

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ОБСТАНОВОК ОБРАЗОВАНИЯ КУРСКОЙ СЕРИИ (на примере Коробковского месторождения КМА)

В. А. Шатров, Г. В. Войцеховский

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 16 сентября 2008 г.

Аннотация. На примере Коробковского месторождения КМА на основании характера распределения лантаноидов и ряда микроэлементов в осадочных породах курской серии определяются обстановки осадкообразования железорудных толщ протерозоя (фациальные условия, глубины бассейна седиментации, климат, источники железа).

Ключевые слова: микроэлементы, палеогеография, глубина осадкообразования.

Abstract. Basing on the distribution of lanthanoids and some other microelements in the sedimentary formations of Kursk strata series, there have been defined environments of sediment formation of Proterozoic iron-ore strata (facies conditions, depths of sedimentation basin, climate, iron source) with the example of the Korobkovskoye deposit at Kursk magnetic anomaly.

Key words: microelements, paleoenvironmental, depth sedimentation.

Железорудные формации протерозоя, широко развитые в пределах всех континентов, не имеют однозначной интерпретации условий образования. Железистые кварциты определяют как экзогенные [1–5], эндогенные [6–8], метаморфогенные образования [9]. До настоящего времени нет единого мнения о климатических условиях, глубине накопления, положении железистых кварцитов на профиле седиментации. Литологические методы изучения первичной фациальной зональности железорудных толщ мало информативны, что обусловлено наложенными процессами метаморфизма, тектоническими дислокациями. Благоприятные условия для образования нижнепротерозойских железорудных формаций, определили в основном общепланетарные факторы, что обуславливает глобальный механизм формирования отдельных месторождений или бассейнов, несколько варьирующий в зависимости от конкретных обстановок. Целью работы является определение на основании лантаноидов, а также ряда микроэлементов, условий осадконакопления железорудных толщ на примере Коробковского месторождения КМА, что позволит более достоверно восстановить условия образования уникальных, более не повторяющихся в истории Земли обстановок осадконакопления.

Объект изучения

Коробковское месторождение расположено вблизи г. Губкина (Белгородская область), в структурном отношении находится на участке сложного замыкания Тим-Ястребовского грабен-синклиниория в замковых частях Коробковской и Стретенских антиклиналей, и в пределах разделяющих их синклинирной зоны. В геологическом строении месторождения принимают участие сложнодислоцированные образования архея (обоянская и михайловская серии) и нижнего протерозоя (курская серия), перекрытые горизонтально залегающими осадочными породами фанерозоя [10,11]. Курская серия представлена стойленской и коробковской свитами. Стойленская свита подразделяется на нижнюю песчаниковую и верхнюю сланцевую подсвиты. В основании песчаниковой подсвиты залегают прослои, линзы конгломератов и гравелитов, общей мощностью до 10 м, выше сменяющиеся фукситовыми и мусковитовыми метапесчаниками с линзовидными прослоями гравелитов и конгломератов мощностью до 1,5 м. Верхняя часть разреза, мощностью до 50 м, сложена кварцитопесчаниками, преимущественно светло-серого цвета, более чем на 97 % состоящими из кварца. Общая мощность подсвиты достигает 200 м. Сланцевая подсвита, мощностью от 4 до 60 м, сложена филлитовидными мусковит-биотитовыми сланцами. По мере приближения к контакту с вышележащими железистыми кварцитами в сланцах возрастает

тает количество биотита, появляются сульфиды железа и распыленный графит.

Коробковская свита имеет мощность от 400 до 700 м, на долю железистых кварцитов приходится 70–80 % разреза. В составе нижней железорудной подсвиты, мощностью 90–250 м, преобладают силикатно-магнетитовые и магнетитовые кварциты, с подчиненным значением гематит-магнетитовых, малорудных и безрудных кварцитов. Нижняя сланцевая подсвита сложена кварц-биотитовыми, слабо углистыми, филлитовидными сланцами с пиритом, пирротинном, реже марказитом. За счет пластических деформаций при складчатости ее мощность меняется от 0 до 250 м. Верхняя железорудная подсвита, мощностью 180–320 м, составляет основную часть рудного поля месторождения. В подсвите выделяется три горизонта: 1) *нижний*, мощностью 50–140 м, с преобладанием в составе гематит-магнетитовых кварцитов, резко подчиненным значением магнетитовых и силикатно-магнетитовых; 2) *средний*, мощностью от 40–50 до 80 м, сложенный переслаивающимися пачками магнетитовых и силикатно-магнетитовых кварцитов с тонкими прослоями межрудных сланцев, редкими одиночными прослоями гематит-магнетитовых кварцитов; 3) *верхний*, мощностью 40–100 м, сложенный в нижней части пачкой гематит-магнетитовых кварцитов, в верхней части – карбонатно-магнетитовыми кварцитами с прослоями (от 2–3 до 10–15 м) малорудных кварцитов и малорудных сланцев. Прослой межрудных сланцев в подсвите составляют около 3 %. Верхняя сланцевая подсвита мощностью около 80 м представлена гранат-биотитовыми, мусковит-биотитовыми сланцами, иногда с куммингтонитом, хлоритом, пиритом. Общим для всех сланцевых подсвит курской серии в пределах месторождения является преимущественное развитие биотитовых разновидностей сланцев, при незначительном количестве мусковитовых и мусковит-биотитовых в нижней части верхнестойленской подсвиты [10].

Породы курской серии изучены в восточной части Коробковского месторождения в пределах юго-восточной части Стретенской залежи [12, 13], расположенной на северо-восточном крыле Стретенской антиклинали. Железистые кварциты участка характеризуются моноклинальным субвертикальным залеганием, большая их часть относится к верхней железорудной подсвите. На участке выделяются те же минеральные типы железистых кварцитов, что и на Коробковском месторождении: магнетитовые, гематит-магнетитовые, силикатно-

магнетитовые и малорудные. Главными минералами всех типов железистых кварцитов являются кварц и магнетит. Магнетитовые кварциты слагают значительную часть нижней железорудной подсвиты, среднего и верхнего горизонтов верхней подсвиты.

Методы исследования и методология

Изучение курской серии предусматривало определение вещественного состава пород в шлифах и аншлифах, содержания лантаноидов и ряда других микроэлементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва) с использованием квадрупольного масс-спектрометра PLASMA QUAD PQ2+TURBO английской фирмы VG Instruments. Геохимическому изучению подлежали штучные пробы, используемая навеска – 50 мг. При изучении лантаноидов применены следующие критерии оценки [13,14,15]: $\sum(\text{REE}+\text{Y})$; La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, Yb/Sm, Y/Sm – индикаторы фациальных условий седиментации; $\sum\text{Ce}/\sum\text{Y}$ – индикатор климата; Ce/Ce* – индикатор обстановок осадкообразования; Eu/Eu*, Ce/La – индикаторы эндогенного воздействия на осадкообразование; диаграмма LREE-MREE-(HREE $\times 10$), позволяющая выделять поля, отвечающие определенным обстановкам осадконакопления; спектры лантаноидов, нормированные к глинам платформ [16].

Результаты изучения

Для пород стойленской свиты (метапесчаники нижней подсвиты, сланцы – верхней) содержания большинства элементов ниже кларка или близки к нему, в 10 и более раз превышают кларк Se, Ag, Cd, Te, Au (табл. 1). Сланцы по сравнению с песчаниками имеют более высокие концентрации Sc, Ti, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Nb, Ag, Cs, Ba, Hf, Tl, Th. Спектры лантаноидов в метапесчаниках характеризуются избытком тяжелых, дефицитом средних, в меньшей мере легких земель, слабо выраженным положительным европиевым максимумом в отдельных пробах. Хорошо проявлена однотипность спектров для нижней и верхней частей разреза, пород средней части (рис. 1). Спектры лантаноидов в сланцах однотипны: избыток легких, слабый дефицит средних, дефицит тяжелых земель, положительный европиевый максимум (рис. 1).

Значения Ce/Ce* характеризуют обстановки осадконакопления как окраинно-континентальные [17,18], в большей мере соответствующие эпиплатформенным. Вариации коэффициентов La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, Yb/Sm, Y/Sm (табл. 2), спектры лантаноидов, фигуративные точки на диаграмме LREE –

Таблица 1
Содержание элементов (g/t) в терригенных подsvитах курской серии

№ пробы	Стойленская свита												Коробковская свита											
	нижняя подsvита						верхняя подsvита						нижняя сланцевая подsvита						верхняя сланцевая подsvита					
	С-1	С-3	С-4	С-6	С-8	С-9	С-10	С-12	С-13	С-14	С-15	С-16	С-17	С-18	С-19	С-21	С-22	С-24						
	металлосодержание												сланцы											
P	103	1147	957	351	392	327	19.8	1592	583	274	285	360	269	430	256	391	506	344						
Sc	0.87	1.9	1.31	3.81	23.7	19.9	27.6	63.7	17.9	27.5	28.1	32.3	26.	31.5	12.3	16.5	16.5	13.7						
Ti	683	292	214	514	4341	5930	8137	H.O.	5552	7051	7143	7178	7377	7655	4160	3559	5227	4384						
V	18.5	35	2.6	6.6	137	171	134	396	155	190	140	183	200	215	120	126	155	149						
Cr	50.1	163	25	37.5	164	146	376	1200	148	63.6	59.4	103	68.5	96.6	64.3	67.4	80.8	85.9						
Mn	63.7	582	312	272	277	183	186	H.O.	H.O.	481	641	H.O.	497	1298	506	366	436	497						
Co	0.9	6.3	3.2	4.6	10.2	15.9	22.5	170	10.5	18.8	15.4	24.3	22.2	16.5	12.7	15.6	13.6	13						
Ni	3.8	29	20.2	27.2	115	69.3	103	1111	44.4	67	53.7	80.7	66.6	41.6	40.7	50.7	50.2	58.8						
Cu	4.9	73.7	36.7	41.7	15.1	89.7	41.9	229	98.6	103	57.2	96.3	91.8	40.9	55.6	13.5	77	67.4						
Zn	9.9	23.2	32.8	41.7	49.8	81.5	19.8	118	H.O.	115	86.9	95.7	77.5	154	26.7	37.2	47.8	51.9						
Ga	0.7	1.1	0.7	0.9	14.1	25.5	30.9	14.7	14.9	20	18.8	14.6	21.7	19.1	11.7	14	15.2	12.4						
Ge	0.4	0.8	0.2	0.1	0.12	0.77	0.92	0.53	1.15	1.5	1.8	1.5	1.9	1.2	2.1	1.3	2.8	0.9						
Se	0.0	2.9	0.7	2.1	0.0	4.6	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	4.3	0.0						
Rb	9.5	3.9	1.8	4.3	106	144	167	207	140	216	218	160	198	212	62.8	73.5	84.4	75						
Sr	13.3	3.3	5.3	11.5	112	90.2	79.8	579	41.4	34.4	28.4	697	35.8	29.6	117	14.6	109	40						
Zr	23.3	15.3	14.4	15.9	251	63.8	80.3	203	79.8	81.8	84.4	91	81.6	89.4	118	63.6	66.3	66.8						
Nb	2.6	0.6	0.3	0.75	1.7	9	9.1	26.3	4.4	3.96	4.9	4.4	5.3	4.3	3.15	1.3	4.9	2.5						
Mo	0.32	1.8	1.7	2	2.2	0.4	1.6	1.01	3.6	2.2	2.1	4.8	3.1	2.7	1.7	1	2	2						
Ag	H.O.	H.O.	30	H.O.	7.1	399	7.2	14	12.2	6.6	8	13.2	12.4	13.4	19.5	10.7	12	15.5						
Cd	0.3	0.4	0.06	0.09	0.04	0.34	H.O.	H.O.	H.O.	7.6	5.6	0.02	8.27	8.5	3.1	H.O.	3.8	2.3						
Sn	0.4	4.5	7.9	5.4	5.2	5.7	H.O.	H.O.	H.O.	168	116	H.O.	182	193	63.6	H.O.	88.4	54.2						
Sb	11.2	0.2	0.3	H.O.	H.O.	H.O.	1.9	0.9	0.9	0.13	0.03	0.46	0.6	0.1	0.02	H.O.	0.14	H.O.						
Te	0.05	0.1	0.1	H.O.	0.24	0.2	0.01	H.O.	H.O.	0.04	0.05	H.O.	0.24	H.O.	H.O.	0.12	0.35	H.O.						
Cs	0.3	0.2	0.2	0.4	4.4	1.7	2.7	28.3	27.2	10.8	12	12.3	11.3	14.9	2.2	2.9	3.6	2.4						
Ba	36	12.6	24.9	27.1	195	491	702	376	203	359	350	156	427	483	643	520	741	670						
Hf	1.2	0.7	0.7	0.95	12.6	3.2	3.8	10.9	4.1	4.5	3.9	4.5	4.2	4.4	5.4	2.8	3.4	3.4						
Ta	H.O.	0.001	H.O.	H.O.	0.01	H.O.	2.2	0.03	0.05	0.12	0.1	H.O.	0.02	0.2	0.1	0.02	0.09	H.O.						
W	0.3	12.2	7.2	8.6	3.7	4.4	5.4	2.9	2.9	3.8	3.8	5.6	7.5	2.4	2.2	0.3	4	1.3						
Au	0.02	H.O.	H.O.	H.O.	0.03	H.O.	0.15	H.O.	H.O.	0.14	0.17	0.24	H.O.	H.O.	0.12	0.04	0.02	0.02						
Hg	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	0.3	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	0.19	H.O.	0.22	0.9	0.02						
Tl	0.07	0.01	0.001	0.005	0.5	0.4	0.49	1.2	1.1	1	0.7	0.8	0.9	0.9	0.2	0.3	0.8	0.25						
Pb	16.5	0.0	3.6	5.2	3.6	5.8	14.8	15.9	18.3	24	19.2	56.2	19.6	29.6	18.9	12.3	17.6	13						
Bi	0.04	H.O.	0.002	0.01	H.O.	0.08	H.O.	H.O.	H.O.	H.O.	0.33	0.01	0.5	H.O.	H.O.	H.O.	0.06	0.1						
Th	3.2	0.7	0.4	3.4	30	5.9	16.7	9.1	11.7	13.7	15.1	15.9	14	15.9	13	13.3	16.3	13.4						
U	1.6	0.5	0.3	1.7	5	0.9	1.4	0.75	4.4	2.9	4.2	4.3	3.6	3.4	3.7	4	4.1	3.2						

Содержание лантаноидов (μm), коэффициенты в терригенных подsvитах курской серии

№ пробы	Стойленская свита										Коробковская свита									
	нижняя подsvита					верхняя подsvита					нижняя сланцевая подsvита					верхняя сланцевая подsvита				
	C-1	C-3	C-4	C-6	C-8	C-9	C-10	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18	C-19	C-21	C-22	C-24		
	металесчанники										сланцы									
La	5.06	2.55	3.2	3	15.5	3.32	6.4	15.5	17.7	29.9	29.1	22.5	14.5	10.5	21.1	22.7	29.4	17.7		
Ce	11.7	5.44	5.97	6.15	45.7	28.3	93.4	99.7	41.6	67.1	65.5	50.6	32.1	27.8	46.1	46.4	65.4	39.6		
Pr	1.24	0.6	0.6	0.57	4.53	2.62	8.73	11.1	4.05	6.71	6.38	5.49	3.61	2.97	4.5	4.77	6.4	4.1		
Nd	5.38	2.28	1.58	2.81	16.5	9.95	30.2	44.5	16.5	26.3	25.8	20.7	12.2	12.4	16.4	18.2	24.8	13.9		
Sm	0.86	0.41	0.23	0.48	3.76	1.54	4.19	7.91	3.05	4.72	4.51	3.52	3.04	2.37	2.82	3.84	4.17	2.71		
Eu	0.17	0.07	0.05	0.12	1.35	0.6	1	2.06	1.09	1.02	0.85	1.3	0.59	0.57	0.57	0.85	0.9	0.6		
Gd	0.73	0.3	0.39	0.37	5.52	2.11	4.38	9.03	3.78	6.06	5.07	5.2	3.65	3.3	3.57	3.58	5.58	3.52		
Tb	0.17	0.07	0.05	0.12	0.77	0.26	0.57	0.98	0.6	0.56	0.62	0.65	0.48	0.72	0.45	0.43	0.62	0.53		
Dy	0.91	0.2	0.32	0.6	5.03	1.15	2.02	4.83	3.37	2.90	3.25	3.42	2.46	3.25	2.25	2.68	2.91	2.37		
Ho	0.25	0.04	0.07	0.19	0.84	0.2	0.43	0.88	0.65	0.52	0.64	0.59	0.57	0.69	0.48	0.46	0.54	0.45		
Er	0.88	0.22	0.33	0.54	2.77	0.53	1.07	2.31	1.79	2.08	2.02	1.69	1.71	1.97	1.34	1.25	1.52	1.45		
Tm	0.13	0.05	0.05	0.07	0.36	0.1	0.16	0.22	0.27	0.29	0.3	0.24	0.21	0.3	0.19	0.19	0.21	0.21		
Yb	0.88	0.28	0.22	0.76	2.57	0.57	1.33	1.74	1.93	1.86	1.98	1.91	2.5	2.48	1.39	1.44	1.43	1.45		
Lu	0.15	0.05	0.04	0.17	0.38	0.1	0.2	0.2	0.31	0.26	0.28	0.32	0.3	0.26	0.23	0.17	0.24	0.24		
Y	4.86	1.38	1.68	3.32	15.5	3.31	6.4	15.5	12.17	9.69	11.3	9.97	9.83	12.3	8.16	7.92	9.49	8.61		
$\Sigma(\text{REE}+\text{Y})$	33.4	13.9	14.8	19.3	121	54.7	160.5	216.4	108.9	160	157.7	128.1	87.7	81.9	109.5	114.9	153.6	97.3		
	Среднее $\Sigma(\text{REE}+\text{Y}) - 20.3$										Среднее $\Sigma(\text{REE}+\text{Y}) - 138.2$									
Ce/La	2.31	2.13	1.87	2.05	2.94	8.5	14.59	6.43	2.34	2.25	2.25	2.25	2.22	2.65	2.18	2.05	2.23	2.24		
	Среднее Ce/La - 2.09										Среднее Ce/La - 8.12									
La/Yb	5.75	9.11	14.6	3.95	6.04	5.82	4.81	8.91	9.19	16.06	14.71	11.76	5.73	4.22	15.2	15.8	20.5	12.2		
	Среднее La/Yb - 8.34										Среднее La/Yb - 6.4									
Eu/Eu*	0.64	0.58	0.51	0.84	0.91	1.02	0.71	0.74	0.98	0.58	0.54	0.93	0.54	0.62	0.55	0.69	0.57	0.59		
	Среднее Eu/Eu* - 0.64										Среднее Eu/Eu* - 0.85									
Ce/Ce*	1.13	1.14	1.27	1.08	1.21	1.24	1.3	1.15	1.24	1.22	1.23	1.21	1.23	1.21	1.25	1.15	1.24	1.28		
	Среднее Ce/Ce* - 1.16										Среднее Ce/Ce* - 1.23									
$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	2.72	4.38	3.69	2.14	2.59	5.56	8.69	5.06	3.38	5.61	5.19	4.34	3.04	2.23	5.06	5.34	5.81	4.17		
	Среднее $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} - 3.23$										Среднее $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} - 3.97$									
La/Sm	5.88	6.22	13.9	6.25	4.13	2.16	1.96	1.96	5.82	6.33	6.46	6.20	4.76	4.42	7.49	5.91	7.04	6.51		
	Среднее La/Sm - 8.07										Среднее La/Sm - 5.67									
Ce/Sm	13.6	13.3	26	12.8	12.2	18.4	22.3	12.6	13.6	14.2	14.5	14.4	10.6	11.7	16.3	12.1	15.7	14.6		
	Среднее Ce/Sm - 16.41										Среднее Ce/Sm - 13.17									
Yb/Sm	1.02	0.68	0.96	1.58	0.68	0.37	0.32	0.22	0.63	0.39	0.44	0.54	0.82	1.05	0.49	0.38	0.34	0.54		
	Среднее Yb/Sm - 1.06										Среднее Yb/Sm - 0.65									
Y/Sm	5.65	3.37	7.3	6.92	4.13	2.15	1.53	1.96	3.99	2.05	2.51	2.83	3.23	5.21	2.89	2.06	2.28	3.18		
	Среднее Y/Sm - 5.81										Среднее Y/Sm - 3.30									
	Среднее Y/Sm - 2.44										Среднее Y/Sm - 2.60									

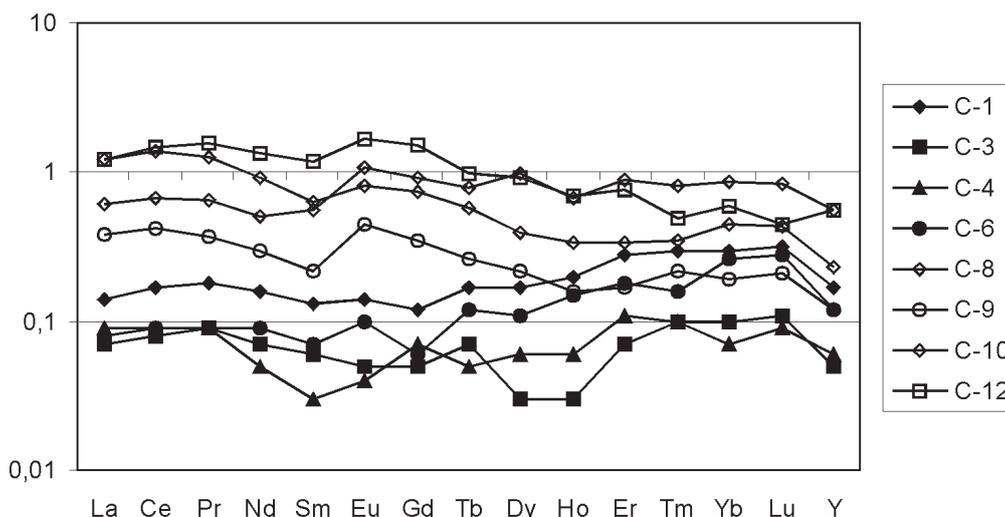


Рис. 1. Спектры лантаноидов в породах стойленской свиты (обр. С-1 – С-6 – метапесчаники нижней подсвиты; обр. С-8 – С-12 – метапелиты верхней подсвиты)

MREE – (HREE × 10) (рис. 2) предполагают более мелководные обстановки седиментации для средних частей разрезов стойленских подсвит по отношению к нижним и верхним частям разрезов. Большая близость фигуративных точек метапесчаников к вершине HREE по сравнению со сланцами обусловлена примесью акцессорных минералов, особенно малакона [10], «утяжеляющих» спектр даже при незначительном количестве акцессориев при низком $\sum(REE+Y)$ в псаммитах. Относительно плотный рой фигуративных точек метапесчаников на диаграмме LREE – MREE – (HREE × 10) (рис. 2) определяет незначительные изменения условий осадконакопления псаммитов. Осадкообразование в стойленское время происходило в мелководно-

морских и прибрежно-морских обстановках, при более разнообразных фациальных условиях в позднестойленское время. Среднее $\sum Ce/\sum Y = 3.23$ для нижней подсвиты предполагает семиаридный-семигумидный или гумидный климат, средние (5.48) для верхней подсвиты – гумидный. Для образований свиты достаточно хорошо проявлена положительная корреляция между уменьшением $\sum Ce/\sum Y$ и увеличением глубины седиментации (рис. 3).

Содержания большинства элементов в сланцах коробковских подсвит близко к кларку, реже превышает его в 1,5–2 раза. Для Ag, Cd, Sn, Te, Au, Bi характерны более высокие концентрации (см. табл. 1). Для сланцев нижней подсвиты по сравнению со сланцами верхней отмечены несколько более высо-

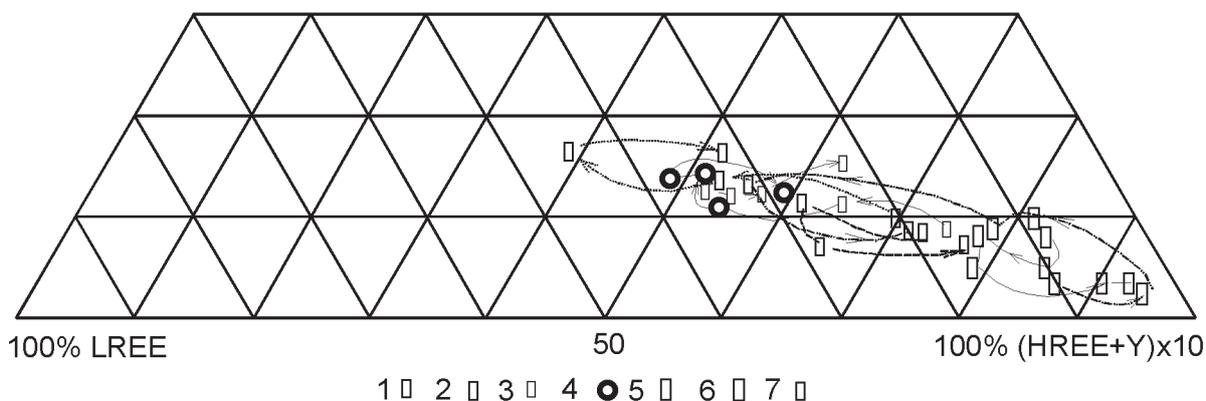


Рис. 2. Диаграмма LREE – MREE – (HREE × 10) для пород курской серии Коробковского месторождения: 1 – метапесчаники нижней стойленской подсвиты; сланцы: 2 – верхней стойленской подсвиты, 3 – нижней коробковской подсвиты, 4 – верхней коробковской подсвиты; железистые кварциты: 5 – магнетитовые, гематит-магнетитовые нижней железорудной подсвиты, 6 – магнетитовые, гематит-магнетитовые верхней железорудной подсвиты, 7 – силикатно-магнетитовые верхней железорудной подсвиты. Стрелками соединены соседние пробы в разрезе

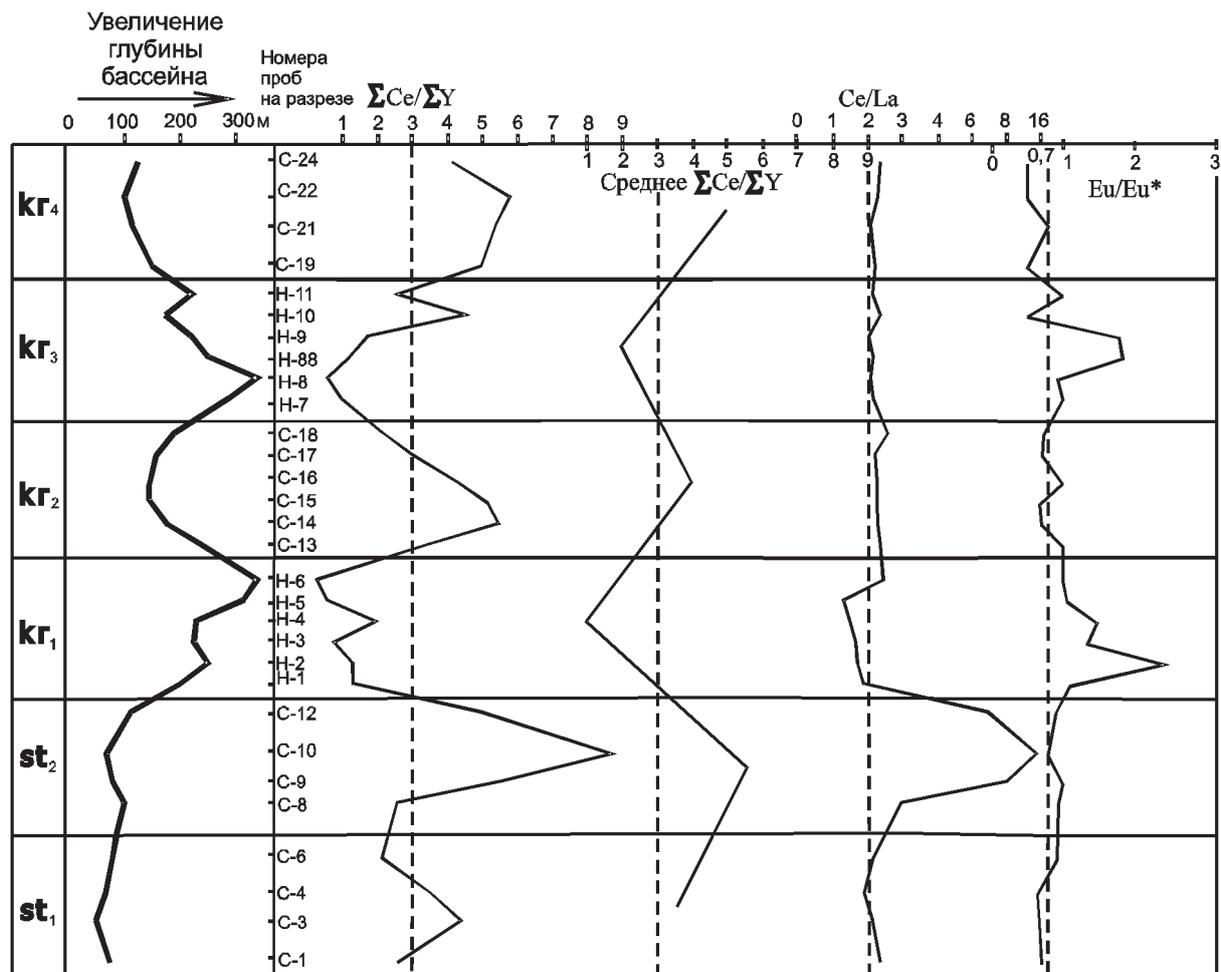


Рис. 3. Трансгрессивно-регрессивный этап развития бассейна курского времени в пределах Коробковского месторождения, вариации глубины осадконакопления, значений $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$, Ce/La , Eu/Eu^*

кие содержания элементов. Спектры лантаноидов в сланцах однотипны: близкие содержания легких, средних, тяжелых земель, слабо выраженный европиевый максимум (рис. 4). Значения Ce/Ce^* характеризуют эпи- или периконтинентальные обстановки осадкообразования сланцевых подцвет. Коэффициенты (см. табл. 2), спектры лантаноидов, фигуративные точки на диаграмме LREE – MREE – (HREE $\times 10$) (см. рис. 2) определяют уменьшение глубины седиментации при образовании средних частей разрезов подцвет. Сланцы нижней подцветы образованы в несколько более глубоководных обстановках по отношению к сланцам верхней подцветы. Климатические условия осадконакопления для подцвет на основании вариаций $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ предполагаются как гумидные. Хорошо проявлена положительная корреляция между уменьшением $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ и увеличением глубины осадкообразования (см. рис. 3). Фациальные и климатические условия осадконакопления надрудной подцветы более стабильные по сравнению с образованием междрудной подцветы.

Содержания большинства элементов в кварцитах железорудных подцвет ниже кларка или близко к нему, в 10 и более раз превышают кларк Ag, Cd, Sn, Te, Au, Bi (табл. 3). Спектры лантаноидов имеют избыток тяжелых земель по отношению к легким, отчетливо выраженный положительный европиевый максимум; для кварцитов верхней части нижней подцветы и нижней части верхней подцветы возрастание доли тяжелых земель выражено более отчетливо (рис. 5, 6). Средние Ce/Ce^* характеризуют окраинно-континентальные обстановки осадкообразования (табл. 4). Условия накопления кремнисто-железистых осадков достаточно глубоководные, несколько более глубоководные для нижней подцветы по отношению к верхней, что согласуется с меньшими Ce/Ce^* . Наиболее глубоководные условия седиментации нижней подцветы характерны при образовании верхней части разреза, верхней подцветы – при образовании нижней (см. табл. 4, рис. 2, 3). Средние значения коэффициентов (табл. 5) определяют более глубоководные условия образования железорудных

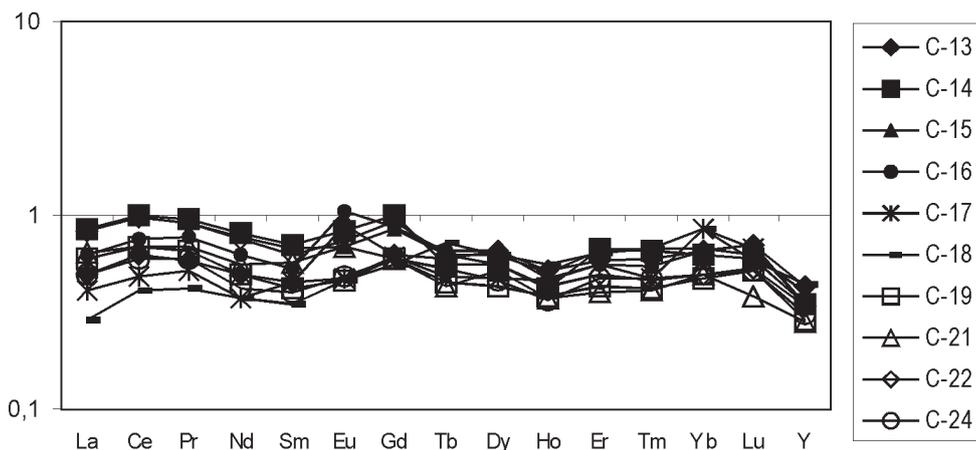


Рис. 4. Спектры лантаноидов в сланцах коробковской свиты (обр. С-13 – С-18 – нижняя сланцевая подсвита; обр. С-19 – С-24 – верхняя сланцевая подсвита)

Т а б л и ц а 3

Содержание элементов (г/т) в кварцитах железорудных подцвет коробковской свиты

№ пробы	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-88	H-9	H-10	H-11
	железистые кварциты											
	нижняя железорудная подсвита						верхняя железорудная подсвита					
P	2.5	2.5	205	505	2.5	2.7	2.5	1037	Н.О.	Н.О.	Н.О.	1843
Sc	21	Н.О.	1.5	Н.О.	Н.О.	4.5	Н.О.	Н.О.	9.1	3.8	23.2	1.7
Ti	290	63.5	62.5	742	53.6	254	90	102	102	170	763	189
V	7.2	Н.О.	Н.О.	32.3	Н.О.	1.9	Н.О.	Н.О.	83.8	27.8	1.9	9.2
Cr	1.8	1.9	4.9	12.8	9.4	1.8	1.9	12.8	18	16.4	1.8	30.5
Mn	Н.О.	2.02	834	869	2	Н.О.	2.	1094	1511	1548	2	Н.О.
Co	1.9	1.9	9.2	1.4	1.9	1.4	1.9	7.4	26.8	15.4	1.9	1.9
Ni	1.9	1.9	19.1	4.81	1.9	1.2	1.7	7.8	38.4	36.6	2	1.9
Cu	1.6	Н.О.	86	34.8	1.6	1.6	1.8	561	39.3	37.4	1.6	51.3
Zn	2.5	2.3	19.5	1.4	2.5	2.2	2.6	100	143	0.0	2.6	25.8
Ga	1.6	1.6	1.27	0.9	1.6	1.9	1.6	0.7	4.5	2	1.6	1.3
Ge	7.5	7.7	10.4	2.7	6.8	14.3	2.9	3.4	6.4	4.8	6.1	3.8
Se	1.4	1.4	10.7	Н.О.	1.4	1.34	9.7	0.7	0.8	0.8	1.4	Н.О.
Rb	0.9	1	5.8	2.5	0.9	0.9	0.9	1.4	23.1	9.4	1	7.6
Sr	0.02	1.02	70.8	20	1	1.2	1	56.4	133.5	126.8	1.5	28.1
Zr	12.7	4.3	8.	3.1	1.1	12.5	7	4.7	26.1	18.2	38.8	5
Nb	1.7	2.4	0.4	0.5	2.4	3.2	0.09	0.05	0.7	1.4	2.3	1.12
Mo	1.5	0.9	1.2	0.6	1.2	1.12	1.5	1.2	1.9	2.2	1.8	0.9
Ag	1.03	1.05	0.31	1.57	0.0	1.04	1.55	0.01	0.57	0.81	1.0	4.2
Cd	1.3	1.4	4.2	2.9	1.4	1.4	1.4	3.3	9.5	0.9	1.4	0.23
Sn	45.1	50.1	80.4	62.8	38.8	40.3	32.3	93.1	167	87.1	35.6	1.1
Sb	1.1	0.25	0.4	0.0	0.18	0.54	0.45	0.5	0.8	0.27	0.3	0.0
Te	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	0.3	Н.О.	0.08	0.005	0.23	1	0.05
Cs	1	0.9	1.6	0.07	0.9	0.9	0.95	0.48	3.3	1.6	1	9.2
Ba	1	1	Н.О.	Н.О.	1.0	1.2	1.3	Н.О.	Н.О.	Н.О.	1	78.4
Hf	0.2	0.1	0.4	0.19	0.01	0.3	0.06	0.2	1.1	0.5	1.4	0.3
Ta	0.9	1.3	1.15	0.07	3.8	0.44	0.5	0.8	1.5	0.12	0.9	0.7
W	7.6	7.2	8	2.6	8.2	7.1	5.1	11.6	12.5	10	5.8	9.4
Au	Н.О.	Н.О.	0.1	0.17	0.5	0.31	Н.О.	0.2	Н.О.	Н.О.	0.28	0.3
Hg	0.24	2.2	0.65	0.0	0.0	0.4	1.7	0.45	1.1	0.001	0.1	0.4
Tl	Н.О.	Н.О.	Н.О.	Н.О.	1.23	1.2	1.2	Н.О.	0.2	Н.О.	1.2	0.002
Pb	1.2	1.2	7.5	0.23	1.24	1.4	1.24	3.6	9.3	2	1.24	3.9
Bi	0.3	0.25	0.5	0.0	0.22	0.7	0.4	0.6	0.3	0.34	0.3	0.09
Th	1.2	0.04	0.01	0.4	0.44	2.7	0.15	13	0.4	0.9	3.9	0.5
U	1.5	Н.О.	0.2	0.07	1.5	1.4	1.5	4.4	0.4	0.4	1.5	0.24

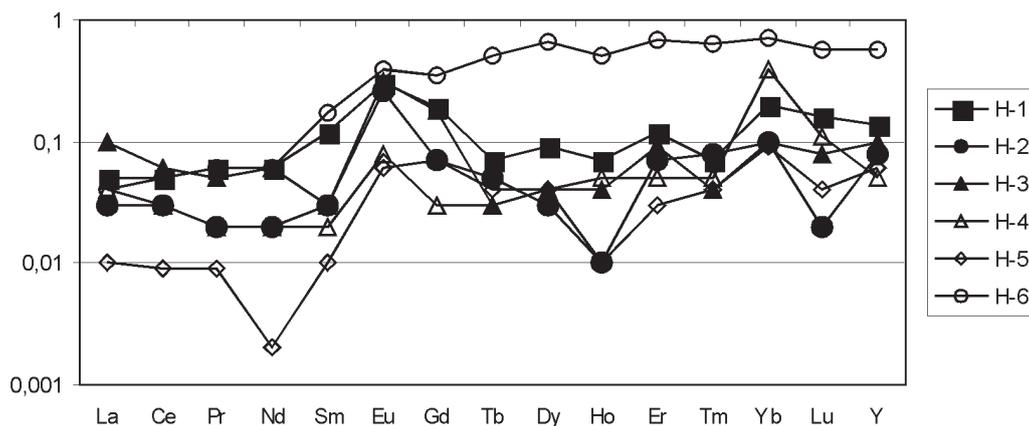


Рис. 5. Спектры лантаноидов в железистых кварцитах магнетитового и гематит-магнетитового составов нижней железорудной подсвиты

подсвит по отношению к терригенным подсвитам серии. Климатические условия накопления железорудных подсвит, с учетом уменьшения $\Sigma Ce/\Sigma Y$ при увеличении глубины (удаленности от береговой линии) обстановок осадкообразования, предполагаются как семиаридные-семигумидные. Высокие значения Eu/Eu^* в кварцитах, средние $Ce/La < 2$ для кварцитов нижней подсвиты подтверждают поступление эндогенного железа в бассейн седиментации.

На основании диаграммы LREE – MREE – (HREE $\times 10$) (см. рис. 2) определены более глубоководные условия образования гематит-магнетитовых и магнетитовых кварцитов по отношению к силикатно-магнетитовым. Для серии хорошо проявлен фациальный ряд (от наиболее глубоководных к мелководным образованиям): гематит-магнетитовые, магнетитовые кварциты \rightarrow силикатно-магнетитовые кварциты \rightarrow сланцы, среди которых несколько более

глубоководные биотитовые по отношению к мусковит-биотитовым [13]. Метапесчаники на диаграмме не имеют определенного положения, что обусловлено, скорее всего, влиянием аксессуарных минералов на распределение лантаноидов в породе [19–21].

Обсуждение результатов

Определение глубин седиментации бассейна курского времени основано на ряде предпосылок.

1. В большинстве работ [19, 22–24] подтверждается близость большинства экзогенных процессов протерозоя и фанерозоя, условий осадконакопления, отсутствие принципиальных различий в распределении лантаноидов в осадочных образованиях, что подразумевает однотипность фракционирования лантаноидов в зоне гипергенеза.

2. Близкие значения Ce/Ce^* в породах соответствуют пери- или эпиконтинентальным обстановкам осадконакопления курской серии.

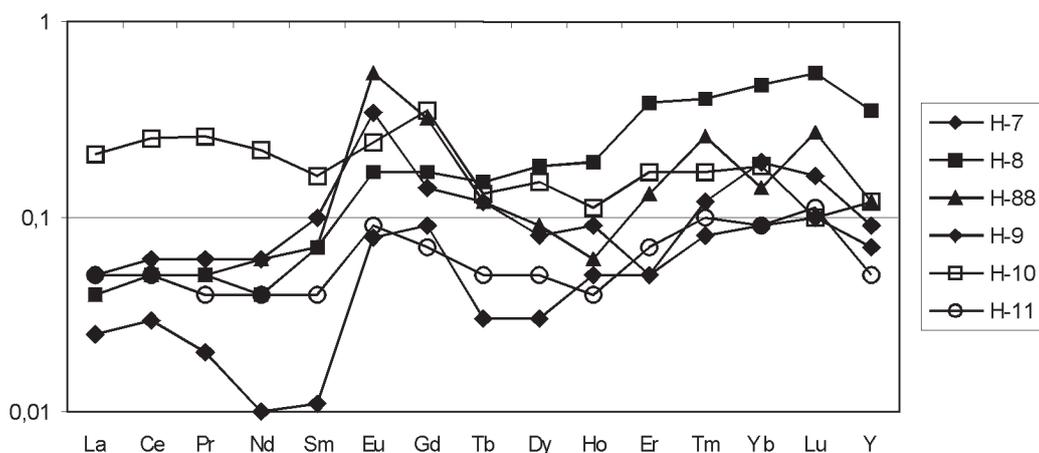


Рис. 6. Спектры лантаноидов в железистых кварцитах магнетитового, гематит-магнетитового, силикатно-магнетитового составов верхней железорудной подсвиты

Средние коэффициенты в породах курской серии

средние	стойленская свита		коробковская свита			
	метапесчаники нижней подсвиты	сланцы верхней подсвиты	кварциты нижней подсвиты	сланцы нижней подсвиты	кварциты верхней подсвиты	сланцы верхней подсвиты
$\Sigma(\text{REE}+\text{Y})$	20.3	138.2	13.97	120.7	18.47	118.8
Ce/La	2.09	8.12	1.82	2.33	2.15	2.18
Eu/Eu*	0.64	0.85	1.7	0.7	1.19	0.6
Ce/Ce*	1.16	1.23	1.08	1.22	1.16	1.23
$\frac{\text{Ce}}{\text{Y}}$	3.23	5.48	1.04	3.97	1.95	5.1
La/Yb	8.34 ←	6.4 ←	4.27 →	10.28 ←	5.79 →	15.91
La/Sm	8.07 ←	2.55 →	5.01 →	5.67 ←	5.64 →	6.74
Ce/Sm	16.41 ←	16.35 ←	8.52 →	13.17 ←	10.25 →	14.68
Yb/Sm	1.06 ←	0.4 →	1.55 ←	0.65 →	1.25 ←	0.44
Y/Sm	5.81 ←	2.44 →	11.33 ←	3.3 →	10.98 ←	2.6

Примечание: стрелками показано увеличение–уменьшение коэффициентов, характеризующих фациальные условия образования

3. Индикаторами глубины образования 100–150 м в обстановках эпиконтинентальных морских бассейнов и шельфа океана взяты значения La/Yb – 15.0, La/Sm – 5.5, Ce/Sm – 10.7, Yb/Sm – 0.6, Y/Sm – 3.0 рассчитанные на основании распределения лантаноидов в фосфоритах сеномана [25]. Хорошо проявлена близость средних коэффициентов, характеризующих осадконакопление, в бассейне среднекоробковского времени (сланцевая подсвита) (см. табл. 5) с рассчитанными, совпадение фигуративных точек составов лантаноидов сланцев и фосфоритов на диаграмме LREE – MREE – (HREE × 10) [13,25].

3. Доказательствами глубины седиментации ~ 300 м (см. рис. 3) кремнисто-железистых осадков являются: железистые кварциты на диаграмме LREE – MREE – (HREE × 10) располагаются в непосредственной близости к вершине HREE, что обуславливает более глубоководные условия накопления кремнисто-железистых осадков по отношению к глинистым (см. рис. 2); незначительные вариации большей части коэффициентов, характеризующих фациальные условия осадкообразования для серии (табл. 5), подтверждают отсутствие контрастных по глубине обстановок седиментации; положение ряда фигуративных точек железистых кварцитов и сланцев на диаграмме LREE – MREE – (HREE × 10) (см. рис. 2) определяет близкие условия седиментации части глинистых и кремнисто-железистых осадков, что подтверждается многочисленными фациальными переходами в разрезах серии между сланцами и железистыми кварцитами

[2,10]. Седиментация карбонатных осадков фанерозоя, начинающаяся на глубинах 200–300 м в условиях гумидного или семигумидного климата, при близости условий накопления сидеритов и кремнисто-железистых осадков [26] также может служить подтверждением определенной глубины. Отсутствие отрицательной цериевой аномалии в железистых кварцитах различных минеральных типов, в том числе и для Лебединского и Михайловского месторождений [14,27], также подтверждает в целом незначительную глубину накопления кремнисто-железистых осадков.

Формирование курской серии представляет собой единый трансгрессивно-регрессивный этап развития палеобассейна, максимумы трансгрессии приходятся на железорудные подсвиты (особенно нижнюю), в меньшей мере на межрудную сланцевую подсвиту (см. табл. 5, рис. 3). Внутри сланцевых и железорудных подсвит находят отражение более мелкие трансгрессивно-регрессивные циклы: хорошо выраженные регрессивные для терригенных подсвит; трансгрессивные для железорудных, для последних отмечается цикличность более высоких порядков, отражающаяся в изменении минерального состава кварцитов. Изменение физико-химических условий при седиментации гораздо сильнее влияло на кремнисто-железистые осадки, по сравнению с глинистыми, что привело к образованию различных минеральных видов кварцитов [10]. Образование кремнисто-железистых осадков происходило в наиболее глубоководных морских обстановках курского времени, при несколько большей глу-

бине осадконакопления для нижней железорудной подсветы по сравнению с верхней железорудной. Глинистые осадки, по сравнению с кремнисто-железистыми, отлагались в более мелководных условиях. Среди безрудных подсвет серии наиболее мелководные условия образования характерны для межрудной сланцевой подсветы. Накопление псаммитов нижнестойленской подсветы произошло в прибрежно-морских и мелководно-морских условиях, возможно, часть псаммитов образована в континентальных условиях. Ранее проведенные исследования минерального состава псаммитов [10] определили их образование в континентальных и прибрежно-морских условиях: делювиальные конуса выноса, дельтовые фации равнинных рек, прибрежные мелководные отложения, пляжи.

На основании распределения лантаноидов определена глубина осадкообразования курского бассейна, составляющая в раннестойленское время 50–100 м, в позднестойленское и позднекоробковское ~ 100 м, в среднекоробковское (образование глинистых осадков) – 100–150 м, в ранее-среднекоробковское (образование кремнисто-железистых осадков) ~ 300 м.

Определенные глубины сопоставимы с реконструкцией образования докембрийских полосчатых железорудных формаций (тип оз. Верхнего) [28]: седиментация происходила в шельфовой зоне пассивной окраины континента, глубины накопления слаборудных и безрудных кварцитов – 50–100 м, гематит-магнетитовых кварцитов >150 м. Более мелководные условия образования кремнисто-железистых осадков по сравнению с глинистыми определяются и на основании лантаноидов [24]: в известняках и глинах, ассоциирующих с железорудными отложениями, распределение лантаноидов близко к их поведению в водах морского мелководья с добавлением терригенной примеси; в породах тонкослойной железорудной формации подобно поведению в глубинных морских водах с примесью гидротермального компонента.

Изменения $\sum Ce/\sum Y$ в породах серии позволяют провести реконструкции климатических условий осадконакопления. Климат раннестойленского времени определить достаточно трудно, так как разрез представлен обломочными породами, менее информативными по сравнению с пелитами. Осадконакопление в раннестойленское время происходило, предположительно, в условиях семиаридного-семигумидного или гумидного климата, в позднестойленское время – в условиях гумидного. Климат коробковского времени гумидный при

образовании сланцевых подсвет, близкий к гумидному при образовании железорудных. Вариации $\sum Ce/\sum Y$ в породах коробковской свиты определяются не сколько изменениями климата, а в большей мере глубиной и удаленностью в пелагиаль обстановок седиментации, возрастанием фракционирования лантаноидов в более контрастных обстановках осадконакопления. Низкие значения $\sum Ce/\sum Y$ в железистых кварцитах не могут выступать показателем аридного климата: 1) для кварцитов, образованных в наиболее мелководных и удаленных от суши условиях седиментации, происходит значительное уменьшение коэффициента; 2) для ряда железистых кварцитов одинакового минералогического состава характерны достаточно высокие $\sum Ce/\sum Y$ [14]. Реконструкции климата курского времени на основании петрогенных оксидов в породах сланцевых подсвет (на примере Лебединского и Михайловского месторождений) [29, 30] определяют гумидный или близкий к нему климат, но однозначно не аридный.

При изучении джеспилитов криворожской серии [31] сделано предположение о накоплении кремнисто-железистых и терригенных осадков в различных климатических условиях: для области выветривания (мобилизации Fe и SiO₂), лавинной седиментации терригенного кластогенного материала (прибрежная зона) предполагается гумидный климат; для обстановки железнакопления (пелагиаль бассейна) – семиаридный-аридный. Предположение не учитывает ослабления влияния климатической зональности на осадконакопление в пелагиали. Признание такой точки зрения предполагает узость климатических зон протерозоя или осаждение кремнисто-железистых осадков на значительном удалении от суши (многие сотни – тысячи км), что вряд ли реально, учитывая значения Ce/Ce*, отсутствие отрицательной цериевой аномалии в железистых кварцитах. Не подтверждается предположение об эвапоритовых условиях железнакопления [32], поскольку условия образования кремнисто-железистых осадков не отвечают мелководным изолированным бассейнам.

Применение коэффициентов (La/Th, La/Sc, Th/Sc, Th/U) (табл. 6), отличающихся значениями в архейских и постархейских тонкозернистых осадочных породах [19]: для архея La/Th – 3.5±0.3; La/Sc – 1.3±0.2; Th/Sc – 0.43±0.07; постархейский возраст La/Th – 2.8±0.2; La/Sc – 2.7±0.3; Th/Sc – 1.0±0.1; среднее для коры Th/U – 3.8, для архея отмечается более низкое значение Th/U по сравнению с постархейскими породами, показывает их

значительные вариации для пород курской серии, обусловленные смешением продуктов выветривания разновозрастных пород и магматических комплексов различного состава. Средние значения коэффициентов в породах в большинстве случаев не подлежат интерпретации. Малая информативность коэффициентов La/Th, La/Sc, Th/Sc, Th/U, особенно применительно к железистым кварцитам, обусловлена хемогенным способом их образования, полигенностью источников железа и кремния.

Т а б л и ц а 6
Коэффициенты в породах курской серии

Подсветы серии	La/Th	La/Sc	Th/Sc	Th/U
Нижне-стойленская	3.66	2.61	1.29	1.61
Верхне-стойленская	0.79	0.32	0.58	9.21
Нижняя железорудная	40.41	0.49	0.02	1.49
Межрудная сланцевая	1.46	0.78	0.54	3.88
Верхняя железорудная	2.85	0.48	0.18	1.79
Надрудная сланцевая	1.62	1.54	0.96	3.75

Близкий набор элементов с высокими содержаниями: Se, Ag, Cd, Sn, Te, Au, Bi и Ge (преимущественно для железорудных подсвет) для пород серии в пределах месторождения определяется общим механизмом их поступления в первичные осадки на всем временном отрезке. Подобный ряд элементов с повышенными содержаниями характерен и для других месторождений железистых кварцитов: Лебединского, Стойло-Лебединского, Михайловского, Белгородского района [14,27]. Большинство элементов, включая отдельные пробы, представлены исключительно халькофилами: неметаллами As, Te, Se; металлами Jn, Cd, Hg, Ag, Bi, Au, для отдельных проб Zn, Cu; литофильно-халькофильным металлом Ge [33]. Изменение элементного состава имеет две тенденции: увеличение количества элементов с повышенными концентрациями в сланцевых подсветах по отношению к железорудным; среди сланцевых подсвет увеличение спектра элементов с высокими содержаниями от стойленской свиты к коробковской. Резкого отличия элементного состава железистых кварцитов и рудовмещающих отложений, в отличие от ранее проведенных исследований

[34], не наблюдается. Изучение микроэлементов в породах серии позволяет сделать ряд обобщений: 1) увеличение ряда элементов с более высокими по отношению к кларку содержаниями в сланцах коробковской свиты по отношению к сланцам стойленской может быть обусловлено возрастанием роли биогенного фактора осадконакопления, увеличением доли органики [35–37]; 2) для всех типов пород характерны повышенные содержания халькофилов, способных образовывать повышенные концентрации как за счет экзогенных, так и эндогенных процессов (вулканизм, гидротермы, гидротермальный метасоматоз) [33, 37, 38].

Высокая положительная европиевая аномалия, присутствующая во всех железорудных формациях докембрия [16, 39–42], современных осадочно-гидротермальных металлоносных отложениях, является одним из главных доказательств поставки эндогенного железа в бассейны седиментации железистых осадков. Для пород курской серии близкие средние Eu/Eu* и Ce/La для безрудных подсвет, высокие Eu/Eu*, Ce/La < 2 для железорудных подсвет доказывают высокую роль эндогенного вещества при образовании кремнисто-железистых осадков.

Заключение

Изучение микроэлементного состава пород курской серии Коробковского месторождения позволяет сделать ряд выводов.

1. Лантаноиды являются надежными индикаторами условий осадкообразования, позволяют определять тип климата, глубину бассейна, удаленность обстановок седиментации от суши, положение осадков на профиле седиментации, выделять трансгрессивно-регрессивные циклы различных порядков, оценивать воздействие эндогенных процессов на осадкообразование.

2. На основании распределения лантаноидов и ряда микроэлементов сделаны выводы об образовании курской серии: для железорудной толщи определена «обратная» минералого-геохимическая зональность с наиболее глубоководными гематитовыми и магнетитовыми фациями и наиболее мелководными – глинистыми; климатические условия образования курской серии определены в целом как гумидные, при изменении климата до гумидно-сезонногумидного при образовании железорудных подсвет; глубины седиментации курского бассейна оцениваются как 50–300 м; полигенный источник железа в составе железорудных толщ, часть железа имеет эндогенное происхождение, часть привнесена в бассейн седиментации за счет корообразования.

Авторы выражают благодарность И. М. Коре за помощь в отборе образцов, характеризующих разрез курской серии в пределах Коробковского месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Страхов Н. М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли / Н. М. Страхов. – М. : ГОНТИ, 1963. – 534 с.
2. *Плаксенко Н. А.* Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии / Н. А. Плаксенко. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1966. – 264 с.
3. *Илларионов А. А.* Петрография и минералогия железистых кварцитов Михайловского месторождения Курской магнитной аномалии / А. А. Илларионов. – М. : Наука, 1965. – 164 с.
4. *James H. L.* Distribution of banded iron formation in space and time // Iron formation : facts and problems / H. L. James. – Amsterdam. – Oxford ; N.Y. ; Tokio : Elsevier, 1983. – P.470–491.
5. *Goodwin A. M.* Archean iron-formation and tectonic basins of the Canadian Shield / A. M. Goodwin // Econ. Geology. – 1973. – V. 68. – № 7. – P. 915–933.
6. *Михайлов Д. А.* Метасоматическое происхождение железистых кварцитов докембрия / Д. А. Михайлов. – Л. : Наука, 1983. – 168 с.
7. *Горяинов П. М.* Новое направление дискуссии о происхождении железистых формаций? / П. М. Горяинов // Вестн. ВГУ. Сер. геол. – 1998. – № 6. – С.16–29.
8. *Литовченко Н. И.* К проблеме происхождения железистых кварцитов / Н. И. Литовченко // Отечественная геология. – 2001. – № 6. – С.70–76.
9. *Тугаринов А. И.* Фациальная природа железистой формации Кривого Рога / А. И. Тугаринов, И. А. Бергман, И. А. Гаврилова // Геология и генезис докембрийских железисто-кремнистых и марганцевых формаций мира. – Киев : Наукова думка, 1972. – С.27–33.
10. *Полищук В. Д.* Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии / В. Д. Полищук, Н. И. Голибкин, Ю. С. Зайцев [и др.] – М. : Недра, 1970. – Т. 1. – Кн. 1. – 439 с.
11. Железные руды КМА / под ред. В. П. Орлова, И. А. Шевырева, Н. А. Соколова. – М. : ЗАО «Геоинформ-марк», 2001. – 616 с.
12. *Шатров В. А.* Геохимические особенности метапелитов и метапсаммитов курской серии в пределах Коробковского месторождения КМА / В. А. Шатров, Г. В. Войцеховский, Ю. Ю. Бугельский // Глины и глинистые минералы : материалы междунар. науч. конф. : тезисы докл. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2004. – С. 150–153.
13. *Шатров В. А.* Фациальные обстановки образования железистых кварцитов КМА : геохимические реконструкции / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Ю. Ю. Бугельский [и др.] // Изв. Высш. учеб. заведений. Геология и разведка. – 2005. – № 5. – С. 18–21.
14. *Шатров В. А.* Редкоземельные и малые элементы как индикаторы условий образования железистых кварцитов (на примере Лебединского месторождения КМА) / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Г. В. Войцеховский // Докл. Акад. Наук. – 2002. – Т. 386. – № 5. – С. 668–671.
15. *Шатров В. А.* Реконструкция обстановок осадкообразования отложений девона геохимическими методами : (на примере опорных разрезов Воронежской антеклизы) / В. А. Шатров, В. И. Сиротин, Г. В. Войцеховский, А. Н. Зеленская // Геохимия. – 2005. – № 8. – С. 856–864.
16. *Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – М. : Наука, 1976. – 268 с.
17. *Murray R. W.* Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale / R. W. Murray, M. R. Buchholtz ten Brink, D. L. Jones [et al.] // Geology. – 1990. – V. 18. – P. 268–271.
18. *Murray R. W.* Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behaviour of Ce/Ce*: results from ODP Leg 127 / R. W. Murray, M. R. Buchholtz ten Brink, W. Brumsack [et al.] // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1991. – V. 55. – P. 2453–2466.
19. *Тейлор С. Р.* Континентальная кора : ее состав и эволюция / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннан. – М. : Мир, 1988. – 384 с.
20. *Балашов Ю. А.* Влияние климатических и фациальных условий на разделение РЗЭ в осадочном процессе / Ю. А. Балашов, А. Б. Ронов, А. А. Мигдисов, Н. В. Туранская // Геохимия. – 1964. – № 10. – С. 995–1014.
21. *Мигдисов А. А.* Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы / А. А. Мигдисов, Ю. А. Балашов, И. В. Шарков [и др.] // Геохимия. – 1994. – № 6. – С. 789–803.
22. *Конди К.* Архейские зеленокаменные пояса / К. Конди. – М. : Мир, 1983. – 390 с.
23. *Фролов В. Т.* Литология : учебное пособие / В. Т. Фролов. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – Кн. 3. – 352 с.
24. *Розен О. М.* Седиментация в раннем докембрии : типы осадков, метаморфизованные осадочные бассейны, эволюция терригенных отложений / О. М. Розен, А. А. Аббясов, Н. В. Аксаментова [и др.]. – М. : Науч. мир, 2006. – 408 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 569).
25. *Шатров В. А.* Лантаноиды как индикаторы обстановок образования меловых фосфоритов : (на примере Восточно-Европейской платформы) / В. А. Шатров // Докл. Акад. Наук. – 2007. – Т. 414. – № 1. – С. 90–92.
26. *Холодов В. Н.* Геохимия осадочного процесса / В. Н. Холодов. – М. : ГЕОС, 2006. – 608 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 574).
27. *Сиротин В. И.* Редкие и редкоземельные элементы в корях выветривания курской серии КМА / В. И. Сиротин, В. А. Шатров, Г. В. Войцеховский, Г. Ю. Лобода // Литология и полезные ископаемые. – 2005. – № 3. – С. 250–266.

28. *Windley B. F.* The evolving continents / B. F. Windley. – John Wiley & Sons, 1999. – 526 с.
29. *Шатров В. А.* Реконструкция первичного состава метаосадочных пород курской серии КМА / В. А. Шатров, Е. Е. Белявцева // Новые идеи в науках о земле : мат-лы VII Междунар. конф. : тезисы докл. – М. : КДУ, 2005. – Т. 1. – С. 161.
30. *Белявцева Е. Е.* Палеогеографические реконструкции образования пород курской серии нижнего протерозоя с помощью системы генетических модулей / Е. Е. Белявцева // Геологи XXI века : мат-лы VI Всерос. конф. : тезисы докл. – Саратов : Изд-во СО ЕАГО, 2005. – С. 20–22.
31. *Кулик Д. А.* Баланс вещества в осадочном цикле железнакопления в Криворожском бассейне / Д. А. Кулик, В. В. Покалюк // Литология и полезные ископаемые. – 1990. – № 2. – С. 36–49.
32. *Сиротин В. И.* Актуальные вопросы осадочной геологии докембрия Воронежского кристаллического массива / В. И. Сиротин, И. П. Лебедев // Вестн. ВГУ. Сер. Геол. – 2004. – № 2. – С. 63–66.
33. *Перельман А. И.* Геохимия / А. И. Перельман. – М. : Высш. шк., 1989. – 528 с.
34. *Ганзеев А. А.* Редкие элементы в крупных промышленных месторождениях докембрийских железистых кварцитов / А. А. Ганзеев, С. Ф. Соболев, В. И. Бельков // Редкие элементы : сырье и экономика. – 1977. – Кн. 13. – С. 15–23.
35. *Созинов Н. А.* Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии / Н. А. Созинов, Н. Н. Чистякова, В. А. Казанцев. – М. : Наука, 1988. – 149 с.
36. *Ермолаев Н. П.* Новые вещественные типы благородных и редких элементов в углеродистых сланцах / Н. П. Ермолаев. – М. : Наука, 1992. – 188 с.
37. *Ермолаев Н. П.* Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях / Н. П. Ермолаев, Н. А. Созинов, Р. П. Кожина [и др.]. – М. : Науч. мир, 1999. – 124 с.
38. Основы металлогении метаморфических поясов докембрия. – Л. : Наука, 1984. – 340 с.
39. *Fryer B. J.* Rare earth evidence in iron-formation for changing Precambrian oxidation states / B. J. Fryer // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1977. – V. 41. – P. 361–367.
40. *Graf J. L.* Rare earth elements in iron formations and seawater / J. L. Graf // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1978. – V. 42. – P. 1845–1850.
41. *Danielson A.* The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of oceanic crust / A. Danielson, P. Möller, P. Dulski // *Chem. Geol.* – 1992. – V. 97. – P. 89.
42. *Bau M.* Rare element systematics of the chemically precipitated in early Precambrian iron formations and evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system / M. Bau, P. Möller // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1993. – V. 57. – P. 2239–2249.

Шатров Владимир Анатольевич – доктор геолого-минералогических наук, геофизик ЗАО «Тюменьпромгеофизика». Тел.: (4732) 208-980

Shatrov Vladivir Anatolievitch – Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Geophysic Close Corporation «Tumenprom geophysic». Tel.: (4732) 208-980

Войцеховский Геннадий Вячеславович, доцент Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-980

Voitzekhovsky Gennady Vyacheslavovitch – Associate Professor, Voronesh State University. Tel.: (4732) 208-980.