

Е. И. Сорока¹, М. Е. Притчин¹, Н. В. Лещев², А. Л. Анфимов¹

¹ – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

soroka@igg.uran.ru

² – *ОАО «Сафьяновская медь»*

Геохимические особенности пород рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал)

Сафьяновское медноколчеданное месторождение находится в пределах Восточно-Уральского поднятия в южной части Режевской структурно-формационной зоны в 10 км на северо-восток от г. Реж. Оно локализовано в измененных вулканитах кислого и среднего состава эйфель-живетского возраста [Язева и др., 1992]. В работе приведены данные распределения содержаний редких, рассеянных и редкоземельных элементов в породах рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения. Образцы отбирались в карьере, которым обрабатывается Главная рудная залежь месторождения, на горизонтах 157, 120, 90–80 м (счет от забоя) и в штольне с глубины 200 м от поверхности на западной границе рудного поля (табл. 1).

Исследования проведены в Институте геологии и геохимии УрО РАН. Анализы проб на РЗЭ и элементы-примеси выполнялись в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре ELAN 9000 (аналитики Н. В. Чередниченко, О. А. Березикова).

Штольня в зоне Кондихинского надвига вскрыла девонские известняки и углеродисто-кремнистые породы (обр. Ш10-18) на контакте с серпентинитами (обр. Ш19-21). Контакт тектонический, породы разбиты трещинами кливажа и гидротермально изменены. Цвет пород в зоне контакта – от темно-серого до черного. Все породы содержат 1–3 % битуминозного углеродистого вещества (данные термического анализа, ИГГ УрО РАН, аналитик В. Г. Петрищева). В южном и юго-восточном бортах карьера на контакте с рудным телом (обр. 26–28, горизонты 90–82 м от забоя) вскрыты измененные вулканиты среднего-кислого состава. В образце углеродисто-кремнистой породы 1346 обнаружены раковины девонских фораминифер [Чувашов и др., 2011].

По результатам анализов можно сделать вывод, что соотношения содержаний РЗЭ, в целом, соответствуют таковым для неизмененных разностей вулканитов среднего-кислого состава [Молошаг и др., 2005]. Различия в их составе проявляются в отчетливо более низких значениях содержания РЗЭ, что заметно на уровне значений содержания каждого из рассматриваемых элементов, а также их суммы. Наиболее высокие содержания РЗЭ наблюдаются в углеродисто-кремнистой породе (обр. 1346). Для спектров РЗЭ углеродисто-кремнистых пород наблюдается обогащение ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ. Нужно отметить, что характер спектров РЗЭ вулканитов, углеродисто-кремнистых алевропелитов и девонских известняков практически одинаков (рис.). Результаты анализов РЗЭ показывают наличие устойчивого минимума европия в образцах, что подтверждают данные расчета величины Eu/Eu^* ($\ll 1$), которая представляет собой отношение измеренного содержания европия к средним геометрическим значениям приведенных к метеоритному стандарту концентраций самария и гадолиния [McDonough, Sun, 1995]. Для свежих неизмененных разновидностей пород данная величина близка к единице.

**Минеральный состав пород рудовмещающей толщи
Сафьяновского месторождения (Средний Урал)**

№ п/п	№ обр.	Порода, место отбора	Минеральный состав
1	1346	Углеродисто-кремнистая порода, горизонт 157, Ю-В борт карьера	Кварц, плагиоклаз, гидрослюда, хлорит, редкие пирит, барит
2	Ш10/12	Известняк, штольня	Кальцит, доломит, редкий барит
3	Ш11/12		
4	Ш13/12		
5	Ш14/12	Углеродисто-кремнистая серпентинизированная порода, штольня	Кварц, магнезит, тальк, серпентин, слюда, кальцит, доломит
6	Ш15/12		Кварц, магнезит, тальк, кальцит
7	Ш16/12	Углеродисто-кремнистая порода, штольня	Кварц, хлорит, слюда, плагиоклаз, кальцит, пирит
8	Ш17/12		Кварц, кальцит, плагиоклаз, хлорит, слюда, пирит, магнезит, сидерит
9	Ш18/12	Углеродисто-кремнистая серпентинизированная порода, штольня	Тальк, кварц, магнезит, кальцит, доломит, серпентин, слюда
10	Ш19/12	Серпентинит, штольня	Серпентин, хлорит
11	Ш20/12		
12	Ш21/12		
13	26/12	Хлоритизированная порода, горизонт 82, Ю борт карьера	Хлорит, кварц, слюда, сульфиды
14	27/12		
15	28/12	Дацит, горизонт 90, Ю-В борт	Кварц, плагиоклаз, слюда, хлорит
16	29/12	Обеленная порода, контакт с рудным телом, горизонт 82, Ю борт	Кварц, каолинит, слюда
17	44/12	Дацит, горизонт 140, В борт	Кварц, плагиоклаз, слюда, хлорит
18	45/12	Андезит, горизонт 120, С-3 борт	Кварц, плагиоклаз, слюда, хлорит, карбонат

П р и м е ч а н и е . Минеральный состав пород определен рентгенофазовым анализом на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург (оператор О. Л. Галахова).

По характеру распределения элементов-примесей изучаемые породы подразделяются на три группы. Первая группа – это известняки штольни (обр. Ш10-11), при этом обр. Ш11 обладает равными значениями по всем элементам, а обр. Ш10 обладает резкими вариациями, в частности, по Th (Ш10 0.067; Ш11 11.72 г/т) и Li (Ш10 0.1; Ш11 24.76 г/т) при более низких содержаниях остальных элементов. Углеродисто-кремнистые породы составляют вторую группу с повышенными содержаниями Pb, Ba, Sc, а также Co, Ni, Cr, что характерно для серпентинитов. Для третьей группы – околорудных вулканитов карьера (обр. 26–29, 44, 45) – определены низкие содержания элементов-примесей при относительно повышенных содержаниях Pb, Cu и Ba, что наблюдается в углеродисто-кремнистых породах. Вероятно, обогащение этими элементами связано с процессом рудообразования.

Основные характеристики органического вещества (ОВ) углеродисто-кремнистых пород штольни (табл. 2) показали идентичность его углеродистому веществу пород карьера [Ярославцева и др., 2012].

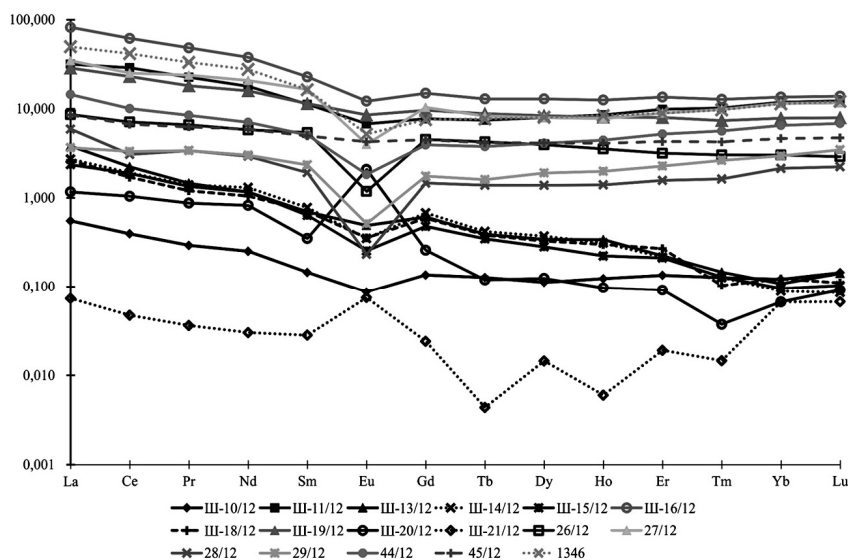


Рис. Нормированные на хондрит [McDonough, Sun, 1995] содержания РЗЭ в изучаемых породах рудомещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения.

Рассеянное органическое вещество (РОВ) изучаемых пород (обр. Ш16) также находится на высокой степени преобразования. Об этом свидетельствует отсутствие гуминовых кислот. В составе растворимых компонентов РОВ доминируют неокисленные структуры (Ахл/Асп-б = 2.9), а значения коэффициента битуминозности $\beta = (\text{Ахл/Асп-б}) \cdot 100 \ll 1$, что свидетельствует о сингенетичности органического вещества (ОВ). Содержание углеводов (УВ) в породе и ОВ относительно невысоки, а в их групповом составе доминируют алифатические соединения. Характеристики углеводородных молекулярных маркеров изучаемых пород также соответствуют данным по алевропелитам карьера. В частности, соотношение маркеров сапропелевой и гумусовой составляющих C_{17}/C_{29} составляет 10.88, что указывает на гидробионтный генезис исходного ОВ. Данные по полиароматическим углеводородам (ПАУ), в основном, совпадают с данными [Ярославцева и др., 2012], но в углеродистом веществе изучаемых пород ПАУ составляют 65 % фракции ароматических УВ, а в алевропелитах, вскрытых карьером – более 90 %. Везде преобладают незамещенные (голаядерные) конденсированные полиароматические соединения с 4–7 кольцами. Пирогенные соединения, образование которых связано с высокотемпературным воздействием на РОВ, составляют 94 % от суммы ПАУ, что позволяет предположить, что исходное ОВ претерпело специфическую трансформацию под воздействием повышенных температур. При этом гопановые коэффициенты зрелости РОВ ($T_s/T_s+T_m = 0.51$, предел 1.0; $22S/22S+22R = 0.60$, предел 0.62) неоднозначны и не позволяют охарактеризовать уровень зрелости РОВ. Стерановые показатели зрелости также далеки от термодинамического предела ($20S/(S+R) = 0.38$, предел 0.55; $(S) = 0.45$, предел 0.70) и не превышают значений, характерных для стадии раннего катагенеза (МК1). Специфика геохимических параметров РОВ Сафьяновского месторождения может быть обусловлена либо контактовым метаморфизмом, либо поствулканической гидротермальной активностью.

**Компонентный состав ОБ углеродсодержащих пород
Сафьяновского месторождения**

Содержание в породе, %	Компоненты	обр. Ш16/12	обр. Л.К. IV-е
		Н.О.	89.93
	CaCO ₃	10.07	9.05
	Скарб	1.21	1.09
	Сорг. в н.о.	3.77	2.60
	Сорг/пор	4.19	2.86
	ОБ	5.45	3.72
	Ахл	0.011	0.006
	Асп-б	0.004	0.010
	ГК	0.000	0.000
Групповой состав ОБ, %	Ахл	0.19	0.17
	Асп-б	0.07	0.27
	ГК	0.00	0.00
	ООБ	99.7	99.6
β		0.25	0.22
Состав Ахл, %	масла	32.4	31.6
	смолы	63.8	64.9
	асфальтены	3.8	3.5
УВ, %	в породе	0.003	0.002
	в ОБ	0.06	0.05
Состав УВ, %	Me-Nf	72.7	58.8
	Ar	27.3	41.2
Me-Nf/Ar		2.7	1.42
Me-Nf, %	в породе	0.0025	0.0013
Ar, %	в породе	0.0009	0.0008

Примечание. Битумологический анализ выполнен в лаборатории органической геохимии, ВНИИОкеанология, г. Санкт-Петербург, аналитик В. И. Петрова. Навеска образца Ш16/12 104.5 г. Данные по обр. Л.К. IV-е по [Ярославцева и др., 2012]. н.о. – нерастворимый остаток; Ахл – хлороформный битумоид; Асп-б – спиртобензольный битумоид; ГК – гуминовые кислоты; β – коэффициент битуминозности; УВ – углеводороды; Me-Nf – метано-нафтеновая фракция углеводородов; Ar – ароматическая фракция углеводородов.

Ранее в углеродисто-кремнистых и вулканокластических породах карьера были обнаружены и определены раковины фораминифер *Parathurammia aff. tamarae* L. Petrova, 1981 [Петрова, 1981]. В результате был уточнен возраст рудовмещающей толщи месторождения – верхний эйфель-живет [Чувашов и др., 2011]. Некарбонатные раковины имеют уменьшенные размеры и меньшее количество устьев, что можно объяснить неблагоприятными условиями обитания в мелководном морском бассейне, где карбонатное осадконакопление было подавлено значительным привносом вулканического материала. Хорошая сохранность фораминифер, нередкое обволакивание раковин пелитовым материалом, следы продавливания осадков указывают на захоронение раковин в мелководных морских условиях недалеко от места обитания. В образце Ш10/12 из штольни, представленном темно-серым известняком, обнаружены карбонатные фораминиферы *Parathurammia magna*, также обитавшие на морском мелководье в среднем-позднем девоне. Присутствие в известняке вулканоген-

ного материала говорит в пользу его образования, близкого по возрасту с углеродисто-кремнистыми породами. Структурно-текстурные особенности пород и характер захоронения фораминифер свидетельствуют о том, что углеродисто-кремнистые отложения Сафьяновского месторождения формировались в условиях верхней части сублиторали в зоне действия штормовых волн.

Исходя из вышесказанного, можно сделать выводы, что вулканиты, представленные в изучаемой выборке, вероятно, относятся к пепловым фациям андезит-дацитового состава. Геохимические параметры пород рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения также обусловлены наложенными гидротермальными процессами, которые, скорее всего, связаны с рудообразованием. Все изучаемые породы при общем невысоком уровне метаморфизма, претерпели достаточно сильные гидротермальные изменения, что сказалось и на распределении в них элементов-примесей и на составе углеродистой составляющей РОВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке ОФИ УрО РАН № 12-5-013-СТ.

Литература

Анфимов А. Л., Сорока Е. И., Ярославцева Н. С., Главатских С. П. Генезис углеродисто-кремнистых прослоев в рудовмещающей вулканогенно-осадочной толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Вулканизм и геодинамика. V Всерос. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 474–476.

Молошаг В. П., Прокин В. А., Удачин В. Н., Сорока Е. И. Распределение редкоземельных и редких элементов в субвулканических породах Сафьяновского месторождения // Ежегодник-2004. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2005. С. 192–198.

Петрова Л. Г. Фораминиферы среднего девона восточного склона Урала // В кн.: Палеозой Западно-Сибирской низменности и ее горного обрамления. Новосибирск: Наука, 1981. С. 81–101.

Чувашов Б. И., Анфимов А. Л., Сорока Е. И., Ярославцева Н. С. Новые данные о возрасте рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал) на основе фораминифер // ДАН, 2011. Т. 439. № 5. С. 648–650.

Язева Р. Г., Молошаг В. П., Бочкарев В. В. Геология Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал). Препринт. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 71 с.

Ярославцева Н. С., Масленников В. В., Сафина Н. П., Лещев Н. В., Сорока Е. И. Углеродсодержащие алевропелиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2012. № 2. С. 106–123.

McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology, 1995. Vol. 120. № 3–4. P. 223–253.

Н. Р. Аюпова^{1, 2}, А. С. Целуйко²

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
ayupova@mineralogy.ru*

² – *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе*

Сульфидно-магнетитовые руды Западно-Озерного медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал)

Сульфидно-магнетитовая минерализация встречается на многих колчеданных месторождениях Урала. В большинстве работ образование магнетитовых руд связывается с гидротермально-метасоматическими процессами и последующим метамор-