

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 410 (2015), 23 – 30

FORMS OF OCCURRENCE OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE WEATHERING CRUST OF THE KUNDYBAY DEPOSIT (NORTH KAZAKHSTAN)

L. D. Isayeva¹, K. Sh. Dyussembayeva¹, M. K. Kembayev², U. Yusupova², S. K. Assubayeva¹

¹ Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

² Institute of geological sciences named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: dusembaeva@mail.ru; k.maksat@mail.ru

Keywords: weathering crust, the rare earth elements, the rare earth minerals, the minerals concentrators of the rare earth elements.

Abstract. The mineral composition of the parent rocks and weathering crust comprising rare earth mineralization are studied. The concentration of rare earth elements and their distribution in the weathering crusts of the metamorphic rocks is shown. The rare earth minerals in the parent rocks and in the weathering crust are defined. The main minerals concentrators of the rare earth mineralization are allocated.

УДК 553.411 (574.1)

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУНДЫБАЙ (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)

Л. Д. Исаева¹, К. Ш. Дюсембаева¹, М. К. Кембаев², У. Юсупова², С. К. Асубаева¹

¹ Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

² Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: кора выветривания, редкоземельные элементы, редкоземельные минералы, минералы-концентраторы редкоземельных элементов.

Аннотация. Изучен минеральный состав материнских пород и коры выветривания, вмещающих редкоземельную минерализацию. Установлены концентрации редкоземельных элементов и показано их распространение в корах выветривания метаморфитов. Выявлены собственно редкоземельные минералы в коренных породах и в коре выветривания. Определены главные минералы-концентраторы редкоземельной минерализации.

Кундыбайское месторождение редких земель расположено в Костанайской области Житикаринского района, ближайшая железнодорожная станция находится в г. Житикара, до областного центра г. Костанай 300 км. Житикаринский рудный район включает два типа оруденения –

Кундыбайский и Кенетский. Кундыбайское месторождение литологически связано с корой выветривания амфиболитов, гнейсов и кристаллических сланцев мариновской свиты верхнего протерозоя и в основном имеет площадной характер распространения [1].

Редкоземельное месторождение Кундыбай, открытое А. Р. Ниязовым, М. Д. Брылиным в 1962 году, расположено вдоль западного экзоконтакта Шевченковского ультраосновного массива [2]. По расположению в стратиграфической колонке метаморфические породы условно могут быть разделены на три горизонта: верхний – кварцит-сланцевый, средний – амфиболитовый и нижний – гнейсовый. Практически повсеместно развита мезозойская кора выветривания. Мощность коры выветривания составляет обычно 10–40 м и лишь в тектонических зонах, где появляется линейная кора выветривания, достигают глубины развития до 80–110 м. На месторождении выделяются следующие главные типы кор выветривания: 1) кора выветривания амфиболитов; 2) кора выветривания гнейсов; 3) кора выветривания сланцев; 4) кора выветривания даек диабазов. По всем породам наблюдается «каолинитовый» профиль коры, выветривания, а в приконтактных зонах с ультрамафитами Шевченковского массива развит «нонтронитовый» профиль коры выветривания по серпентинитам [3].

На месторождении выделены четыре залежи с редкоземельной минерализацией: первая самая крупная, включающая 64,9% запасов, вторая – 7,8 %, расположена западнее первой залежи на расстоянии 350 метров, третья – 4,3 % и четвертая – 23 % расположены южнее первой залежи [2].

Редкоземельные элементы и формы их нахождения в исходных породах. Изучение минерального состава материнских пород коры выветривания с определением содержаний и спектра лантаноидов в их главных минералах-носителях в значительной степени объясняет различие в составе РЗЭ амфиболитов, гнейсов и сланцев. Среднее содержание оксидов РЗМ в первичных породах возрастает от амфиболитов (224 г/т) к гнейсам (244 г/т) и сланцам (372 г/т) [2].

Максимальная иттриевость амфиболитов объясняется преобладанием среди породообразующих минералов амфибола и биотита, наибольшими, среди других типов пород субстрата, содержаниями таких минералов-носителей промежуточных и тяжелых лантаноидов, как эпидот и рутил.

Более цериевый, по сравнению с амфиболитами, состав РЗЭ в гнейсах объясняется широким распространением среди породообразующих минералов кислого плагиоклаза, реже браунита и ганконита, носителей легких лантаноидов. Наиболее цериевый состав РЗЭ характерен для сланцев, что определяется преобладанием среди них породообразующих минералов плагиоклаза и мусковита, высокими содержаниями магнетита, которые являются одними из основных носителей легких лантаноидов. Присутствие в сланцах тяжелых и промежуточных РЗЭ объясняется наличием турмалина, эпидота, граната, содержащих эти лантаноиды. Характерно, что собственно редкоземельные минералы в материнских породах коры выветривания встречаются лишь в отдельных пробах в очень небольших количествах, не играя существенной роли в сумме РЗЭ.

При микроскопическом изучении коренных пород, а также протолок из коренных пород определен минеральный состав Кундыбайского месторождения (таблица 1). Был найден собственно редкоземельный минерал монацит в мусковит-кварцевом сланце и в основном минералы титана.

Таблица 1 – Минеральный состав коренных руд месторождения Кундыбай

Основные	Второстепенные		Редкие и акцессорные	
Рудные				
			Монацит Ксенотим* Магнетит Гематит	Ильменит Рутил Пирит Халькопирит Титаномагнетит
Нерудные				
Кварц	Мусковит Хлорит Биотит Гранат	Эпидот-цоизит Амфибол Кианит Пироксен		Апатит Флюорит
* Ксенотим был найден другими авторами [4].				

Монацит – мелкие редкие включения монацита – фосфата редких земель цериевой группы заключены в слюдяном минерале. На рисунке 1 отчетливо видно как он развивается вдоль спайности слюдяного минерала – 6×50 мкм и более мелкие. Отмечаются короткие мелкие включения удлиненной и неправильной формы. По результатам двух микрозондовых анализов установлены в одном анализе (№ 2) только РЗЭ цериевой группы (La, Ce, Pr, Nd), в другом (№ 1) в небольших концентрациях присутствует элементы иттриевой группы (Gd и Tb) (таблица 2).

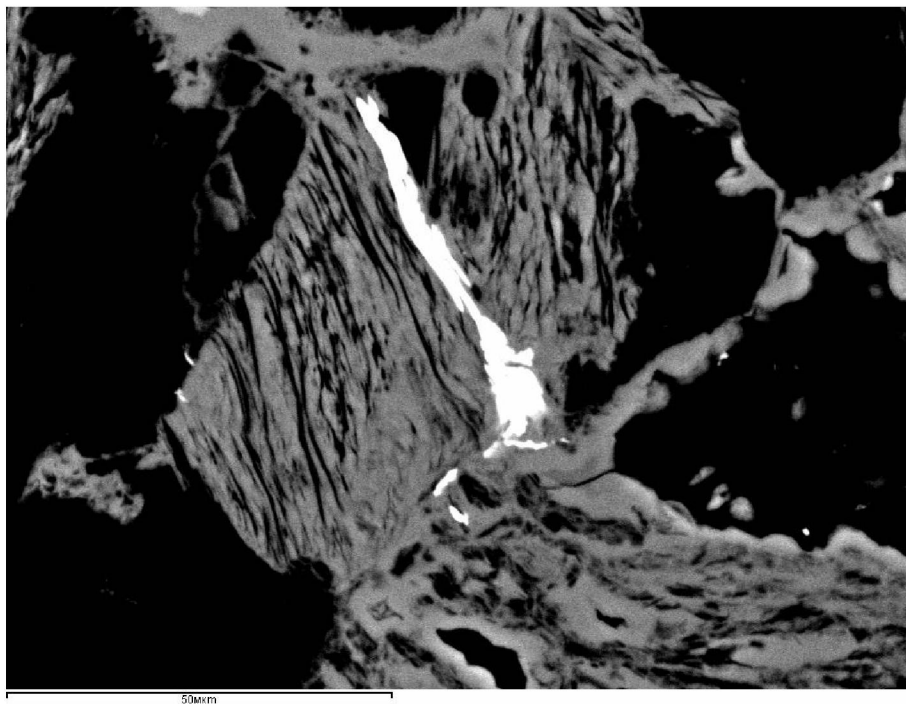


Рисунок 1 – Монацит (белое) в слюдяном минерале. Амп. 2217/34,2

Таблица 2 – Состав монацита по данным микрозондового анализа, %

№ амп.	Элементы							
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃
К2217/34,2	1,62	2,86	26,17	0,24	0,30	11,55	12,56	23,86
Ан.1	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Сумма	
	2,17	10,28	1,42	0,47	1,43	0,45	95,36	
К2217/34,2	Элементы							
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	
	5,95	6,81	28,28	1,05	4,61	14,69	27,29	
	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма – 101,59					
1,93	10,99							

Редкоземельные элементы и формы их нахождения в коре выветривания. Основными носителями РЗЭ являются глинистые минералы коры выветривания Кундыбайского месторождения. Химический состав проб коры выветривания и выделенных из них глинистых фракций показал, что в этих пробах с минералами глинистой фракции связано от 13 до 90,3% Σ РЗЭ от валового содержания, в среднем 58,1% [2]. Породообразующие минералы (слюды, амфиболиты, плагиоклазы) в условиях выветривания трансформируются в глинистые минералы. При этом

большая часть высвобождающихся РЗЭ, сорбируется глинистыми минералами, а меньшая часть поступает в раствор. Содержание РЗЭ в корах выветривания амфиболитов, гнейсов и сланцев – 245, 293 и 289 г/т соответственно. Кроме того, редкоземельные элементы изоморфно входят в остаточные эндогенные минералы, такие как апатит, биотит, гранат и другие, а также присутствуют в составе собственно редкоземельных гипергенных минералов.

Отличительной особенностью месторождения Кундыбай является наличие в рудах средних и тяжелых лантаноидов. В целом, легкие лантаноиды составляют – 46,85% от запасов месторождения. Больше всего они распространены в корах выветривания сланцев и гнейсов. Наблюдается снижение распространения легких лантаноидов в корах выветривания от сланцев к гнейсам и амфиболитам. Средние и тяжелые лантаноиды, иттрий больше распространены в корах амфиболитов и дайковых породах. Самым распространенным металлом на месторождении является иттрий – 39,3%, на втором месте церий – 20,6%, на третьем и четвертом – лантан и неодим – 11,9; 11,3% соответственно. Количество оксидов средних лантаноидов по месторождению составляет – 11,4%, тяжелых лантаноидов – 2,45%. Больше половины запасов месторождения – 53,15% составляют оксиды иттрия, средних и тяжелых лантаноидов, что является одним из главных особенностей месторождения. В сумме иттрий + редкие земли доля иттрия составляет 54% [4]. Спектр оставшихся 46% лантаноидов, принятый за 100%, выглядит следующим образом (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение редкоземельных элементов

Редкоземельные элементы, в %		
Легкие – 34,2	Средние – 39,4	Тяжелые – 26,7
Лантан – 6,6 Церий – 11,2 Празеодим – 1,2 Неодим – 15,2	Самарий – 4,6 Европий – 2,0 Гадолиний – 11,8 Тербий – 2,0 Диспрозий – 15,4 Гольмий – 3,6	Эрбий – 12,2 Тулий – 1,9 Иттербий – 11,3 Лютеций – 1,2

Минеральный состав коры выветривания приведен по данным изучения шлиховых проб, (таблица 4).

Таблица 4 – Минеральный состав коры выветривания месторождения Кундыбай

Основные	Второстепенные	Редкие и аксессуарные
Рудные		
Черчит Иттриевый-неодимовый бастнезит Иттриевый-неодимовый паризит Иттрорабдофанит* Гидрофосфат РЗМ*	Ильменорутит Гетит Гидрогетит Оксиды марганца Лейкоксен	Магнетит Гематит Ильменит Циркон Пирит Рутит
Нерудные		
Кварц Альбит Слюда	Амфибол Эпидот-цоизит Гранат Кианит	Апатит
* Минералы, найденные другими авторами.		

В коре выветривания наиболее распространены новообразованные гипергенные редкоземельные минералы – *иттриевый и неодимовый бастнезит, черчит, иттрорабдофанит, иттриевый и неодимовый паризит.*

Бастнезит встречается чаще всего в коре выветривания амфиболитов и гнейсов. В минералогических пробах его максимальное содержание достигает 2440 г/т. Бастнезит преимущественно

находится в тех пробах, где содержание черчита незначительное. Минерал образует овоиды, которые нередко срastaются друг с другом. Бастнезитовые овоиды встречаются в срastании с мусковитом, биотитом, рутилом, эпидотом, кварцем, рудными и марганцевыми минералами. Химический состав бастнезита необычен по сравнению с известными первичными и гипергенными бастнезитами. По составу лантаноидов кундыбайские бастнезиты делятся на две группы: неодимовые и иттриевые. К первой относятся неодимовые бастнезиты, в которых почти полностью отсутствует церий, но аномально содержание неодима (44–45%), европия (2,2–3,8%).

В составе лантаноидов неодимового бастнезита группа лантана составляет 64,8%, группа иттрия – 32,4%, группа скандия – 2,8%.

Иттриевый бастнезит внешне ничем не отличается от неодимового, однако имеет в своем составе резко отличный спектр лантаноидов. В составе иттриевого бастнезита преобладает иттриевая и скандиевая группы. Групповой средний состав иттриевого бастнезита: группа лантана – 8,7% от суммы РЗЭ, группа иттрия – 54,8%, группа скандия – 36,5%. Иттриевый бастнезит также характеризуется высоким содержанием европия (0,4–2,1%), хотя и уступает в этом отношении неодимовому бастнезиту.

Черчит является самым распространенным гипергенным редкоземельным минералом на месторождении. В минералогических пробах иногда его содержание достигает до 6,162 кг/т. Формы выделений черчита в основном овоидные и близкие к округлым (рисунок 2). Цвет их зависит от примазок или включений гидроокислов железа и марганца, в основном их цвет белый, бежевый с розоватыми или желтоватыми оттенками. Черчит часто встречается в срastании с рутилом, кианитом, эпидотом, ганконитом, фибролитом, и слюдами. Черчит характеризуется комплексным составом лантаноидов с преобладанием иттриевой группы и низким относительным содержанием группы лантана. Среди минералов черчита выделяется составом цериевый черчит, который в отличие от черчита в составе лантаноидов имеет примерно равные содержания групп.



Рисунок 2 – Зерна черчита. Протолочка пробы D-3

Иттрорабдофанит – визуально похож на черчит и представлен агрегатами светло-розового и светло-серого цвета. В своем составе основных компонентов является близким химическим аналогом черчита (ΣTR_2O_3 – 51,7%), но меньшим содержанием Y_2O_3 в сумме РЗЭ (4,78 против 27,0%). Для цериевого черчита, черчита и иттрий-рабдофанита характерно повышенное содержание европия: церий-черчит – 2,4% (максимально 3,2%), черчит – 2,0%, иттрий-рабдофанит – 1,5%.

По результатам изучения шлиховых проб коры выветривания месторождения Кундыбай к основным отнесены собственно редкоземельные минералы – черчит, иттриевый бастнезит и иттриевый-неодимовый паризит (таблица 5). Минералы визуально трудно отличимы друг от друга.

Таблица 5 – Состав неодимового паризита по данным микрозондового анализа, %

№ обр.	Элементы						
	F	SO ₃	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃
№ 1	5,78	0,39	3,17	8,19	17,07	5,09	20,85
Среднее	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Сумма	
По 3 анализам	5,79	1,9	4,25	1,33	2,38	76,19	

Иттриевый-неодимовый паризит, наряду с иттриевым бастнезитом – в количестве 15 % присутствуют в составе электромагнитной фракции и в немагнитной фракции 60%. Минералы трудно отличимы друг от друга. Неодимовый паризит не содержит в своем составе Се, но много Nd – 20,85% (таблица 5). На рисунке 3 – неодимовый паризит. Он находится в тесном срастании со слюдой – мусковитом.

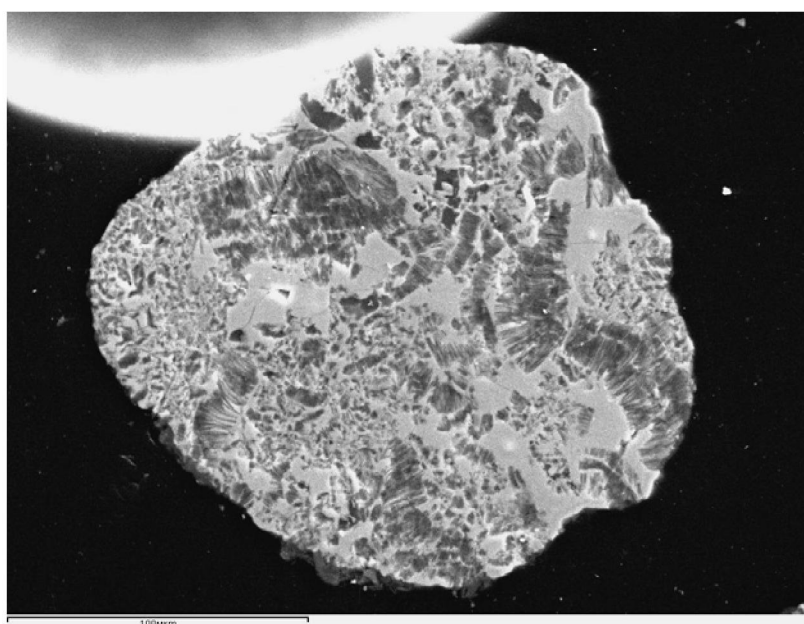


Рисунок 3 – Неодимовый паризит в тесном срастании с мусковитом. Обр. 1

По четырем скважинам (5008-г.л. 24 м, 5009-г.л. 60 м, 5010-г.л. 51 м, 5012-г.л. 38 м) от поверхности до соответствующих глубин были отобраны каолины разных окрасок и отданы на спектральный анализ, по результатам которых определены тяжелые – Y, Yb и легкие – La, Се лантаноиды (таблица 6).

Таблица 6 – Состав каолинов из коры выветривания Кундыбайского месторождения

№ Сква.	Содержание в г/т				
	ΣTR_2O_3	Y	Yb	La	Се
5008 15 проб	81-234	10-50	1-5	20-50	50-150
5009 38 проб	81-182,5	10-40	1-5	20-50	50-100
5010 32 пробы	92-227	20-100	1-10	20-100	50-100
5012 25 проб	87-203	10-50	1-3	20-50	50-150

Примечание. Повышенные концентрации лантаноидов, в г/т – в 5 пробах из скв. 5009 (ΣTR_2O_3 – 255-930, Y – 50-400, Yb – 5-30, La – 50-250, Се – 150-300); в 2 пробах из скв. 5010 (ΣTR_2O_3 – 290 и 360, Y – 150 и 150, Yb – 20 и 10, La – 50 и 100, Се – 70-100); в одной пробе из скв. 5012 (ΣTR_2O_3 – 360, Y – 100, Yb – 10, La – 150, Се – 100).

Минералы тяжелых фракций концентратов (шлихов) представлены в основном минералами магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций (таблица 7).

Таблица 7 – Минералы тяжелых фракций (кора выветривания)

Минералы магнитной фракции	Минералы электромагнитной фракции	Минералы немагнитной фракции
Магнетит сильно гематитизированный и мартитизированный	Рудные – гематит, ильменит, ильменорутит, лейкоксен, гидроксиды железа, окислы марганца; Редкоземельный минерал иттриевый бастнезит и иттриевый и неодимовый паризит – 15%. Нерудные – амфибол, эпидот-цоизит, гранат.	Редкоземельный минерал иттриевый бастнезит и иттриевый и неодимовый паризит – 60%, циркон – 35%, остальные – лейкоксен, рутит, кианит, пирит, апатит.

Легкая фракция представлена заметноокатанным, слегка трещиноватым прозрачным кварцем, с развитием по трещинкам и пустоткам серицита, альбита, лимонита, светло-бурой и светлой слюды. адсорбируются гипергенными коллоидальными минералами – каолинит, гидроокислы железа и др. Установлено, что наиболее богатые концентрации собственных редкоземельных минералов, среди которых выделяется и черчит, тяготеют к зоне структурных каолинов, особенно к ее нижней половине. Глинистые минералы являются основными концентраторами РЗЭ и в них последние, по-видимому находятся в узлах и междоузлиях структурных решеток. Интерес на редкоземельную минерализацию могут представлять также биксбиитовые, марганецсодержащие руды, которые выделяются в виде зон мощностью в среднем 5 м. Они развиваются по пьомонти-спессартиновым марганцевым сланцам.

В магнитной фракции магнетит интенсивно гематитизирован и мартитизирован, форма зерен октаэдрическая, цвет черный, темно-буро-черный, красновато-буро-черный.

В электромагнитной фракции основная масса представлена гематитом с включениями ильменита в виде структуры распада. Форма зерен гематита столбчатая, плоская, отмечаются октаэдры (мартитизация), окраска черно-буро-красная. Присутствуют также другие рудные, нерудные, редкие и акцессорные минералы. Главными минералами немагнитной фракции являются циркон, иттриевый бастнезит, иттриевый и неодимовый паризит, который также отмечаются в составе электромагнитной фракции. Иттриевый бастнезит внешне белый, светло-желтый, оранжево-бурый, темно-бурый, форма зерен сфероидальная, шарообразная.

Выводы.

1. Источником редкоземельной минерализации являются докембрийские метаморфические породы фундамента, которые в мезозое в процессе химического выветривания преобразовались в глинистые минералы с выделением редкоземельных элементов.

2. Легкие лантаноиды составляют 46,85% от запасов месторождения, тогда как 53,15% приходится на оксиды иттрия и средних и тяжелых лантаноидов. Установлено снижение легких лантаноидов в корах выветривания от сланцев к гнейсам и амфиболитам. Средние и тяжелые лантаноиды, иттрий больше концентрируются в корах амфиболитов и дайковых породах.

3. Значительная часть редкоземельной минерализации связана с глинистыми минералами. В каолинах присутствуют как металлы тяжелых, так и легких лантаноидов.

4. Подчиненную роль играет присутствие собственно редкоземельных минералов, таких как иттриевый и неодимовый паризит, иттриевый и неодимовый бастнезит, иттриевый рабдофанит, черчит. Причем наблюдается полное отсутствие Ce_2O_3 в неодимовом бастнезите и неодимовом паризите, но значительные концентрации Nd_2O_3 .

5. Циркон накапливается в немагнитной фракции в количестве 35 % и может также являться источником редкоземельных элементов.

6. Редкоземельные элементы в качестве изоморфной примеси входят также в остаточные эндогенные и новообразованные минералы коры выветривания (амфибол, биотит, эпидот, рутит, кислый плагиоклаз, браунит, ганконит, гидроксиды железа и другие).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джафаров Н.Н., Каскевич Т.М. Ресурсная база редкоземельных металлов в Джетыгаринском рудном районе // Горно-геологический журнал. – 2013. – № 1-2 (33-34). – С. 33-37.
- [2] Ниязов А.Р., Джафаров Н.Н., Джафаров Ф.Н. Кундыбайское месторождение титана // Горно-геологический журнал. – 2007. – № 2. – С. 10-15.
- [3] Бурков В.В. Кора выветривания осадочно-метаморфических пород с рhabдофанитом и черчитом // Сб. «Месторождения литофильных редких металлов». – М., 1980. – С. 394-396.
- [4] Подпорина Е.К., Ниязов А.Р., Брылин М.Д. Новый тип редкоземельных месторождений в корях выветривания // Сб. «Экзогенные месторождения редких элементов». – М.: Институт минералогии, геохимии редких элементов (ИМГРЭ), 1980. – С. 21-26.

REFERENCES

- [1] Dzhafarov N.N., Kaskevich T.M. The resource base of rare earth metals in Zhetygara ore district. Journal of Mining and Geology. 2013. N 1-2 (33-34). P. 33-37. (in Russ.).
- [2] Nijazov A.R., Dzhafarov N.N., Dzhafarov F.N. Kundybay deposit of titanium. Journal of Mining and Geology. 2007. N 2. P. 10-15. (in Russ.).
- [3] Burkov V. V. Weathering crust of sedimentary-metamorphic rocks with rhabdophanite and churchite. Coll. "Deposits of lithophilic rare metals". Moscow, 1980. P. 394-396. (in Russ.).
- [4] Podporina E. K., Nijazov A. R., Brylin M. D. A new type of rare earth deposits in weathering crusts // Coll. "Exogenous deposits of rare elements." - M.: Institute of Mineralogy, Geochemistry of rare elements, 1980. P. 21-26. (in Russ.).

КУНДЫБАЙ (СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН) КЕНОРЫННЫҢ МОРУ ҚЫРТЫСЫНДАҒЫ СИРЕК ЖЕРЛІК ЭЛЕМЕНТЕРДІҢ КІРМЕ ТҮРЛЕРІ

Л. Д. Исаева¹, К. Ш. Дюсембаева¹, М. К. Кембаев², У. Юсупова², С. К. Асубаева¹

¹ Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,

² Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: мору қыртысы, сирек жерлік элементтер, сирек жерлік минералдар, сирек жерлік элементтердің концентратор-минералдары.

Аннотация. Сирек жерлік минерализация сыйыстырушы аналық таужыныстар және мору қыртысының минералдық құрамы зерделенген. Сирек жерлік элементтердің концепциясы анықталған және метаморфиттердің мору қыртысында олардың таралуы көрсетілген. Аналық таужыныстарда және мору қыртысында өзіндік сирек жерлік минералдар айқындалған. Сирек жерлік минерализациясының басты концентратор-минералдары анықталған.

Поступила 07.04.2015 г.