

УДК 553(574)

В. Портнов, д-р техн. наук, проф.

E-mail: vs\_portnov@mail.ru,

Е. Мусина, докторант

E-mail: sea\_kitten\_1@mail.ru,

М. Пономарева, канд. техн. наук, доц.

E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru

Карагандинский Государственный Технический Университет (КарГТУ)

Бульвар Мира, 56, г. Караганда, 100027, Казахстан,

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: mireva@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ВИСОКОБАРИЧЕСКИХ СЛАНЦІВ УЧАСТКА “РЕДКОЗЕМЕЛЬНИЙ-ВОСТОК-1” (ІРТЫШСКАЯ ЗОНА СМЯТИЯ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Редкі металли і землі весьма востребовані в високотехнологічних отраслях промисленності. Изучение их пространственного распределения, минералогии, коммерческой значимости является актуальной задачей.

Выявлен совершенно новый генетический тип редкоземельного сырья в Восточном Казахстане. При изучении метаморфических пород Иртышской зоны смятия установлены гранатовые сланцы, содержащие в ядрах каждого зерна граната фосфаты редких земель. Они относятся к цериевой и иттриевой группам, а главные минералы-носители монацит и ксенотит содержат до 32% и 42% церия и иттрия, соответственно. По сути, эти породы представляют собой россыпи, метаморфизованные в ордовике при условиях высоких и ультравысоких давлений. Цель работы заключается в изучении Иртышской зоны смятия и исследовании нового генетического типа редкоземельного сырья в Восточном Казахстане; изучении его пространственных, возрастных и генетических связей; проведении технологических испытаний для редкоземельного минерального сырья с целью оценки его коммерческого значения и перспектив освоения.

Главным носителем редкоземельной минерализации является монацит, который представлен свободной фазой в породах и минералом-узником в гранате. Красный и черный гранат, а также его промежуточные цветовые формы, одинаковы по составу минералов-узников, которые представлены монацитом (главный), титано-гематитом, ксенотитом, тантало-ниобатами (в гнейсо-гранитах) и сложными, еще не полностью изученными, редкоземельными формами в красном гранате. Гранат представлен в двух контрастных формах: красный и розовый альмандин-спессартин с содержанием пиропа не более 5% и пиральспит с содержанием пиропа 16-18%. Проведенные технологические испытания редкоземельного сырья нового генетического типа дают все основания считать его достаточно перспективным для промышленного освоения.

**Ключевые слова:** фации, сырье, пробы, микровключения, монацит, циркон, изотопный состав, возраст.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.** Редкие металлы и земли востребованы в высокотехнологичных отраслях промышленности, поэтому изучение их пространственного распределения, минералогии, коммерческой значимости является актуальной задачей.

В последние годы академиком НАН РК П.В. Ермоловым выявлен совершенно новый генетический тип редкоземельного сырья в Восточном Казахстане [2-4]. Им при изучении метаморфических пород Иртышской зоны смятия установлены гранатовые сланцы, содержащие в ядрах каждого зерна граната фосфаты редких земель. Они относятся к цериевой и иттриевой группам, а главные минералы-носители монацит и ксенотит содержат до 32% и 42% церия и иттрия, соответственно. По сути, эти породы представляют собой россыпи, метаморфизованные в ордовике при высоких и ультравысоких давлениях.

### Аналіз підходів до дослідження та публікацій.

При выделении из сланцевого комплекса циркона для изотопных датировок было замечено присутствие в гранате обильных черных микровключений, природа которых на основе визуальных заключений объяснялась наличием графита [4]. Для выяснения этого вопроса из граната был изготовлен препарат для микрозонда, с помощью которого установлено присутствие минералов цериевой и иттриевой групп редких земель. Вначале их отнесли к акцессорным минералам и в этом ранге они впервые были описаны в монографии П.В. Ермолова [2]. Однако постоянная встречаемость такого граната в сланцевом комплексе послужила основанием для проведения более тщательных геолого-минералогических и технологических исследований с целью оценки коммерческой перспективности данной минерализации. В связи с этим, в 2014 году были отобраны соответствующие пробы для изучения данного вопроса [4].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** В Казахстане известны три генетических типа редкоземельных месторождений: метасоматический, россыпной и коры выветривания. Примером метасоматических месторождений служит Верхнеэспинское в Восточном Казахстане. Оно связано с щелочным метасоматозом в контакте осадочных пород с рибекитовыми гранитами. Главным минералом-носителем является гагаринит ( $NaCaYF_6$ ). Редкие земли участвуют в строении его решетки, поэтому технология освоения месторождения, несмотря на то, что оно разведано в 60-х годах прошлого столетия, до настоящего времени не разработана [6].

Россыпные месторождения развиты в западной части Зайсанской впадины. Основное промышленное значение имеет ильменитовая составляющая, востребованная Усть-Каменогорским титано-магниевым комбинатом. Примесь монацита в россыпях используется по-прежнему Ульбинским машиностроительным заводом.

Коры выветривания имеют повсеместное распространение на огромной территории от Kokшетау до Аральского моря по широте и от Тургая на западе до Прибалхашья на востоке. Они залегают на позднемезозойском плене. В составе неоген-палеогеновых глин и песков присутствуют слои, обогащенные редкими землями. На отдельных участках коры выветривания изучены разведкой и подсчитаны запасы редкоземельного сырья. Редкие земли заключены в монаците. Их форма нахождения изучена недостаточно и технология извлечения не разработана.

**Формулировка целей (постановка задачи).** Выполненные исследования были призваны решить следующие задачи: изучить сланцы в первичном залегании и их состав; определить главный минерал-носитель редкоземельной минерализации и выяснить какой фазой он

представлен; описать состав главных минералов-носителей и определить условия их образования; оценить перспективность редкоземельного минерального сырья нового генетического типа относительно возможности его промышленного освоения; определить направление дальнейшего изучения редкоземельной минерализации в плойчатых сланцах Иртышской зоны смятия.

#### Изложение основного материала исследований.

Участок "Редкоземельный-Восток-1" расположен в северо-западной части Иртышской зоны смятия. Его положение показано на рисунке 1.

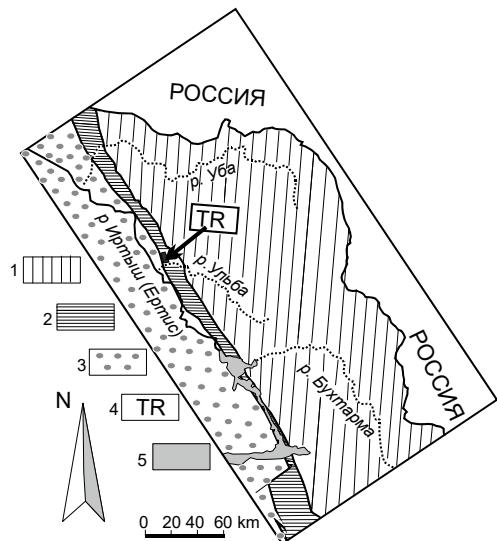


Рис. 1. Геологическая позиция участка "Редкоземельный-Восток-1" в региональных структурах Казахстана:  
 1 – Рудноалтайский полиметаллический пояс; 2 – Иртышская зона смятия; 3 – Калба-Нарымский редкоземельный пояс;  
 4 – положение участка "Редкоземельный-Восток-1" в Иртышской зоне смятия; 5 – Бухтарминское водохранилище

Тектоническая позиция самой Иртышской зоны разными коллективами геологов оценивается неоднозначно. В.П. Некорошев, который стоял у истоков тектонического районирования Восточного Казахстана [7, 8], выделял в регионе две структурно-фациальные зоны: Рудноалтайскую (на рис. 1 справа) и Калба-Нарымскую (на рис. 1 слева). В составе Калба-Нарымской фациальной зоны была выделена Иртышская зона смятия (на рис. 1 в центре). В 60-70-х годах прошлого века в связи с активным развитием геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 коллективом геологов ИГН им. К.И. Сатпаева [5] и Алтайской геологосъемочной экспедицией Иртышская зона смятия была выделена в самостоятельную структурно-фациальную зону. Необходимо отметить, что тектоническое районирование того времени базировалось на принципах геосинклинальной концепции.

Новая концепция плитной тектоники, которая получила распространение в Казахстане с конца XX века, давала принципиально иное объяснение генезиса прежних структурно-фациальных зон и оперировала геоблоками земной коры, получившими название террейнов. С позиций плитной тектоники самостоятельными террейнами могут служить только Рудноалтайский и Калба-Нарымский геоблоки, а Иртышская зона смятия, имеющая в целом чешуйчатую структуру, представляет собой совокупность многих мелких разновозрастных блоков, собранных в структуру типа тектонического горста, образованного вследствие акреции (нагромождения). По составу в Иртышской зоне смятия резко преобладают метаседиментные породы, поэтому принадлежность ее

к Калба-Нарымскому террейну, также сложенному преимущественно осадочными породами, становится более корректной, чем к Рудноалтайскому.

В пределах Иртышской зоны господствующее развитие имеют метаморфические комплексы высокого и умеренного давлений в диапазоне температурных фаций от низов зеленосланцевой до высокотемпературной амфиболитовой, с признаками присутствия в последней реликтовых парагенезисов гранулитовой фации. Эти метаморфические комплексы имеют возрастной диапазон от докембра до девона и доля их в строении Иртышской зоны достигает 90–95%.

С.П. Гаврилова в результате изучения Иртышской зоны пришла к заключению [1], что в ее строении принимают участие три метаморфических комплекса: известковисто-глиноземистый умеренных давлений андалузит-силлиманитового типа, кремнисто-глиноземистый высоких давлений дистен-силлиманитового типа и гетерогенный зеленосланцевый. Первый комплекс прослеживается вдоль северо-восточного фланга зоны на всем ее протяжении, второй характерен только для северо-западной части зоны, а третий обрамляет два первых с северо-востока и с юго-запада вдоль границ Иртышской зоны с Рудноалтайской и Калба-Нарымской зонами соответственно.

Геологическая карта участка обнаруженной редкоземельной минерализации показана на рисунке 2. Вся его территория сложена метаморфическими породами, среди которых различаются три комплекса: высокотемпературный комплекс кристаллических сланцев, гнейсов и мигматитов умеренных давлений (1-4 на рис. 2), низкотемпературный комплекс плойчатых кристаллических сланцев высокого давления (5 и 7 на рис. 2) и комплекс плойчатых двуслюдяных гнейсо-гранитов (6 на рис. 2).

Основу зеленосланцевого комплекса составляют известковистые альбит-эпидот-актинолитовые кристаллические сланцы, подчиненное распространение имеют биотитовые и мусковит-хлоритовые кристаллические сланцы. Условия метаморфизма отвечают среднему высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации. Присутствие в некоторых зеленых сланцах граната дает основание допустить, что часть их – диафиты по более глубоко метаморфизованным кристаллическим сланцам.

Контакт зеленосланцевого комплекса с гетерогенной толщей обычно закрыт, но на правом берегу р. Иртыш в 3 км ниже с. Предгорное он обнажен полностью. Последовательность пород здесь с юго-запада на северо-восток такая: слоистый метаморфический комплекс андалузит-силлиманитового типа, тонкоплойчатый зеленосланцевый комплекс – 80 м, слоистый песчанико-черносланцевый комплекс – 300 м, бесструктурный зеленосланцевый комплекс. Сочленения перечисленных комплексов между собой резкие в интервале 1–5 м; на контакте проявлены тектониты.

Возраст пород зеленосланцевого комплекса на большей части рассматриваемой территории, полученный на основе сборов фауны в известняках и данных спорово-пыльцевого анализа в зеленых сланцах, датируется средним девоном. На правом берегу р. Ульба в чешуе зеленых сланцев определены спорово-пыльцевые комплексы C3–P1, а в зеленых сланцах непосредственно юго-восточнее рассматриваемой территории М.С. Козловым найдена силурийская фауна. Ознакомиться с геологией на всех участках, где в зеленых сланцах собрана фауна, нам пока не представилось возможным. На горе Орлова в северо-западной части зоны известняк с прослойками неметаморфизованных мергелей и с

эйфельской фауной залегает в плоскости надвига зеленосланцевого комплекса на структуры Рудного Алтая. По степени метаморфизма известняк резко отличается от пород зеленосланцевого комплекса и является чужеродным тектоническим отторжением. Укажем также, что в чешуе зеленых сланцев на правом берегу р. Ульба, залегающей тектонически на неметаморфизованных породах верхнего палеозоя и охарактеризованной спорово-пыльцевым комплексом  $C_3-P_1$ , найдены и девонские микрофитолиты (данные М.Ф. Микунова). Таким образом, противоречивые факты не позволяют считать окончательно решенным вопрос о возрасте зеленосланцевого комплекса. Не исключено, что в его составе присутствуют также нижнепалеозойские образования.

Низкотемпературные плойчатые кристаллические сланцы высоких давлений слагают тектоническую чешую в Овчье логу. Породы сложены однородными кианит (фибролит)-гранат-биотит-кварцевыми ( $\pm$ ставролит) сланцами. В юго-западном направлении она сменяется гнейсогранитами, после которых обнажаются полевошпат-

гранат-ставролит-слюдистые сланцы. В северо-восточном направлении через разлом чешуя высокобарических пород сменяется рассланцованным комплексом регионально-метаморфизованных пород.

Сланцы имеют кремнисто-глиноzemистый состав:  $SiO_2=78,24 - 77,96$  мас. %, слабо обогащены железом и источены щелочами. По составу они похожи на метаморфизованные осадочные породы, образованные размывом кремнекислых гранитов и вулканитов.

Структура плойчатых сланцев лепидогранобластовая, текстура – параллельная сланцеватая. Порода состоит из биотита и мусковита, среди которых встречаются отдельные зерна граната, апатита, турмалина и монацита (рис. 3).

Из породы выделены зерна циркона, которые были изучены на ионном микрозонде SHRIMP. Катодолюминесцентные изображения циркона приведены на рисунке 4, а результаты изотопного изучения – в таблице 1. Конкордия, представленная на рис. 5, показывает одну основную точку – 453,4 млн. лет (поздний ордовик).

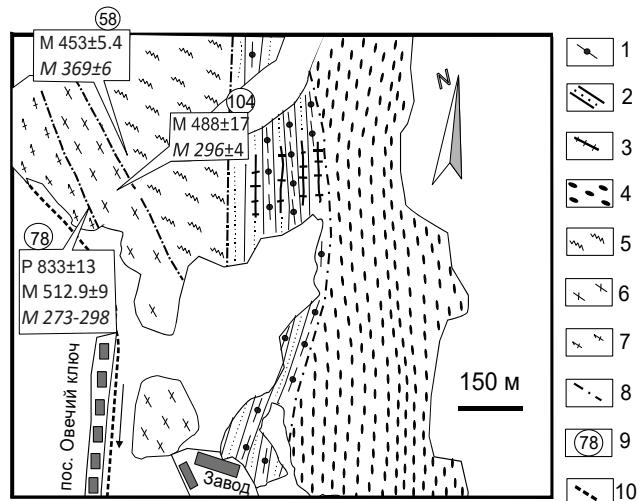


Рис. 2. Геологическая карта участка "Редкоzemельный-Восток-1":

1-4 – гнейсы, мигматиты и кристаллические сланцы высокотемпературной ступени амфиболитовой фации метаморфизма умеренных давлений (1 – биотит-полевошпат-гранат-силлиманит-кварцевые мигматиты,

2 – плагиоклаз-ортоклаз-диопсид±кварц±амфибол±гроссуляр±спенитовые кристаллические сланцы, 3 – межслоевые мигматиты гранитного состава, 4 – зоны катаклиза по гнейсам и мигматитам с формированием фрагментов от будин метровых размеров до миллионов и бластомилонитов); 5-7 – кристаллические сланцы и гранито-гнейсы высоких давлений (5 – полевошпат-кварц двуслюдянные±гранат±кианит плойчатые кристаллические сланцы, 6 – двуслюдянные±гранат±кианит плойчатые гранито-гнейсы,

7 – полевошпат-кварц-биотит-ставролитовые кристаллические сланцы); 8 – зоны катаклиза вплоть до филонитов, маркирующие разломы; 9 – точки отбора проб для выделения циркона и результаты его датирования уран-свинцовым методом; 10 – ручей Овчий ключ

Таблица 1. Результаты изучения изотопного состава и возраста циркона из сланцев

Spot	% $^{206}Pb$	ppm U	ppm Th	$^{232}Th/^{238}U$	ppm $^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$ Age	$^{207}Pb/^{206}Pb$ Age	% Discordant
58.4.1	0,00	559	82	0,15	28,0	366±9	409±61	12
58.3.1	0,15	522	60	0,12	26,6	371±9	355±63	-4
58.7.1	4,88	700	431	0,64	45,1	443±11	589±260	33
58.1.2	0,80	734	872	1,23	45,5	446±11	355±130	-21
58.9.1	3,96	194	99	0,53	12,5	449±13	527±410	18
58.1.1	0,54	479	447	0,96	29,9	449±11	401±110	-11
58.6.1	0,74	521	281	0,56	32,6	450±11	323±140	-28
58.5.1	0,18	771	553	0,74	48,6	456±11	505±58	11
58.6.2	0,52	536	232	0,45	34,0	457±11	432±110	-5
58.8.1	6,82	1797	2506	1,44	124,0	464±11	573±290	24
58.2.1	0,15	250	402	1,66	16,3	472±11	392±92	-17

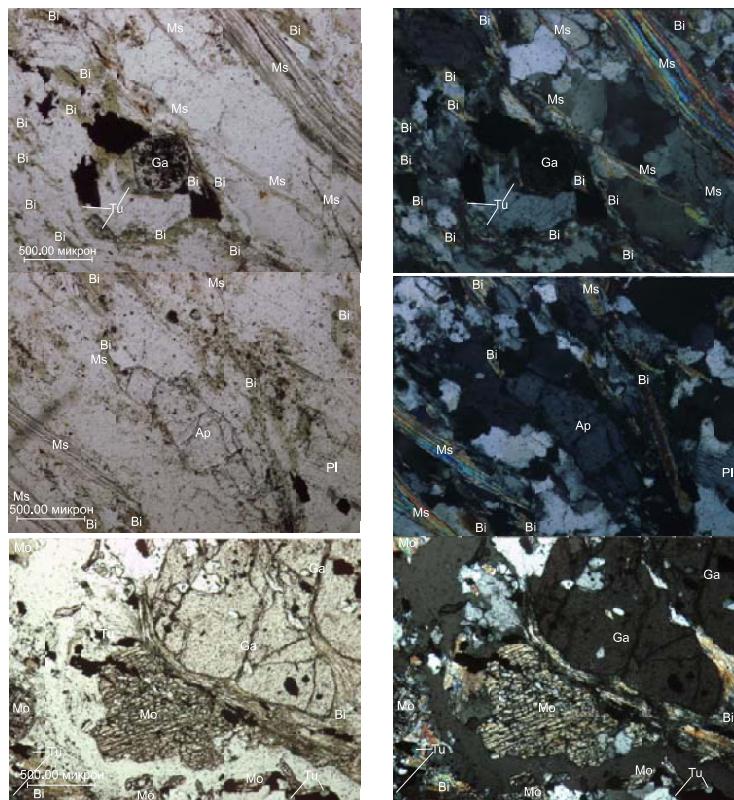


Рис. 3.Петрографический состав сланцев образцов № 2/2, 3/2, 4/2 (слева в обычном свете, справа в поляризованном):  
увеличение  $\times 9$ , линейный масштаб указан в левом углу нижней линии;  
обозначения: Ms – мусковит, Bi – биотит, Ap – апатит, Ga – гранат, Tu – турмалин, Mo – монацит

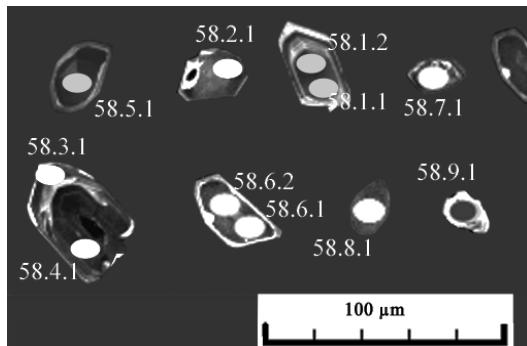


Рис. 4. Катодолюминесцентные изображения циркона из сланцев

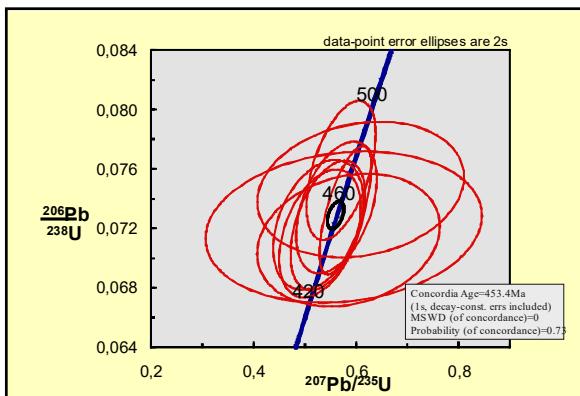


Рис. 5. Возраст циркона из сланцев

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Сланцы в первичном залегании имели состав аркоза и вакки (глинистого аркоза). В седиментогенезе основным

переносчиком редких земель выступают глинистые цепочки минералов. Кварц и аксессории добавляются лишь несколько процентов к общему балансу. Провинцией размыва протолита служили породы, богатые кварцем и бедные изверженными магматическими породами. Сочетание перечисленных показателей также убедительно аргументирует причины бедности сланцев относительно редкоземельной минерализации.

Главным носителем редкоземельной минерализации является монацит, который представлен свободной фазой в породах и минералом-узником в гранате. Красный и черный гранат, а также его промежуточные цветовые формы, одинаковы по составу минералов-узниковых: монацит, титано-гематит, ксенотим, тантало-ниобаты и сложные редкоземельные формы в красном гранате, полнота изученности которых далеко не исчерпана.

Гранат представлен в двух контрастных формах: красный и розовый альмандин-спессартин с содержанием пиропа не более 5% и пиральспит с содержанием пиропа 16-18%. Первый является низкотемпературной магматической формой в гранит-гнейсах и низкотемпературной, существенно спессартиновой формой в сланцах, образованной на стадии регрессивного метаморфизма (диафтореза). Второй (черный) гранат с большой долей уверенности является детритовым, на что указывает обилие в породе окатанных зерен микрогнейсовой структуры и несоответствие состава по пиропу – главному минеральному парарегенезу сланцев [3].

Важным достоинством минерального сырья является легкая обогатимость исходного материала. Об этом свидетельствуют технологические испытания, проведенные гравитационным обогащением и магнитной сепарацией при измельчении исходной породы до 1 мм. Возможные потери минералов, в виде сростков в отходных хвостах, не оценивались. Полученное извлечение полезного компонента составило 28%, что на данной стадии можно считать удовлетворительным. При использовании таких технологических приемов как выщелачивание, флотация,

электромагнитная сепарация позволит достичь его извлечения в объеме 50% и более. Все это дает основание считать новый генетический тип редкоземельного минерального сырья на участке "Редкоземельный-Восток-1" Иртышской зоны смятия таким, что имеет реальный промышленный интерес.

#### Список использованной литературы

- Гаврилова С. П. Парагенетический анализ метаморфических образований северо-западной части Иртышской зоны смятия / С. П. Гаврилова // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1959. – № 12. – С. 8-17.
- Ермолов П.В. Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана / П.В. Ермолов. – Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского Университета, 2013. – 203 с.
- Ермолов П.В. Гранат как носитель редкоземельной минерализации в Иртышской зоне смятия в Восточном Казахстане / П.В. Ермолов, Г.К. Бекенова, Е.В. Мусина, В.Л. Левин // Минералогия. – 2016. – № 2. – С. 53-59.
- Ермолов П.В. Редкоземельное оруденение коммерческого значения в метаморфическом комплексе Иртышской зоны смятия / П.В. Ермолов, Б.П. Хасен, Е.В. Мусина // Геология и охрана недр. – 2015. – №1(54). – С. 2-8.
- Иванкин П.Ф. Рудные формации Рудного Алтая / П.Ф. Иванкин, П.П. Иншин, В.С. Кузебный. – Алма-Ата: Гылым, 1961. – 286 с.
- Михайлов В.А. Редкоземельные руды мира / В.А. Михайлов. – Киев: ИПЦ "Киевский университет", 2010. – 223 с.

V. Portnov, Dr. Sci. (Tech.), Prof.

E-mail: vs\_portnov@mail.ru. +7 7212- 56-78-62,

E. Mussina, Doctoral Student

E-mail: sea\_kitten\_1@mail.ru,

M. Ponomareva, PhD (Tech.), Assoc. Prof.

E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru

Karaganda State Technical University (KSTU)

56 Bulvar Mira, Karaganda, Kazakhstan,

M. Reva, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.

E-mail: mvreva@gmail.com

Taras Schewchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylkovska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

## RARE EARTH MINERALIZATION OF HIGH-PRESSURE SHALES OF THE SITE "RARE-EARTH-EAST-1" (IRTYSH AREA CRUMPLED ZONE)

*Rare earth metals are in high demand in high-tech industries, so the study of their spatial distribution, mineralogy and commercial importance is of the urgent task.*

*A whole new genetic type of rare earth raw materials was detected in Eastern Kazakhstan. In the study of metamorphic rocks Irtysh crumpled zones of the garnet schists, the nucleus of each grain containing phosphate-garnet rare earths, were identified. They relate to cerium and the sodium groups and the main carrier minerals monazite and xenotime contain up to 32% and 42% of cerium and yttrium, respectively. In fact, these rocks are deposits, metamorphosed in the Ordovician period under high and ultra-high pressure. The aim is to explore the Irtysh crumpled zone and study new genetic type of rare earth raw materials in Eastern Kazakhstan, study spatial age and genetic relations; assess its commercial value and development prospects; develop and implement the technological scheme of commercialization of rare earth minerals.*

*The main carrier of the rare-earth mineralization is monazite, which is represented by the free phase in rocks and minerals in garnet-captive mineral. Red and black garnet, as well as its intermediate color forms, identical in composition to captive minerals: monazite (main), titanium and hematite, xenotime, tantalum-niobates (in gneiss-granites) and the complex not yet fully studied rare earth forms in red garnet are identified. Garnet is available in two contrasting forms: red and pink spessartite (with not more than 5% of pyrope) and pyralspite (containing 16-18% of pyrope). Technical tests of rare genetic material of a new type give grounds to consider it to be sufficiently promising for industrial development.*

**Keywords:** facies, raw materials, samples, micro-inclusions, monazite, zircon, isotopic composition, age.

В. Портнов, д-р техн. наук, проф.

E-mail: vs\_portnov@mail.ru,

С. Мусіна, докторант

E-mail: sea\_kitten\_1@mail.ru,

М. Пономарьова, канд. техн. наук, доц.

E-mail: mv\_ponomareva18@mail.ru,

Карагандинський державний технічний університет (КарДТУ),

Бульвар Миру, 56, м. Караганда, 100027, Казахстан,

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.

E-mail: mvreva@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології"

вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

## РІДКОЗЕМЕЛЬНА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ВИСОКОБАРИЧНИХ СЛАНЦІВ ДІЛЯНКИ "РІДКОЗЕМЕЛЬНА-СХІД-1" (ІРТИШСЬКА ЗОНА ЗМИНАННЯ)

*Рідкісні метали і землі досить затребувані у високотехнологічних галузях промисловості, тому вивчення їх просторового розподілу, мінералогії, комерційного значення з актуальним завданням. У Східному Казахстані виявлено абсолютно новий генетичний тип рідкоземельної сировини. При вивченні метаморфічних порід Іртишської зони змінання виявлені гранатові сланці, з присутністю в ядрах кожного зерна гранату фосфатів рідкісних земель. Вони відносяться до церієвої та ітрієвої груп, головними мінералами-носіями є монацит і ксенотіт, які містять до 32% і 42% церію та ітрію, відповідно. По суті ці породи являють собою розсипи, метаморфізовані в ордоївку в умовах високих і ультрависоких тисків. Мета роботи полягала у вивченні Іртишської зони змінання і дослідження нового генетичного типу рідкоземельної сировини в Східному Казахстані; вивченій його просторових, вікових і генетичних зв'язків; проведенні технологічних випробувань для рідкоземельної сировини з метою оцінки її комерційного значення та перспектив промислового освоєння.*

*Головним носієм рідкоземельної мінералізації є монацит, який представлений вільною фазою в породах і є мінералом-в'язнем у гранаті. Червоний і чорний гранат, а також його проміжні колірні форми, є однаковими за складом мінералів-в'язнів, які представлені монацитом (головний), титано-гематитом, ксенотіті, мангано-ніобатами (в гнейсово-гранітах) і склінітами, що повністю вивчені рідкоземельними формами в червоному гранаті. Гранат представлений у двох контрастних формах: червоний і рожевий альмандин-спессартин із вмістом піропу не більше 5% і піральспіт із вмістом піропу 16-18%. Проведені технологічні випробування рідкоземельної сировини нового генетичного типу дають підстави вважати її достатньо перспективною для промислового освоєння.*

**Ключові слова:** фациї, сировина, пробы, мікроінклюзії, монацит, циркон, ізотопний склад, вік.

- Некорошев В.П. Геология Алтая / В.П. Некорошев. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – 258 с.
- Некорошев В. П. Тектоника Алтая / В. П. Некорошев. – М.: Недра, 1966.

#### References

- Gavrilova, S.P. (1959). Paragenetic analysis of metamorphic formations of the north-western part of the Irtysh zone crumple / Proceedings of the higher educational institutions. Geology and Exploration, 12, 8-17. [in Russian].
- Ермолов, Р.В. (2013). Actual problems of iso-topnay Geology and Metallogeny of Kazakhstan. Publishing and printing center of the Kazakhstan-Russian University, Karaganda, 203 p. [in Russian].
- Ермолов, Р.В., Бекенова, Г.К., Мусіна, Е.В., Левін В.Л. (2016). Pomegranate as a carrier of rare-land salinity in the Irtysh zone crumple in East Kazakhstan. Mineralogy, 2, 53- 59. [in Russian].
- Ермолов, Р.В., Hasen, B.P., Mussina, E.V. (2015). The rare earth mineralization commer-sky values in the metamorphic complex Irtysh crumple zones. Geology and protection of mineral resources, 1 (54), 2-8. [in Russian].
- Івянкін, Р.Ф., Іншин, Р.Р., Кузебні, В.С. (1961). Ore formation Rudny Altai. Alma-Ata: Gylym, 286 p. [in Russian].
- Міхайлів, В.А. (2010). Rare earth ore of the world. Kiev: "Kiev University", 223 p. [in Russian].
- Некорошев, В.Р. (1958). Geology Altai. Moskow. Gosgeoltekhnizdat, 258 p. [in Russian].
- Некорошев, В.Р. (1966). Tectonics Altai. Moskow. Nedra. [in Russian].

Надійшла до редколегії 24.10.16