

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РИФЕЯ ЛЯПИНСКО-КУТИМСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ

© 2016 г. А. В. Маслов, Г. А. Петров, Ю. Л. Ронкин

Углеродистые сланцы в разных частях мира вмещают крупные месторождения никеля, молибдена, урана, меди, ванадия, благородных металлов, фосфоритов, углеводородного сырья и других полезных ископаемых. Изучение геохимии, металлогенической специализации, реконструкция условий формирования углеродистых толщ имеют большое научное и прикладное значение. Нами в рамках проекта УрО РАН 15-18-5-35 выполнено геохимическое изучение средне- и верхнерифейских углеродистых сланцев южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория (Северный Урал).

Южная часть Ляпинско-Кутимского антиклинория отличается своеобразием геологического строения, обусловленным широким распространением углеродистых сланцев в разрезах среднего и верхнего рифея, присутствием золоторудных проявлений и россыпей, часто пространственно ассоциирующих с полями распространения черносланцевых толщ. В этом слабо изученном районе Урала, по данным проведенных нами рекогносцировочных работ [2, 3] имеются предпосылки для выявления промышленных залежей благороднометалльного оруденения.

Южная часть Ляпинско-Кутимского антиклинория складывается средне- и верхнерифейскими образованиями Ишеримской структурно-формационной зоны, перекрытыми ордовикскими терригенными, вулканогенными и карбонатными образованиями и прорванными дайками, штоками и sillами разнообразных магматических пород.

Среднерифейские толщ представлены метапесчаниками и метаалевролитами расынской свиты, выше залегают мраморизованные известняки и доломиты мойвинской свиты и углеродистые метаалевролиты муравьиной свиты. Среднерифейский возраст карбонатных пород мойвинской свиты традиционно обосновывается находками строматолитов *Conophyton cylindricus* Masl., *Jacutophyton* sp., *Baicalia* sp., а также Pb-Pb датировкой галенита из зоны сульфидной вкрапленности свинцового рудопроявления Кожевно в доломитизированных известняках мойвинской свиты на р. Вёльс – 1260–1270 млн лет (данные Б.В. Клименко, 1998 г.), валидность которой вызывает сомнения. Углеродистые сланцы муравьиной свиты

с несогласием перекрываются метаморфизованными кварцевыми и аркозовыми песчаниками ишеримской свиты, вмещающими силлы среднерифейских (1079 ± 41 млн лет) метадолеритов [4].

В состав верхнерифейского разреза, не охарактеризованного изотопно-геохронологическими данными и фаунистическими находками, входят углеродистые филлиты, серицит-кварцевые сланцы и метабазальты вёльсовской свиты. Мощность указанных свит составляет 1000–3000 м соответственно; мощность углеродистых сланцев них достигает сотен метров.

Магматические образования южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория представлены ордовикскими (или позднепротерозойскими?) перидотитами и пироксенитами вишерского комплекса, многочисленными дайками, sillами и штоками долеритов и габбродолеритов, объединяемых в допалеозойские чурольский и ишеримский комплексы, единичными дайками метаморфизованных пикритов неясного возраста, а также гранитоидами. Последние на Государственной геологической карте (лист Р-40–Североуральск) [1] отнесены к вёльсовскому комплексу венда–кембрия (Вёльсовский массив) и к средне–позднеордовикскому саклаимсорскому комплексу (Мойвинский и Посьмакский массивы).

Углеродистые сланцы присутствуют в составе среднерифейской муравьиной и поздне-рифейской вёльсовской свит. Среди них локализованы золоторудные рудопроявления, известны аномальные содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) [2, 3].

Муравьиная свита выделена В.Я. Алексеевым в 1994 г. на хр. Муравьиный Камень в верховьях р. Вишера. Представлена сланцами хлорит-серицит-кварцевого, серицит-кварцевого, хлорит-кварцевого составов с прослоями углеродсодержащих разностей, филлитов, кварцитопесчаников, кварцитов, реже мраморизованных известняков и доломитов. Фация метаморфизма зеленосланцевая. Участками породы подвергнуты метаморфическим процессам эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций, в результате которых образовались кристаллические сланцы, содержащие гранат, ставролит, дистен, а также биотит, фенгит, парагонит и хлоритоид. Возраст метамор-

физма, определенный Sm-Nd методом составляет 973 ± 49 млн лет, что соответствует позднему рифею [5]. Возраст муравьиной свиты в настоящее время принимается среднерифейским в соответствии с положением данного литостратиграфического подразделения в разрезе Ишеримской структуры выше мойвинской и ниже ишеримской свит среднего рифея. Мощность муравьиной свиты достигает 1100 м.

Вёлсовская свита выделена А.М. Курбацким в 1967 г. в верхнем течении р. Вёлс. Свита представлена сланцами серицит-углеродисто-кварцевыми, (углеродисто)-хлорит-серицит-кварцевыми, иногда альбит- или магнетитсодержащими, филлитами, доломитами, известняками, в верхней части прослоями метавулканитов (актинолит)-эпидот-альбит-хлоритового состава и кварцитопесчаников. В ее разрезах преобладают апотерригенные сланцы, часто обладающие полосчатой и пльчатой текстурой, гранолепидобластовой и гранобластовой структурой. По химизму аповулканогенные сланцы относятся к базальтам нормально-щелочного ряда, умеренно- и высокомагнезиальным с широким спектром содержаний TiO_2 — от 0.7 до 3%. Роль карбонатных пород в составе вёлсовской свиты незначительна. Фация метаморфизма, охватывающая образования вёлсовской свиты, зеленосланцевая. Метасоматические процессы выражены в широком распространении окварцевания, эпидотизации. Верхнерифейский возраст свиты обоснован слабо. Мощность вёлсовской свиты оценивается в 1200–3000 м.

В настоящее время в литературе отсутствуют отвечающие современным требованиям геохимические данные об осадочных породах южной части Ляпинско-Кутимского антиклинория, содержаниях в них углеродистого вещества, его составе; сведения о содержаниях и формах нахождения благородных металлов также весьма скудны [2, 3, 6]. Связано это преимущественно с тем, что геохимические исследования углеродистых сланцев, проведенные в середине 1970–1980 гг., выполнялись на основе приближенно-количественных спектральных анализов (ПКСА) попутно, при проведении геологосъемочных работ.

По результатам ПКСА (данные Г.А. Петрова, 2014 г.) для сланцев муравьиной свиты характерны повышенные концентрации, по сравнению с кларком земной коры, таких элементов, как Zr (кларк концентрации, $K_k - 2.0$), Sn ($K_k - 1.8$). Вариации содержаний элементов незначительны, за исключением Pb, W, Cu, Cr, Mn, Co. В известняках и доломитах муравьиной свиты содержания химических элементов находятся на околокларковом уровне, за исключением Mn ($K_k - 2.5$), при неравномерном распределении Mn, Pb и Ag. Для углеродистых сланцев вёлсовской свиты характерно накопление Zn ($K_k - 2.5$), Ag (2.2), Sn (1.6). Распределение элементов в углеродистых сланцах неравно-

мерное, особенно для Mo, Pb, W, Co, P (коэффициенты вариации 103–175%).

Для восполнения указанного пробела нами летом 2015 г. отобрано 20 представительных образцов черных сланцев муравьиной и вёлсовской свит, анализ содержания редких и рассеянных элементов в которых выполнен методом ICP-MS. Пробы сланцев муравьиной свиты отобраны на р. Вёлс, 2.5 км ниже по течению р. Правая Рассоха, в левом борту долины р. Вёлс, 4 км вверх по течению от устья р. Правая Рассоха, там же в 1 км ниже по течению устья р. Посымак и на р. Граничная, в 2 км выше по течению от устья (р. Правая Рассоха). Пробы сланцев вёлсовской свиты отобраны на правом борту долины р. Сурья (приток р. Вагран), на р. Граничная, в 4.5 км выше по течению от ее устья, на р. Сибиряковская Мартайка и в 5 км выше по течению от ее устья (слияния с р. Федоровская Мартайка).

Распределение абсолютных концентраций широкого спектра редких и рассеянных элементов в черных сланцах обеих свит можно видеть на рис. 1. Анализ компактно представленной здесь информации показывает следующее. Минимальное среднее абсолютное содержание в черных сланцах муравьиной свиты присуще Te (0.051 г/т), максимальным (~1277 г/т) характеризуется хром. По соотношению максимальных и минимальных концентраций того или иного элемента в индивидуальных образцах черных сланцев данного литостратиграфического подразделения можно выделить три группы. Для первой величина отношения максимальное/минимальное содержание составляет 3 и менее. К этой группе принадлежат Sc, V, Cr, Zn, As, Se, Rb, Zr, Mo, Te, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Hg, Pb и Th. Вторая группа характеризуется значениями указанного параметра более 3, но менее 20. В состав входят Ni, Cu, Ga, Ge, Br, Y, Ag, In, Sn, I, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Bi и U. Наконец, к третьей группе в сланцах муравьиной свиты относятся такие элементы, как Li, Be, Co, Sr, Nb, Cd, Sb, Cs, Ta, W и Tl. Если имеющаяся в нашем распоряжении аналитика корректна, то разброс минимальных и максимальных концентраций элементов данной группы варьирует от 21 (Co) до 134 (Tl).

В черных сланцах вёлсовской свиты наблюдается несколько иное распределение абсолютных концентраций элементов-примесей. К первой группе здесь принадлежат Sc, V, Cr, Zn, As, Ge, Se, Br, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Hg, Th и U. Вторая группа представлена Li, Be, Co, Ni, Cu, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Ag, Cs, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb и Bi. Третья группа включает заметно меньше элементов, чем это характерно для сланцев муравьиной свиты; это только Nb и Mo.

При нормировании на PAAS [7] вырисовываются следующие особенности состава углеродистых сланцев муравьиной и вёлсовской свит (рис. 2).

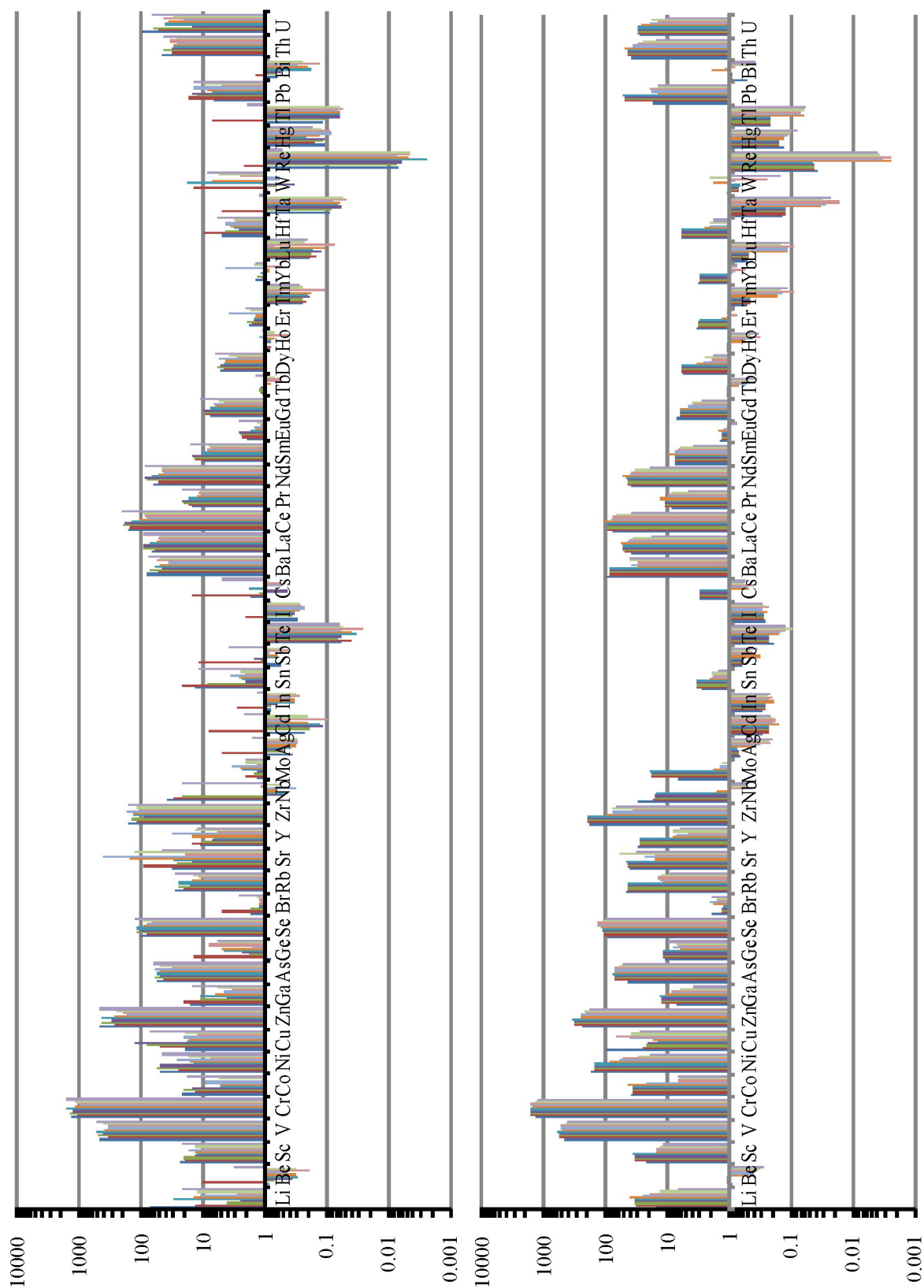


Рис. 1. Распределение абсолютных концентраций широкого спектра редких и рассеянных элементов в углеродистых сланцах муравьинской (а) и вельской (б) свит. Вертикальные столбики в ячейке того или иного элемента здесь и далее отвечают числу проанализированных образцов.

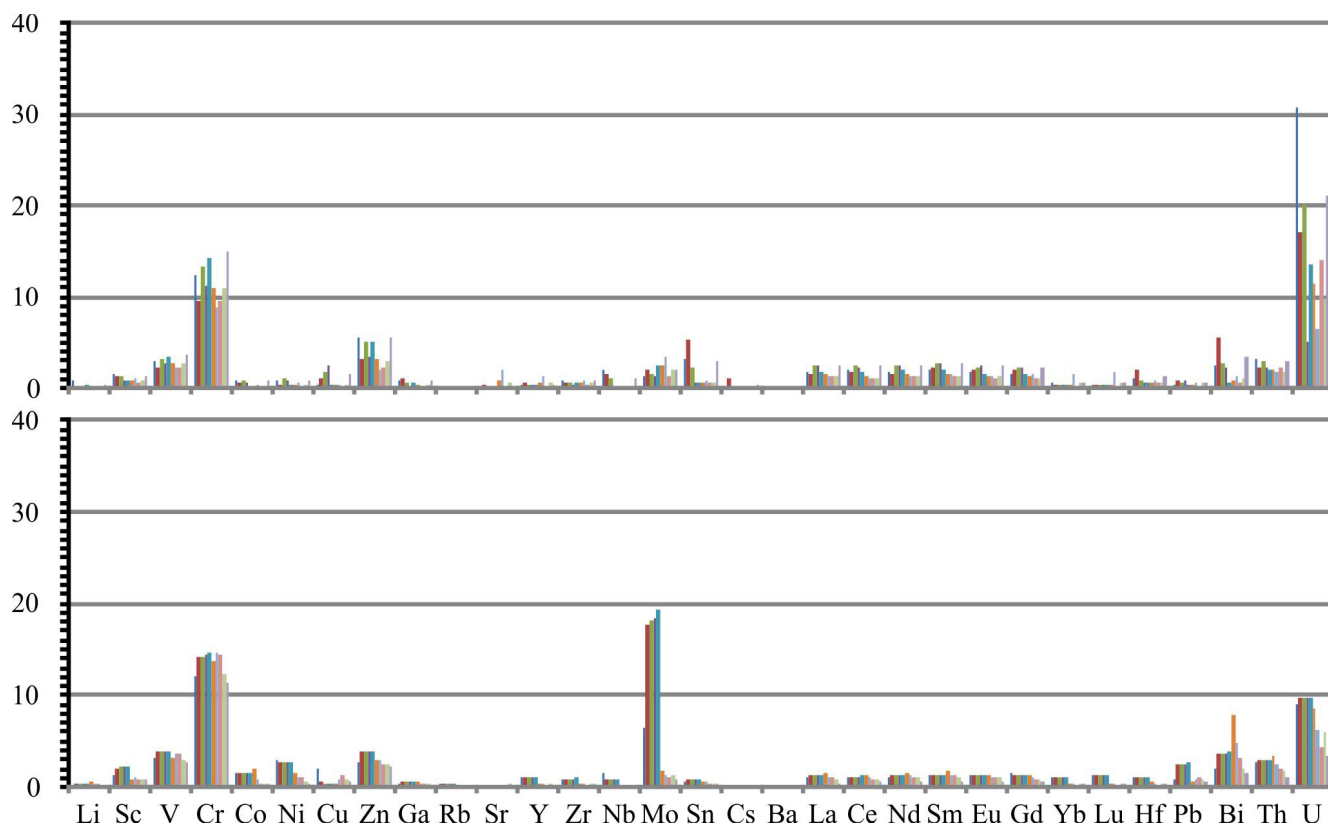


Рис. 2. Значения кларков концентрации (относительно PAAS) широкого спектра редких и рассеянных элементов в углеродистых сланцах муравьиной (а) и вёльсовской (б) свит.

Такие элементы, как Li, Ga, Rb, Sr, Y, Cs и Ba, в породах указанного типа муравьиной свиты присутствуют в средней концентрации менее $0.5 \times \text{PAAS}$. Напротив, для Cr и U присущи весьма высокие по сравнению с таковыми для средних постархейских глинистых сланцев средние содержания, составляющие 11.6 и ~ 15 соответственно. Такие элементы, как V, Zn, Mo, Sm, Bi и Th, характеризуются значениями $C_{\text{ср}}/C_{\text{PAAS}}$ в интервале 2.0–3.8. Для остальных редких и рассеянных элементов средние концентрации варьируют в углеродистых сланцах муравьиной свиты от 0.5 до 2.0. Максимальной неравномерностью распределения в проанализированных нами породах данного уровня отличаются Cr и U (~ 15 и ~ 31 соответственно). Несколько меньшими значениями “максимальное/минимальное содержание” обладают Zn (5.5), Sn (5.3) и Bi (5.6). Для V, Mo и Th указанный параметр варьирует между 3 и 5.

Углеродистые сланцы вёльсовской свиты по сравнению с PAAS характеризуются существенно ($C_{\text{среднее}}/C_{\text{PAAS}} > 5.0$) более высокими средними содержаниями таких элементов, как Cr (13.6), Mo (8.7) и U (7.6). Такие элементы, как V, Zn, Bi и Th, присутствуют здесь в средних концентрациях в интервале от 2.5 до $3.6 \times \text{PAAS}$, а Li, Ga, Rb, Sr, Cs и Ba имеют средние содержания менее $0.5 \times \text{PAAS}$. Наиболее неравномерное распределение в черных сланцах вёль-

совской свиты характерно для Cr, Mo, Bi и U. Несколько меньшие вариации параметра “максимальное содержание/минимальное содержание” присущи V, Ni, Zn и Th. Для остальных элементов указанное отношение составляет менее 3.

Приведенные в работе [7] данные о концентрациях в PAAS редких и рассеянных элементов, к сожалению, не содержат подобных сведений для As, Ge, Se, Br, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, I, Au, Hg и Tl, поэтому мы использовали для анализа данные о содержании их в верхней континентальной коре (UCC) [8]. В углеродистых сланцах муравьиной свиты указанные элементы по величине кларка концентрации принадлежат трем группам. К первой группе относятся Ge, Br, Mo, Sn, Sb, I, Au, Hg и Tl, для которых K_k составляют менее 6. Вторую группу образуют As, Ag, Cd и In, обладающими значениями K_k от 10 до $18 \times \text{UCC}$. Наконец, в третью группу попадает только селен, для которого средняя концентрация в проанализированных нами углеродистых сланцах муравьиной свиты относительно UCC составляет более 1000 (!). Если подойти с этих же позиций к распределению перечисленных элементов в углеродистых сланцах вёльсовской свиты, то мы увидим практически такую же картину (рис. 3). Кларк концентрации для Se здесь составляют порядка $1240 \times \text{UCC}$, для As и Ag он равен соответ-

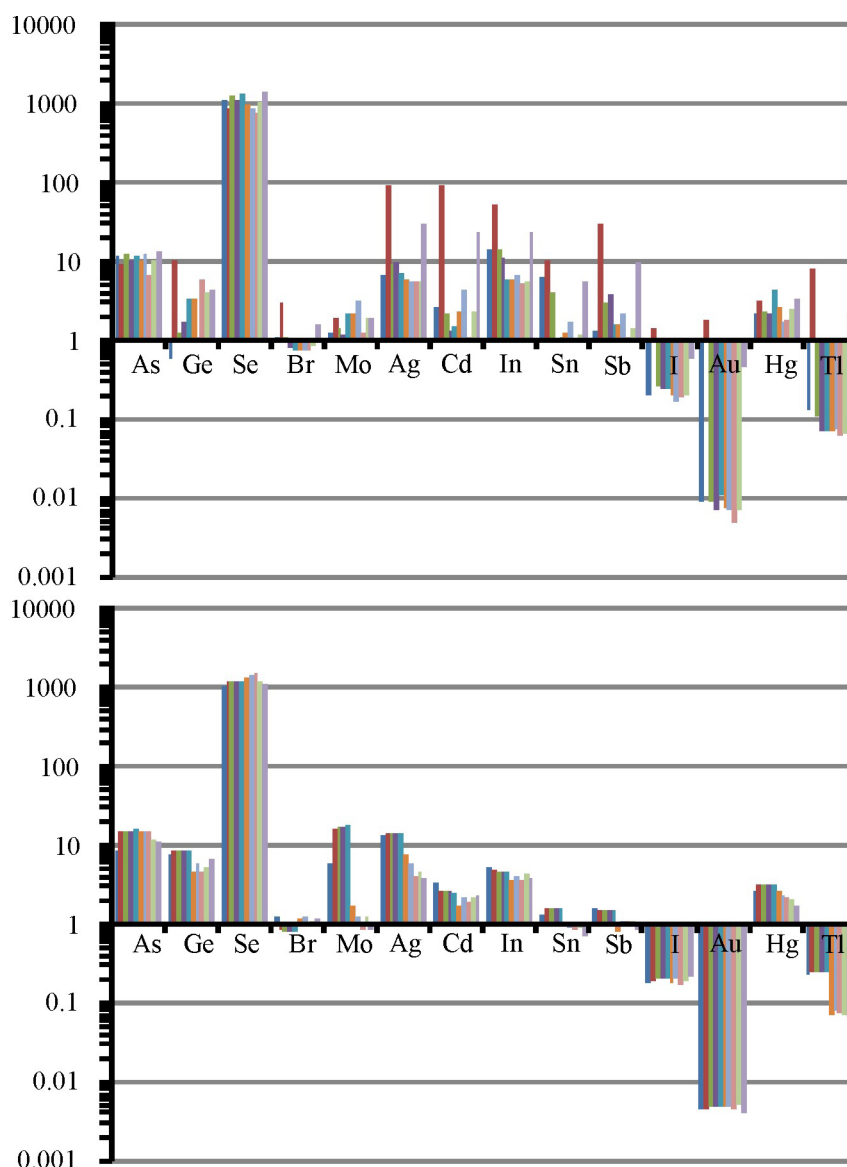


Рис. 3. Значения кларков концентрации (относительно UCC) As, Ge, Se, Br, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, I, Au, Hg и Tl в углеродистых сланцах муравьиной (а) и вёльсовской (б) свит.

ственно ~14 и ~9, тогда как остальные элементы из нашей выборки обладают заметно меньшими величинами K_k . Интересно отметить еще одно обстоятельство – сходство или различие средних величин K_k (относительно UCC) в углеродистых сланцах муравьиной и вёльсовской свит. Так, для As, Se, Br и Hg средние величины K_k достаточно сопоставимы и изменяются от 0.9 до 1.3. Средние величины K_k для Ge и Mo в углеродистых сланцах вёльсовской свиты выше в 1.9 и 4.3 раза соответственно, чем в породах муравьиной свиты. В то же время K_k Ag, Cd, In, Sn, Sb, I и Tl в углеродистых сланцах вёльсовской свиты составляют от 0.1 до 0.5 от K_k этих элементов в сланцах муравьиного уровня.

Изложенные данные являются первым шагом в исследовании геохимии углеродистых сланцев

южной части Ляпинско-Кутимского антиклинария. Несмотря на небольшой объем выборок, можно констатировать anomalously высокие концентрации Se, As, Ag, Cr и U в черных сланцах обеих стратиграфических уровней (RF₂ и RF₃); поздне-рифейские породы обогащены также молибденом. Установленное неравномерное содержание Cr, U, Mo, Bi, Sn, Zn может свидетельствовать о перераспределении указанных элементов в ходе тектоно-метаморфических и/или гидротермально-метасоматических процессов; возможно также, что метаалевролиты неравномерно обогащены кластогенным хромшпинелидом. Необходимо продолжить исследование докембрийских углеродсодержащих осадочных пород для уточнения условий их формирования, состава источни-

ков сноса и перспектив обнаружения в них промышленных проявлений и месторождений благородных металлов.

Авторы признательны С.А. Лубенцовой за помощь в подготовке проб для аналитических работ.

Исследования проведены при финансовой поддержке УрО РАН (проект 15-18-5-35).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Водолазская В.П., Иванов В.Н., Петров Г.А., Зархидзе Д.В., Кириллин С.И., Кузнецов Н.А., Курзанов И.Ю., Стороженко Е.В., Берлянд Н.Г., Жданов А.В., Мельгунов А.Н., Полянская Т.Л., Полякова Н.Ф.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия. Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
2. *Петров Г.А.* Прогнозирование благороднометалльного оруденения в допалеозойских черносланцевых толщах центральной части Уральского подвижного пояса // *Литосфера*. 2014. № 6. С. 88–101.
3. *Петров Г.А., Маслов А.В.* Новые данные о платиноносности верхнерифейско-вендских отложений Центрально-Уральской мегазоны (Средний и Северный Урал) // *Известия вузов. Геология и разведка*. 2010. № 3. С. 25–33.
4. *Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., Маслов А.В.* Первые результаты U–Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов из метапесчаников Ишеримского антиклинория (Северный Урал) // *Докл. АН*. 2015. Т. 464, № 5. С. 589–593.
5. *Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Маслов А.В.* Проявление гренвилльской орогении в рифейских толщах Северного Урала: термодинамические параметры метаморфизма и Sr–Nd-изотопные ограничения // *Докл. АН*. 2015. Т. 462, № 6. С. 686–691.
6. Тектоническое районирование и минерагения Урала (аналитический обзор): сер. обзоров “Очерки по региональной геологии России”. Вып. 3. М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2006. 180 с.
7. *Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 376 с.
8. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the Continental Crust // *Treatise Geochem*. 2003. V. 3. P. 1–64.