААС}$, средними содержаниями V ($\sim 17 \times \text{РААС}$), Cr ($\sim 5 \times \text{РААС}$), Cu ($\sim 4,7 \times \text{РААС}$), Zn, Sr, Y ($\sim 3,8 \times \text{РААС}$), Mo ($\sim 31 \times \text{РААС}$), Ba и U ($\sim 20 \times \text{РААС}$) (рис. 6,а). Максимальные концентрации V и Cu достигают соответственно ~ 81 и $\sim 21 \times \text{РААС}$. Для Mo и Ba эти показатели составляют ~ 79 и $\sim 41 \times \text{РААС}$, а для U $\sim 63 \times \text{РААС}$. Интересно отметить, что средние концентрации ряда средних и всех тяжелых лантаноидов в черных сланцах разреза Xiaerbulake варьируют от 1,5 до $2,5 \times \text{РААС}$, тогда как максимальные в ряде случаев превышают $5 \times \text{РААС}$ (для Gd, Dy, Ho, Er и Tm). Примерно такими же геохимическими особенностями характеризуются нижнекембрийские черные сланцы ($n = 10$) и в разрезе Sugaitebulake того же бассейна (см. рис. 6,б).

В Южном Китае черные сланцы этого же возраста присутствуют в разрезах формации Niutitang (провинция Guizhou и др.) (Xu et al., 2012) (см. рис. 6,в). Среднее содержание V в них составляет $\sim 9 \times \text{РААС}$ ($n = 23$), для U этот же параметр несколько меньше ($\sim 6 \times \text{РААС}$), а для Mo, напротив, почти в 8 раз выше, чем для ванадия

($\sim 75 \times \text{РААС}$). Максимальное содержание Mo больше минимального примерно в 26 (!) раз. Для Cr, Ni и Zn значение $C_{\text{среднее}}$ варьирует от 1,7 до $\sim 2,4 \times \text{РААС}$; в то же время максимальное содержание Cr составляет порядка $22 \times \text{РААС}$.

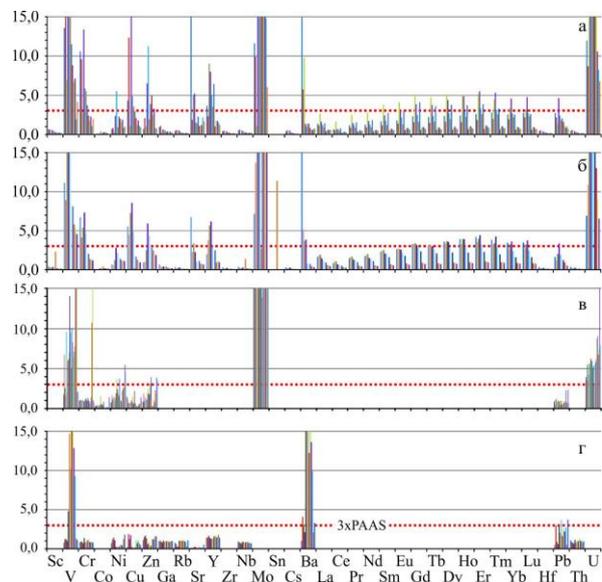


Рис. 6. Распределение нормированных по РААС редких и рассеянных элементов в черных сланцах нижнего кембрия Северо-Таримского бассейна (а, б), Южного Китая (в) и ордовикских черных сланцах Нью-Брансуика (г)

Ордовикские черные сланцы в Нью-Брансуике (серия Tetagouche, $n = 13$), США (Hennessy, Mossman, 1996) характеризуются тем, что средние содержания V и Ba составляют соответственно 7,4 и $9,6 \times \text{РААС}$, а максимальные превышают $20 \times \text{РААС}$. Концентрации большинства других элементов-примесей, за исключением Cr, Zn, Ga и Th, здесь заметно ниже, чем в РААС (см. рис. 6,г). Величина C_{Pbmax} составляет $\sim 4 \times \text{РААС}$ при среднем содержании Pb около $2,0 \times \text{РААС}$. Несколько выше, чем в РААС в сланцах Нью-Брансуика и среднее содержание Y ($\sim 1,5 \times \text{РААС}$).

Заключение

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что низкоуглеродистые чер-

носланцевые толщи Южного, Среднего и южной части Северного Урала довольно существенно различаются по содержаниям элементов-примесей. В большинстве случаев последние имеют примерно кларковые или сходные с теми, что присущи РААС, концентрации. Эти факты показывают, что от наиболее ярких примеров black shales (например, черные сланцы венда и кембрия Китая и др.) уральские объекты заметно отличаются. С чем это связано – предстоит еще разбираться. Возможно, существенную роль в этом играют и геодинамическая позиция черносланцевых отложений (пассивные и активные окраины), и повышенная биопродуктивность водоемов во время их накопления (венд и кембрий), и приуроченность к специфическим типам породных ассоциаций (офиолиты и др.), и степень вторичных преобразований, и/или что-то другое.

Предстоит также установить распределение благородных металлов (Au и элементов платиновой группы) в углеродсодержащих тонкозернистых обломочных породах рифея, венда и нижнего палеозоя западного склона Урала, т. к. выявление черносланцевых толщ, в той или иной степени обогащенных U, V, Mo, Ni, Au, а также элементами платиновой группы и другими металлами, – это первый шаг к локализации районов, перспективных для поисков, связанных с подобными толщами месторождений стратиформного типа.

Исследования проведены при финансовой поддержке проекта УрО РАН № 15-18-5-35.

Библиографический список

- Геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-40 (41)–Уфа. Объясн. зап. / отв. ред. В.И. Козлов. Уфа: ОАО «Башкиргеология», 2001. 568 с.
- Геология, петрогеохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала / А.В. Сначёв, В.И. Сначёв, М.В. Рыкус, Д.Е. Савельев, Е.А. Бажин, Ф.Р. Ардисламов. Уфа: ДизайнПресс, 2012. 208 с.*
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1000000. Уральская серия. Лист Р-40 (Североуральск). Объясн. зап. / Картфабрика ВСЕГЕИ. СПб., 2006. 332 с.
- Жмодик С.М., Миронов А.Г., Жмодик А.С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). Новосибирск: Гео 2008. 304 с.*
- Захаров О.А., Пучков В.Н. О тектонической природе максютовского комплекса Уралтау / УНЦ РАН. Уфа, 1994. 28 с.*
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПресс, 2013. 268 с.*
- Маслов А.В. Безгодовская свита западного склона Среднего Урала: некоторые геохимические характеристики тонкозернистых терригенных пород // Ежегодник-2008: сб. науч. ст. / ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2009. С. 150–153.*
- Маслов А.В. Рифейские углеродистые отложения Башкирского мегантиклинория // Литология и полез. ископаемые. 1988. № 3. С. 101–109.*
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Ковалев С.Г. Литогеохимические особенности глинистых сланцев саткинской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория: новые данные // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 1. С. 26–33.*
- Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В. Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера. 2002. № 2. С. 54–95.*
- Миронов А.Г., Жмодик С.М., Очиров Ю.Ч., Гурская Л.И., Сапожников Д.Ю., Попов В.Д. Геохимия и металлоносность углеродистых отложений различных геодинамических обстановок Саяно-Байкальской складчатой области // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. С. 348–365.*
- Петров Г.А., Александров В.В., Зубков А.И., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. К проблеме рудоносности черных сланцев Вишерско-Кутимского антиклинория (Северный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 4. С. 32–43.*
- Петров Г.А., Маслов А.В. Новые данные о платиноносности верхнерифейско-вендских отложений Центрально-Уральской мегазо-*

- ны (Средний и Северный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2010. № 3. С. 25–33.
- Рыкус М.В., Андреев Н.И., Муркин В.П., Маслов А.В., Сначев В.И. Углеродистые отложения докембрия Южного Урала / УНЦ РАН. Уфа, 1993. 40 с.
- Сначёв А.В. Палеогеографические условия и рудоносность углеродистых отложений чулаксайской свиты (Восточно-Уральская мегазона) // Геологический сборник: сб. науч. ст. / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2009. № 8. С. 210–220.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир., 1988. 384 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: Наука, 1994. 304 с.
- Hennessy J.F., Mossman D.J. Geochemistry of Ordovician black shales at Medictic southern Miramichi Highlands, New Brunswick // Atlantic Geol. 1996. Vol. 32. P. 233–245.
- Kendall B., Creaser R.A., Gordon G.W., Anbar A.D. Re–Os and Mo isotope systematics of black shales from the Middle Proterozoic Velkerri and Wollongorang Formations, McArthur Basin, northern Australia // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2009. Vol. 73. P. 2534–2558.
- Manikyamba C., Kerrich R., Gonzalez-Alvarez I., Mathur R., Khanna T.C. Geochemistry of Paleoproterozoic black shales from the Intracontinental Cuddapah basin, India: implications for provenance, tectonic setting, and weathering intensity // Precam. Res. 2008. Vol. 162. P. 424–440.
- Xu L., Lehmann B., Mao J., Nögler T.F., Neubert N., Böttcher M.E., Escher P. Mo isotope and trace element patterns of Lower Cambrian black shales in South China: Multi-proxy constraints on the paleoenvironment // Chem. Geol. 2012. Vol. 318–319. P. 45–59.
- Yu B., Dong H., Widom E., Chen J., Lin C. Geochemistry of basal Cambrian black shales and cherts from the Northern Tarim Basin, Northwest China: Implications for depositional setting and tectonic history // J. Asian Earth Sci. 2009. Vol. 34. P. 418–436.

Low Carbon Black Shales of South and Parts of Central and Northern Urals: New Geochemical Characterization Data

A.V. Maslov^{a,b}, G.A. Petrov^a, E.Z. Gareev

^a Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS, 15 Vonsovskiy Str., Yekaterinburg 620016, Russia. E-mail: amas2004@mail.ru

^b Institute of Geology, Ufa Scientific Centre of RAS, 16/2 K. Marx Str., Ufa 450077, Russia

We analyzed the distribution of wide range of trace elements in low-carbon shales of various Riphean, Vendian and Lower Paleozoic lithostratigraphic units of the South, Central, and southern part of the Northern Urals (Satka, Bolshoy Inzer, Suran, Yusha, Zigazino-Komarovo, Vels, Buton, Bezgodovo, and other suites). It was determined that they significantly differ in content of the trace elements. In the most cases, the concentration of trace elements in these shales is roughly comparable with those found in well-known geochemical units, such as the Post-Archean Australian Shale (PAAS), or is lower. Alternatively, obtained data showed significant differences between the Urals low-carbon black shales and the Vendian and Cambrian black shales from China, and other black shale formations, characterized by higher concentration of many trace elements. We consider the probable important role of the geodynamic position of black shale formation, variation in the bioproductivity, association with specific rock complexes, and extent of secondary transformations in variability of geochemical composition of the black shale sediments.

Key words: *low carbon black shales, Riphean, Vendian, Paleozoic, South Urals, Middle Urals, southern part of the Northern Urals.*

References

- Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (novaya seriya). List N-40(41). Obyasnitelnaya zapiska [Geological map of Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (new series). Sheet N-40 (41). Explanatory notes.]. V.I. Kozlov Ed., 2001, Bashkirgeologiya, Ufa, p. 568. (in Russian)*
- Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V., Saveliev D.E., Bazhin F.R., Adrislamov E.A. 2012. Geologiya, petrogeokhimiya i rudonosnost uglerodistykh otlozheniy Yuzhnogo Urala [Geology, petrogeochemistry and ore content of the carbon-bearing deposits of the South Urals]. DizaynPress, Ufa, p. 208. (in Russian)*
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. 1:1 000 000. Tretye pokolenie. Uralskaya seriya. List P-40 (Severouralsk). Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of Russian Federation. 1:1 000 000. Third generation. Urals seria. Sheet P-40 (Severouralsk). Explanatory notes]. VSEGEI, Saint Petersburg, p. 332. (in Russian)*
- Zhmodik S.M., Mironov A.G., Zhmodik A.S. 2008. Zolotokontsentriruyushchie sistemy ofiolitovykh poyasov (na primere Sayano-Baykalo-Muyskogo poyasa) [Gold-concentrating systems of the ophiolite's belts (on example of the Sayan-Baikal-Muya Belt)]. Geo, Novosibirsk, p. 304. (in Russian)*
- Zakharov O.A., Puchkov V.N. 1994. O tektonicheskoy prirode maksyutovskogo kompleksa Uraltau [On the tectonic nature of the Maksyutovskiy complex, Uraltau]. Ufa Scientific Centre of RAS, Ufa, p. 28. (in Russian)*
- Kovalev S.G., Vysotskiy I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. 2013. Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturno-vestchestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya [Geochemical characterization of structural geological complexes of Bashkirian meganticlinorium]. DizaynPress, Ufa, p. 268. (in Russian)*
- Maslov A.V. 2009. Bezgodovskaya svita zapadnogo sklona Srednego Urala: nekotorye geokhimicheskie kharakteristiki tonkozernistykh terrigenykh porod [Bezgodovskaya Suit of the western slope of the Middle Urals: some geochemical characteristics of fine-grained terrigenous rocks]. In Ezhegodnik-2008. IGG, UB of RAS, Yekaterinburg, pp. 150-153. (in Russian)*
- Maslov A.V. 1988. Rifeyskie uglerodistye otlozheniya Bashkirskogo megantiklinoriya [Riphean carbonaceous deposits of the Bashkirian Mega-anticlinorium]. Lithology and Mineral resources. 3:101-109. (in Russian)*
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Kovalev S.G. 2013. Litogeokhimicheskie osobennosti glinistykh slantsev satkinskoy svity nizhnego rifeya Bashkirskogo megantiklinoriya: novye dannye [Lithochemical features of the Lower Riphean Satka Suit shales of the Bashkirian Meganticlinorium: new data]. Bulletin of Perm University. Geology. 1(18):26-33. (in Russian)*
- Maslov A.V., Olovyanishnikov V.G., Isherskaya M.V. 2002. Rifei vostochnoy, severovostochnoy i severnoy perefirii Russkoy platformy i zapadnoy megazonoy Urala: litostratigrafiya, usloviya formirovaniya i tipy osadochnykh posledovatelnostey [Riphean of the eastern, north-eastern and northern periphery of the Russian Platform and the Western Urals Megazone: lithostratigraphy, conditions of formation and types of sedimentary sequences]. Litosfera. 2:54-95. (in Russian)*
- Mironov A.G., Zhmodik S.M., Ochirov Yu.Ch., Gurskaya L.I., Popov V.D., Sapozhnikov D.Yu. 2002. Black shale formations in the Sayan-Baikal mountainous province: geochemistry, metallogeny, and geodynamic environments. Russian Geology and Geophysics. 43:364-381.*
- Petrov G.A., Aleksandrov V.A., Zubkov A.I., Maslov A.V., Ronkin Yu.L. 2015. K probleme rudonosnosti chernykh slantsev Vishersko-Kutimskogo anticlinoriya (Severnyy Ural) [To the problem of ore content of black shales of the Vishera-Kutim anticlinorium (Northern Urals)]. Bulletin of Perm University. Geology. 4(29):32-43. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.29.32*
- Petrov G.A., Maslov A.V. 2010. Novye dannye o platinonosnosti verkhnerifeysko-vendskikh otlozheniy Tsentralno-Uralskoy megazonoy (Sredniy i Severnyy Ural) [New data on the platinum potential of Upper Riphean-Vendian deposits of the Central Urals Megazone (Middle and Northern Urals)]. Izvestiya vyzov. Geologiya i razvedka. 3:25-33. (in Russian)*
- Rykus M.V., Andreev N.I., Murkin V.P., Maslov A.V., Snachev V.I. 1993. Uglerodistye otlozheniya dokembriya Yuzhnogo Urala [Precambrian carbonaceous sediments of the Southern Urals]. IG USC of RAS, Ufa, p. 40. (in Russian)*

- Snachev A.V.* 2009. Paleogeograficheskie usloviya i rudonosnost uglerodistykh otlozheniy chulaksayskoy svity (Vostochno-Uralskaya megazona) [Paleogeographic conditions and ore content of carbonaceous deposits of the Chulaksay Formation (East Urals Megazone)]. *Geologicheskii sbornik. IG USC of RAS, Ufa*, 8:210-220. (in Russian)
- Taylor S.R., McLennan S.M.* 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Scientific Pub., Palo Alto, CA, p. 312.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P.* 1994. Elementy-primesi v chernykh slantsakh [Trace elements in black shales]. *UB of RAS, Yekaterinburg*, p. 304. (in Russian)
- Hennessy J.F., Mossman D.J.* 1996. Geochemistry of Ordovician black shales at Medictic southern Miramichi Highlands, New Brunswick. *Atlantic Geol.* 32(3):233-245. doi: 10.4138/2089.
- Kendall B., Creaser R.A., Gordon G.W., Anbar A.D.* 2009. Re–Os and Mo isotope systematics of black shales from the Middle Proterozoic Velkerri and Wollgorang Formations, McArthur Basin, northern Australia. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 73(9):2534-2558. doi: 10.1016/j.gca.2009.02.013
- Manikyamba C., Kerrich R., Gonzalez-Alvarez I., Mathur R., Khanna T.C.* 2008. Geochemistry of Paleoproterozoic black shales from the Intracontinental Cuddapah basin, India: implications for provenance, tectonic setting, and weathering intensity. *Precam. Res.* 162:424-440. doi: 10.1016/j.precamres.2007.10.003
- Xu L., Lehmann B., Mao J., Nägler T.F., Neubert N., Böttcher M.E., Escher P.* 2012. Mo isotope and trace element patterns of Lower Cambrian black shales in South China: Multi-proxy constraints on the paleoenvironment. *Chem. Geol.* 318–319:45-59. doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.05.016.
- Yu B., Dong H., Widom E., Chen J., Lin C.* 2009. Geochemistry of basal Cambrian black shales and cherts from the Northern Tarim Basin, Northwest China: Implications for depositional setting and tectonic history. *J. Asian Earth Sci.* 34(3):418-436. doi: 10.1016/j.jseaes.2008.07.003.