

Монгольского складчатого пояса и связанные с ними месторождения черных, цветных и благородных металлов»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Luth R.W. Experimental determination of the reaction aragonite + magnesite = dolomite at 5 to 9 GPa // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2001. V. 141, P. 222-232.

**КОНТРАСТНЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ
В УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫХ ИНТРУЗИВАХ НОРИЛЬСКОГО
РЕГИОНА (РОССИЯ): HF-ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ В ЦИРКОНЕ**

Малич К.Н.*, **Баданина И.Ю.***, **Белоусова Е.А.****, **Гриффин В.Л.****,
Кнауф В.В.***, **Петров О.В.***, **Пирсон Н.Дж.****, **Туганова Е.В.***

**Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ),
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dunite@yandex.ru*

***Австралийский научный центр по геохимической эволюции и металлогении континентов
(GEMOC), Университет Маквори, Сидней, Австралия
e-mail: wgriffin@els.mq.edu.au*

****ЗАО «НАТИ», Санкт-Петербург, Россия
e-mail: natires@natires.com*

**CONTRASTING MAGMA SOURCES IN ULTRAMAFIC-MAFIC INTRUSIONS
OF THE NORIL'SK REGION (RUSSIA): HF-ISOTOPE EVIDENCE FROM ZIRCON**

Malitch K.N.*, **Badanina I.Yu.***, **Belousova E.A.****, **Griffin W.L.****,
Knauf V.V.***, **Petrov O.V.***, **Pearson N.J.****, **Tuganova E.V.***

**All-Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia
e-mail: dunite@yandex.ru*

***GEMOC ARC National Key Centre, Macquarie University, Sydney, Australia
e-mail: wgriffin@els.mq.edu.au*

****NATI Research JSC, St. Petersburg, Russia
e-mail: natires@natires.com*

In situ Hf-isotope data (~200 analyses) were collected on the dated spots within single zircon grains from the main lithological units of economic (Noril'sk-1, Talnakh and Kharaelakh), subeconomic (Chernogorsk and Vologochan), prospective Mikchangda and non-economic (Nizhny Talnakh and Zelyonaya Griva) intrusions of the Noril'sk area. The analysis used a New Wave LUV213 laser-ablation microprobe attached to a Nu plasma MC-ICP-MS at GEMOC [5]. The Hf isotope data suggest that zircons from economic and subeconomic intrusions are characterized by the signature of a juvenile mantle-derived magma. The less radiogenic Hf isotope values of zircons from non-economic intrusions indicate mixing between mantle and crustal magma sources. Our new findings suggest the interaction of distinct magmas, indicating that ultramafic-mafic intrusions of the Noril'sk area have a more complex geological history than is commonly assumed. The «radiogenic» Hf isotope composition of zircon is an effective fingerprint for identifying prospective intrusions and consequently is useful in exploration for sulphide-rich ores associated with Noril'sk-type intrusions.

Уникальные месторождения платиноидов, никеля и меди расположены в пределах Игарско-Норильской палеорифтогенной системы на северо-западе Восточной Сибири [1]. Они приурочены к ультрабазит-мафитовым интрузивам мощностью до 360 м и протяженностью до 20 км.

Совмещенное применение специальной технологии минералогических работ (метода *ppт-минералогии*) для выделения цирконов из пород и локальных аналитических методов изотопно-

го анализа обеспечило новую, более детальную и точную информацию относительно происхождения пород ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции.

Исследования по уран-свинцовому датированию цирконов методом SHRIMP-II [2, 6-8 и др.] выявили дискретный характер распределения возрастов в породах *промышленно-рудноносных* интрузивов Норильск-1, Талнах и Хараелах, *рудноносных* (с мелкими месторождениями) Черногорского и Вологодчанского, *потенциально рудоносного* Микчангдинского и содержащих минерализацию Нижнеталнахского и Зеленогривского интрузивов. Большинство конкордантных U-Pb возрастов различных цирконовых популяций находятся в интервале 230-270 млн. лет. Кроме того, менее распространенные группы цирконов образуют два более древних возрастных кластера около 300 и 340 млн. лет.

Результаты Hf-изотопной систематики (206 анализов) для продатированных зерен циркона выполнены в Университете Маквори при помощи лазерной абляции (New Wave LUV213) и масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно-связанной плазме (Nu-plasma MC ICP-MS), следуя аналитическим процедурам, детально охарактеризованным в работе [5]. Измеренные $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ отношения и константа распада $^{176}\text{Lu} = 1.865 \times 10^{-11} \text{ г}^{-1}$ [9] были использованы для вычисления начальных изотопных $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ отношений. Параметр эpsilon гафния (ϵ_{Hf}), выражающий отклонение начального отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ между цирконом и хондритовым универсальным резервуаром (CHUR), умноженное на 10^4 , был рассчитан с использованием $^{176}\text{Lu} = 1,865 \times 10^{-11} \text{ г}^{-1}$ и параметров хондритового резервуара, предложенного в работе [3], где $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,0332$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,282772$. Hf-модельный возраст (T_{DM}), определяющий минимальный возраст исходного материала магмы из которой кристаллизовался циркон, был рассчитан, используя измеренные $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ отношения в цирконе и параметры модели [4], согласно которой резервуар деплетированной мантии имел линейную изотопную эволюцию от $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.279718$ в 4.55 млрд. лет до $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.283250$ в настоящее время и $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0384$.

Цирконы из пород *промышленно-рудноносных* интрузивов характеризуются «радиогенным» начальным изотопным составом гафния (рис. 1). Значения $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ варьируют в пределах от +5.2 до +16.7 при среднем значении $\epsilon_{\text{Hf}}(T) +10.0$ ($n=25$) для Хараелахского интрузива, от +5.2 до +16.7 ($\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ среднее = +9.6, $n=44$) для Талнахского интрузива и от +5.6 до 19.3 ($\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ среднее = +11.8, $n=35$) для интрузива Норильск-1. На эволюционной диаграмме $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ – U-Pb возраст (рис. 1), значения ϵ_{Hf} близки или несколько меньше средних значений, характерных для деплетированной мантии, но превышают таковые для хондритового универсального резервуара (CHUR). Средние значения Hf модельного возраста (T_{DM}) для доминирующей выборки цирконов *промышленно-рудноносных* интрузивов находятся в пределах 0.42-0.53 млрд. лет.

Цирконы из пород *рудноносных* Черногорского и Вологодчанского интрузивов (рис. 1) характеризуются сходными значениями $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$, варьирующими в пределах от +6.5 до +11.1, (среднее +8.5, $n=12$) и от +4,5 до +14 (среднее около +7.6, $n=9$), соответственно. Средние значения T_{DM} для *рудноносных* интрузивов близки (0.58 и 0.60 млрд. лет, соответственно), свидетельствуя о вкладе протолита, образовавшегося на рубеже Протерозоя и Фанерозоя. Сходные значения T_{DM} были выявлены нами в подчиненной выборке цирконов Хараелахского интрузива. Таким образом, при сравнении *промышленно-рудноносных* и *рудноносных* интрузивов характерной особенностью последних является несколько менее «радиогенный» изотопный состав гафния в цирконе.

Высоко «радиогенный» изотопный состав гафния в цирконе *потенциально рудоносного* Микчангдинского интрузива ($\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ от 11.9 до 13.4, среднее 12.7) отличает его по данному параметру от *рудноносных* интрузивов (рис. 1), но сближает с *промышленно-рудноносными* (Норильск-1, Талнахским и Хараелахским) интрузивами. Значения модельного возраста (T_{DM}) циркона Микчангдинского интрузива (среднее 0,42 млрд. лет) свидетельствуют о вкладе протолита среднепалеозойского возраста.

Цирконы *слаборудоносных* Нижнеталнахского и Зеленогривского интрузивов характеризуются наименее «радиогенными» значениями $^{187}\text{Hf}/^{186}\text{Hf}$ initial, со средними значениями $\epsilon_{\text{Hf}}(T) +0.53$ ($n=75$) и -0.34 ($n=4$), соответственно. Цирконы *слаборудоносных* интрузивов также характеризуются наиболее древними модельными возрастными отделением от деплетированной мантии (T_{DM} , 0.94 и 0.87 млрд. лет, соответственно), указывая на значительный вклад позднепротерозойского источника.

Преобладающая выборка значений изотопного состава гафния цирконов *промышленно-рудноносных* и *рудноносных* интрузивов отвечает параметрам, характерным для «ювенильного» мантийного источника. Значительно менее «радиоогенный» изотопный состав гафния в цирконе *слаборудноносных* интрузивов характеризует особенности источников магм, обладающих как мантийными, так и коровыми параметрами. Полученные новые данные находятся в согласии с пред-

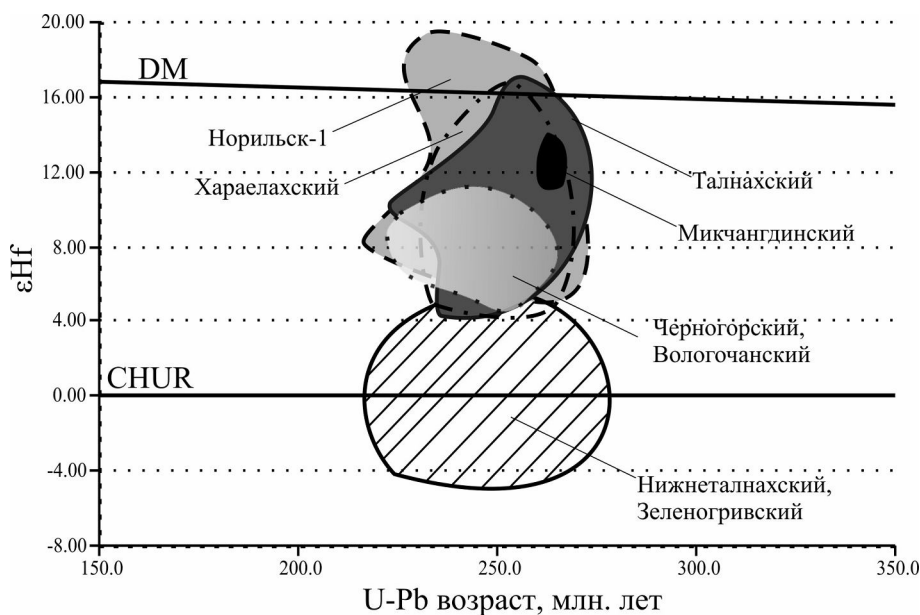


Рис. 1. Hf-изотопная эволюционная диаграмма цирконов *промышленно-рудноносных, рудноносных, потенциально рудноносных и слаборудноносных ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильского региона.*

DM – деплементированная мантия, CHUR – хондритовый универсальный резервуар.

положением о взаимодействии двух контрастных магматических источников и значительной длительностью процессов фракционирования компонентов в магматической системе. Непременным следствием этих процессов должно быть достижение высокой степени концентрирования рудных элементов и формирование уникальных по объемам рудных магм.

Таким образом, впервые полученные системные U-Pb и Hf-изотопные данные наряду с детальным изучением морфологии и внутреннего строения циркона [6-8 и др.] позволили выявить ранее неизвестные стадии магматической активности в Норильском регионе и уточнить источники вещества, вовлеченные в их образование. Мы полагаем, что «радиоогенный» Hf-изотопный состав циркона ($\epsilon_{Hf}(T) > 5$) может быть использован как эффективный критерий при типизации и идентификации перспектив ультрамафит-мафитового интрузива на платиноидно-медно-никелевое сульфидное оруденение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология и полезные ископаемые России. Т. 3. Восточная Сибирь / Ред. Н.С. Малич, Е.П. Миролюков, Е.В. Туганова. СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2002. 396 с.
2. Петров О.В., Малич К.Н., Дистлер В.В., Служеникин С.Ф., Шевченко С.С., Кнауф В.В., Матюков Д.И., Лепехина Е.Н., Пресняков С.Л., Толмачева Е.В., Туганова Е.В., Халаев В.О., Сергеев С.А. Первые минералого-геохимические и геохронологические характеристики цирконов из пород интрузива Норильск-1 (Сибирская платформа) // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма. Материалы III Российской конф. по изотопной геохронологии. Москва: ГЕОС, 2006. Т. 2. С. 102-104.
3. Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system // Earth and Planetary Science Letters. 1997. V. 148. P. 243-258.
4. Griffin W.L., Pearson N.J., Belousova E.A., Jackson S.E., van Achtenbergh E., O'Reilly S.Y., Shee S.R. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2000. V. 64. P. 133-147.
5. Griffin W.L., Wang X., Jackson S.E., Pearson N.J., O'Reilly S.Y., Xu X., Zhou X. Zircon chemistry and magma genesis, SE China: in-situ analysis of Hf isotopes, Pingtan and Tonglu igneous complexes // Lithos. 2002. V. 61. P. 237-269.
6. Malitch K.N., Badanina I.Yu., Belousova E.A., Griffin W.L., Pearson N.J., Tuganova E.V., Distler V.V., Sluzhenikin S.F., Presnyakov S.L., Rodionov N.V. Zircon and baddeleyite from the ore-bearing Noril'sk-1 intrusion revisited: new U-Pb and Hf-isotope constraints on timing and source composition // This volume.

7. Malitch K.N., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Petrov O.V., Tuganova E.V., Belousova E.A., Pearson N.J., Knauf V.V., Presnyakov S.L. Zircon from the economic ultramafic-mafic Kharaelakh intrusion (Russia): first U-Pb and Hf-isotope constraints on timing and source composition // Abstracts. Int. Conf. «Geochemistry of magmatic rocks-2009». Moscow: GEOKHI RAS, 2009 (in press).

8. Malich K.N., Petrov O.V., Badanina I.Yu., Presnyakov S.L. Zircons from ultramafic-mafic intrusions at Noril'sk area (Russia): a compositional and U-Pb study // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2007. V. 71. № 15S. P. A616-A616.

9. Scherer E., Munker C., Mezger K. Calibration of the lutetium-hafnium clock // *Science*. 2001. V. 293. P. 683-687.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО ТИПА (РОССИЯ): S И Cu ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ

**Малич К.Н., Петров О.В., Туганова Е.В.,
Шевченко С.С., Бочаров С.Н., Капитонов И.Н.**

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ),
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dunite@yandex.ru*

ISOTOPE-GEOCHEMICAL CRITERIA IN EXPLORATION FOR PGE-CU-NI SULPHIDE ORES OF THE NORIL'SK-TYPE INTRUSIONS (RUSSIA): INSIGHTS FROM S AND Cu ISOTOPE DATA

**Malitch K.N., Petrov O.V., Tuganova E.V.,
Shevchenko S.S., Bocharov S.N., Kapitonov I.N.**

*All-Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia
e-mail: dunite@yandex.ru*

The study presents the extensive results of a multi-technique approach, which utilized isotope systematics of S and Cu of PGE-Cu-Ni sulphide ores and occurrences associated with economic, subeconomic, prospective and non-economic ultramafic-mafic intrusions of the Noril'sk and Taimyr provinces (Russia). In S-Cu isotope systematics, disseminated and massive sulphide ores from economic deposits form a negative trend of isotope compositions, with distinct S and Cu isotope values at Kharaelakh, Talnakh and Noril'sk-1, indicative of notably different ore material evolution. The restricted range of $\delta^{34}\text{S}$ values along with defined S and Cu isotopic variations, which closely match those from sulphide-rich ores associated with economic intrusions, can be employed as useful fingerprints during the assessment of a deposit productivity. Accordingly, the Chernogorsk and Mikchangda intrusions of the Noril'sk area are considered as prospective for exploration of massive PGE-Cu-Ni sulfide ores.

Целью исследования являлось выявление изотопно-геохимических особенностей главных типов платиноидно-медно-никелевых сульфидных руд и рудопроявлений Норильской и Таймырской провинции, которые могут быть использованы для оценки масштабов оруденения, ассоциирующего с ультрамафит-мафитовыми интрузивными образованиями севера Восточной Сибири.

Изотопно-геохимические результаты (^{224}S и ^{99}Cu изотопных анализов) базируются на изучении сульфидного вещества руд из опорных разрезов (1) *промышленно-рудоносных* интрузивов Норильск-1, Талнах и Хараелах, (2) *резервных* месторождений, связанных с Черногорским, Зуб-Маркшейдерским, Имангдинским, Вологочанским и Южнопясинским интрузивами, (3) *потенциально рудоносных* Микчангдинского, Бинюдинского, Дюмталейского и *слаборудоносных* непромышленных Нижнеталнахского, Нижненорильского и Зеленогривского интрузивов.