

УДК 552: 549 (470.324)

ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕЖРУДНЫХ СЛАНЦЕВ ЛЕБЕДИНСКОГО И СТОЙЛЕНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

В. С. Кузнецов, В. В. Абрамов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 января 2015 г.

Аннотация: на основе интерпретации новых геохимических данных, полученных для сланцев коробковской свиты курской серии КМА, проведена реконструкция состава предшествующих осадков. Установлено, что источником протолита сланцев были преимущественно породы кислого состава из нескольких областей сноса с различной степенью зрелости терригенного материала.

Ключевые слова: сланцы, докембрий, геохимия, элементы-примеси, протолит.

GEOCHEMISTRY AND GENETIC FEATURES OF INTER-ORE SHALES LEBEDINSKY AND STOJLENSKY IRON DEPOSITS KMA

Abstract: based on the analysis of new geochemical data, obtained for shales of Korobkovsky Formation kurskaya series KMA, were reconstruction the nature of precursor sediment. Established that the protolith for shales were predominantly felsic rocks from different source areas with various degrees maturity of terrigenous material.

Key words: shales, Precambrian, geochemistry, trace elements, protolith.

Введение

Объектом изучения в настоящей работе являлись межрудные сланцы нижней сланцевой подсвиты коробковской свиты курской серии раннего протерозоя, образования которой широко распространены в пределах Курского блока Воронежского кристаллического массива. Нижняя сланцевая подсвита коробковской свиты (Kr_2) залегает между двух железорудных подсвит (Kr_1 и Kr_3), что определяет интерес к ней в свете проблемы генезиса железистых кварцитов. Особенности геологического строения сланцевых толщ и минералого-петрографического состава пород детально описаны в ряде публикаций [1, 2]. Изученные в настоящем исследовании образцы представлены филлитовидными двуслюдяными и гранатсодержащими сланцами. В результате исследования литогеохимических особенностей изучаемых пород были рассмотрены соотношения ряда элементов (PЗЭ, Y, Th, Sc, Hf, Ti, Ni и др.), распределение которых могут наследовать осадочно-метаморфические образования. Данные элементы широко используются для реконструкции состава протолита, источников сноса, оценки степени изменения исходных пород. Приводятся реконструкции состава исходных пород в областях сноса сланцев коробковской свиты курской серии КМА. Несмотря на значительную степень изученности указанных пород, подобные исследования с использованием современных высокоточных геохимических данных проводятся впервые.

Методы исследования и аналитические данные

Изученные образцы были отобраны в карьерах Лебединского и Стойленского железорудных место-

рождений. Малые и редкие элементы определялись методом ICP-MS в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов. Пределы обнаружения для REE, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02–0,03 ppm, для Nb, Be, Co – 0,03–0,05 ppm, для Li, Ni, Ga, Y – 0,1 ppm, для Rb, Sr, Ba – 0,3 ppm, для Cu, Zn, V, Cr – 1–2 ppm. Правильность анализа контролировалась путем измерения российских стандартных образцов метаморфического сланца ССЛ-1 (ГСО3191-85) и сланца черного СЧС-1 (ГСО 8549-2004). Относительное стандартное отклонение для всех элементов не превышало 0,3 при измерении содержания этих элементов до $5 \times \text{ПО}$ и не превышало 0,15 при измерении содержания $> 5 \times \text{ПО}$.

Литогеохимические особенности сланцев

Геохимические особенности сланцев курской серии рассмотрены на основе 18 химических анализов, приведенных в табл. 1, 2. В целом химический состав изученных сланцев курской серии отличают повышенное содержание железа и резкое преобладание K_2O над Na_2O .

При сравнении особенностей состава пород с РААС (постархейский австралийский сланец [3]) было установлено, что сланцы несколько обогащены Fe_2O_3 , K_2O , MgO , обеднены TiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 , CaO (табл. 3).

Для характеристики особенностей распределения элементов-примесей были рассчитаны их кларки концентрации (табл. 4), а также произведено сравнение концентраций элементов-примесей в сланцах курской серии и в РААС.

Таблица 1

Химический состав (масс. %) и основные петрохимические индексы сланцев коробовской свиты курской серии

Компоненты	А-2	Л-3	Л-5	Л-6	Л-8	Л-9	Л-11	Л-13	СТ-17М	СТ-45М	СТ-140	СТ-143/2	СТ-144	СТ-146	СТ-147	СТ-148	СТ-150
SiO ₂	60,7	59,5	65,2	59,5	65,2	68,3	59,5	59,2	60,0	60,0	40,7	61,5	62,6	60,4	62,0	62,5	55,0
TiO ₂	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4
Al ₂ O ₃	15,8	17,2	16,4	14,0	14,2	15,7	14,7	17,4	16,5	16,6	15,0	15,7	12,4	15,6	14,3	15,6	12,5
FeO	9,5	10,2	7,2	12,3	10,3	7,0	12,4	10,6	11,0	11,2	31,2	12,1	17,3	13,8	13,4	10,9	19,8
MnO	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
MgO	2,8	2,7	3,1	3,8	2,2	2,4	3,9	2,8	3,5	3,5	7,6	3,0	2,8	3,5	2,7	3,7	3,9
CaO	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,6	0,1	0,7	0,2	0,5	0,6	0,3
Na ₂ O	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	1,1	1,4	2,8	0,1	0,1
K ₂ O	6,9	6,1	5,8	4,3	4,6	4,8	6,2	6,8	6,3	7,2	3,4	4,8	7,1	3,9	3,4	5,6	5,3
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
СlА	66,8	71,1	70,5	72,7	72,3	72,8	65,6	68,8	68,6	66,4	75,1	72,1	68,3	69,4	60,8	67,9	65,6
СlW	97,2	97,6	96,2	95,8	96,4	96,3	94,0	96,9	95,7	96,5	91,7	94,4	81,2	85,6	72,3	92,5	94,0
РlА	94,9	96,3	94,0	93,8	94,6	94,5	89,4	94,8	92,9	93,6	89,4	91,9	76,8	81,2	65,9	88,3	89,4
ICV	1,4	1,2	1,2	1,7	1,3	1,1	1,8	1,3	1,5	1,5	3,0	1,4	2,0	1,6	1,8	1,6	2,4
K ₂ O / Al ₂ O ₃	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5

Таблица 2

Содержание малых, редких и редкоземельных элементов (в г/т) в сланцах курской серии

	А-2	Л-3	Л-5	Л-6	Л-8	Л-9	Л-11	Л-13	СТ-17М	СТ-45М	СТ-60/5	СТ-140	СТ-143/2	СТ-144	СТ-146	СТ-147	СТ-148	СТ-150
Li	36,8	35,6	36,3	37,7	36,9	47,8	37,3	41,2	49,6	44,5	37,6	65,9	70,0	50,1	63,1	59,5	49,4	40,4
Be	1,9	1,9	2,4	3,1	1,9	2,0	1,7	2,3	1,4	1,3	0,9	2,2	2,0	1,3	3,1	1,3	1,6	1,1
Sc	14,2	15,4	15,1	12,5	13,0	13,9	13,4	15,9	12,9	12,0	11,6	12,1	12,7	8,0	12,5	9,5	13,5	9,8
V	103,9	115,2	93,0	91,5	94,8	98,4	87,0	118,2	87,1	84,5	86,7	78,4	78,2	53,9	78,8	55,3	88,7	66,0
Cr	88,3	107,3	83,8	91,4	100,3	119,9	99,3	108,8	100,6	108,9	73,2	78,9	85,8	55,5	100,1	97,4	114,8	72,7
Co	29,1	40,7	20,5	74,2	40,4	15,0	11,9	45,2	31,4	19,2	15,3	17,2	15,1	13,2	16,4	14,5	14,0	20,2
Ni	91,0	147,1	68,9	252,2	81,6	73,8	45,9	139,4	129,7	64,3	53,0	65,3	56,6	39,6	61,1	58,3	55,3	36,7
Cu	70,2	96,1	49,5	169,0	41,3	53,7	15,9	102,2	56,1	46,9	30,2	36,8	11,0	34,9	38,7	31,8	23,4	32,7
Zn	102,0	82,1	82,8	149,6	64,5	100,2	53,3	111,9	128,8	135,2	136,4	56,7	62,9	64,6	43,6	48,9	68,6	57,6
Ga	20,2	21,1	19,9	17,7	17,6	17,7	16,7	21,1	17,3	17,6	18,1	17,1	16,1	13,3	17,3	14,9	59,4	15,4
As	0,7	1,3	1,1	511,4	1,0	19,5	2,4	4,3	1,3	6,8	1,7	0,1	7,0	0,8	< ПО	2,1	4,0	
Se	2	2,4	1,5	3	5	1,5	1,2	2,4	0,7	1	0,7	1,2	0,15	0,6	1	0,5	0,7	
Rb	306,4	283,9	249,7	227,9	253,3	279,2	188,3	299,8	193,5	211,6	91,9	198,9	275,4	127,9	140,2	138,3	239,6	188,0

Продолжение таблицы 2

A-2	Л-3	Л-5	Л-6	Л-8	Л-9	Л-11	Л-13	СТ-17М	СТ-45М	СТ-60/5	СТ-140	СТ-143/2	СТ-144	СТ-146	СТ-147	СТ-148	СТ-150	
Sr	18,8	46,0	27,3	37,4	40,2	37,9	40,6	29,2	39,3	40,9	14,2	35,6	42,7	66,0	49,8	55,6	53,2	35,6
Y	17,0	16,0	12,2	13,6	12,0	13,6	11,5	17,9	16,1	15,2	19,1	13,7	13,1	13,7	14,1	14,7	14,8	14,8
Zr	133,1	115,7	117,8	102,8	79,9	119,5	136,1	128,9	123,1	125,1	103,3	92,3	122,8	99,5	123,3	135,0	105,4	105,4
Nb	9,5	10,1	9,3	9,2	8,6	9,3	9,4	10,6	8,9	8,7	8,3	8,4	7,3	9,0	8,9	8,9	6,9	6,9
Mo	3,0	2,6	2,5	4,2	2,1	2,6	3,2	4,6	2,9	3,0	1,8	1,7	1,4	1,9	1,6	2,9	2,9	2,9
Ag	0,25	0,18	0,17	0,42	0,21	0,072	0,11	0,34	0,12	0,12	0,089	0,033	0,086	0,080	0,083	0,042	0,17	0,17
Sn	2,4	2,2	2,2	1,8	2,1	2,0	2,2	2,5	2,5	2,4	2,1	2,5	1,8	8,0	1,3	2,0	1,9	1,9
Sb	1,3	1,0	0,9	1,9	1,0	0,4	1,1	1,3	0,8	1,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,6	0,6
Te	0,19	0,25	0,21	0,43	0,36	0,11	0,025	0,14	0,08	0,09	0,13	0,10	0,025	0,10	0,025	0,025	0,19	0,19
Cs	10,6	15,0	9,6	4,8	6,2	10,7	14,1	15,6	18,2	14,0	10,2	9,8	5,3	11,4	4,9	27,6	21,2	21,2
Ba	485,6	608,1	339,0	577,5	3326,4	5299,9	766,4	541,0	845,2	360,9	9416,6	650,0	494,2	2557,5	683,8	942,3	629,4	629,4
La	31,0	37,5	30,4	53,2	30,7	42,1	26,5	46,4	32,4	36,5	30,1	31,5	29,0	33,6	34,7	22,3	22,9	22,9
Ce	75,1	84,0	76,8	102,5	73,7	82,2	56,8	100,4	73,1	73,1	60,1	62,5	57,1	66,9	66,3	48,1	48,7	48,7
Pr	6,9	7,7	7,1	9,2	6,5	7,4	5,8	9,4	8,6	8,8	6,4	7,5	5,8	7,5	7,0	5,1	5,1	5,1
Nd	25,1	28,1	26,1	33,4	23,2	25,6	20,6	33,9	30,0	29,9	22,7	24,0	20,0	24,7	24,6	18,7	18,8	18,8
Sm	4,2	4,6	4,2	5,5	3,9	4,2	3,4	5,6	4,7	4,0	4,1	4,3	3,5	4,2	4,2	3,5	3,5	3,5
Eu	0,7	0,8	0,7	1,0	0,6	0,7	0,5	0,9	0,7	1,1	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Gd	3,3	3,4	2,9	3,7	2,7	3,0	2,2	3,9	3,7	4,1	3,2	3,4	2,9	3,3	3,2	3,0	3,0	3,0
Tb	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Dy	2,9	2,8	2,3	2,4	2,3	2,5	2,1	3,2	2,6	3,0	2,6	2,7	2,2	2,6	2,4	2,6	2,5	2,5
Ho	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
Er	1,7	1,6	1,3	1,4	1,3	1,5	1,4	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,3	1,5	1,3	1,5	1,6	1,6
Tm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Yb	1,7	1,6	1,3	1,3	1,2	1,5	1,4	1,8	1,5	1,7	1,5	1,4	1,2	1,4	1,3	1,5	1,5	1,5
Lu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Hf	3,4	2,9	2,9	2,7	2,1	2,9	3,3	3,3	3,6	3,7	2,9	2,8	3,5	2,9	3,6	4,0	3,1	3,1
Ta	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8
W	3,2	3,6	2,7	8,3	2,8	3,0	2,3	3,3	2,5	2,1	3,2	2,6	1,1	3,8	1,9	2,9	2,5	2,5
Tl	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	1,4	1,1	1,1	1,2	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	1,3	1,2	1,2
Pb	34,8	32,0	33,4	59,6	24,2	17,0	13,9	50,0	26,7	21,3	27,7	25,0	22,3	46,4	15,1	19,8	28,4	28,4
Bi	1,4	1,9	0,8	1,1	0,9	0,2	0,3	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	1,2	1,2
Th	14,1	13,2	12,4	13,9	15,9	17,9	13,0	13,5	15,9	16,3	18,6	18,3	13,8	19,1	18,8	16,6	13,4	13,4
U	5,0	4,3	3,7	4,5	3,5	4,3	5,1	4,9	5,7	6,7	4,5	4,7	4,6	4,3	4,9	6,3	4,4	4,4
ΣREE	154,3	173,6	154,4	214,9	147,5	172,2	121,9	209,1	160,1	135,3	134,4	141,0	124,9	147,8	146,9	108,6	109,8	109,8
Eu/Eu*	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7
La/n/Yb n	12,4	16,2	15,4	26,8	16,6	18,5	12,8	17,8	14,7	13,4	13,7	15,0	15,7	16,3	18,5	9,9	10,4	10,4
Gd/Yb n	1,6	1,8	1,7	2,2	1,7	1,6	1,3	1,8	2,0	1,7	1,7	1,9	1,8	1,9	2,1	1,6	1,7	1,7
ΣLREE	113,1	129,2	114,3	164,9	111,0	131,8	89,1	156,2	114,1	97,1	96,7	101,5	91,8	108,0	108,0	75,5	76,7	76,7
ΣHREE	4,5	4,2	3,5	3,6	3,4	4,0	3,6	4,7	3,9	4,6	3,9	3,9	3,4	3,8	3,4	4,0	4,1	4,1

Таблица 3
Средний химический состав (мас. %) сланцев курской серии КМА

	Сланцы курской серии (среднее по 18 анализам)	Постархейский сланец PAAS [3]
SiO ₂	59,67	62,8
TiO ₂	0,51	1
Al ₂ O ₃	15,20	18,9
Fe ₂ O ₃	12,17	6,5
MnO	0,05	0,1
MgO	3,27	2,2
CaO	0,23	1,3
Na ₂ O	0,28	1,2
K ₂ O	5,09	3,7
P ₂ O ₅	0,03	0,2

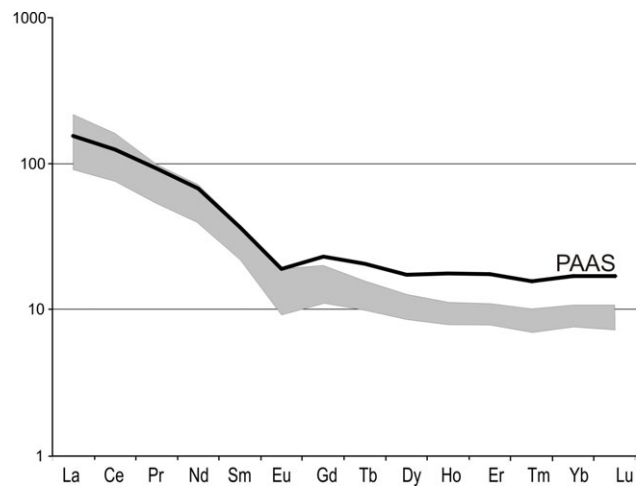


Рис. 1. Хондрит-нормализованное распределение редкоземельных элементов в сланцах курской серии (серое поле).

Таблица 4
Кларки концентрации элементов-примесей сланцев курской серии

Кларк концентрации	Элементы
10,0 – 100,0	Te, Bi, Se
1,0 – 10,0	Hf, Cs, Lu, Mo, W, U, Ag, Pb, Ba, Li, Rb, Ni, Sc, Co, Th, La, Cr, Sb
0,5 – 1,0	Ce, Ga, Zn, As, V, Fe, Sn, Cu, Tl, Pr, Tm, Ti, Nd, Eu, Zr, Sm, Dy
0,0 – 0,5	Y, Be, Er, Nb, Yb, Mn, Gd, Ta, Ho, Tb, Sr, P

Относительно PAAS сланцы курской серии обогащены литофильными элементами Ba (1,44*PAAS), Rb (1,29*PAAS), транзитными Ni (1,34*PAAS), высокозарядными U (1,51*PAAS), Pb (1,3*PAAS), Th (1,05*PAAS), сидерофильными Mo (2,45*PAAS), халькофильными Bi (2,6* PAAS). Повышенные концентрации в породах Ba и Rb могут объясняться присутствием в протолите значительного количества калиевого полевого шпата.

Суммарное содержание REE изменяется от 108 до 215 г/т, в среднем 151,3 ppm (PAAS – 183,0 ppm), наибольшие колебания содержаний характерны для LREE. Легкие редкие земли преобладают над средними и тяжелыми (LREE ср. – 111, MREE ср. – 36,4, HREE ср. – 3,9, La/Yb ср. – 22,1). Спектры распределения REE, нормализованные к составу хондрита, отличаются отрицательной европиевой аномалией (Eu/Eu* = 0,47 – 0,75, сред. 0,63) и значительным отрицательным наклоном ((La/Yb)_n = 9,9 – 26,8, (Gd/Yb)_n = 1,3 – 2,2) (рис. 1, табл. 2), что указывает на присутствие в детритовом материале продуктов эрозии пород кислого состава [3]. Высокая величина отношения легких редкоземельных элементов к тяжелым ((LREE/HREE)_n > 4) может обуславливаться высоким содержанием в протолите полевых шпатов.

Состав пород на палеоводосборах может быть оценен также и по значениям отношений ряда малых элементов, например, Cr/Th, Th/Co, Th/Sc, La/Sc. Низкие значения Cr/Th = (4,03–8,2, среднее 6,16), повышенные Th/Co = 0,2–1,3 (среднее 0,8), Th/Sc (0,82–1,97, среднее 1,26) и La/Sc (1,98–4,29, среднее 2,68) предполагают преобладание кислых пород в области размыва [4, 5, 6].

Интерпретация полученных результатов (природа источников сноса и состав протолита)

Для определения особенностей состава и степени изменения пород источников сноса сланцев курской серии были использованы такие широко применяемые петрохимические отношения, как индекс химического выветривания (CIA) [7], CIW [8], индекс зрелости осадков ICV [9], индекс изменения плагиоклаза (PIA) [10], калиевый модуль K₂O/Al₂O₃ [9].

На диаграмме М. Хиррона (рис. 2) точки составов изучаемых пород курской серии располагаются достаточно компактно и попадают преимущественно в поле глин, что предполагает наличие в исходном осадке значительного количества глинистых минералов.

Индекс CIA, характеризующий климатические условия в области размыва в изучаемых породах изменяется в достаточно широком диапазоне (59,4 – 76,

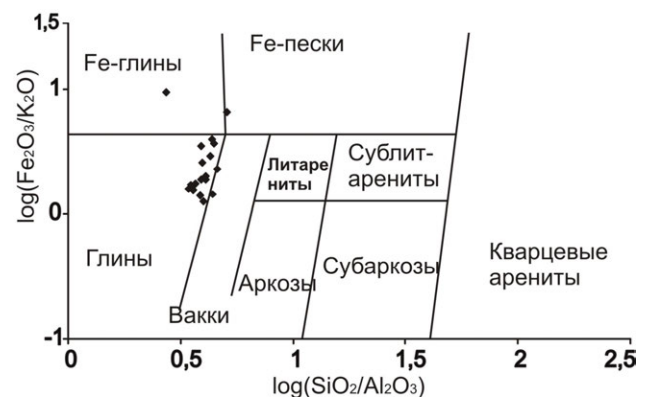


Рис. 2. Положение фигуративных точек углеродистых пород курской серии на диаграмме М. Хиррона [11].

среднее 69). Значение CIA = 70 принимается в качестве критерия для разграничения отложений, формирующихся при сильном (CIA = 70) и слабом (CIA = 70) выветривании. Значения индекса ICV колеблются в интервале 1,1 – 3. Незрелые исходные глинистые осадки с высоким процентом неглинистых силикатных минералов характеризуются значениями ICV более 1,0, в то время как более зрелые глинистые породы, состоящие в основном из глинистых минералов, имеют значение ICV менее 1,0.

Величина CIW возрастает с ростом степени выветрелости материала палеоводосборов. Для слабоизмененных докембрийских базальтов и гранитов индекс CIW составляет 76 – 59, в корях выветривания по указанным породам он достигает 94 – 98. Значения индекса CIW в изучаемых породах находятся в пределах 72,3 – 97,6, в среднем 91,8. Степень химического выветривания также может быть оценена с использованием индекса изменения плагиоклаза PIA. Невыветрелые полевые шпаты характеризуются значениями PIA = 50, в то время как в PAAS имеет значение PIA = 79. В изучаемых породах значения PIA находятся в пределах 65,9 – 96,2. Высокие значения индексов CIW и PIA свидетельствуют о достаточно высокой, хотя и дифференцированной степени выветривания на размываемых площадях. В то же время, значения индекса CIA в интервале 59,4 – 76, значения ICV более 1, указывают на присутствие в протолите слабыветрелых продуктов, что свидетельствует, по видимому, о различных источниках сноса с различной степенью зрелости терригенного материала. Значения K_2O/Al_2O_3 в сланцах составляют 0,21–0,5. Исходя из этого, можно полагать, что источником протолита для изучаемых пород являлись как достаточно зрелые породы (присутствие в исходных осадках глинистых минералов), так и менее измененный петрогенный материал кислого состава (обогащение протолита КПШ). Косвенным свидетельством присутствия

в протолите КПШ являются и повышенные содержания в породах Ba и Rb. Диаграмма F1 – F2, используемая для определения состава пород в областях питания, показывает, что источником тонкой алюмосиликокластики для большинства изученных образцов являлись обогащенные кварцем осадочные образования, а также магматические породы кислого и среднего состава. Анализ диаграммы (рис. 3) F1 – F2, используемой для определения состава пород в областях питания, показывает, что источником тонкой алюмосиликокластики для большинства изученных образцов являлись как переотложенные метаосадочные породы, так и магматические кислого и среднего состава.

Для реконструкции особенностей состава пород в областях размыва также были использованы отношения ряда индикаторных элементов (K, Rb, Zr, Sc, Th, Co, La, Hf, Eu) и построены соответствующие графики. Анализ систематики этих элементов в сланцах, выполненный с использованием диаграмм (рис. 4), указывает на преобладание в областях размыва пород кислого состава, продукты разрушения которых являлись протолитом сланцев курской серии.

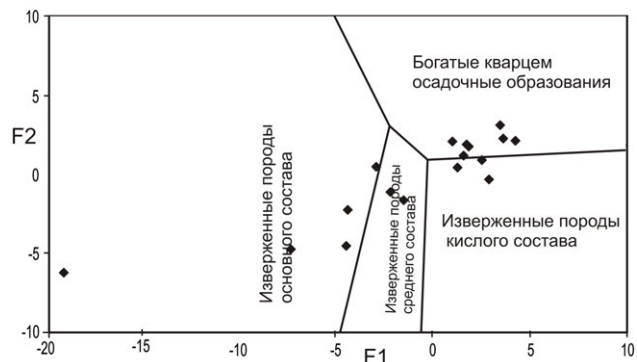


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов сланцев курской серии на диаграмме F1 – F2 [12].

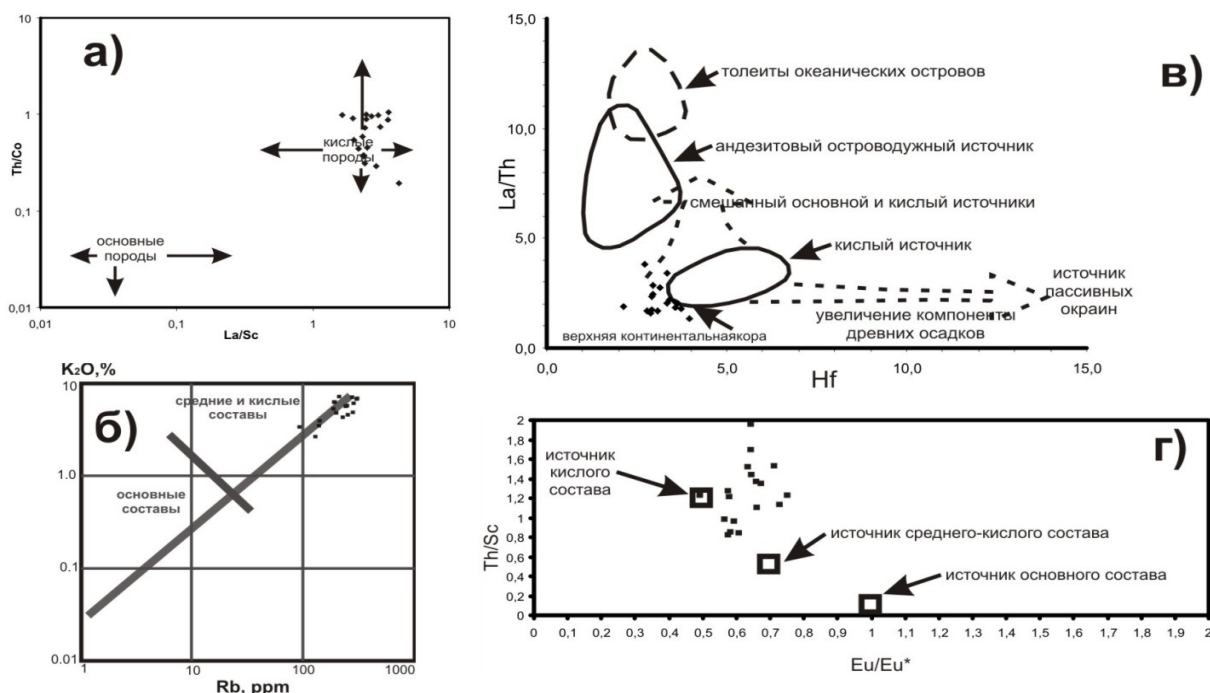


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов сланцев курской серии на дискриминационных диаграммах: а) [5]; б) [13]; в) [13]; г) [14].

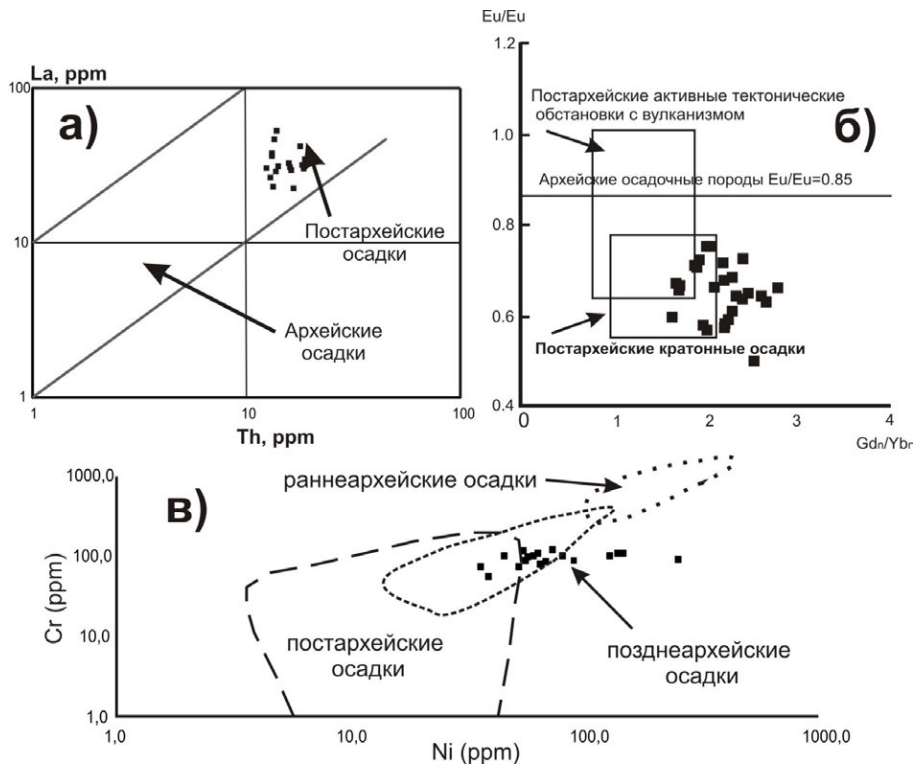


Рис. 5. Положение фигуративных точек составов сланцев курской серии на дискриминационных диаграммах: а) [3]; б) [15]; в) [16].

Сланцы курской серии по своим геохимическим характеристикам (рис. 5 а, б, $Eu-Eu^* \leq 0,85$) являются типичными постархейскими осадками. На диаграмме в координатах Cr – Ni (рис. 5 в) точки составов пород попадают как в поле постархейских осадков, так и позднеархейских пород, что может свидетельствовать о значительном присутствии в составе протолита продуктов разрушения позднеархейских магматических пород.

Вместе с тем, анализ диаграмм (рис 6 а, б) свидетельствует о присутствии в протолите не только продуктов разрушения магматических, но и значительного количества переотложенных осадочных пород, что может свидетельствовать также о рециклинге предшествующих осадков сланцев. Большая степень разброса образцов предполагает, что предшествующие осадки сланцев могли поступать из различных источников.

Заключение

Результаты исследования литогеохимических особенностей сланцев курской серии показали, что в представленной выборке образцов присутствовали исходно глинисто-алевритовые породы, содержащие также примесь обломочных полевых шпатов. Сланцы отличаются повышенными содержаниями литофильных элементов Ba (1,44*PAAS), Rb (1,29*PAAS), высокозарядных U (1,51*PAAS), Pb (1,3*PAAS), Th (1,05*PAAS), сидерофильных Mo (2,45*PAAS), халькофильных Bi (2,6* PAAS). На основе анализа систематики петрогенных, а также малых, редких и редкоземельных элементов с использованием ряда дискриминационных диаграмм установлено, что в протолите сланцев курской серии преобладали продукты разрушения кислых магматических пород, а также близких к ним по химическому составу переотложенных

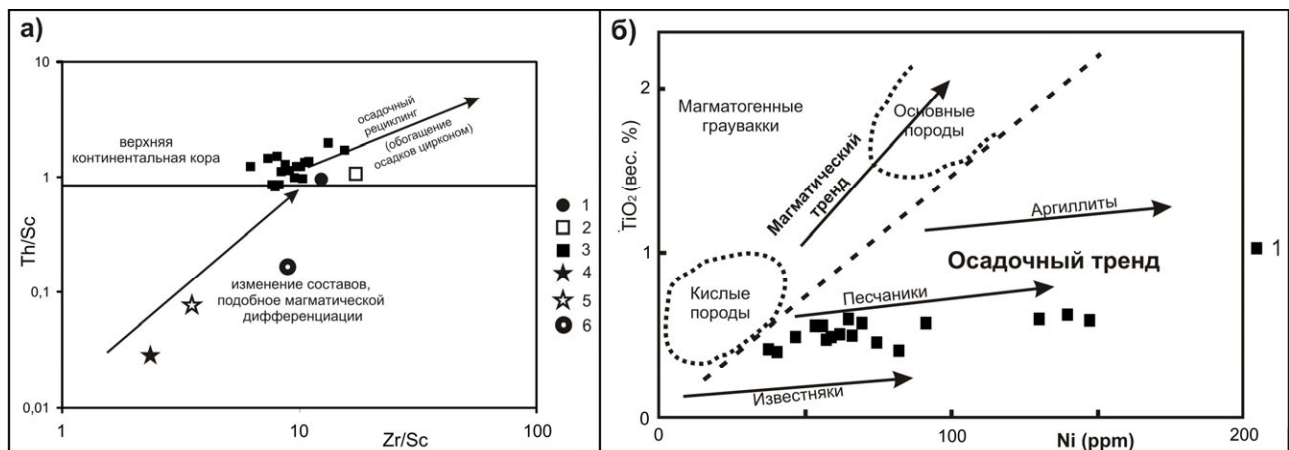


Рис. 6. Положение фигуративных точек составов сланцев курской серии на дискриминационных диаграммах: а) [16]. Условные обозначения: 1 – PAAS, 2 – UCC [3]; 3 - сланцы курской серии, 4 – базальты, 5 – андезиты, 6 – дациты; б) [17], где 1 – сланцы курской серии.

осадочных пород. Результаты исследований указывают на различную степень выветривания на размываемых площадях, и участие в формировании протолита для сланцев курской серии как достаточно зрелых пород (присутствие в исходных осадках глинистых минералов), так и менее измененного петрогенного материала кислого состава (обогащение протолита КПШ), что свидетельствует о различных источниках сноса с различной степенью зрелости терригенного материала.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ грант № 11-05-12050-офи-м-2011; РФФИ грант № 12-05-31194-мол_а; «Программы стратегического развития ВГУ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Полищук, В. Д. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии / В. Д. Полищук [и др.]. – М.: Недра, 1970. – Т. 1, кн. 1: Докембрий. – 440 с.
2. Плаксенко, Н. А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии / Н. А. Плаксенко. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1966. – 264 с.
3. Тейлор, С. Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннон. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
4. Condie, K. C. Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution / K. C. Condie, D. J. Wronkiewicz // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1990. – V. 97. – P. 256–267.
5. Cullers, R. L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies / R. L. Cullers // *Lithos.* – 2000. – V. 51. – P. 181–203.
6. Cullers, R. L. Elemental distributions and neodymium isotopic compositions of Silurian metasediments, western Maine, USA: redistribution of the rare earth elements / R. L. Cullers, B. Bock, C. Guidotti // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1997. – V. 61. – P. 2231–2238.
7. Nesbitt, H. W. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites / H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Nature.* – 1982. – V. 229. – P. 715–717.
8. Harnois, L. The CIW index: A new chemical index of weathering // *Sedimentary Geology.* – 1988. – V. 55. – P. 319–322.
9. Cox, R. Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review / R. Cox, D. R. Lowe // *J. Sediment. Res.* – 1995. – V. 65. – P. 1–12.
10. Fedo, C. M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance / C. M. Fedo, H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Geology.* – 1995. – V. 23. – P. 921–924.
11. Herron, M. M. Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data / M. M. Herron // *J. Sed. Petrol.* – 1988. – V. 58. – P. 820–829.
12. Roser, B. D. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data / B. D. Roser, R. J. Korsch // *Chem. Geol.* – 1988. – V. 67. – P. 119–139.
13. Floyd, P. A. Tectonic environment of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones / P. A. Floyd, B. E. Leveridge // *J. Geol. Soc. London.* – 1987. – V. 144. – P. 531–542.
14. Cullers, R. L. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia / R. L. Cullers, V. N. Podkovyrov // *Precambrian Res.* – 2002. – V. 117. – P. 157–184.
15. Taylor, S. R. The geochemical evolution of the continental crust / S. R. Taylor, S. M. McLennan // *Rev. Geophys.* – 1995. – V. 33. – P. 241–265.
16. McLennan, S. M. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments (Johnsson, M. J., Basu, A., eds.) // *Geology Society of America Special Paper.* – 1993. – V. 284. – P. 21–40.
17. Floyd, P. A. Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, NW Scotland. *Precambrian Research* / P. A. Floyd, J. A. Winchester, R. G. Park. – 1989. – V. 45. – P. 203–214.

Воронежский государственный университет

Кузнецов В. С., кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии
E-mail: voronezhpodkl@inbox.ru
Тел.: 8-473-220-79-66

Абрамов В. В., кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии
E-mail: avova82@inbox.ru; Тел.: 8-473-220-79-66

Voronezh State University

Kuznetsov V. S., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrography and Geochemistry Department
E-mail: voronezhpodkl@inbox.ru; Tel.: 8-473-220-79-66

Abramov V. V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrography and Geochemistry Department. E-mail: avova82@inbox.ru