

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ САФЬЯНОВСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2013 г. Е. И. Сорока, М. Е. Притчин, Н. В. Лещев, Н. В. Чередниченко, О. А. Березикова

Распределение элементов-примесей в породах разного состава в пределах одного месторождения важно для понимания его генезиса. С этой целью изучалось распределение содержаний редких, рассеянных и редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал). Материал проб отбирался в карьере на горизонтах 90–80 м и штольне с глубины 200 м от поверхности на западной границе рудного поля. Опробованы темно-серые и черные породы, вскрытые штольней (зона Кондихинского надвига): известняки и углеродисто-кремнистые породы (возраст эйфель-живет, устное сообщение А.Л. Анфинова), образцы Ш10–18, которые находятся в зоне разлома в контакте с серпентинитами (образцы Ш19–21). Контакты тектонические, с зеркалами скольжения и гидротермальными изменениями. Породы содержат битуминозное углероди-

стое вещество до 1–3% (данные термического анализа, аналитик В.Г. Петрищева). Также изучалось распределение редких и рассеянных элементов в околорудных метасоматитах (обр. 26–28), вскрытых карьером на горизонтах 90–82 м (счет от забоя), юго-восточный борт, которые представляют собой измененные вулканы среднего и кислого состава (табл. 1). В табл. 2 приведены ICP-MS анализы дацитов (обр. 44) с горизонта 120 м, северо-восточный борт, и андезитов (обр. 45), северо-западный борт, а также образца углеродисто-кремнистой породы (обр. 1346), горизонт 157 м, юго-восточный борт. В углеродисто-кремнистой породе были обнаружены раковины фораминифер [3]. Ранее изученный минеральный состав углеродисто-кремнистых пород Сафьяновского месторождения соответствует дацитам [1].

Анализы проб на РЗЭ и элементы-примеси выполнялись в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН ме-

Таблица 1. Минеральный состав пород рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения (Средний Урал)

№ п/п	№ образца	Наименование породы, минерала, материала	Минеральный состав
1	1346	углеродисто-кремнистая порода, горизонт 157, ЮВ борт карьера	кварц, плагиоклаз, гидрослюда, хлорит, пр. пирита, барита
2	Ш10/12	известняк, штольня	кальцит, доломит, пр. барита
3	Ш11/12	то же	то же
4	Ш13/12	углеродисто-кремнистая серпентинизированная порода, штольня	кварц, магнетит, тальк, серпентин, слюда, кальцит, доломит
5	Ш14/12	то же	то же
6	Ш15/12	то же	кварц, магнетит, тальк, кальцит
7	Ш16/12	углеродисто-кремнистая порода, штольня	кварц, хлорит, слюда, плагиоклаз, кальцит, пирит
8	Ш17/12	то же	кварц, кальцит, плагиоклаз, хлорит, слюда, пирит, магнетит, сидерит
9	Ш18/12	углеродисто-кремнистая серпентинизированная порода, штольня	тальк, кварц, магнетит, кальцит, доломит, серпентин, слюда
10	Ш19/12	серпентинит, штольня	серпентин, хлорит
11	Ш20/12	то же	то же
12	Ш21/12	то же	то же
13	26/12	хлоритизированная порода, горизонт 82, Ю борт карьера	хлорит, кварц, слюда, сульфиды
14	27/12	то же	то же
15	28/12	дацит, горизонт 90, ЮВ 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, СЗ борт	кварц, плагиоклаз, слюда, хлорит, карбонат

Примечание. Минеральный состав пород определен рентгенофазовым анализом, анализ выполнен на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург (оператор О.Л. Галахова).

Таблица 2. Содержание РЗЭ и редких элементов (г/т) в породах рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения

№	Ш-10/12	Ш-11/12	Ш-13/12	Ш-14/12	Ш-15/12	Ш-18/12	Ш-19/12	Ш-20/12	Ш-21/12	26/12	27/12	28/12	29/12	44/12	45/12	1346
Li	0.100	24.755	17.866	17.361	14.926	14.797	50.792	2.743	0.073	3.610	1.885	5.558	13.374	9.807	26.919	17.6629
Be	0.040	1.242	0.275	0.244	0.127	0.228	0.439	0.057	0.013	1.673	1.535	0.648	0.570	0.552	0.412	1.0095
Sc	0.334	15.372	6.316	3.121	2.932	4.462	21.458	3.857	7.672	7.475	6.011	2.727	1.788	3.451	15.594	5.9846
Ti	27.134	3623.89	56.539	33.112	57.592	43.570	3471.267	44.764	17.009	708.351	525.884	480.145	461.737	483.701	1580.518	860.7755
V	9.528	199.390	20.819	9.806	10.637	13.865	100.969	17.153	25.547	7.126	3.132	3.117	1.335	6.090	116.200	16.9970
Cr	3.758	88.843	1079.09	964.604	1935.46	939.161	658.030	947.777	1447.438	1.687	1.609	4.752	0.352	9.208	19.957	3.7732
Mn	60.730	618.982	431.995	407.489	318.805	383.560	723.463	273.229	328.350	38.139	145.456	85.978	134.019	179.720	482.194	46.7434
Co	0.731	21.496	83.139	85.568	110.707	96.239	39.961	82.249	89.627	0.647	1.384	1.946	1.319	1.107	14.307	2.6568
Ni	6.369	98.840	1077.172	1108.289	1521.697	1339.228	676.105	1069.043	1382.226	3.169	2.896	4.496	0.916	5.741	8.855	3.8933
Cu	3.083	123.029	3.642	1.735	2.861	4.309	60.164	н/о	4.391	43.494	31.593	5.796	967.161	38.340	64.078	40.7028
Zn	13.932	249.448	40.590	28.846	39.994	34.607	50.584	19.354	37.407	146.027	230.104	58.552	42.183	466.977	48.929	112.0921
Ga	0.109	14.306	0.983	1.189	1.600	1.011	6.982	0.455	0.451	20.390	29.310	11.980	12.794	9.086	12.867	15.7835
Ge	0.006	1.161	2.608	2.378	2.156	2.809	0.790	0.760	1.051	1.294	1.127	0.978	0.601	0.989	1.254	0.9556
Rb	0.608	94.389	0.168	н/о	0.024	0.002	0.277	н/о	н/о	26.236	40.162	2.530	4.406	1.523	4.153	20.4755
Sr	147.090	93.615	29.363	25.565	3.280	28.721	19.663	2.644	5.443	37.257	40.321	41.477	8.209	91.090	143.974	132.4331
Y	0.301	16.273	0.969	1.048	0.747	0.945	13.909	0.452	0.025	5.667	14.366	2.877	2.612	8.572	8.047	16.1555
Zr	1.209	118.495	0.779	0.170	0.482	0.401	43.843	0.160	0.193	141.179	117.919	90.917	84.143	79.594	55.589	90.2249
Nb	0.063	11.952	0.022	0.012	0.021	0.029	7.197	0.023	0.003	2.762	3.181	2.251	2.110	1.889	0.800	2.3768
Mo	0.601	13.640	0.117	0.203	0.461	0.272	0.661	0.021	0.010	0.056	0.367	0.236	1.272	1.045	0.264	0.2395
Ag	0.035	0.626	0.088	0.051	0.105	0.082	0.179	0.043	0.037	0.161	0.154	0.195	0.180	4.701	0.105	1.0039
Cd	0.006	1.653	0.047	0.008	0.015	0.036	0.086	0.018	0.121	0.170	0.315	0.081	0.127	1.966	0.066	0.6835
Sn	0.296	2.901	0.270	0.219	0.217	0.226	0.697	0.181	0.109	2.146	2.261	0.871	1.474	1.029	0.562	1.0223
Sb	0.549	1.970	0.207	0.054	0.057	0.083	0.071	0.153	0.121	4.264	15.141	1.230	1.144	8.646	1.139	13.9064
Te	0.015	0.082	н/о	0.013	0.007	0.004	0.016	0.008	0.006	0.015	0.016	н/о	0.572	н/о	н/о	0.0051
Cs	0.258	3.473	0.088	0.051	0.034	0.133	0.686	0.012	0.004	5.346	5.391	0.485	1.895	0.292	1.181	3.3078
Ba	6.463	321.053	8.872	2.269	2.429	5.246	10.373	1.054	0.776	679.300	464.313	225.597	277.453	160.233	329.952	682.3003
La	0.182	10.439	1.256	0.898	0.779	0.867	9.438	0.384	0.024	2.843	11.412	1.949	1.206	4.765	2.806	16.3834
Ce	0.342	25.057	1.931	1.656	1.634	1.477	19.942	0.904	0.041	6.164	21.758	2.665	2.877	8.709	5.803	35.9451
Pr	0.038	2.944	0.190	0.182	0.175	0.156	2.361	0.114	0.005	0.862	3.104	0.442	0.443	1.099	0.815	4.3163
Nd	0.159	11.274	0.733	0.824	0.734	0.662	10.043	0.520	0.019	3.665	13.126	1.850	1.905	4.445	3.732	17.4374
Sm	0.029	2.282	0.141	0.158	0.129	0.143	2.326	0.071	0.006	1.101	3.351	0.390	0.477	1.032	1.007	3.3274
Eu	0.007	0.523	0.038	0.027	0.020	0.027	0.657	0.161	0.006	0.091	0.308	0.018	0.040	0.141	0.330	0.3997
Gd	0.038	2.134	0.169	0.187	0.132	0.164	2.659	0.071	0.007	1.253	2.865	0.406	0.485	1.089	1.237	2.0897
Tb	0.006	0.373	0.020	0.021	0.017	0.019	0.441	0.006	0.000	0.213	0.415	0.069	0.080	0.189	0.208	0.3856

Таблица 2. Окончание

№	Ш-10/12	Ш-11/12	Ш-13/12	Ш-14/12	Ш-15/12	Ш-18/12	Ш-19/12	Ш-20/12	Ш-21/12	26/12	27/12	28/12	29/12	44/12	45/12	1346
Dy	0.038	2.745	0.117	0.128	0.097	0.112	2.877	0.043	0.005	1.359	2.736	0.475	0.654	1.409	1.422	2.7561
Ho	0.010	0.659	0.026	0.024	0.017	0.023	0.621	0.007	0.000	0.274	0.600	0.108	0.153	0.343	0.317	0.6482
Er	0.030	2.224	0.050	0.049	0.048	0.061	1.802	0.021	0.004	0.716	2.016	0.354	0.514	1.173	0.965	2.0096
Tm	0.004	0.358	0.005	0.004	0.004	0.004	0.259	0.001	0.001	0.107	0.343	0.057	0.092	0.198	0.149	0.3407
Yb	0.027	2.614	0.024	0.019	0.021	0.027	1.727	0.015	0.015	0.668	2.531	0.473	0.653	1.437	1.022	2.4987
Lu	0.005	0.418	0.005	0.003	0.004	0.004	0.270	0.003	0.002	0.099	0.396	0.076	0.118	0.233	0.160	0.4121
Hf	0.047	3.796	0.022	0.010	0.015	0.015	1.529	0.006	0.008	5.998	5.262	4.099	3.679	3.557	1.922	3.3184
Ta	0.022	1.130	0.006	0.003	0.081	0.004	0.534	0.002	0.001	0.339	0.306	0.223	0.214	0.190	0.080	0.1963
W	0.094	0.795	0.039	0.070	0.014	0.016	0.476	0.148	0.139	1.016	1.139	0.800	2.352	0.676	0.470	3.1650
Tl	0.021	0.397	0.308	0.241	0.432	0.180	0.005	0.091	н/о	2.652	0.460	0.292	0.491	0.748	0.056	0.5902
Pb	0.028	17.853	6.228	н/о	0.427	н/о	0.460	н/о	0.908	3.179	7.869	6.422	1.977	193.012	3.184	47.6871
Bi	0.018	0.410	0.003	н/о	н/о	н/о	0.042	0.006	н/о	0.148	0.283	0.036	1.507	0.060	0.084	0.2589
Th	0.067	11.722	0.052	0.253	0.055	0.020	1.841	н/о	0.009	1.025	2.791	0.354	0.479	2.332	1.023	3.3218
U	7.132	10.983	0.007	0.007	0.016	0.021	0.893	0.006	0.008	0.324	2.090	2.239	2.289	3.295	0.884	2.9918
Σ REE	0.916	64.042	4.706	4.180	3.812	3.746	55.425	2.322	0.134	19.415	64.962	9.333	9.697	26.265	19.971	88.950
Eu/Eu*	0.201	0.237	0.245	0.157	0.150	0.179	0.264	2.259	0.932	0.078	0.099	0.045	0.082	0.133	0.295	0.152

тодом ICP-MS на масс-спектрометре ELAN 9000 (аналитики Н.В. Чередниченко, О.А. Березикова).

По результатам анализов данной выборки (табл. 2) можно сделать вывод, что соотношения содержания РЗЭ, в целом, соответствуют таковым для неизменных разностей вулканитов среднего и кислого составов, что также было отмечено в работе [2]. Но вулканиты изучаемой выборки характеризуются более низкими значениями РЗЭ, что хорошо заметно на уровне значений содержания каждого из рассматриваемых элементов, а также их суммы (табл. 2). Наиболее высокие содержания РЗЭ наблюдаются в обр. 1346 углеродисто-кремнистой породы. Нужно отметить, что характер спектров РЗЭ вулканитов карьера, углеродисто-кремнистых алевропелитов и девонских известняков штольни практически одинаков (рис. 1а). Результаты анализов РЗЭ показывают наличие устойчивого минимума концентрации европия в исследуемых образцах, что подтверждают данные расчета величины Eu/Eu^* (табл. 2), которая представляет собой отношение измеренного содержания европия к средним геометрическим значениям приведенных к метеоритному стандарту концентраций самария и гадолиния [5]. Для свежих, неизменных разновидностей пород данная величина близка к единице.

Различие между породами выборки заметно проявляется на диаграммах элементов-примесей (рис. 1б). По характеру их распределения они подразделяются на три группы. Одна группа – это известняки штольни (табл. 1), хотя и они имеют явные различия. Например, обр. Ш11 имеет почти одинаковые значения всех представленных элементов, а обр. Ш10 имеет резкие вариации по U и Li при более низких содержаниях остальных элементов, что может свидетельствовать о гидротермальных изменениях пород. Тем не менее, они, так же как и углеродисто-кремнистые породы штольни (образцы Ш13–18), по распределению элементов-примесей частично похожи на углеродисто-кремнистые породы, вскрытые карьером (обр. 1346). Углеродисто-кремнистые породы – это вторая группа, которая выделяется по результатам данной выборки. В них проявляются повышенные содержания Pb, Ba, Sc, а также Co, Ni, Cr – для пород штольни, что характерно и для серпентинитов, на контакте с которыми были отобраны исследуемые образцы. Для третьей группы, окolorудных метасоматитов карьера (обр. 26–29, 44), характерны, в основном, низкие содержания элементов-примесей при относительно повышенных содержаниях рудных Pb, Cu и Ba, что, частично совпадает и с углеродисто-кремнистыми породами. Это, очевидно, связано с процессом рудообразования, наложенным на все вмещающие породы.

Основные характеристики органического вещества (ОВ) углеродисто-кремнистых пород штоль-

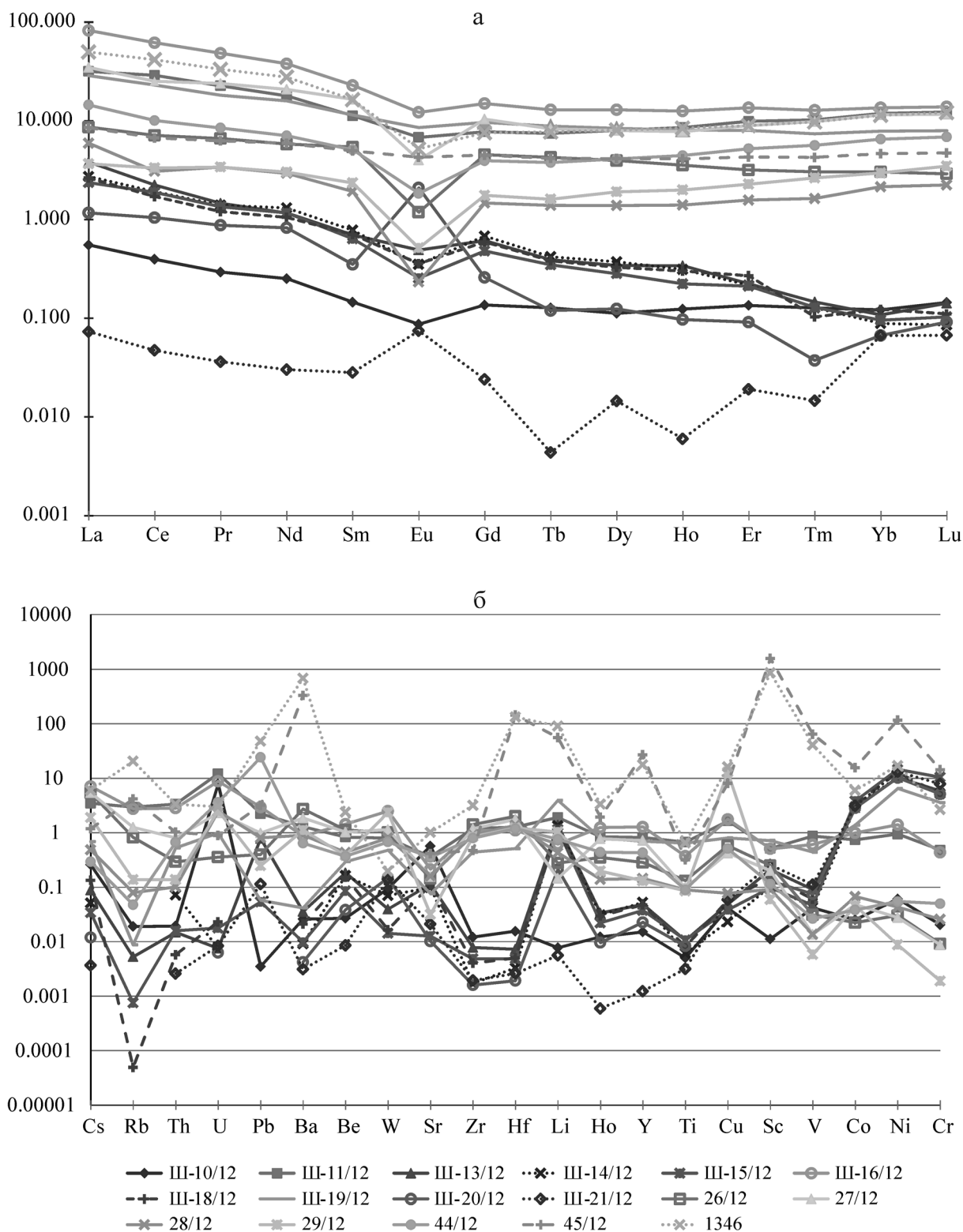


Рис. 1. Содержания РЗЭ (а), нормированные на хондрит [5], и элементов-примесей (б), нормированных на континентальную кору, в породах рудовмещающей толщи Сафьяновского медноколчеданного месторождения.

ни (табл. 3) показали его идентичность углеродистому веществу пород карьера [4]. ОВ изучаемых пород также находится на высокой степени преобразования. Об этом свидетельствует и отсутствие

гуминовых кислот. В составе растворимых компонентов ОВ доминируют неокисленные структуры (Ахл/Асп-б = 2.9), а значения коэффициента битуминозности $\beta = (Ахл/Асп-б) \times 100$ много ниже 1,

что свидетельствует о сингенетичности ОВ. Содержание углеводов (УВ) в породе и ОВ относительно невысоки, а в их групповом составе доминируют алифатические соединения. Характеристики углеводородных молекулярных маркеров изучаемых пород (табл. 3) также соответствуют данным [4]. Соотношение маркеров сапропелевой и гумусовой составляющих ($C_{17}/C_{29} = 10.88$) указывает на гидробионтный генезис исходного ОВ. Данные по полиароматическим углеводородам (ПАУ) в основном совпадают с данными [4], но в углеродистом веществе изучаемых пород ПАУ составляют 65% фракции ароматических УВ, а по данным [4] – более 90%. Преобладают незамещенные (голядерные) конденсированные полиароматические соединения с 4–7 кольцами. Пирогенные соединения, образование которых связано с высокотемпературным воздействием на ОВ, составляют 94% от суммы ПАУ, что позволяет предположить, что исходное ОВ претерпело специфическую трансформацию под воздействием повышенных температур. При этом гопановые коэффициенты зрелости органического вещества ($Ts/Ts + Tm = 0.51$, предел 1.0; $22S/22S + 22R = 0.60$, предел 0.62) неоднозначны и не позволяют охарактеризовать уровень его зрелости. 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). Таким образом, специфика геохимических параметров ОВ Сафьяновского месторождения может быть обусловлена либо контактовым метаморфизмом, либо поствулканической гидротермальной деятельностью.

Все изучаемые породы претерпели гидротермальные изменения, что сказалось и на распределении в них элементов-примесей, и на составе углеродистой составляющей ОВ. Таким образом, геохимические параметры пород рудовмещающей толщи Сафьяновского месторождения обусловлены гидротермальными процессами, сопутствующими рудообразованию. Что касается исходного субстрата изучаемых пород, то, учитывая данные битумологического анализа, а также предыдущие исследования [1], можно считать, что углеродисто-кремнистые породы Сафьяновского месторождения изначально являлись вулканогенно-осадочными морскими образованиями. Вулканыты, представленные в изучаемой выборке, вероятно, относятся к пепловым фациям андезит-дацитового состава.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Ярославцева Н.С., Главатских С.П. Генезис углеродисто-кремнистых про-

Таблица 3. Компонентный состав органического вещества (ОВ) углеродсодержащих пород Сафьяновского месторождения

	Компонентный состав	обр.Ш16/12	Л.К. IV-е
Содержание в породе, %	н.о.	89.93	90.95
	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
	ОВ	5.45	3.72
	Ахл	0.011	0.006
	Асп-б	0.004	0.010
	ГК	0.000	0.000
Групповой состав ОВ, %	Ахл	0.19	0.17
	Асп-б	0.07	0.27
	ГК	0.00	0.00
	ООВ	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 ОВ	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 ВНИИ Океанология, отдел нефтегазоносности Арктики и Мирового океана, лаборатория органической геохимии, г. Санкт-Петербург, аналитик В.И. Петрова. Навеска образца Ш16/12 104.5 г. Данные по обр. Л.К. IV-е по [4]. Сокращения: н.о. – нерастворимый остаток; Ахл – хлороформный битумоид; Асп-б – спиртобензольный битумоид; ГК – гуминовые кислоты; β – коэффициент битуминозности; УВ – углеводороды; Me-Nf – метанонафтеновая фракция углеводородов; Ar – ароматическая фракция углеводородов.

слоев в рудовмещающей вулканогенно-осадочной толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Вулканизм и геодинамика: мат-лы V Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 474–476.

2. Молошаг В.П., Прокин В.А., Удачин В.Н., Сорока Е.И. Распределение редкоземельных и редких элементов в субвулканических породах Сафьяновского месторождения // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 192–198.
3. 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 // Докл. АН. 2011. Т. 439, № 5. С. 648–650.
4. Ярославцева Н.С., Масленников В.В., Сафина Н.П. и др. Углеродсодержащие алевропелиты Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2012. № 2. С. 106–123.
5. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. № 3-4. P. 223–253.