

МРНТИ 52:35.29:38.33.15

А.Н. Копобаева<sup>1</sup>, \*А. Амангелдіқызы<sup>1</sup>, Е.М. Казтаев<sup>2</sup>, Н.С. Асқарова<sup>1</sup><sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),  
<sup>2</sup>ТОО «Kazakhmys Barlau» (г. Караганда, Казахстан)

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛАСТА $k_7$ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

**Аннотация.** Целью настоящей работы является изучение геохимических особенностей пласта  $k_7$  Карагандинского угольного бассейна. Для диагностики геохимических особенностей изучены 22 пробы угля пласта  $k_7$ , которые анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP-MS. По результатам геохимического анализа установлены повышенные содержания **Sc-V-Y-Zr-Hf-Li** по сравнению с кларковым содержанием в пласте  $k_7$ . Также по результатам анализов ICP-MS построены графики распределения элементов-примесей и построена каркасная модель пласта с графиками распределения РЗЭ в ПО К-Mine, в которой установлено повышенное содержание элементов – **La, Ce, Nd, Sm** в Саранской шахте и элементов **Tm, Eu** в Актаской шахте. Установлена связь обогащения редкоземельных элементов с пирокластическим материалом в пласте  $k_7$  и определен его первичный состав как средний и щелочной вулканизм.

**Ключевые слова:** пласт  $k_7$ , геохимия, редкоземельные элементы, пирокластический материал, уголь.

### Қарағанды көмір бассейнінің $k_7$ қабатының геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу

**Аннотация.** Бұл жұмыстың мақсаты Қарағанды көмір бассейнінің  $k_7$  қабатының геохимиялық ерекшеліктерін зерттеу болып табылады. Геохимиялық ерекшеліктерді диагностикалау үшін ICP-MS плазмасымен индуктивті байланысқан масс-спектрометрия әдісімен талданған  $k_7$  қабатының 22 көмір сынамаһы зерттелді. Геохимиялық талдау нәтижелері бойынша  $k_7$  қабатындағы кларктық құрамымен салыстырғанда **Sc-V-Y-Zr-Hf-Li** жоғары құрамы анықталды. Сондай-ақ, ICP-MS талдауларының нәтижелері бойынша элемент-қоспаларды болу графикаһы салынды және Саран шахтасындағы – **La, Ce, Nd, Sm** элементтерінің және Актас шахтасындағы **Tm, Eu** элементтердің жоғары құрамы белгіленген. СЖЭ таралуы бойынша К-Mine бағдарламасында қабаттың қаңқалық графикаһы бар моделі құрылды. Сирек жер элементтерін  $k_7$  қабатындағы пирокластический материалмен байыту байланысы орнатылды және оның бастапқы құрамы орташа және сілтілі вулканизм ретінде анықталды.

**Түйінді сөздер:**  $k_7$  қабаты, геохимия, сирек жер элементтері, пирокластический материал, көмір.

### Study of geochemical features of the $k_7$ formation of the Karagandy coal basin

**Abstract.** The purpose of this work is to study the geochemical features of the  $k_7$  formation of the Karaganda coal basin. To diagnose geochemical features, 22 samples of coal from the  $k_7$  formation were selected, which were analyzed by mass spectrometry with inductively coupled plasma ICP-MS. According to the results of geochemical analysis, rare metal **REE-Sc-V-Y-Zr-Hf-Li** mineralization in the  $k_7$  formation was determined. Also, based on the results of ICP-MS analyses, graphs of the distribution of elements were constructed and a frame model of the formation with REE distribution graphs was constructed, in which increased concentrations of elements – **La, Ce, Nd, Sm** in the Saransk mine and **Tm, Eu** elements in the Aktau mine were established. The relationship of the enrichment of rare earth elements with pyroclastic material in the  $k_7$  formation has been established and its primary composition as medium and alkaline volcanism has been determined.

**Key words:**  $k_7$  seam, geochemistry, rare earth elements, pyroclastics, coals.

### Введение

Согласно Концепции развития топливно-экономического комплекса Республики Казахстан до 2030 года и перехода к зеленой экономике расширение масштабов применения угля должно дать мощный толчок к исследованиям и разработки экологически чистых технологий добычи и сжигания угля, а также его переработки [1]<sup>1</sup>. В последние годы в связи с постоянным ростом цен на нефть, сокращением ее запасов, высокими затратами на разведку новых месторождений во многих странах мира продолжают интенсивно проводиться работы по совершенствованию глубокой переработки угля. Это предполагает рассмотрение углей как потенциального источника редкоземельных, ценных и благородных металлов.

Угли, а также его отходы могут содержать повышенные концентрации элементов примесей, содержания которых в отдельных случаях достигают промышленно значимых концентраций [2, 3]. В последние десятилетия уже на практике было открыто много месторождений **Ge, Li, Sc**, лантаноидов и других критических металлов, связанных с угольными месторождениями во многих странах [4, 6].

Карагандинский угольный бассейн является одним из наиболее угленосных и ценных в промышленном отношении для всего Казахстана. Уникальные ресурсы угля требуют комплексного и научно-обоснованного подхода к их

изучению. Изучение геохимических особенностей пласта  $k_7$  позволит рассмотреть его как потенциальный источник редкоземельных металлов и закономерности их распределения.

### Методика исследования

В предлагаемой работе для изучения геохимических особенностей элементов-примесей в угольном пласте  $k_7$  Карагандинского угольного бассейна были изучены 22 пробы углей пласта  $k_7$  Саранской и Актаской шахт. Для проведения исследований и получения представительных результатов был проведен вертикальный отбор проб (борздовым способом) из слоев угля и вмещающих пород мощностью 0,05-0,20 м. Отобранные пробы прошли пробоподготовку в ТОО «Азимут Геология»; аналитические исследования методом ICP-MS (таб. 1) проведены в лаборатории Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН).

### Результаты

В структурном отношении пласт  $k_7$  приурочен к центральной части северо-западного крыла Карагандинской синклинали, по условию залегания простирается в северо-западном направлении от Саранской к Актаской шахте (рис. 2).

<sup>1</sup>Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан: офиц. сайт. Астана. Обновляется в течение суток. URL: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 15.10.2023).

Таблица 1

*Химический состав проб из Актасской и Саранской шахты*

Кесте 1

*Ақтас және Саран шахталарының сынамалардың химиялық құрамы*

Table 1

*The chemical content of samples from the Aktass and Saransk mines*

Элемент	кларк угля	UCC	УВ-1	УВ-2	УВ-3	УВ-4	УВ-5	УН-1	УН-2	УН-3	УН-4	УН-5	Сред. по угля Саран	УВ-26	УВ-27	УВ-28	УВ-29	УВ-30	УВ-31	УН-26	УН-27	УН-28	УН-29	УН-30	УН-31	Сред. по угля Актас
Li	14,0		4,9	12,6	6,7	3,9	7,4	13,4	37,2	9,7	3,8	10,0	11,0	14,5	12,4	20,6	8,3	22,6	14,3	10,9	7,9	15,3	13,4	10,2	13,4	13,7
Be	2,0		0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Sc	3,7		3,8	4,8	3,9	3,6	4,3	5,8	4,2	4,9	2,9	4,3	4,2	4,8	5,8	5,6	4,4	6,3	5,3	4,3	4,3	5,0	5,6	6,3	6,6	5,4
V	28,0		29,3	37,1	39,7	28,1	18,9	30,9	30,9	30,1	26,2	30,4	30,2	34,0	36,7	37,2	33,1	38,8	38,3	24,2	31,2	35,3	37,1	38,7	39,5	35,4
Cr	17,0		1,5	2,8	2,3	2,7	1,7	2,3	6,5	2,6	1,7	1,8	2,6	2,3	2,0	2,8	1,7	2,5	2,3	1,7	2,1	2,5	2,3	1,7	2,5	2,2
Co	6,0		3,9	3,1	3,4	4,1	2,8	2,8	2,4	2,5	3,4	3,0	3,1	4,1	3,3	3,4	3,9	3,8	3,1	4,6	4,7	3,9	3,8	3,3	3,3	3,8
Ni	17,0		2,2	2,7	2,6	2,9	2,0	2,6	3,0	2,7	3,0	2,9	2,7	1,6	2,2	2,4	1,4	1,8	1,3	2,0	2,2	2,1	1,6	1,6	1,7	1,8
Cu	16,0		14,2	15,4	27,5	11,8	7,7	14,9	15,1	14,7	12,6	15,8	15,0	14,3	17,8	16,2	11,0	13,7	13,6	12,4	12,0	17,3	15,1	11,9	13,4	14,1
Zn	28,0		11,5	23,0	10,9	9,0	9,3	11,4	16,4	12,1	9,1	8,3	12,1	16,8	13,2	15,1	7,8	19,0	16,3	12,3	7,5	15,8	7,1	10,0	12,6	12,8
Ga	6,2		1,3	2,9	1,8	1,3	1,9	3,0	8,1	2,1	1,8	2,8	2,7	3,4	2,8	4,7	2,1	5,0	3,4	2,4	1,9	3,5	3,4	2,5	3,1	3,2
Ge	2,5		0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
As	9,0		0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	1,1	0,1	0,3	0,3	1,2	3,5	4,5	0,3	1,0	0,2	0,2	0,5	3,0	4,3	0,4	1,3	1,7
Se	1,6		1,0	1,2	1,1	0,9	1,1	1,0	1,5	1,1	0,8	1,0	1,1	1,0	1,2	0,9	0,6	0,9	0,6	0,5	0,8	0,9	0,8	0,6	1,0	0,8
Rb	18,0		0,6	1,4	0,8	0,6	1,1	1,4	4,8	1,2	0,7	1,3	1,4	1,5	1,2	2,2	0,9	1,9	1,5	1,0	0,9	1,5	1,5	1,1	1,3	1,4
Sr	100,0		70,5	52,5	42,8	72,8	93,5	53,8	71,5	72,1	47,3	47,3	62,4	82,0	88,6	74,3	108,2	76,0	63,7	72,4	98,6	105,5	77,0	104,6	67,2	84,8
Y	8,2		16,4	13,7	8,7	13,7	9,8	7,6	6,1	8,7	5,0	6,0	9,6	10,3	8,1	8,8	10,2	8,0	7,9	12,6	11,9	9,8	9,0	8,2	8,4	9,4
Zr	36,0		44,6	63,4	51,5	50,7	26,5	34,6	36,4	43,4	29,6	35,7	41,6	49,3	48,2	50,5	52,5	61,3	51,1	41,2	51,9	54,1	46,2	52,4	55,7	51,2
Nb	4,0		0,6	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5	1,7	0,9	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	1,2	0,9	0,6	0,7	1,3	1,1	0,9	0,9	0,9
Mo	2,1		0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,7	0,7	0,1	0,3	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	0,2
Ag	0,1		0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cd	0,2		0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Sn	1,4		0,2	0,2	1,5	0,3	0,7	0,3	0,7	0,3	0,2	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Sb	1,0		0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,1	0,3
Te	0,1		0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cs	1,1		0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ba	150,0		15,9	19,3	12,4	13,9	15,5	18,4	61,1	37,7	10,4	15,8	22,0	24,7	20,3	28,3	20,8	31,6	21,2	18,3	24,8	29,2	22,6	19,6	22,0	23,6
Hf	1,2		1,1	1,5	1,3	1,2	0,7	0,9	1,2	1,1	0,7	0,9	1,1	1,5	1,4	1,5	1,6	1,7	1,5	1,1	1,5	1,6	1,3	1,5	1,6	1,5
Ta	0,3		0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
W	1,0		0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tl	0,6		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb	9,0		2,6	3,3	3,2	2,5	1,6	2,3	4,4	3,5	1,9	2,1	2,7	4,0	3,7	3,9	3,3	5,0	3,1	2,4	3,2	4,8	3,6	3,7	3,4	3,7
Bi	1,1		0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Th	3,2		0,8	1,2	0,9	0,8	0,7	0,7	3,7	1,0	0,5	0,7	1,1	1,2	1,1	1,2	0,8	1,3	1,1	0,9	0,9	1,2	0,9	0,8	1,0	1,0
U	1,9		0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,4	0,2	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
La	11,0	30,0	7,3	7,5	3,8	7,5	3,4	4,8	6,5	6,5	4,8	4,2	5,6	6,7	5,3	7,0	5,4	5,7	5,7	7,2	7,2	8,6	5,0	3,8	5,9	6,1
Ce	23,0	64,0	17,1	17,4	8,5	16,9	7,2	9,5	14,5	14,2	9,5	8,6	12,4	15,0	11,7	15,7	12,5	12,4	12,5	16,0	16,4	18,8	11,2	8,4	13,5	13,7
Pr	3,5	7,1	2,1	2,1	1,2	2,1	0,9	1,2	1,5	1,6	1,2	1,1	1,5	2,0	1,5	2,0	1,7	1,6	1,6	2,2	2,2	2,4	1,5	1,1	1,8	1,8
Nd	11,0	26,0	10,5	10,0	5,7	9,7	4,5	5,7	6,3	7,3	5,3	4,9	7,0	9,0	6,7	9,0	8,1	6,9	7,2	10,0	10,1	10,6	6,7	4,9	7,9	8,1
Sm	2,4	4,5	2,5	2,4	1,5	2,3	1,3	1,4	1,4	1,7	1,1	1,2	1,7	2,1	1,6	2,0	1,9	1,6	1,6	2,3	2,3	2,2	1,7	1,2	1,8	1,8
Eu	0,4	0,9	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
Gd	2,7	3,8	2,9	2,5	1,6	2,4	1,6	1,5	1,3	1,8	1,1	1,3	1,8	2,1	1,6	2,1	2,0	1,7	1,7	2,4	2,4	2,1	1,7	1,3	1,8	1,9
Tb	0,3	0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
Dy	2,1	3,5	2,6	2,3	1,5	2,2	1,4	1,3	1,0	1,6	0,9	1,0	1,6	2,1	1,6	1,8	2,0	1,6	1,5	2,3	2,3	2,0	1,8	1,5	1,7	1,9
Ho	0,6	0,8	0,5	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4
Er	0,9	2,3	1,4	1,4	0,9	1,2	0,9	0,7	0,6	0,9	0,5	0,6	0,9	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,4	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,2
Tm	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Yb	1,0	2,2	1,1	1,4	0,8	1,0	0,9	0,7	0,7	1,0	0,5	0,6	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1
Lu	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Осадконакопление углей пласта  $k_7$  и в целом Карагандинского угольного бассейна представлено в основном девонскими вулканогенно-осадочными породами ( $D_3$ ) и угленосными свитами каменноугольного возраста ( $C_1$ ) (рис. 1) [7].

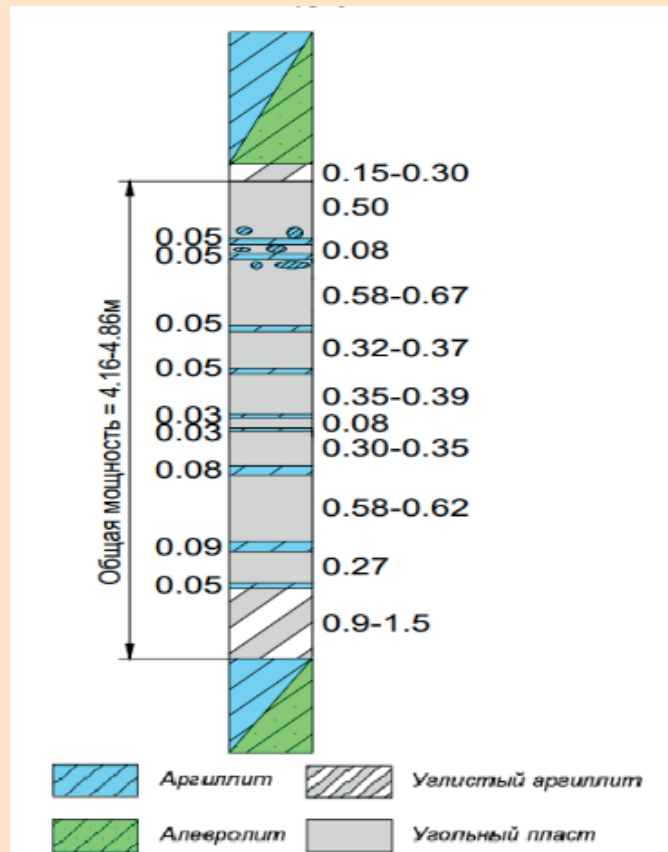


Рис.1. Структурная колонка пласта  $k_7$ .  
Сурет 1.  $k_7$  қабатының құрылымдық бағанасы.  
Figure 1. Structural column of the  $k_7$  formation.

По мощности (3,0-5,0м) пласт  $k_7$  относится к среднему типу пластов и имеет сложное строение. По залеганию пласт  $k_7$  имеет угол падения переменный и варьируется (от 0 до 20°). Находится на горизонте (-100) – (-30), после маломощных пластов  $k_9$  и  $k_8$  (до 1,0 м).

На рисунке 2 приведено строение каркаса пласта  $k_7$ , построенного с использованием нескольких исторических скважин шахты Саранская и Актаская, в программе K-Mine.

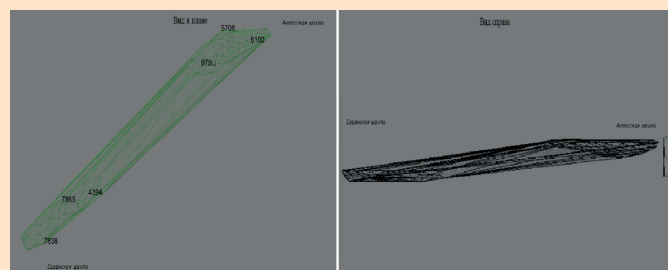


Рис. 2. Каркасная модель пласта  $k_7$ .  
Сурет 2.  $k_7$  қабатының каркасты моделі.  
Figure 2. Frame model of the  $k_7$  formation.

По результатам аналитических исследований (табл. 1) отмечается повышенное содержание некоторых элементов по сравнению с их кларковыми значениями в углях [5].

Средние содержания элементов-примесей в углях пласта  $k_7$ , где производился отбор проб, показан на рисунке 3, где наблюдается превышение кларковых содержаний РЗЭ ( $Tb, Ho, Lu$ ), переходных металлов ( $Sc, V, Y, Zr, Hf$ ) и лития ( $Li$ ) (рис. 3).

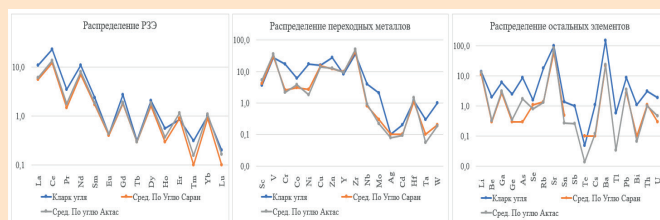


Рис. 3. График распределения элементов примеси.  
Сурет 3. Ліспе элементтерінің таралу графигі.  
Figure 3. Graph of the distribution of impurity elements.

Используя построенный каркас и результаты аналитических данных с помощью программы K-mine, были созданы графики распределения РЗЭ по пласту  $k_7$ . Исходя из этих графиков было выделено 3 группы с аналогичными распределениями элементов по пласту.

К 1-ой группе относятся легкие лантаноиды ( $La, Ce, Nd, Sm$ ). Минимальные содержания  $La$  (3,4-5,6 г/т),  $Ce$  (7,2-12,4 г/т),  $Nd$  (4,9-7,0 г/т),  $Sm$  (1,2-1,7 г/т) наблюдаются на шахте Актаская, но высокие содержания  $La$  (5,7-6,1 г/т),  $Ce$  (12,4-18,8 г/т),  $Nd$  (7,2-10,6 г/т),  $Sm$  (2,0-2,2 г/т) выявлены в Саранской шахте (рис. 4).

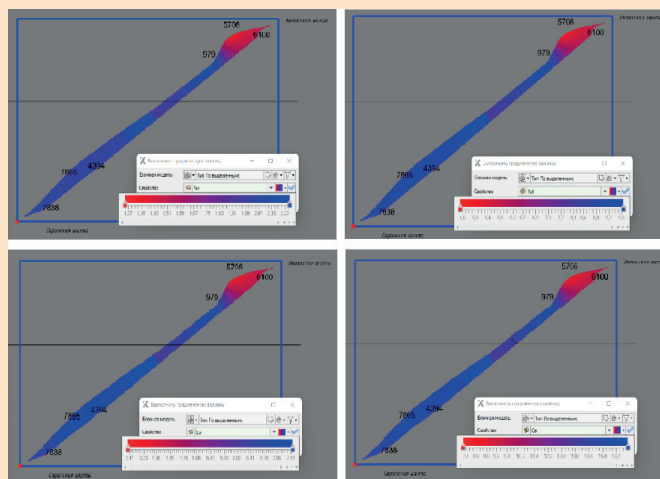


Рис. 4. 1-ая группа.  
Сурет 4. 1-ші топ.  
Figure 4. 1st group.

2-ая группа (рис. 5). Распределение почти схожее с первой группой. Минимальные значения  $Eu$  и  $Ho$  (0,3-0,4 г/т),  $Tb$  (0,2-0,4 г/т) наблюдаются на шахте Актаская, средние содержания  $Eu, Ho, Tb$  (0,4-0,5 г/т) на Саранской, а более высокие ( $Eu, Ho, Tb > 0,6$  г/т) находятся на фланговых частях.

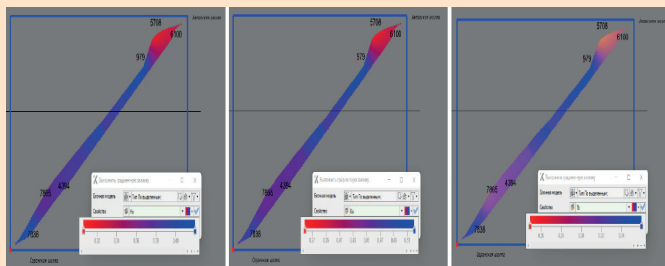


Рис. 5. 2-ая группа.  
Сурет 5. 2-ші топ.  
Figure 5. 2nd group.

3-я группа, по которой установлено, что распределение идет от запада к северо-востоку, пиковые содержания  $Tm$ ,  $Lu$  ( $> 0,2$  г/т) определены на Актасской шахте (рис. 6).

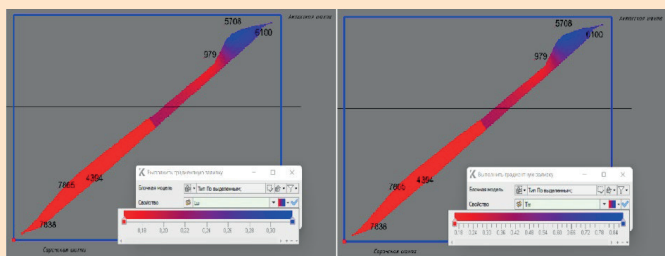


Рис. 6. 3-ая группа.  
Сурет 6. 3-ші топ.  
Figure 6. 3rd group.

Из изложенного видно, что угли пласта  $k_7$  обогащены различными редкоземельными элементами.

Многочисленные исследования свидетельствуют о значительных различиях химического состава углей. Так, угольные месторождения, в некоторых случаях отдельные пласты месторождения весьма неоднородны по уровням накопления элементов-примесей. Уровни накопления и закономерности распределения элементов-примесей в углях определяются совокупностью геологических факторов, которые прослеживаются на протяжении всего процесса угленакопления. Одним из основных геологических факторов, влияющих на формирование геохимического облика бассейна осадконакопления, является состав исходных пород.

По ранее полученным данным (Черновьянц, 1992) установлено, что угольные пласты Карагандинского угольного бассейна показали высокую насыщенность их тонштейнами (глинистые прослои внутри угольных пластов), в составе которых отмечаются высокие концентрации многих элементов-примесей. Предполагается, что это обусловлено влиянием вулканизма, субсинхронного с торфонакоплением и материалом, сформировавшим внутриугольные прослои, служив вулканический пепел различного состава [8]. Известно, что в процессе угленакопления пирокластический материал, повлиявший на формирование тонштейнов, подвергается изменениям. Несмотря на сложность восстановления, для диагностики исходного состава пирокластического материала существует ряд индикаторных элементов, модели

распределения РЗЭ, классификационная диаграмма Винчестера и Флойда ( $Nb/Y-Zr/TiO_2$ ), а также петрохимические модули, в том числе титановый модуль [8-11]. Для диагностики состава исходного пирокластического материала построена классификационная диаграмма Винчестера и Флойда [9] (рис. 7). Согласно диаграмме пробы, отобранные с пласта  $k_7$ , расположились в областях риодацитов и андезитовой пирокластике, также в меньшей степени риолитовой.

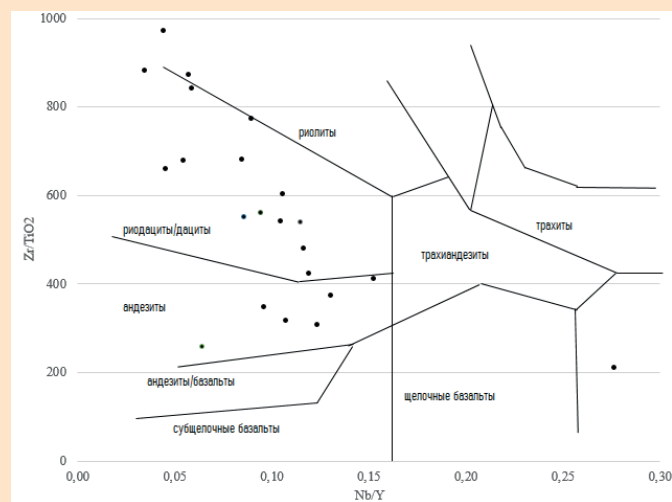


Рис. 7. Классификационная диаграмма пирокластического материала пласта  $k_7$ .  
Сурет 7.  $k_7$  қабатының пирокластикалық материалының жіктеу диаграммасы.

Figure 7. Classification diagram of pyroclastic material of the  $k_7$  formation.

Дополнительным параметром, позволяющим определить состав исходной вулканогенной пирокластике, как было сказано выше, является титановый модуль ( $TM - TiO_2/Al_2O_3$ ). Исследования Д.А. Спирса [10] показывают, что  $TiO_2/Al_2O_3$  отношение больше 0,06 характерно для пирокластике основного состава, меньше 0,02 – для кислого. Промежуточные значения характерны для вулканических пеплов среднего и щелочного составов.

В таблице (табл. 2) приведено соотношение  $TiO_2/Al_2O_3$  пласта  $k_7$ , которое варьируется от 0,02 до 0,05. Величина  $TM$  указывает на то, что пепловый состав для пирокластического материала пласта  $k_7$  Карагандинского бассейна состоит из среднего и щелочного составов.

### Заключение

В результате проведенных исследований получена дополнительная информация о геохимических характеристиках углей пласта  $k_7$ . Угли пласта  $k_7$  Карагандинского угольного бассейна характеризуются повышенными содержаниями  $Tb$ ,  $Ho$ ,  $Lu$ ,  $Sc$ ,  $V$ ,  $Y$ ,  $Zr$ ,  $Hf$ ,  $Li$ . По распределению элементов-примесей выделены 3 группы, которые в свою очередь выделяются на построенной каркасной модели и показывают степень распределения редкоземельных элементов по пласту  $k_7$  в шахтах Актасская и Саранская.

Таблица 2

Соотношение элементов в пласте к<sub>7</sub>

Кесте 2

к<sub>7</sub> қабатындағы элементтердің қатынасы

Table 2

The ratio of elements in the k<sub>7</sub> formation

Название	Zr/TiO <sub>2</sub>	Nb/Y	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
УВ-1	881,7	0,035	0,051	2,011	0,025
УВ-2	841,7	0,059	0,075	3,456	0,022
УВ-3	771,7	0,09	0,067	2,54	0,026
УВ-4	969,7	0,045	0,052	2,023	0,026
УВ-5	676,5	0,055	0,039	2,61	0,015
УН-1	257,9	0,064	0,134	3,553	0,038
УН-2	209,3	0,276	0,174	8,849	0,02
УН-3	600,9	0,106	0,072	2,891	0,025
УН-4	422,1	0,119	0,07	2,455	0,029
УН-5	315,6	0,107	0,113	3,748	0,03
УВ-26	549,4	0,086	0,09	3,232	0,028
УВ-27	559,8	0,095	0,086	3,035	0,028
УВ-28	345,9	0,096	0,146	4,132	0,035
УВ-29	680,4	0,085	0,077	2,02	0,038
УВ-30	409,5	0,153	0,15	4,548	0,033
УВ-31	479,2	0,117	0,107	3,532	0,03
УН-26	658,5	0,045	0,063	2,527	0,025
УН-27	872	0,057	0,06	1,894	0,031
УН-28	372,8	0,131	0,145	3,185	0,046
УН-29	305,6	0,124	0,151	3,11	0,049
УН-30	537,8	0,115	0,097	2,432	0,04
УН-31	539,5	0,105	0,103	3,132	0,033

Определены данные, которые доказывают влияние пеплового материала на химический состав углей пласта к<sub>7</sub> Карагандинского бассейна. Согласно полученным результатам на накопление элементов-примесей в углях пласта к<sub>7</sub> повлияла вулканогенная пирокластика среднего и щелочного состава. Исходным материалом, послужившим для формирования породного прослоя в углях, мог

быть вулканический пепел риодацитового и андезитового состава.

*Данная статья подготовлена по результатам исследований, финансируемых Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP13067779).*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция по переходу Республики Казахстан к «Зеленой экономике». Утверждена Указом Президента Республики Казахстан №577 от 30 мая 2013 года (на русском языке)
2. Dai S. Уголь как многообещающий источник критических элементов: прогресс и перспективы на будущее. / S. Dai, R.B. Finkelman. // Журнал «Угольная геология». 2018. №186. С. 155-164 (на английском языке)
3. Dai S. Выявление условий залегания торфа в угле: обзор. / S. Dai, A. Bechtel, K.F. Ebl, R.M Flores., D. French, I.T. Graham, M.M. Hood, J.K. Hauer, V.A. Korasidis, T.A. Moore, V. Puttmann, K. Wei, L. Zhao, J.M.K. O'Keefe. // Международный журнал геологии угля. 2020. С. 219 (на английском языке)
4. Li J. Новые данные по минералогии и геохимии углей с высоким содержанием Ge на угольном месторождении Имин, Внутренняя Монголия, Китай. / J. Li, H. Zhuang, H. Kerol, O. Font, M. Izquierdo, Z.Wang. // Журнал «Угольная геология». 2014. №125. С. 10-21 (на английском языке)
5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях: Екатеринбург: УрО РАН, 2006, С. 538 (на русском языке)

6. Амангелдықызы А. Исследование распространенности редкоземельных металлов в углях главных угольных бассейнов Центрального Казахстана: дис. ... PhD 6D070600. Караганда: 2021. 202 с. (на русском языке)
7. Дрижд Н.А., Ахматнуров Д.Р., Захаров А.М. Оценка методов метанобезопасности на шахтах Карагандинского бассейна: Монография. Карагандинский государственный технический университет: Караганда, изд-во КарГТУ, 2016. С. 10-12 (на русском языке)
8. Арбузов С.И. Минералогия, геохимия и генезис редкометалльного Zr-Nb-Hf-Ta-Ga-P3Э оруденения в пласте XXX Минусинского бассейна. / С.И. Арбузов, А.В. Вергунов, В.В. Еремеева. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. №7. С. 49-62 (на русском языке)
9. Winchester J.A. Геохимическая дискриминация различных серий магм и продуктов их дифференциации с использованием неподвижных элементов. / J.A. Winchester, P.A. Floyd. // Химическая геология. 1977. Т. 20. С. 325-343 (на английском языке)
10. Spears D.A. Геохимическое и минералогическое исследование некоторых британских и других европейских тонштейнов. / D.A. Spears, R. Kanaris-Sotiriou. // Седиментология. 1979. Т. 26. С. 407-425 (на английском языке)
11. Dai S. Измененные вулканические пеплы в угле и угленосных толщах: обзор их природы и значения. / S. Dai, C.R. Ward, I.T. Graham, D. French, J.C. Hower, L. Zhao, X. Wang. // Обзоры наук о Земле. 2017. Т. 175. С. 44-74 (на английском языке)

#### ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасы Президентінің 2013 жылғы 30 мамырдағы №577 Жарлығымен бекітілген Қазақстан Республикасының «Жасыл экономикаға» көшуі жөніндегі тұжырымдама (орыс тілінде)
2. Dai S. 2018. Көмір сыни элементтердің перспективалы көзі ретінде: прогресс және болашақ перспективалары. / S. Dai, R.V. Finkelman. // «Көмір геологиясы» журналы. 2018. №186. Б. 155-164 (ағылшын тілінде)
3. Dai S. Көмірдегі шымтезек жағдайларын анықтау: шолу. / S. Dai, A. Bechtel, K.F. Ebl, R.M. Flores, D. French, I.T. Graham, M.M. Hood, J.K. Hauer, V.A. Korasidis, T.A. Moore, V. Puttmann, K. Wei, L. Zhao, J.M.K. O'Keefe. // Халықаралық көмір геологиясы журналы. 2020. Б. 219 (ағылшын тілінде)
4. Li J. Имин көмір кен орнында жоғары GE көмір минералогиясы мен геохимиясы бойынша жаңа деректер, Ішкі Моңғолия, Қытай. / J. Li, H. Zhuang, H. Kerol, O. Font, M. Izquierdo, Z. Wang. // «Көмір геологиясы» журналы. 2014. №125. Б. 10-21 (ағылшын тілінде)
5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Көсірдегі құнды ілеспе элементтер: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. Б. 538 (орыс тілінде)
6. Амангелдықызы А. Орталық Қазақстанның негізгі көмір бассейндерінің көмірінде сирек жер металдарының таралуын зерттеу: PhD дис. ... 6D070600. Қарағанды: 2021. 202 б. (орыс тілінде)
7. Дрижд Н.А., Ахматнуров Д.Р., Захаров А. М. Қарағанды бассейнінің шахталарында метан қауіпсіздігі әдістерін бағалау: Монография. Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті: Қарағанды, ҚарМТУ баспасы, 2016. Б. 10-12 (орыс тілінде)
8. Арбузов С.И. Минусинск бассейнінің XXX қабатында сирек кездесетін Zr-Nb-Hf-Ta-Ga-P3Э минералогиясы, геохимиясы және генезисі. / С.И. Арбузов, А.В. Вергунов, В.В. Еремеева. // Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурстарды жобалау. 2020. №7. Б. 49-62 (орыс тілінде)
9. Winchester J.A. Қозғалмайтын элементтерді қолдана отырып, әртүрлі магма сериялары мен оларды саралау өнімдерінің геохимиялық кемсітушілігі. / J.A. Winchester, P.A. Floyd. // Химиялық геология. 1977. Т. 20. Б. 325-343 (ағылшын тілінде)
10. Spears D.A. Кейбір Британдық және басқа еуропалық тонштейндерді геохимиялық және минералогиялық зерттеу. / D.A. Spears, R. Kanaris-Sotiriou. // Седиментология. 1979. Т. 26. Б. 407-425 (ағылшын тілінде)
11. Dai S. Көмір және көмір құрау тізбегіндегі өзгерген жанартау күлі: олардың табиғаты мен маңызына шолу. / S. Dai, C.R. Ward, I.T. Graham, D. French, J.C. Hower, L. Zhao, X. Wang. // Геологиялық шолулар. 2017. – Т. 175. Б. 44-74 (ағылшын тілінде)

#### REFERENCES

1. Konceptija po perehodu Respubliki Kazahstan k «Zelenoj jekonomike». Utverzhdena Ukazom Prezidenta Respubliki Kazahstan №577 ot 30 maja 2013 goda [Concept for the transition of the Republic of Kazakhstan to a «Green Economy», approved by Decree of the President of the Republic of Kazakhstan No.577 dated May 30, 2013] (in Russian)

2. Dai S. Coal as a promising source of critical elements: progress and prospects for the future. / S. Dai, R.B. Finkelman. // *Int. J. Coal Geol.* 2018. №186. P. 155-164 (in English)
3. Dai S. Identification of peat conditions in coal: an overview. / S. Dai, A. Bechtel, K.F. Ebl, R.M. Flores, D. French, I.T. Graham, M.M. Hood, J.K. Hauer, V.A. Korasidis, T.A. Moore, V. Puttmann, K. Wei, L. Zhao, J.M.K. O'Keefe. // *International Journal of Coal Geology.* 2020. P. 2019 (in English)
4. Li J. New data on mineralogy and geochemistry of high-Ge coals at the Imin coal deposit, Inner Mongolia, China. / J. Li, H. Zhuang, H. Kerol, O. Font, M. Izquierdo, Z. Wang. // *Int. J. Coal Geol.* 2014. №125. P.10-21 (in English)
5. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Tsennnye elementy-primesi v uglyakh: Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. S. 538 [Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Valuable impurity elements in coals: Ekaterinburg: Uro RAS, 2006. P.538] (in Russian)
6. Amangeldykyzy A. Issledovanie rasprostranennosti redkozemel'nykh metallov v uglyakh glavnykh ugol'nykh basseinov Tsentral'nogo Kazakhstana: dis. ... PhD 6D070600. Karaganda: 2021. 202 s. [Amangeldykyzy A. Study of the prevalence of rare earth metals in coals of the main coal basins of Central Kazakhstan: dis. ... Ph.D. 6D070600. Karaganda: 2021. 202 p.] (in Russian)
7. Drizhd N.A., Akhmaturov D.R., Zaharov A.M. Ocenka metodov metanobezopasnosti na shahtah Karagandinskogo bassejna: Monografija. Karagandinskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet: Karaganda, izd-vo KarGTU, 2016. S. 10-12 [Drizhd N.A., Akhmaturov D.R., Zaharov A.M. Assessment of methane safety methods in the mines of the Karaganda basin: Monograph. Karaganda State Technical University: Karaganda: Publishing house of KarSTU, 2016. P. 10-12] (in Russian)
8. Arbuzov S.I. Mineralogija, geohimija i genezis redkometall'nogo Zr-Nb-Hf-Ta-Ga-RZJe orudnenenija v plaste HHH Minusinskogo bassejna. / S.I. Arbuzov, A.V. Vergunov, V.V. Ereemeva. // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov.* 2020. №7. S. 49-62 [Arbuzov S.I. Mineralogy, geochemistry and genesis of rare metal Zr-Nb-Hf-Ta-Ga-RE mineralization in the XXX formation of the Minusinsk basin. / S.I. Arbuzov, A.V. Vergunov, V.V. Ereemeva. // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering.* 2020. No.7. P. 49-62] (in Russian)
9. Winchester J.A. Geochemical discrimination of various series of magmas and products of their differentiation using fixed elements. / J.A. Winchester, P.A. Floyd. // *Chemical Geology.* 1977. Vol. 20. P. 325-343 (in English)
10. Spears D.A. Geochemical and mineralogical study of some British and other European tonsteins. / D.A. Spears, R. Kanaris-Sotiriou. // *Sedimentology.* 1979. Vol. 26. P. 407-425 (in English)
11. Dai S. Altered volcanic ashes in coal and coalbearing sequences: a review of their nature and significance / S. Dai, C.R. Ward, I.T. Graham, D. French, J.C. Hower, L. Zhao, X. Wang. // *Earth Science Reviews.* 2017. – Vol. 175. P. 44-74 (in English)

#### Информация об авторах:

**Копобаева А.Н.**, доктор PhD, и.о. доцента кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [aiman\\_25.87@mail.ru](mailto:aiman_25.87@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0601-9365>

**Амангелдіқызы А.**, доктор PhD, и.о. доцента кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [amangeldykyzy@inbox.ru](mailto:amangeldykyzy@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6665-8804>

**Казтаев Е.М.**, полевой геолог ТОО «Kazakhmys Barlau» (г. Караганда, Казахстан), [eerkow09@inbox.ru](mailto:eerkow09@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9725-2700>

**Асқарова Н.С.**, доктор PhD, преподаватель кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), [srajadin-nazym@mail.ru](mailto:srajadin-nazym@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2103-6198>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Копобаева А.Н.**, доктор PhD, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Амангелдіқызы А.**, доктор PhD, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Казтаев Е.М.**, ЖШС «Kazakhmys Barlau» дала геологы (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Асқарова Н.С.**, доктор PhD, «Геология және пайдалы қазба кен орындарын барлау» кафедрасының оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Kopobaeva A.N.**, PhD, Acting assistant professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Amangeldykyzy A.**, PhD, Acting assistant professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

**Kaztaev E.M.**, field geologist of Kazakhmys Barlau (Karaganda, Kazakhstan)

**Askarova N.S.**, PhD, Lecturer of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)