

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И РУДОНОСНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧУЛАКСАЙСКОЙ СВИТЫ (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКАЯ МЕГАЗОНА)

Чулаксайская свита была выделена Н.Ф. Мамаевым и названа им по р. Чулаксай (западная часть листа N-41-XXXI), где она, как считается, согласно залегает на нижележащих образованиях кусоканской свиты ($R_1^?ks$) и несогласно перекрывается рымникской свитой (O_{1rm}).

В разрезе свиты по литологическим особенностям можно выделить две подсвиты: нижнюю и верхнюю [Мамаев, 1965]. *Нижнечулаксайская подсвита* сложена в основном темными и серыми, иногда полосчатыми кремнистыми и кварцевыми графитистыми сланцами, порфиритоидами, зелеными слюдяными сланцами и темными филлитами. Выше них располагаются преимущественно кварцевые сланцы и массивного сложения кварциты, местами графитистые. *Верхнечулаксайская подсвита* представлена чередующимися углеродистыми, кремнистыми и брекчиевидными кварцевыми сланцами, кварцево-хлоритовыми и слюдяными ографиченными филлитами, заключающими отдельные пласты кварцитов.

Общая мощность свиты в разрезе по р. Чулаксай составляет 750 м.

Нижний контакт свиты пересечен многочисленными горными выработками и несколькими структурными механическими скважинами. Установлено согласное налегание углеродистых пород чулаксайской свиты на амфиболиты верхов кусоканской. Контакт этих свит выражен частым чередованием графитистых филлитов и кварцитов с порфиритоидами, слюдяными сланцами и амфиболитами, образующими прослойки разной мощности [Мамаев, 1965].

Детальными работами в долине р. Чулаксай установлено, что в основании зеленоватых среднезернистых полимиктовых песчаников рымникской свиты залегают базального типа брекчиевидные полимиктовые конгломераты, содержащие обломки графитистых филлитовых и кварцевых сланцев подстилающей чулаксайской свиты, контакт с которой является стратиграфически и структурно несогласным. Мощность конгломератов, вскрытых горными выработками, составляет 7–8 м. Преобладающие в их составе обломки графитистых кварцевых сланцев и кварцитов контакта имеют размеры до 5–6 см, удлиненную пластинчатую форму и отчетливые следы кливажа. В роли цемента выступает такой же по составу, но более светлый, вследствие почти полного отсутствия графита, кремнистый материал. В подчиненном количестве встречаются

обломки филлитов, порфиритоидов, серицитовых и других сланцев.

Преобладающими породами в составе свиты являются кварцевые графитистые сланцы, отличающиеся темной или полосчатой окраской, отчетливой сланцеватостью, щеповидной или брусчатой отдельностью. Структура их микрогранобластовая, тонкополосчатая, образованная мельчайшими зернами (0,1–0,001 мм) кварца. По поверхностям сланцеватости породы отмечаются тонкочешуйчатый серицит и пелитоморфный карбонат. Графитистые филлиты представляют собою тонкосланцеватые темные, довольно мягкие породы с мелкой щеповидной или карандашной отдельностью. Для них характерны пелитоморфно-алевролитовая полосчатая структура и состав из полупрозрачного глинистого материала, заключающего пылевидное графитистое вещество, чешуйки серицита, хлорита, точечные зерна рудного минерала, пелитоморфного карбоната. Кварциты массивного сложения белой или сероватой окраски образуют прослойки мощностью 2–5 м, состоят в основном из зерен кварца и редких зерен полевого шпата, имеющих изометричные очертания и размеры 0,2–0,5 мм. Изредка встречаются чешуйки мусковита, вкрапленники мелких зерен пирита. Структура кварцитов гранобластовая.

Графитистое вещество в виде мельчайших точечных выделений распределено по всей массе породы, но в наибольших количествах, иногда совместно с тонкочешуйчатым серицитом и пелитоморфным карбонатом, концентрируется по плоскостям сланцеватости породы. При выжигании в породе установлено присутствие углерода, наибольшее содержание которого (до 1,5%) отмечается в темных мягких со щеповатой отдельностью филлитах [Мамаев, 1965].

Все породы чулаксайской свиты интенсивно смяты в мелкие пологие складки. Степень метаморфизма отвечает эпидот-амфиболитовой фации, диафторированной местами до фации зеленых сланцев [Тевелев и др., 2006].

Нами в ходе проведения геологической съемки листа N-41 масштаба 1:1 000 000 был описан разрез чулаксайской свиты, расположенный в 4 км западнее д. Сосновки (около пос. Бреды). Здесь, в бортах отводного канала по р. Чулаксай, на протяжении более чем 300 м обнажаются:

0,0–9,0 м — сланцы плойчатые, слюдяно-глинистые и углеродисто-глинистые, железненные, выветре-

лые, с мелкими будинами кварца и желваковидными включениями окварцованных и карбонатизированных более плотных пород.

9,0–16,4 м — преимущественно серицит-глинистые сланцы серого цвета, выветрелые.

16,4–17,2 м — сланцы глинистые с прослоями описанных выше более плотных железистых и выветрелых пород (мощность 0,1–0,2 м) и кварцитов серого цвета.

17,2–24,5 м — сланцы серицит-глинистые, пльчатые, железистые, с будинами кварца жильного, железистого.

24,5–45,0 м — чередование сильно выветрелых сланцев глинистых и углеродисто-глинистых с редкими будинами кварца и плотных существенно кварцевых светло-зеленых пород.

45,0–48,0 м — сланцы глинистые, реже углеродисто-хлоритовые с будинами кварцитов углеродистых (0,2–0,4 м).

48,0–53,0 м — породы сильно выветрелые, карбонатизированные, неясной первичной природы. Жила кварца темно-серого с обильным пиритом (0,4 м).

53,0–62,0 м — породы выветрелые, не сланцеватые, однородно обожженные, иногда с включениями крупных кристаллов пирита (до 1 см), замещенного лимонитом.

62,0–119,0 м — задерновано, точнее завалено многочисленными обломками углеродисто-глинистых сланцев, углеродистых кварцитов, карбонатных желваковых пород коры выветривания.

119,0–134,0 м — интенсивно лимонитизированные породы, образованные, скорее всего, по серицит-хлоритовым сланцам, возможно сульфидизированным.

134,0–144,8 м — сланцы серицит-хлоритовые и слюдисто-глинистые, осветленные и выветрелые.

144,8–181,0 м — задерновано.

181,0–191,0 м — кварциты углеродистые.

191,0–195,0 м — сланцы углеродисто-кремнистые, щеповидные, слюдисто-кремнистые, интенсивно окварцованные.

195,0–201,0 м — кварциты графитистые, массивные.

201,0–209,0 м — сланцы углеродисто-кремнистые и углеродисто-кремнисто-глинистые.

209,0–209,5 м — кварциты светло-серые.

209,5–220,0 м — сланцы углеродисто-кремнистые и кремнисто-глинистые, сильно выветрелые, железистые.

220,0–226,0 м — частое чередование сланцев углеродисто-хлорито-глинистых, углеродисто-кремнистых и кварцитов углеродистых, реже серицит-хлоритовых сланцев. Все породы, кроме кварцитов, сильно выветрелые, характерна пльчатость, а кварциты часто образуют пережимы и раздувы.

226,0–246,0 м — углеродисто-кварцевые сланцы, облекаемые со всех сторон более податливыми углеродисто-глинистыми и углеродисто-хлоритовыми сланцами с мелкими линзочками жильного кварца.

246,0–255,0 м — сланцы преимущественно углеродисто-кварцевые, углеродисто-кремнистые, выветрелые, железистые.

255,0–265,0 м — сланцы углеродисто-глинисто-кремнистые, выветрелые, с мелкими будинами углеродисто-кварцевых и углеродисто-кремнистых сланцев.

265,0–271,4 м — сланцы углеродисто-хлоритовые, мягкие, сильно выветрелые.

271,4–278,0 м — сланцы интенсивно смятые и разрушенные, преимущественно углеродисто-кремнистые, углеродисто-хлорит-кремнистые.

278,0–281,6 м — сланцы серицит-кварцевые.

281,6–283,0 м — будина углеродистых кварцитов.

283,0–291,5 м — сланцы серицит-хлоритовые, в меньшей степени углеродисто-серицит-хлоритовые и углеродисто-кварцевые.

291,5–299,0 м — сланцы углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинисто-кремнистые, выветрелые.

299,0–302,0 м — сланцы углеродисто-кварц-хлоритовые, сильно смятые и выветрелые, железистые, с будинами более плотных углеродисто-кварцевых пород.

302,0–313,5 м — сланцы серицит-хлоритовые, мягкие на ощупь, выветрелые.

313,5–320,5 м — кварциты углеродистые.

320,5–350,0 м — задерновано, борта отводного канала сложены рыхлыми продуктами разрушения сланцев и кварцитов, суглинками коры выветривания.

Возраст толщи, согласно Легенде Южно-Уральской серии, определен условно как среднерифейский, однако изучение углеродистых кварцитов чулаксайской свиты в пределах листа N-41-XXV масштаба 1:200 000 показало, что они по составу, характеру дислоцированности и степени метаморфизма принципиально не отличаются от слабо метаморфизованных углеродистых песчаников и алевролитов брединской свиты (C_1bd). Отсутствие тектонических контактов между ними и постепенные переходы от неметаморфизованных разностей к метаморфизованным не исключают, что углеродистые кварциты и другие метаморфиты чулаксайской свиты на самом деле являются палеозойскими [Тевелев и др., 2006].

Углеродистые отложения являются весьма информативными образованиями, рассмотрение которых позволяет приблизиться к пониманию палеогеографической обстановки накопления. Было выполнено 11 силикатных и атомно-абсорбционных (Co, Ni, Cr) анализов наименее измененных углеродистых сланцев и кварцитов, а также углеродисто-хлорит-кремнистых сланцев чулаксайской свиты в химической лаборатории Института геологии УНЦ РАН (аналитики С.А. Ягудина, Н.Г. Христофорова) (табл. 1). Результаты нейтронно-активационного анализа (38 элементов) были получены в ЦЛАВ ГЕОХИ (г. Москва, аналитик Д.Ю. Сапожников) (табл. 2).

Таблица 1

Результаты силикатного и атомно-абсорбционного анализа и основные петрохимические параметры углеродистых сланцев чулаксайской свиты (масс. %)

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
1	1205/49	95,2	0,16	0,15	1,80	0,36	0,01	0,56	0,80	0,05	0,06	0,01	0,54	99,70
2	1205/192	95,52	0,16	0,20	1,10	0,36	0,01	0,56	0,80	0,05	0,15	0,01	0,48	99,42
3	1205/205	40,10	0,16	6,68	1,10	0,25	0,02	27,26	1,30	0,05	0,25	0,01	23,18	100,36
4	1205/207	68,64	0,74	9,20	7,40	0,37	0,04	0,56	4,20	0,54	0,50	0,04	7,20	99,39
5	1205/220	94,80	0,16	0,30	1,10	0,36	0,04	0,56	2,20	0,02	0,10	0,02	0,28	99,84
6	1205/235	57,80	1,02	10,80	5,42	3,23	0,11	0,56	10,8	0,40	1,00	0,14	8,12	99,40
7	1205/250	57,83	1,02	10,90	6,01	2,80	0,18	0,28	9,80	0,08	0,54	0,06	9,61	99,11
8	1205/280	57,10	1,02	9,55	4,22	4,31	0,19	2,27	13,60	0,10	0,54	0,14	6,80	99,74
9	1505/298	93,40	0,08	0,30	2,80	0,36	0,02	0,56	1,44	0,25	0,18	0,12	0,08	99,59
10	1205/300	68,64	0,55	9,19	4,60	1,07	0,99	0,56	7,60	0,45	0,25	0,08	6,70	99,78
11	1205/315	44,99	1,94	16,20	8,74	2,16	0,16	0,56	12,66	0,20	0,25	0,08	11,46	99,40

Таблица 1 (окончание)

№ п/п	№ пробы	Co	Ni	Cr	A	S	C	ГМ	ЗМ	A*	C*	FM
1	1205/49	0,0021	0,0067	0,0091	-10,04	1550,53	1,36	0,026	0,20	4,09	15,26	80,65
2	1205/192	0,0005	0,0024	0,0081	-10,54	1563,61	1,36	0,019	0,33	6,62	18,54	74,83
3	1205/205	0,0033	0,0133	0,0102	-549,39	95,15	28,56	0,204	0,23	18,26	74,50	7,24
4	1205/207	0,0051	0,0256	0,0780	71,83	961,69	4,76	0,258	0,05	42,34	2,58	55,09
5	1205/220	0,0034	0,0075	0,0025	-8,46	1504,15	2,76	0,020	0,33	6,64	12,39	80,97
6	1205/235	0,0051	0,0271	0,1160	86,43	547,48	11,36	0,354	0,60	35,05	1,82	63,13
7	1205/250	0,0063	0,0363	0,0760	106,04	593,67	10,08	0,358	0,47	36,59	0,94	62,47
8	1205/280	0,0063	0,0432	0,0840	49,29	422,31	15,87	0,335	1,02	28,13	6,69	65,18
9	1505/298	0,0020	0,0043	0,0144	-13,05	1491,24	2,00	0,038	0,13	5,49	10,26	84,25
10	1205/300	0,0024	0,0260	0,0530	74,75	862,47	8,16	0,225	0,23	39,92	2,43	57,65
11	1205/315	0,0068	0,0450	0,0810	162,67	206,32	13,22	0,645	0,25	40,18	1,39	58,43

Для определения формационной принадлежности углеродистых отложений применялась диаграмма А—S—С, полученная на основе обобщения большого количества химических анализов пород углеродистых формаций [Горбачев, Созинов, 1985]. Параметры $A = (Al_2O_3 - (CaO + K_2O + Na_2O)) \times 1000$ и $S = (SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + CaO + MgO)) \times 1000$ выражены в молекулярных количествах, параметр $C = (CaO + MgO)$ — в массовых долях оксидов. Углеродистые сланцы и кварциты чулаксайской свиты на данной диаграмме занимают поле кремнисто-углеродистой формации, а углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы попадают между областями карбонатно-углеродистой и терригенно-углеродистой формаций (рис. 1).

Данное распределение указывает на непостоянство условий осадконакопления. Первая группа пород накапливалась в обстановке с минимальным привнесом терригенной примеси, возможно на некотором удалении от береговой линии, а вторая —

в прибрежно-мелководной. Косвенным подтверждением этому является повышенная карбонатность и наличие редких члеников криноидей в разрезе свиты.

Интерпретация состава углеродистых отложений чулаксайской свиты проводилась по стандартным петрохимическим параметрам (модулям), рассчитываемым по данным силикатного анализа [Юдович и др., 1998].

Гидролизатный модуль $ГМ = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$, является универсальным для большинства терригенных и кремнистых пород. Чем выше значение гидролизатного модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса, и чем ниже его значение, тем «чище» осадок от продуктов выветривания, т. е. выше зрелость породы. Выделяется три типа осадочных пород:

В тип **гидролизаты** ($ГМ > 0,55$) попадают образования кор выветривания и продукты их пере-

Таблица 2

Результаты нейтронно-активационного анализа углеродистых сланцев чулаксайской свиты

№ п/п	№ пробы	La	Ce	Pr*	Nd	Sm	Eu	Gd*	Tb	Dy*	Ho*	Er*	Tm*	Yb	Lu
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	Чу 1205/049	4,36	9,08	1,07	4,06	1,09	0,01	1,31	0,19	1,18	0,26	0,72	0,11	0,60	0,10
2	Чу 1205/192	7,21	16,30	2,02	9,42	2,76	0,21	3,99	0,60	3,46	0,76	2,11	0,32	1,72	0,28
3	Чу 1205/205	85,60	150,00	14,20	47,80	10,70	3,17	12,50	1,88	10,80	2,26	6,18	0,89	4,78	0,75
4	Чу 1205/207	3,41	8,03	1,10	5,02	1,52	1,57	2,23	0,35	2,22	0,49	1,43	0,22	1,27	0,22
5	Чу 1205/220	1,87	4,12	0,57	2,62	0,79	0,16	1,24	0,20	1,31	0,33	0,96	0,16	0,93	0,17
6	Чу 1205/235	11,50	25,30	3,33	14,90	4,47	0,34	5,91	0,90	5,10	1,17	3,20	0,47	2,54	0,42
7	Чу 1205/250	22,90	50,80	6,98	31,00	9,14	0,91	11,70	1,74	9,80	2,07	5,60	0,79	4,23	0,64
8	Чу 1205/280	3,72	9,48	1,32	6,51	2,05	0,26	3,22	0,53	3,31	0,79	2,37	0,39	2,05	0,40
9	Чу 1205/298	6,90	16,10	2,22	10,30	3,30	0,38	4,71	0,70	4,29	0,97	2,65	0,41	2,00	0,37
10	Чу 1205/300	0,90	1,01	0,59	3,91	1,74	0,21	3,02	0,53	3,48	0,84	2,65	0,44	2,72	0,50
11	Чу 1205/315	48,00	110,00	14,60	65,80	19,80	7,46	27,50	4,32	27,20	6,00	16,90	2,54	14,70	2,47

Таблица 2 (продолжение)

№ п/п	№ пробы	Na	K	Rb	Cs	Ca	Sr	Ba	Sc	Cr	Fe	Co	Ni
		%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
1	Чу 1205/049	0,005		4,53	0,26			46	1,70	44,4	1,28	8,13	
2	Чу 1205/192			28,40	0,92	0,043	44	88	3,98	48,5	0,89	3,19	
3	Чу 1205/205	0,026	0,330	27,60		17,900	99	355	9,54	97,8	1,24	4,52	
4	Чу 1205/207	0,001	0,020	10,70		0,260	315	160	21,30	612,7	5,17	29,3	110
5	Чу 1205/220	0,065		13,70		0,340	52	465	2,35	19,9	0,66	29,5	
6	Чу 1205/235	0,150			0,58	1,860	41	1785	38,20	1117,5	6,48	14,8	
7	Чу 1205/250	0,160	0,071		1,97	0,037	265	255	23,70	565,8	6,54	17,3	720
8	Чу 1205/280	0,078			0,81	1,150	225	470	21,00	531,3	4,22	27,6	130
9	Чу 1205/298	0,004		8,58	1,97	0,300	205	72	5,49	56,8	0,87	9,98	110
10	Чу 1205/300	0,440			1,66	0,970	440	680	26,40	483,3	4,27	7,52	130
11	Чу 1205/315	0,240	0,047	45,00		3,760	500	785	50,90	669,2	9,68	32,1	

Таблица 2 (окончание)

№ п/п	№ пробы	Zn	Se	As	Sb	Th	U	Br	Hf	Ta	Zr	Au	Ag
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	Чу 1205/049		1,10	66,00	0,65	0,80	1,88	0,30	0,16	0,140	15	0,013	
2	Чу 1205/192		0,15	24,50	0,62	0,19	1,14	0,38	0,71	0,230	32	0,008	0,920
3	Чу 1205/205		0,11	16,80	0,53	2,73	1,51	0,29	2,05	0,290	40	0,059	
4	Чу 1205/207		12,60	57,40	0,72	0,60	1,77	0,28	0,22	0,500	48	0,024	
5	Чу 1205/220		1,68	4,98	0,75	0,78	1,53	0,28	0,07		22		
6	Чу 1205/235	160	1,74	55,40	0,33	0,24	4,28	2,79	1,09	0,009	38		
7	Чу 1205/250		0,29	1,37	0,35	0,61	8,82	1,32	0,22		35		
8	Чу 1205/280		0,49	71,30	0,22	1,30	4,77	0,28	0,66		58		
9	Чу 1205/298		0,25	2,88	0,40	0,57	4,43	1,97	0,71		75		
10	Чу 1205/300	90	0,10	6,11	0,79	4,05	5,17		2,36		10		20,000
11	Чу 1205/315		4,25	8,56	1,72	0,64	1,90	2,32	1,98	1,020	160	0,027	

Примечание: * — данные, полученные экстраполяцией

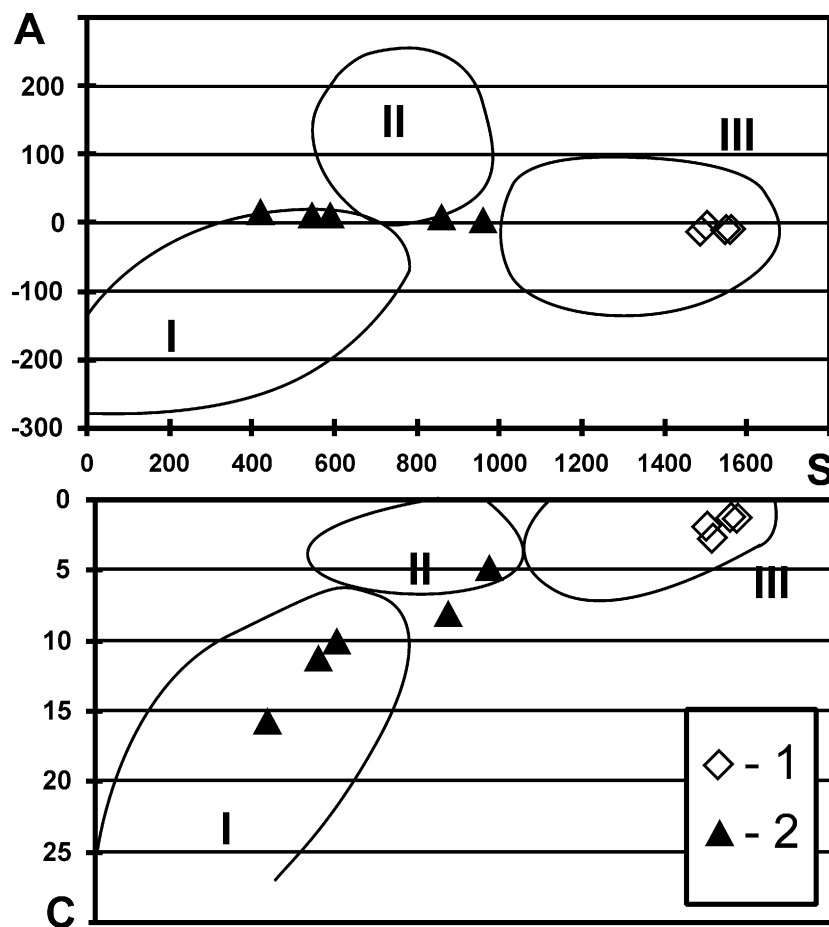


Рис. 1. Типизация углеродистых отложений чулаксайской свиты с помощью диаграммы О.В.Горбачева, Н.А.Созинова [1985]
 Условные обозначения: 1 — углеродистые сланцы и кварциты, 2 — углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы чулаксайской свиты. Поля формаций: I — карбонатно-углеродистая, II — терригенно-углеродистая, III — кремнисто-углеродистая

отложения. К типу **сиаллиты и сиферлиты** ($ГМ=0,30-0,55$) относится большинство глинистых пород, обломочные и вулканогенно-осадочные породы. Тип **силиты**: ($ГМ < 0,30$) включает кремнистые аквагенные и существенно кварцевые петрогенные породы. Более детальное деление этого типа дает три класса: *Миосилиты* ($ГМ=0,20-0,30$) — кремнисто-глинистые сланцы, граувакки и аркозы; *гипосилиты* ($ГМ=0,10-0,20$) — глинисто-кремнистые сланцы, олигомиктовые кварцевые песчаники и алевролиты; *эвсилиты* ($ГМ < 0,10$) — кремни, фтаниты, яшмы, мономиктовые песчаники и кварциты. При изучении кремнистых осадков необходимо выделение подкласса ультраэвсилитов со значениями $ГМ < 0,05$.

Углеродистые-хлорит-кремнистые и углеродисто-глинисто-кремнистые сланцы чулаксайской свиты по значениям гидролизатного модуля относятся к классу миосилитов, а углеродистые сланцы и кварциты, характеризующиеся ничтожно малыми цифрами этого параметра (среднее 0,026), к подклассу ультраэвсилитов, что указывает практи-

чески на отсутствие привноса в бассейн осадконакопления продуктов выветривания с континента.

Показатель зрелости Ф. Петтиджона — SiO_2/Al_2O_3 . Высокое его значение характерно для зрелых, богатых кварцем песчаников, содержащих небольшое количество глин или обломочных алюмосиликатов. Низкое значение указывает на незрелые песчаники, содержащие глины и обломочные алюмосиликаты. «Зрелость» осадочных пород определяется, в конечном счете, относительной устойчивостью минералов в условиях выветривания, увеличивающейся по направлению ряда оливины → пироксены → роговые обманки → анортит → альбит → калиевый полевой шпат → мусковит (гидромусковит) → кварц [Петтиджон и др., 1976].

Очевидным следствием из диаграммы является заключение о практически максимальной «зрелости» углеродистых сланцев и кварцитов чулаксайской свиты и ее уменьшении для углеродисто-хлорит-кремнистых и углеродисто-глинисто-кремнистых сланцев (рис. 2).

Закисный модуль ($ЗМ = FeO/Fe_2O_3$). Отражает окислительные или восстановительные условия в бассейне осадконакопления. Для всех проб отмечается значение закисного модуля меньше единицы, что соответствует окислительной обстановке, характерной для мелководного бассейна. Значительное преобладание FeO над Fe_2O_3 для сланцев чулаксайской свиты объясняется восстановлением железа в изолированном бассейне за счет окисления органического вещества.

Индикатор Fe/Mn. Одним из фациальных индикаторов для осадочных отложений является отношение железа и марганца. Значение этого модуля уменьшается с увеличением глубины и с переходом от шельфовых фаций к пелагическим. По значениям отношения Fe/Mn осадочные породы классифицируются следующим образом: < 40 — глубоководные; > 80 — мелководные; > 160 — мелководно-прибрежные с преимущественно терригенным источником сноса. Расчеты в данном случае ведутся в массовых содержаниях элементов в породе, которые необходимо пересчитать из оксидов при помощи коэффициентов [Розен и др., 1994].

Пересчет содержаний железа и марганца в кремнисто-углеродистых отложениях чулаксайской свиты показывает, что они отлагались в условиях, близких к мелководным и даже мелководно-прибрежным.

Тройная петрохимическая диаграмма Н.П. Семеновко служит для восстановления первичной

природы и химической классификации метаморфических пород [Семеновко и др., 1956]. Параметры рассчитываются по главным оксидам и приводятся к 100%. Глиноземистость (A^*) = $100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + MgO + CaO + 2Fe_2O_3 + 2FeO)$, известковистость (C^*) = $100 \times CaO / (Al_2O_3 + MgO + CaO + 2Fe_2O_3 + 2FeO)$, ферромагнезиальность ($F+M$) = $100 \times (MgO + Fe_2O_3 + FeO) / (Al_2O_3 + MgO + CaO + 2Fe_2O_3 + 2FeO)$.

Анализы, вынесенные на данную диаграмму, показывают четкое разделение углеродисто-хлорит-кремнистых, углеродисто-глинисто-кремнистых сланцев, с одной стороны, и углеродистых сланцев, кварцитов — с другой (рис. 3).

Для первых источником терригенного материала являлись щелочноземельно-малоглиноземистые ультраосновные породы орторяда, а для вторых, несмотря на очень малое его количество, магнезиальные ультраосновные породы орторяда, что подтверждается высокими содержаниями Ni и Cr в рассматриваемых углеродистых сланцах (рис. 4).

Для углеродистых пород в целом не характерно накопление хрома, его геохимический фон составляет 50–160 г/т, резко аномальными можно считать содержания свыше 280 г/т [Юдович, Кетрис, 1991]. Среднее значение хрома для углеродистых сланцев и кварцитов чулаксайской свиты составляет 42,4 г/т, что не превышает даже геохимический фон, а для углеродисто-хлорит-кремнистых и серицит-хлоритовых сланцев оно равняется 662,1 г/т (максимальное значение 1117,5 г/т, обр. чу-1205/235),

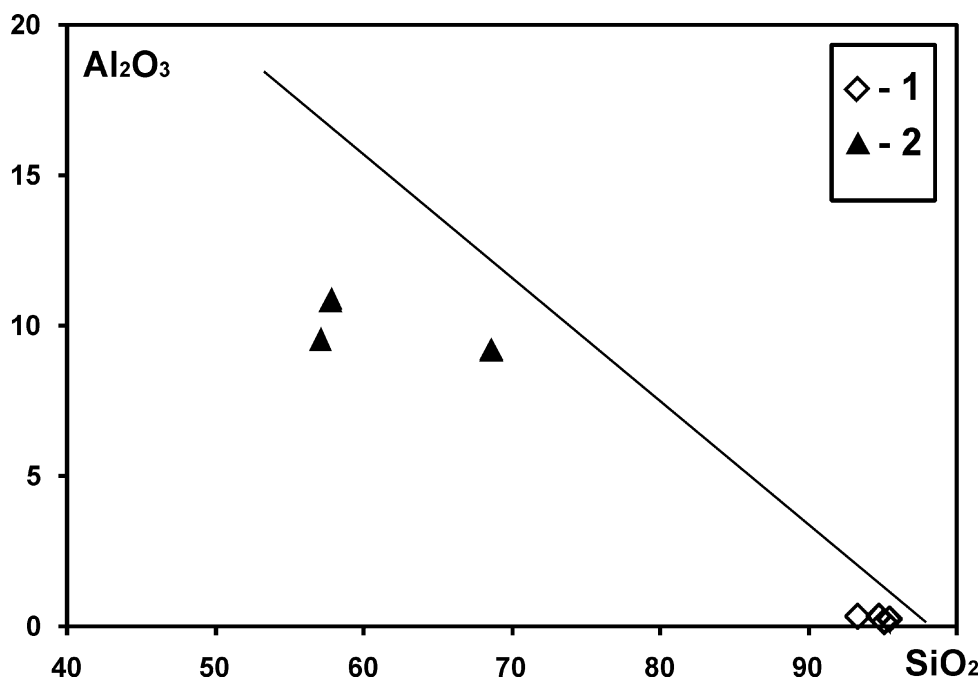


Рис. 2. Диаграмма отношения SiO_2 к Al_2O_3 для углеродистых отложений чулаксайской свиты

Условные обозначения: 1 — углеродистые сланцы и кварциты, 2 — углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы чулаксайской свиты

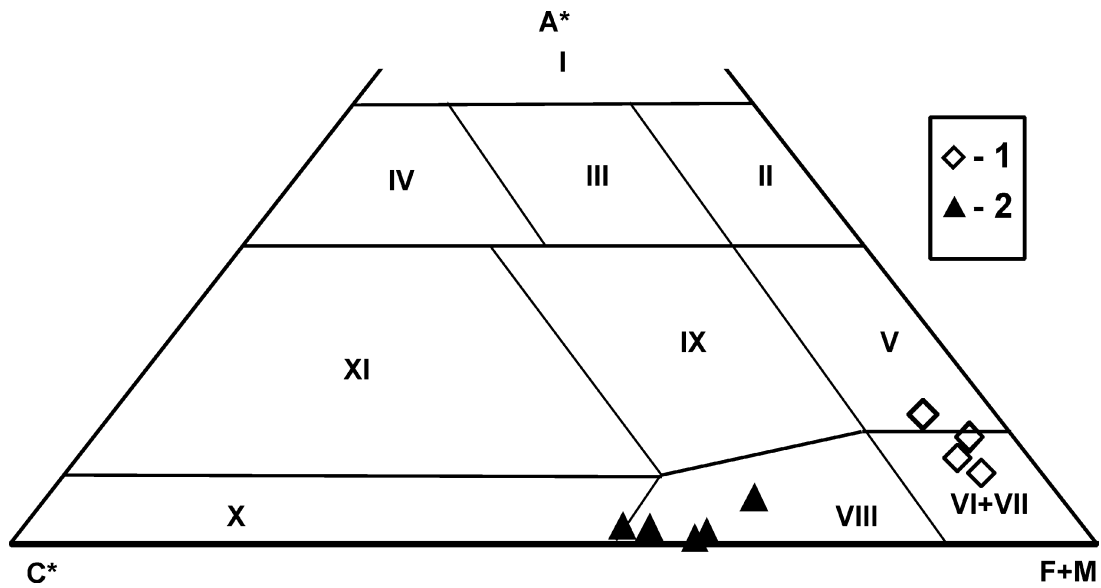


Рис. 3. Разделение углеродистых пород чулаксайской свиты на петрохимической диаграмме Н.П. Семененко и др. [1956]

Условные обозначения: 1 — углеродистые сланцы и кварциты, 2 — углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы. Поля: I — подгруппы собственно алюмосиликатных пород, II — подгруппы железисто-магнезиально-алюмосиликатных пород, III — подгруппы щелочноземельно-алюмосиликатных пород орторяда, IV — подгруппы известково-алюмосиликатных пород, V — группы глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистых пород, VI — группы железисто-кремнистых пород, VII — группы магнезиальных ультраосновных пород орторяда, VIII — группы щелочноземельно-малоглиноземистых ультраосновных пород орторяда, IX — группы щелочноземельно-глиноземистых основных пород орторяда, X — известково-карбонатной подгруппы щелочноземельно-известкового ряда, XI — глиноземисто-известковистой подгруппы щелочноземельно-известкового ряда

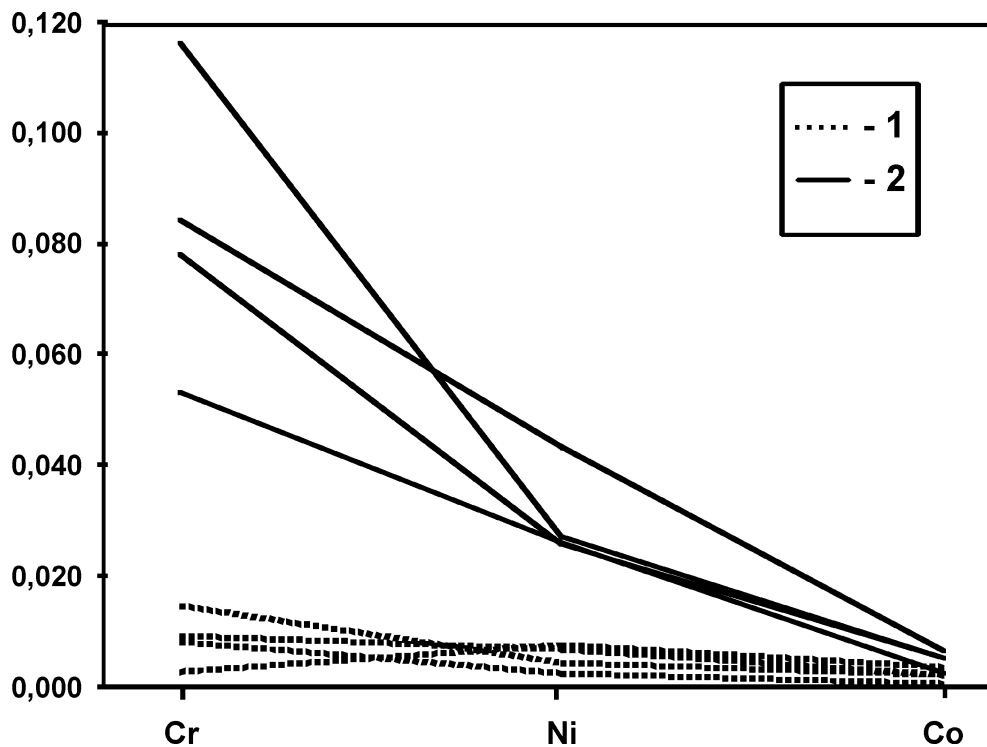


Рис. 4. Содержания Cr, Ni и Co в углеродистых породах чулаксайской свиты (масс. %)

Условные обозначения: 1 — углеродистые сланцы и кварциты, 2 — углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы чулаксайской свиты

что более чем в 3 раза превышает аномальные значения. Учитывая прямую корреляцию Cr с Al, его источником в углеродистых породах чулаксайской свиты являлись продукты разрушения ультраосновных пород.

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ).

Кларковые содержания некоторых РЗЭ, оцененные для черных сланцев мира составляют (г/т) [Юдович и др., 1992, 1998]: La 29 ± 1 ; Ce 53 ± 22 ; Pr $4,3 \pm 0,3$; Nd 26 ± 2 ; Sm $4,6 \pm 0,3$; Eu $1,0 \pm 0,04$; Gd $4,5 \pm 0,5$; Tb $0,60 \pm 0,03$; Dy $3 \pm 0,3$; Ho $0,5 \pm 0,1$; Er $1,7 \pm 0,1$; Tm $0,3 \pm 0,03$; Yb $2,9 \pm 0,2$; Lu $0,35 \pm 0,02$.

Для большинства углеродистых отложений чулаксайской свиты характерно нижекларковое содержание РЗЭ, а также устойчивая корреляция легких редкоземельных элементов (отношение La:Ce:Nd составляет 1:2:1) (см. табл. 2; рис. 5).

Количество редкоземельных элементов зависит от поступления в бассейн осадконакопления вулканогенного материала, на что указывает их прямая корреляция с гидролизатным модулем (рис. 6).

Малые элементы. Нормирование углеродистых отложений чулаксайской свиты к осадочным породам (глинам и сланцам) (по А.П. Виноградову) позволяет выявить степень накопления малых элементов в углеродистых осадках (рис. 7). Так, мы видим отсутствие накопления в породе типичных катионогенных литофилов (Rb, Cs, Sr, Ba), в то же время концентрации металлов- и неметаллов-теофилов (Zn, Se, As) превышают 1, что несомненно

связано с их высокими содержаниями в сульфидах. Сидерофилы группы железа (Co, Ni, Sc, Fe, Cr), которые поступали в бассейн вместе с обломками пород основного состава, имеют однозначную корреляцию между собой и надкларковые содержания для углеродисто-хлорит-кремнистых и серицит-хлоритовых сланцев. Катионо- и анионогенные элементы с переменной валентностью (Zr, Hf, Th, U, Ta) не накапливаются в углеродистых осадках, исключением можно считать уран, который легко восстанавливается органическим веществом из морской воды.

Благородные металлы. Углеродистые отложения, как известно, представляют собой весьма благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. При определенных условиях, особенно в областях проявления магматизма, зонального метаморфизма и тектонической активности, углеродистые породы могут концентрировать в себе крупные залежи благородных, редких металлов, никеля и т.д.

Кларковые содержания золота в углеродистых отложениях мира, оцененные разными способами, составляют 0,008–0,01 г/т [Юдович, Кетрис, 1994], аномальными можно считать содержания в 20–35 мг/т, сильной аномалией — 35–50 мг/т, рудогенной аномалией — >50 мг/т. Основным минералом — концентратором золота в породах черносланцевых толщ является пирит. Количество золота в углеродистом веществе разной степени метаморфизма обычно

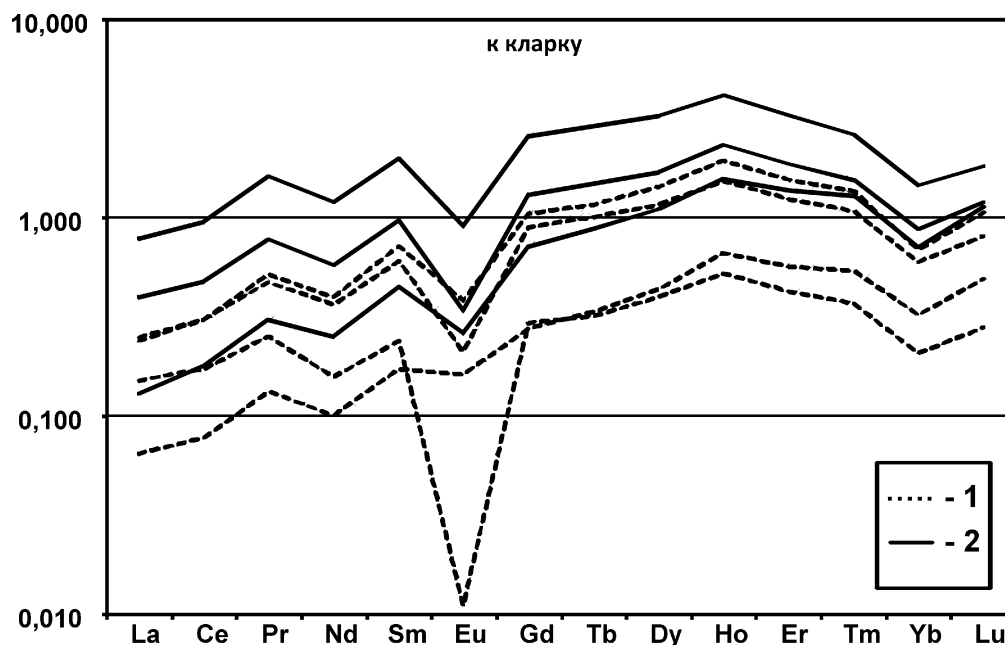


Рис. 5. Характер распределения редкоземельных элементов (нормированных к кларковым содержаниям) для углеродистых отложений чулаксайской свиты

Условные обозначения: 1 — углеродистые сланцы и кварциты, 2 — углеродистые хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы чулаксайской свиты

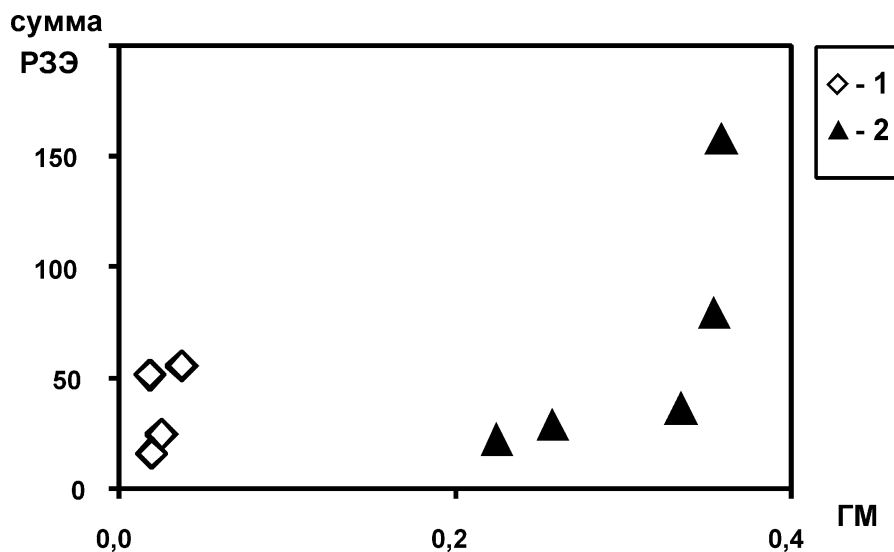


Рис. 6. Диаграмма отношения суммы PЗЭ к гидролизатному модулю для углеродистых отложений чулаксайской свиты

составляет 16–60% от суммарного его содержания в углеродистых породах [Юдович, Кетрис, 1994].

Учитывая это, нами были отобраны штучные и бороздовые пробы в наиболее измененных, окварцованных, сульфидизированных или ожелезненных интервалах рассматриваемого разреза. Анализы проводились в Международной независимой лаборатории фирмы Alex Stewart geochemical (г. Москва) методом пробирной плавки с ICP окончанием (табл. 3).

К сожалению, во всех десяти пробах содержания золота, палладия и платины не превышают или граничат с порогом чувствительности метода в 0,01 г/т, что в лучшем случае может соответствовать кларковым значениям для данного типа пород.

Единственное значимое содержание серебра составляет — 20,0 г/т (обр. чу-1250/300) (см. табл. 2),

Таблица 3

Содержания благородных металлов в углеродистых породах чулаксайской свиты (г/т)

№ п/п	№ пробы	Au	Pd	Pt
1	1205/190	<0,01	<0,01	0,01
2	1205/205Э	<0,01	0,01	<0,01
3	1205/250	<0,01	0,02	0,01
4	1205/49	0,01	<0,01	<0,01
5	1205/235	0,01	0,01	0,01
6	1205/315	0,01	0,01	<0,01
7	1205/207	<0,01	0,01	0,01
8	1205/215	0,01	<0,01	<0,01
9	1505/57	0,01	<0,01	<0,01
10	1205/205	0,01	0,01	0,01

что является восьмикратным превышением геохимического фона.

Основные выводы, вытекающие из приведенного в данной статье материала, следующие:

1. Изучение петрохимических особенностей углеродистых отложений чулаксайской свиты показало, что они относятся к низкоуглеродистому типу и принадлежат либо кремнисто-углеродистой формации (углеродистые сланцы и кварциты), либо попадают между областями карбонатно-углеродистой и терригенно-углеродистой формации (хлорит-кремнистые и серицит-хлоритовые сланцы).

2. Первые из них накапливались в обстановке с минимальным привнесом терригенной примеси, возможно на некотором удалении от береговой линии, а вторые — в прибрежно-мелководной. Косвенным подтверждением этому являются повышенная карбонатность и наличие редких члеников криноидей в разрезе свиты.

3. Максимальная зрелость исходных пород характерна для углеродистых сланцев и кварцитов, для углеродисто-хлорит-кремнистых и углеродисто-глинисто-кремнистых сланцев наблюдается ее уменьшение.

4. Для углеродисто-хлорит-кремнистых, углеродисто-глинисто-кремнистых сланцев источником терригенного материала являлись щелочноземельные-малоглиноземистые ультраосновные породы орторяда, а для углеродистых сланцев, кварцитов, несмотря на очень малое его количество, магнезиальные ультраосновные породы орторяда, что подтверждается высокими содержаниями Ni и Sr в рассматриваемых углеродистых сланцах.

5. Углеродистые отложения чулаксайской свиты не содержат в значимых количествах золота,

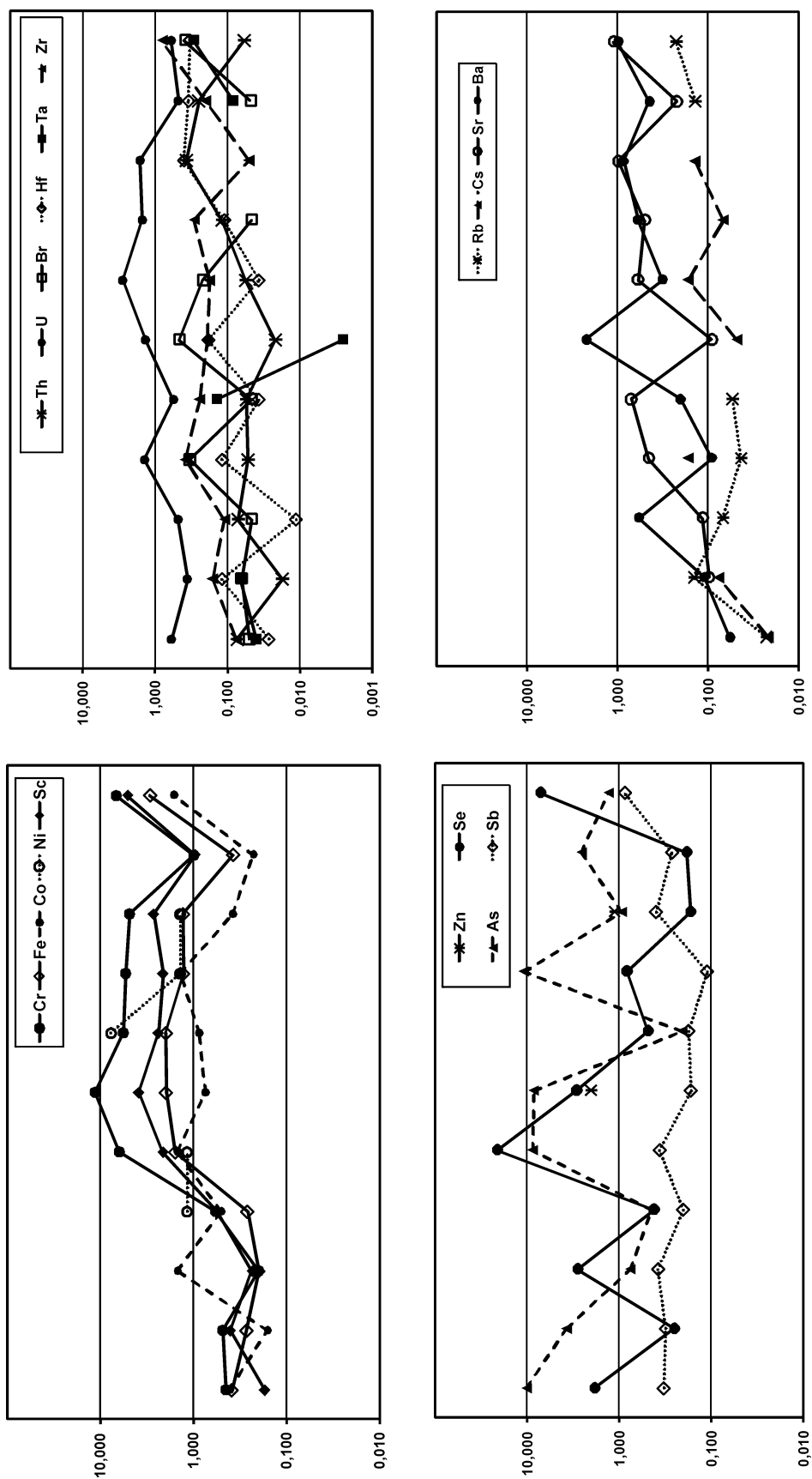


Рис. 7. Характер распределения малых элементов в углеродистых отложениях чулаксайской свиты нормированных к осадочным породам

палладия и платины. Их значения в лучшем случае соответствуют кларковым значениям для данного типа пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 14 Президиума РАН, проект «Минерально-сырьевая база Южного Урала, изучение и использование нетрадиционных и перспективных традиционных видов рудного и техногенного сырья, геоэкология».

Литература:

Горбачев О.В., Созинов Н.А. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты типизации углеродистых отложений докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 10. М.: Наука, 1985. С. 46–57.

Мамаев Н.Ф. Геологическое строение и история развития восточного склона Южного Урала. Свердловск: Изд-во Уральский рабочий, 1965. 167 с.

Петгиджон Ф., Потер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.

Розен О.М., Журавлев Д.З., Ляпунов С.М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печерской провинции. // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.

Семененко Н.П., Головкин Н.И., Жуков Г.В. и др. Петрография железисто-кремнистых формаций Украинской ССР. Киев: Изд-во АН УССР, 1956. 215 с.

Тевелев А.В., Кошелева И.А., Попов В.С. и др. Палеозойды зоны сочленения Восточного Урала и Зауралья // Труды лаборатории геологии складчатых поясов. Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 2006. 300 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия и рудогенез Cr, Co, Ni в черных сланцах. Сыктывкар: Геонаука, 1991, 80 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург, 1994. 304 с.

Юдович Я.Э., Беляев А.А., Кетрис М.П. Геохимия и рудогенез черных сланцев Пай-Хоя. СПб.: Наука, 1998. 366 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Козырева И.В. Геохимия элементов-гидролизатов в черных сланцах. Сыктывкар: ТОО «АСТ», 1992. 137 с.