

# Распределение высокосигерофильных элементов (Os, Ir, Ru, Pt, Pd и Re – HSE) в пикритах Улытау (Запад Центрального Казахстана)

<sup>1</sup>\*ЛИ Елена Сергеевна, магистр, старший преподаватель, antonova\_elenit@mail.ru,

<sup>1</sup>ПОНОМАРЕВА Марина Викторовна, к.т.н., доцент, mv\_ponomareva18@mail.ru,

<sup>2</sup>СТЕПАНЕЦ Владимир Григорьевич, д.т.н., главный геолог, wladimir@stepanez.de,

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

<sup>2</sup>Astra Mining Kazakhstan, Великобритания, Лондон, ул. Регент, 207,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Введение: Каратургайский комплекс пород ультраосновного состава, находящийся в Северном Улытау, содержит медно-никелевую минерализацию. Присутствие в сульфидах металлов платиновой группы (ЭПГ) является ключевым фактором детального изучения данного комплекса.

Методика: В процессе исследования были изучены шлифы и аншлифы пород каратургайского комплекса и впервые пикриты Каратургая были изучены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS).

Результаты и обсуждение: В статье приведены геохимические данные элементов платиновой группы в пикритах. Каратургайские пикриты, содержащие платиноидовую минерализацию, можно условно поделить на 2 типа. КТуре-1 – убого сульфидсодержащие пикриты и КТуре-2 – сульфидизированные порфиновые оливиновые пикриты.

Выводы: В результате исследований установлено, что наиболее схожи каратургайские пикриты по концентрации ЭПГ с месторождениями Джинчуан, Дулут, и Печенга. Также выявлена закономерность соотношения Pt/Pd гипербазитов Северного Улытау, которое стремится к единице.

**Ключевые слова:** ЭПГ, сульфиды, пикриты, Северный Улытау, Казахстан, Каратургайский комплекс, платина, палладий, медно-никелевая минерализация, ультраосновные породы.

## Введение

В бассейне Каратургая был встречен особый комплекс гипабиссальных интрузивных образований ультраосновного и основного состава, состоящий из нескольких субпараллельных факолитов, мощностью от 2 до 12 м. Наиболее интересными породами этого комплекса являются его ультраосновные члены – собственно пикриты.

Характерным для пикритов и сопутствующим им долеритам, является форма залегания в виде малых интрузий. Н.П. Михайловым при полевых работах зарегистрировал около 60 мелких тел пикритов, пикрито-долеритов и долеритов, обычно залегающих согласно с дислоцированными метамолфическими толщами. Метаморфические сланцы у верхних и нижних контактов факолитов в полосе шириной 0,4-0,8 м превращены в темно-серые тонкозернистые альбито-кварцевые роговики микрогранобластовой структуры, в составе которых в небольшом количестве присутствует биотит, роговая обманка и иногда мелкие зерна граната.

Малые интрузии пикритов и долеритов рас-

полагаются в узкой зоне по правобережью р. Каратургай. Протяженность зоны около 30 км. На юге от северной оконечности Акжальского массива через излучину р. Каратургай, где она меняет свое направление с западного на северное, тела пикритов прослеживаются до р. Карасу, впадающей в р. Каратургай. Ширина зоны 3-5 км [1].

Длина тел, весьма разнообразна от 5 до 500 м, мощность от 0,8 до 15 м. В рельефе дайки образуют гряды темнозеленых, иногда почти черных пород. На участках интенсивной серпентинизации породы приобретают голубовато-серый цвет.

Пикриты, имеющие порфировую структуру, содержат: оливин (65-75%), моноклинный и ромбический пироксены в равных количествах (5-7%), бурую роговую обманку (2-4%), сосюритизированный плагиоклаз (10-15%), биотит, флогопит (0.5%), сульфиды (0.5-2%), манганоильменит, титаногематит, магнетит, хромшпинель, апатит [2].

Интерес к пикритам Северного Улытау обусловлен наличием элементов платиновой группы (ЭПГ) в медно-никелевых рудах-вкрапленниках [3].

Сульфидные капли (рисунок 1) представлены минералами: пирротинитом ( $\text{FeS}$ ), пентландитом  $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ , виоларитом  $(\text{Fe,Ni})_3\text{S}_4$ , халькопиритом ( $\text{CuFeS}_2$ ), сфалеритом ( $\text{ZnS}$ ), магнетитом.

В пикритах каратургайского комплекса были впервые обнаружены виоларит, сфалерит, зигенит, дителлурид платины (мончеит), теллурид дисеребра, теллурид свинца (алтаит), селенид свинца, твердые растворы иридиевой группы ( $\text{Ir}$ ,  $\text{Os}$ ,  $\text{Ru}$ ), редкоземельные элементы ( $\text{Dy}$ ,  $\text{Er}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ce}$ ).

Теллурид платины в рудах каратургайского типа встречается во всех главных рудных минералах – пентландите, халькопирите и пирротине. Одной из характерных особенностей руд каратургайского типа является присутствие селенида свинца, арсенидов иридиевой группы и высокий уровень содержания редкоземельных элементов иттриевого ( $\text{Y}$ ,  $\text{Dy}$ ) подсемейства [3].

Более подробно минералогия и петрография пород каратургайского комплекса описана в статьях авторов [2,3].

### Методика исследований

Были отобраны пробы пикритов с гипербазитового каратургайского комплекса. Изготовленные шлифы и аншлифы были исследованы методом оптической микроскопии. Исследования проведены в Институте геологических наук им. К. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан.

Все фото были выполнены в режиме обратно-рассеянных электронов, в котором контраст на изображении зависит от среднего атомного номера фазы. Чем больше  $Z$  ср, т.е. чем больше тяжёлых элементов, тем светлее эта фаза на изображении.

Также был проведен анализ масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), метод исследования, позволяющий проводить определение большого числа элементов с низкими и ультранизкими пределами обнаружения. ICP-MS пород каратургайского комплекса проводился в г. Гаутенг, ЮАР.

### Результаты исследований

Лабораторные исследования проводились методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) Gauteng, South Africa. Ранее породы гипербазитового комплекса Улытау с применением метода ICP MS изучены не были. Результаты анализов приведены в таблице.

На рисунке 2 А представлены графики, иллюстрирующие содержание ЭПГ ( $\text{Os}$ ,  $\text{Ir}$ ,  $\text{Ru}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$ ) и  $\text{Re}$ . Из графика видно, что все пробы пикритов заметно обеднены  $\text{Ir}$  и обогащены  $\text{Re}$ . Заметна тенденция увеличения содержания элементов от их плотности. Так, легкие платиновые металлы (рутений, родий и палладий) отмечаются минимумами, в то время как тяжелые (платина, иридий и осмий) – заметно большими показаниями.

Соотношение  $\text{Pt/Pd}$  стремится к единице, т.е. их показания практически идентичны. В таком

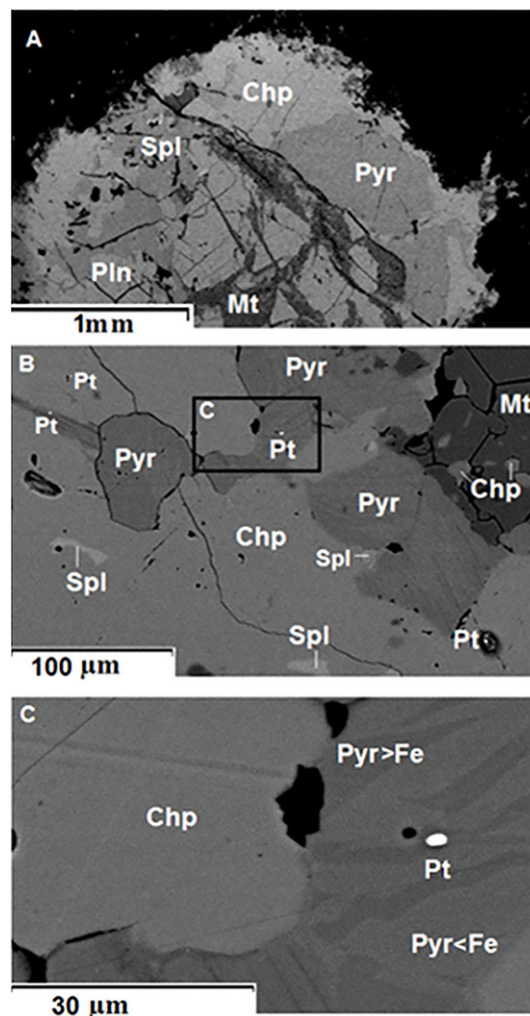


Рисунок 1 – Фотоизображения в обратно-рассеянных электронах участков аншлифов, изготовленных из рудного материала, содержащего пирротин ( $\text{Pyr}$ ), халькопирит ( $\text{Chp}$ ), пентландит ( $\text{Pln}$ ) виоларит ( $\text{Vi}$ ), сфалерит ( $\text{Spl}$ ), магнетит ( $\text{Mt}$ ) с микровключениями платиноидов ( $\text{Pt}$ ). На рисунках А, В показано строение сульфидной капли и взаимоотношения минералов. Рисунок С демонстрирует характер соотношения халькопирита и пирротина (со структурой распада твердых растворов)

случае стоит пересмотреть данные О.Б. Бейсеева [4], который утверждает, что сульфидные медно-никель-кобальтовые руды Каратургайского проявления содержат  $\text{Pt}$  – 5 г/т, а  $\text{Pd}$  – 16 г/т, и С.С. Чудина [5], по данным которого в медно-никелевом концентрате этих руд суммарное содержание платиноидов достигает всего 10 г/т.

Если сравнить показания с Гавайскими пикритами (Kilauea Parental Melt) видно, что концентрация ЭПГ и  $\text{Re}$  в каратургайских пикритах заметно выше, при этом тенденция роста тяжелых платиноидов и  $\text{Ir}$ -минимум – абсолютно идентичны. Также на графике приведена линия PUM (примитивная верхняя мантия), которая является репрезентативным для фертильных перидотитов

до удаления материала из верхней мантии (Becker et al., 2006).

По результатам анализов (таблица) каратургайские пикриты, содержащие платиноидовую минерализацию, можно условно поделить на 2 типа. КТуре-1 – убого сульфидсодержащие пикриты, (на рисунке 2 они пронумерованы цифрами 1-5) и КТуре-2 – сульфидизированные порфиновые оливиновые пикриты.

Содержания ЭПГ в пикритах КТуре-1 приблизительно схоже с коматинами из районов Алексо и Пайк Хилл (Онтарио, Канада). Примечательно, что по содержанию Pt все три графика (рисунок 2 В) – PUM, Komatiite и КТуре-1 сходятся в одной точке. Содержания Pd в каратургайских убого сульфидсодержащих пикритах и Онтаринских коматитах также приблизительно равны, а пока-

зания Re расходятся.

Наибольший интерес представляет собой график КТуре-2, который значительно возвышается над всеми, в десятки раз превышая концентрацию ЭПГ по сравнению с КТуре-1.

Сравнивая сульфидизированные каратургайские пикриты с пикритами других месторождений, можно заметить (рисунок 3), что все графики имеют одну общую тенденцию на увеличение концентраций Pt и Pd, и иридиевый Ir – минимум.

Как уже было сказано выше, отношения Pt/Pd в каратургайских пикритах стремится к единице, что хорошо видно на графике (рисунок 3) – линия графика достаточно пологая, в то время как Норильская группа месторождений (Октябрьское, Юго-Западное, Талнаха) имеет круто-падающую линию, где содержания тяжелых платиноидов

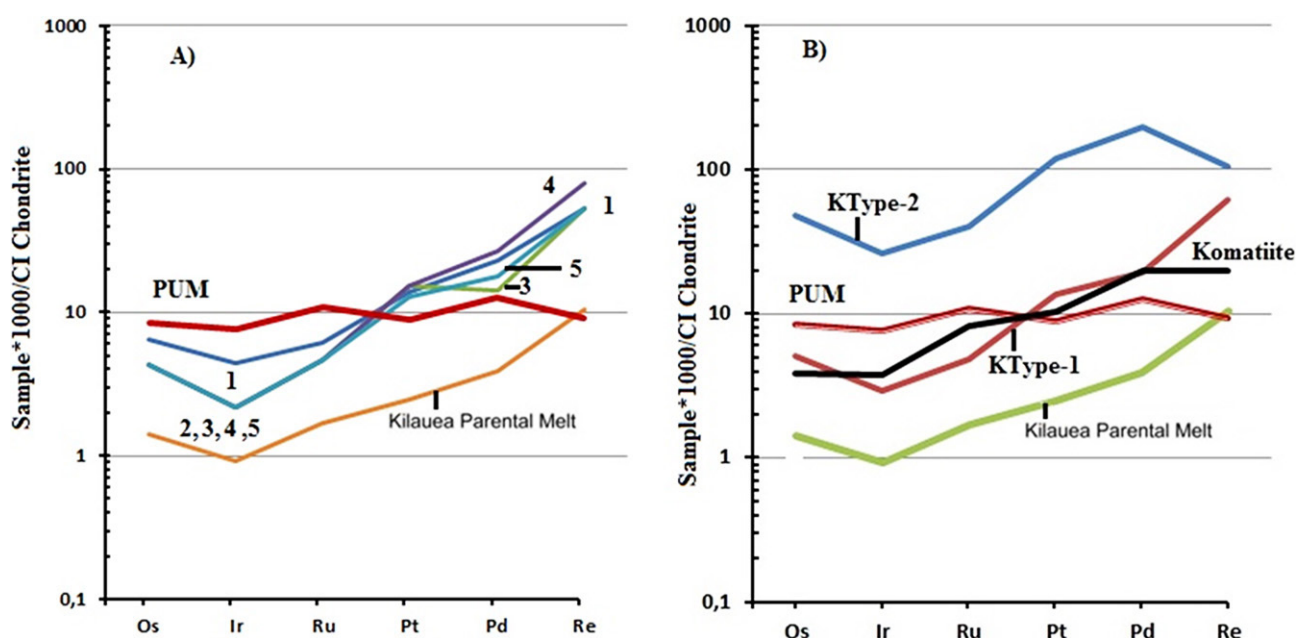


Рисунок 2 – Содержания ЭПГ и Re, нормализованные к хондриту CI (Horan et al., 2003), [6] в пикритах месторождения Рыскельди (река Каратургай). PUM – примитивная верхняя мантия; Kilauea Parental Melt – Гавайские пикриты [Thomas et al., 2009] [7]. Komatiite Ontario, Canada – коматиты [Puchtel et al., 2005] [8]. КТуре-1 – среднее из 5 проб убого сульфидсодержащих пикритов; КТуре-2 – сульфидизированные порфиновые оливиновые пикриты

| Геохимические данные пород каратургайского комплекса |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         |        |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|
| №                                                    | Pt<br>ppm | Pd<br>ppm | Rh<br>ppm | Ir<br>ppm | Os<br>ppm | Ru<br>ppm | Re<br>ppm | Cu<br>ppm | Ni<br>ppm | Fe<br>% | S<br>% |
| 1                                                    | 12        | 13        | <2        | 2         | 3         | 4         | 0.002     | 195       | 1280      | 8.63    | 0.13   |
| 2                                                    | 4         | 5         | <2        | 1         | 2         | <3        | 0.002     | 83.8      | 1690      | 8.76    | 0.08   |
| 3                                                    | 13        | 8         | <2        | 1         | 2         | <3        | 0.002     | 187.5     | 1360      | 8.74    | 0.13   |
| 4                                                    | 13        | 15        | <2        | 1         | 2         | 3         | 0.003     | 181.5     | 1490      | 8.82    | 0.12   |
| 5                                                    | 11        | 10        | <2        | 1         | 2         | 3         | 0.002     | 227       | 1340      | 8.68    | 0.15   |
| 6                                                    | 18        | 14        | <2        | 2         | 3         | 3         | 0.003     | 198.0     | 1360      | 8.88    | 0.10   |
| 7                                                    | 103       | 110       | 7         | 12        | 22        | 26        | 0.004     | 1040      | 2210      | 9.28    | 0.35   |

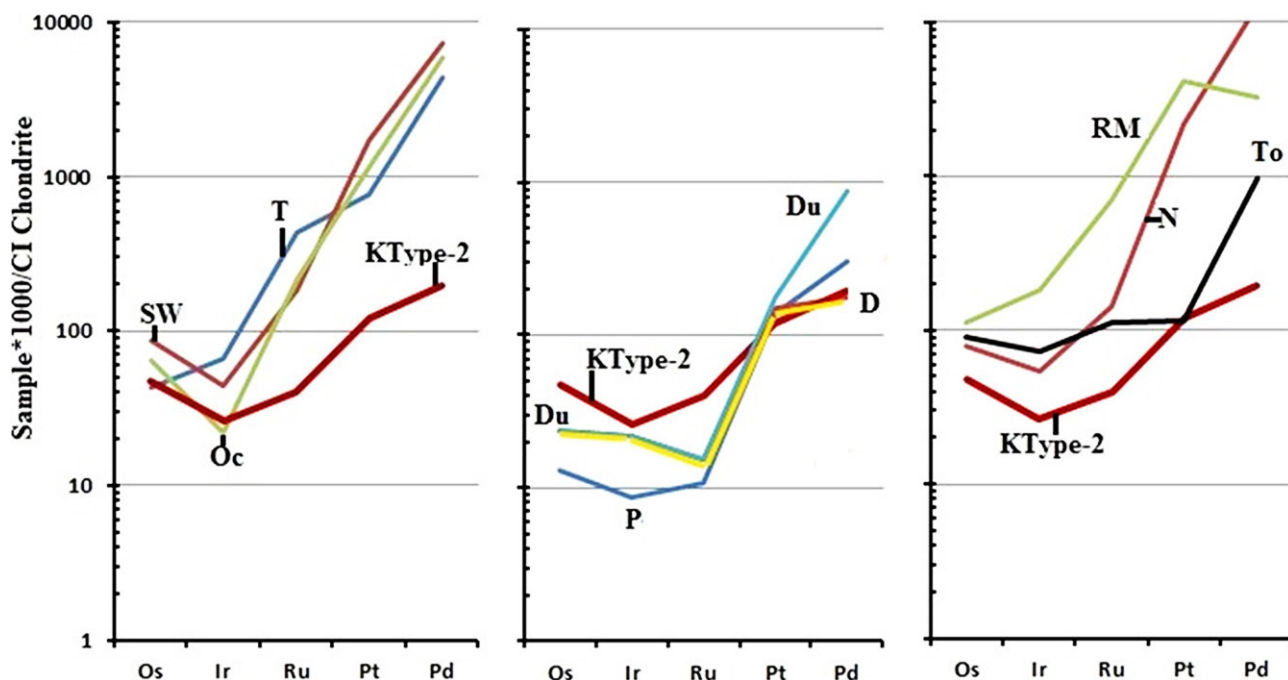


Рисунок 3 – Содержания ЭПГ, нормализованные к хондриту CI (Horan et al., 2003) [6]. Месторождения: N – Норильск, [6]. RM – Рифт Меренский, To – Томпсон, D – Джинчуан, Du – Дулут, P – Печенга (Налдретт, 2003) [10]. Ос – Октябрьское, SW – Юго-Западное, Т – Талнаха, Норильская группа (Sluzhenikin et al., 2014) [11]

преобладают над легкими в сотни раз.

Более схожи каратургайские пикриты по концентрации ЭПГ со второй группой месторождений (Джинчуан, Дулут, Печенга), представленных на рисунке 3.

### Заключение

В результате впервые приведённого геохимического анализа с применением метода ICP MS получены данные по концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ) в пикритах Каратургайского комплекса. Внимательно изучив и сравнив эти данные с месторождениями ультраосновного состава, содержащих медно-никелевую с ЭПГ минерализацию, можно сделать ряд выводов.

Вполне возможно, что прогнозы О.Б. Бейсеева и С.С. Чудина о концентрации платины и палладия в каратургайских пикритах ошибочны. Из результатов исследования видно, что содержания платины и палладия почти идентичны. Это дает надежду на обнаружение богатой залежи платиноидов и повод для дальнейших детальных исследований Северного Улытау на предмет разведки месторождений, связанных с ЭПГ.

Сравнивая сульфидизированные каратургайские пикриты с пикритами других месторождений, можно заметить, что наиболее схожи каратургайские пикриты по концентрации ЭПГ с месторождениями Джинчуан, Дулут и Печенга.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанец В.Г., Ли Е.С., Левин В.Л., Бекенова Г.К., Жуков Н.М., Хакимжанов. Minerals of noble and rare elements in Karaturgay and Mayke ore types of Mayatas ore region (North Ulytau, Kazakhstan) // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2019. № 2. С. 21-29.
2. Степанец В.Г., Левин В.Л., Хакимжанов М., Савельева Н.А., Ли Е.С. Проблемы петрологии ультраосновных пород бассейна реки Каратургай Северного Улытау (Центральный Казахстан) // Там же. 2018. № 1. С. 6-25.
3. Степанец В.Г., Левин В.Л., Ли Е.С. Составы и формы нахождения платиноидов и редкоземельных элементов в сульфидах пикритов каратургайского комплекса Северного Улытау // Там же. 2018. № 3. С. 348-365.
4. Бейсеев О.Б., Бейсеев А.О., Альпиев Е.А., Кашкимбаев К.К. Геологические и геотехнологические критерии оценки промышленных перспектив новых рудопроявлений цветных, благородных металлов и нерудного сырья Жезказган-Улытауского района как материалов для высоких технологий. Алмазы, золото и благородные металлы // Геоматериалы. 2010. С. 137-141.
5. Чудин С.С. К проблеме платиноносности недр Казахстана // Горно-геологический журнал. 2012. № 3-4. С. 31-32.
6. Horan, M.F., Walker, R.J., Morgan, J.W., Grossman, J.N., Rubin, A.E. Highly siderophile elements in chondrites // Chemical Geology. 2003. Vol. 196. pp. 5-20. DOI:10.1016/S0009-2541(02)00405-9



7. Thomas J. Ireland A, Richard J. Walker A., Michael O. Garcia. Highly siderophile element and 187Os isotope systematics of Hawaiian picrites: Implications for parental melt composition and source heterogeneity // Chemical Geology Vol. 260. 2009. pp. 112-128. DOI:10.1016/j.chemgeo.2008.12.009
8. Puchtel, I.S., Humayun, M. Highly siderophile element geochemistry of Os-187 – enriched 2.8 Ga Kostomuksha komatiites, Baltic shield // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. Vol. 69. pp. 1607-1618. DOI:10.1016/j.gca.2004.09.007
9. Кривошук Н.А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2013. – 306 с.
10. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. 488 с.
11. Sluzhenikin S.F., Mokhov A.V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Miner Deposit. 2015. Vol. 50. pp. 465-492. DOI:10.1007/s00126-014-0543-2

### **Ұлытау пикриттарында жоғарысидерофильді элементтердің (Os, Ir, Ru, Pt, Pd и Re – HSE) таралуы (Орталық Қазақстанның Батысы)**

<sup>1</sup>\***ЛИ Елена Сергеевна**, магистр, аға оқытушы, antonova\_elenit@mail.ru,

<sup>1</sup>**ПОНОМАРЕВА Марина Викторовна**, т.ғ.к., доцент, mv\_ponomareva18@mail.ru,

<sup>2</sup>**СТЕПАНЕЦ Владимир Григорьевич**, т.ғ.д., бас геолог, wladimir@stepanez.de,

<sup>1</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

<sup>2</sup>Astra Mining Kazakhstan, Ұлыбритания, Лондон, Регент көшесі, 207,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Кіріспе: Солтүстік Ұлытауда орналасқан ультрамәгізді тау жыныстарының Қараторғайлық кешенінде мыс-никель минералдануы бар. Металл сульфидтерінде платина тобының (ПТЭ) болуы осы кешенді егжей-тегжейлі зерттеудің негізгі факторы болып табылады.

Әдістемесі: Зерттеу барысында Қараторғай кешені жыныстарының шифтері мен анишфтері зерттелді және алғаш рет Қараторғай пикриттері индуктивті-байланысқан плазмасы бар масс-спектрометрия (ICP MS) әдісімен зерттелді.

Талқылау және нәтижелер: Мақалада пикриттердегі платина тобының элементтерінің геохимиялық мәліметтері келтірілген. Караторғай пикриттерін, платиноидты минералдануды шартты түрде 2 түрге бөлуге болады. КТуре-төмен сульфидті пикриттер және КТуре-2-сульфидтенген порфирлі оливин пикриттері.

Қорытынды: Зерттеулер нәтижесінде ПТЭ концентрациясы бойынша Джинчуан, Дулут және Печенга кен орындарына караторғай пикриттері неғұрлым ұқсас екені анықталды. Сондай-ақ, бірлікке ұмтылатын Солтүстік Ұлытау гипербазиттерінің Pt/Pd қатынасының заңдылығы анықталды.

**Кілт сөздер:** ПТЭ, сульфидтер, пикриттер, Солтүстік Ұлытау, Қазақстан, Қараторғай кешені, платина, палладий, мыс-никель минералдануы, ультра негізді жыныстар.

### **Distribution of Highly Siderophilic Elements (Os, Ir, Ru, Pt, Pd and Re – HSE) in the Ulytau Pikrites (West of Central Kazakhstan)**

<sup>1</sup>\***LI Yelena**, master, Senior Lecturer, antonova\_elenit@mail.ru,

<sup>1</sup>**PONOMAREVA Marina**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, mv\_ponomareva18@mail.ru,

<sup>2</sup>**STEPANEZ Vladimir**, Dr. of Tech. Sci., Chief Geologist, wladimir@stepanez.de,

<sup>1</sup>Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

<sup>2</sup>Astra Mining Kazakhstan, United Kingdom, London, 207 Regent Street,

\*corresponding author.

**Abstract.** Introduction: The Karaturgay complex of ultramafic rocks, located in the Northern Ulytau, contains copper-nickel mineralization. The presence of platinum group metals (PGE) in sulfides is a key factor in a detailed study of this complex.

Methodology: During research thin sections and polished sections of rocks from the Karaturgay complex were studied. For the first time Karaturgay picrites were examined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS).

Results and discussion: The article presents geochemical data of platinum group elements in picrites. The Karaturgay picrites, the content of platinoid mineralization, can be conditionally divided into 2 types. KType-1 – poorly sulfide-bearing picrites and KType-2 – sulfidized porphyry olivine picrites.

Conclusion: As a result of studies, it was found that the Karaturgay picrites are most similar in terms of PGM concentration to the Jinchuan, Dulut, and Pechenga deposits. The regularity of the Pt/Pd ratio of the hyperbasites of the Northern Ulytau has also been revealed, which tends to 1.

**Keywords:** PGE, sulfides, picrites, North Ulytau, Kazakhstan, Karaturgay complex, platinum, palladium, copper-nickel mineralization, ultrabasic rocks.

## REFERENCES

1. Stepanets V.G., Levin V.L., Khakimzhanov M., Savelyeva N.A., Li E.S. Minerals of noble and rare elements in Karatargay and Mayke ore types of Mayatas ore region (North Ulytau, Kazakhstan). *Izvestiya NAS RK. Geology and Engineering Science Series*, 2019, no. 2, pp. 21-29.
2. Stepanets V.G., Levin V.L., Khakimzhanov M., Savelyeva N.A., Li E.S. Problems of petrology of ultrabasic rocks in the basin of the Karatargay River in Northern Ulutau (Central Kazakhstan). *Ibid*, 2018, no. 1, pp. 6-25 (in Russ.).
3. Stepanets V.G., Levin V.L., Li E.S. Compositions and forms of occurrence of platinoids and rare-earth elements in sulphides of picrites of the Karatargai complex of Northern Ulytau. *Ibid*, 2018, no. 3, pp. 348-365 (in Russ.).
4. Beiseev O.B., Beiseev A.O., Alpiev E.A., Kashkimbaev K.K. Geological and geotechnological criteria for assessing the industrial prospects of new ore occurrences of non-ferrous, noble metals and nonmetallic raw materials of the Zhezkazgan-Ulutau region as materials for high technologies. *Diamonds, gold and precious metals. Geomaterials*, 2010, pp. 137-141 (in Russ.).
5. Chudin S.S. To the problem of platinum content of the bowels of Kazakhstan. *Gorno-geological journal*, 2012, no. 3-4, pp. 31-32 (in Russ.).
6. Horan, M.F., Walker, R.J., Morgan, J.W., Grossman, J.N., Rubin, A.E. Highly siderophile elements in chondrites. *Chemical Geology*, 2003, Vol. 196, pp. 5-20. DOI:10.1016/S0009-2541(02)00405-9
7. Thomas J. Ireland A., Richard J. Walker A., Michael O. Garcia. Highly siderophile element and <sup>187</sup>Os isotope systematics of Hawaiian picrites: Implications for parental melt composition and source heterogeneity. *Chemical Geology*, Vol. 260, 2009, pp. 112-128. DOI:10.1016/j.chemgeo.2008.12.009
8. Puchtel, I.S., Humayun, M. Highly siderophile element geochemistry of Os-187 – enriched 2.8 Ga Kostomuksha komatiites, Baltic shield. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005. Vol. 69, pp. 1607-1618. DOI:10.1016/j.gca.2004.09.007
9. Krivoluckaja N.A. Jevoljucija trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovanie v Noril'skom rajone. Moscow: Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK. – 2013, pp. 306. (in Russ.).
10. Naldrett A.J. Magmaticheskiye sul'fidnyye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometall'nykh rud. [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. SPb, SPbSU Publ., 2003, 488 p.
11. Sluzhenikin S.F., Mokhov A.V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia. *Miner Deposit*, 2015, Vol. 50, pp. 465-492. DOI:10.1007/s00126-014-0543-2 (in Russ.).