

УДК 553.491:550.42: 549.514.81(574.511)

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КИСЛОРОДА ЦИРКОНОВ ТАЛНАХСКОГО ПРОМЫШЛЕННО-РУДОНОСНОГО ИНТРУЗИВА НОРИЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ: ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

И. Ю. Баданина<sup>1,\*</sup>, Е. А. Белоусова<sup>2</sup>, К. Н. Малич<sup>1</sup>, С. Ф. Служеникин<sup>3</sup>

Представлено академиком РАН Н.Л. Добрецовым 15.10.2018 г.

Поступило 07.11.2018 г.

Впервые охарактеризованы особенности изотопного состава кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) цирконов Талнахского промышленно-рудноносного интрузива Норильской провинции. Цирконы из габбро-диоритов, габброидов расслоенной серии и плагиоверлитов характеризуются близкими средними значениями  $\delta^{18}\text{O}$  ( $5,39 \pm 0,48\%$ ,  $5,63 \pm 0,48\%$  и  $5,28 \pm 0,34\%$  соответственно), которые отличаются от  $\delta^{18}\text{O}$  сульфидсодержащих меланотроктолитов с такситовой текстурой в нижней части интрузива ( $6,50 \pm 0,98\%$ ). Полученные результаты по изотопии кислорода свидетельствуют о (i) мантийном происхождении первичных магм, родоначальных для Талнахского интрузива, и (ii) участии корового компонента при формировании рудоносных пород такситового горизонта.

*Ключевые слова:* циркон, изотопный состав кислорода, мантийные магмы, Талнахский промышленно-рудноносный интрузив, Норильская провинция, Россия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892170-173>

Несмотря на длительное изучение ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции, с которыми ассоциируют различные по масштабу комплексные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, проблемы генезиса их пород и руд трактуются различно ([1, 2, 5, 7, 10, 13] и др.). Циркон как инертный минерал обладает уникальной особенностью сохранять изотопно-геохимические метки наиболее ранних событий (U–Pb-возраст, изотопные Lu–Hf- и O-системы), относящихся ко времени образования пород и их вещественных источников. Детальное изучение морфологии и внутреннего строения цирконов промышленно-рудноносных интрузивов Норильской провинции и аналитические методы геохимического и изотопного анализа *in situ* обеспечили новую информацию относительно длительности образования и происхождения пород Хараелахского, Талнахского и Норильского интрузивов [3, 4, 9, 10]. Вместе с тем данные изотопного состава кислорода в цирконе, являющиеся ключевыми для более строгой оценки вещественного источника, не были ранее исполь-

зованы при изучении интрузивов “норильского типа”. Чтобы восполнить этот пробел, нами впервые обсуждаются результаты изотопного состава кислорода (71 анализ) в цирконах Талнахского интрузива, с которым связано одноимённое уникальное платиноидно-медно-никелевое месторождение с вкрапленными рудами в нижней части интрузива, массивными и прожилково-вкрапленными рудами в нижнем экзоконтакте (рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о мантийном происхождении первичных магм, родоначальных для интрузивов “норильского типа”, и об участии корового компонента при формировании сульфидсодержащих пород.

Цирконы из пород Талнахского интрузива были изучены по разрезу скважины ОУГ-2, состоящей из (сверху вниз, рис. 1) габбро-диоритов (обр. Т-1, Т-2), базальтоидного габбро (обр. Т-5), оливинсодержащего габбро (обр. Т-6 и Т-8), оливинного габбро (обр. Т-10 и Т-12), сульфидсодержащих плагиоверлитов (обр. Т-13) и подстилающих их сульфидсодержащих меланотроктолитов в составе “такситового горизонта” (обр. Т-16). Особенности внутреннего строения цирконов, характер распределения в них тория, урана и редкоземельных элементов, а также изотопные U–Pb- и Lu–Hf-результаты приведены ранее [4, 10].

Определение изотопного состава кислорода в цирконе выполнено на мультиколлекторном ион-

<sup>1</sup> Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup> Macquarie University, Sydney, Australia

<sup>3</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

\*E-mail: [innabadanina@yandex.ru](mailto:innabadanina@yandex.ru)

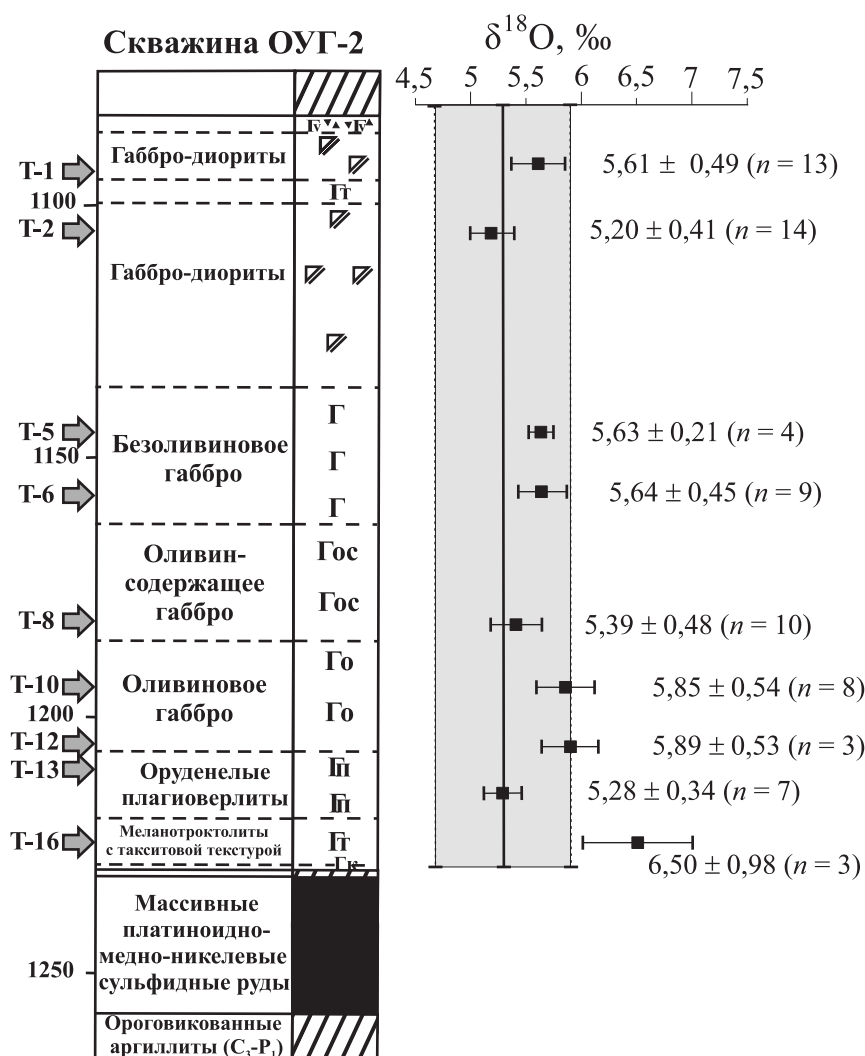


Рис. 1. Вариации изотопного состава кислорода циркона в породах Талнахского интрузива (скв. ОУГ-2). Область серого цвета соответствует вариациям изотопного состава кислорода цирконов мантийных магм ( $\delta^{18}\text{O} = 5,3 \pm 0,6\text{‰}$  [6, 15]).

ном микрозонде “Самеса” IMS1280 HR2, расположенном в Центре микроскопии, характеристики и анализа (СМСА) Университета Западной Австралии, по методике, детально охарактеризованной в [11, 12].

При анализе первичный пучок ионов Cs<sup>+</sup> с ускоряющим напряжением 20 кэВ и интенсивностью 3 нА был сфокусирован на площади образца диаметром 15 мкм. Каждый анализ состоял из 15 10-секундных циклов измерения, что обеспечивало воспроизводимость на уровне 0,2‰. Инструментальное масс-фракционирование было скорректировано при использовании стандарта Темора II ( $\delta^{18}\text{O} = 8,2\text{‰}$ ) в соответствии с процедурой, приведённой в [8]. Результаты изотопного состава кислорода представлены в промилле относительно международного стандарта Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{образца}} = \left[ \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{образца}} : \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{VSMOW}} - 1 \right] \times 1000.$$

Разброс значений  $\delta^{18}\text{O}$  цирконов для всей проанализированной выборки Талнахского интрузива изменяется в пределах от 4,59 до 7,61 (табл. 1). При этом цирконы из габбро-диоритов (обр. Т-1 и Т-2), габброидов расслоенной серии (обр. Т-5, Т-6, Т-8, Т-10 и Т-12) и плагиоверлитов (обр. Т-13) характеризуются сходными вариациями  $\delta^{18}\text{O}$  (4,59–6,44‰, 4,74–6,41‰ и 4,85–5,81‰ соответственно) и близкими средними значениями  $\delta^{18}\text{O}$  ( $5,39 \pm 0,49\text{‰}$  ( $n = 27$ ),  $5,64 \pm 0,48\text{‰}$  ( $n = 34$ ) и  $5,28 \pm 0,34\text{‰}$  ( $n = 7$ ), табл. 1). Цирконы сульфидсодержащих меланотроктолитов с такситовой текстурой в нижней части интрузива (обр. Т-16) характеризуются наиболее тяжёлыми значениями  $\delta^{18}\text{O}$  ( $5,77\text{--}7,61\text{‰}$ , среднее  $6,50 \pm 0,98\text{‰}$ ,  $n = 3$ ).

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика изотопного состава кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ , ‰) цирконов в породах Талнахского интрузива

Номер образца	Название породы	Среднее	СКВО	Минимум	Максимум	Количество измерений
T-1	Габбро-диорит	5,61	0,49	4,59	6,44	13
T-2	Габбро-диорит	5,20	0,41	4,65	5,97	14
T-1, T-2	Габбро-диорит	5,39	0,49	4,59	6,44	27
T-5	Безоливиновое габбро	5,63	0,21	5,35	5,78	4
T-6	Оливинсодержащее габбро	5,64	0,45	4,74	6,08	9
T-8	Оливинсодержащее габбро	5,39	0,48	4,76	6,21	10
T-10	Оливиновое габбро	5,85	0,54	4,81	6,40	8
T-12	Оливиновое габбро	5,89	0,53	5,35	6,41	3
T-5, T-6, T-8, T-10, T-12	Габброиды расслоенной серии	5,64	0,48	4,74	6,41	34
T-13	Плагиоверлит	5,28	0,34	4,85	5,81	7
T-16	Меланотроктолит	6,50	0,98	5,77	7,61	3

Примечание. СКВО — среднеквадратичное отклонение, минимум — минимальное значение, максимум — максимальное значение.

Считается, что мантийные магмы и цирконы (равновесные с мантийным субстратом при высоких температурах) имеют изотопный состав кислорода  $\delta^{18}\text{O} = 5,3 \pm 0,6\text{‰}$  [6, 15]. Поэтому значение  $\delta^{18}\text{O}$  может быть использовано в качестве критерия, позволяющего различать производные ювенильных магм, не претерпевших изменений, от пород, которые подверглись контаминационным или гидротермальным процессам ([14] и др.). Данные по изотопии кислорода цирконов Талнахского интрузива хорошо согласуются со значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , полученными ранее [5] для валовых проб габброидов расслоенной серии (4,7–5,9‰), сульфидсодержащих ультрамафитов (5,2–5,9‰) и пород с такситовой текстурой в нижней части Талнахского интрузива (6,8–8,4‰). Новые результаты свидетельствуют в пользу (i) мантийного происхождения первичных магм, родоначальных для Талнахского интрузива, и (ii) участия корового компонента при формировании сульфидсодержащих пород из такситового горизонта.

Сходство O-изотопного состава изученных цирконов с таковым из мантийных пород ( $\delta^{18}\text{O} = 5,3 \pm 0,6\text{‰}$  [6, 15], рис. 1) предполагает, что изотопный состав кислорода для доминирующей выборки талнахских цирконов не был подвержен изменению после их образования. Обоснование глубинной природы цирконов Талнахского интрузива согласуется с результатами изучения их Hf-изотопной систематики. Преобладающая выборка значений изотопного состава гафния цирконов ( $\epsilon\text{Hf}_{\text{среднее}} = 9,1 \pm 3,2$ ;  $n = 40$  [10]) отвечает параметрам, характерным для “ювенильного” мантийного источника и свидетельствует об участии вещества деплетированной мантии в первичных расплавах Талнахского интрузива. Таким образом, данные по изотопии кислорода явля-

ются ключевым источником информации для обоснования ведущей роли мантийных производных при генерации интрузивов “норильского типа”.

**Благодарности.** Авторы признательны Л. Мартин за помощь в аналитической лаборатории.

**Источники финансирования.** Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН № АААА-А18-118052590026-5 при поддержке Ведущего центра по изучению флюидных систем от ядра к коре (ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems, <http://www.cafs.mq.edu.au>) Университета Маквори (грант FT110100685) и РФФИ (грант № 18–05–70073–Ресурсы Арктики).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Евстигнеева Т.Л., Служеникин С.Ф., Филимонова А.А., Дюжиков О.А., Лапутина И.П. Петрология сульфидного магматического рудообразования. М.: Наука, 1988. 232 с.
2. Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии. Новосибирск: Наука, 1975. 432 с.
3. Малич К.Н., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., Туганова Е.В. // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 2. С. 163–172.
4. Малич К.Н., Баданина И.Ю., Туганова Е.В. // Литосфера. 2010. № 5. С. 37–63.
5. Покровский Б.Г., Служеникин С.Ф., Криволюцкая Н.А. // Петрология. 2005. Т. 13. № 1. С. 56–80.
6. Cavosie A.J., Kita N.T., Valley J.W. // Amer. Mineral. 2009. V. 94. P. 926–934.
7. Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.A., Kirdyashkin A.G., Vernikovskiy V.A., Gladkov I.N. // Lithos. 2008. V. 100. P. 66–92.

8. Kita N.T., Ushikubo T., Fu B., Valley J.W. // *Chem. Geol.* 2009. V. 264. P. 43–57.
9. Malitch K.N., Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Pearson N.J., Presnyakov S.L., Tuganova E.V. // *Contribs Mineral. and Petrol.* 2010. V. 159. № 6. P. 753–768.
10. Malitch K.N., Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Latypov R.S., Sluzhenikin S.F. Chapter 7 — New Insights on the Origin of Ultramafic-Mafic Intrusions and Associated Ni-Cu-PGE Sulfide Deposits of the Noril'sk and Taimyr Provinces, Russia: Evidence from Radiogenic- and Stable-Isotope Data. In: *Processes and Ore Deposits of Ultramafic Magmas through Space and Time* (Mondal S., Griffin W.L. eds.). 1st ed. Elsevier, 2018. P. 197–238.
11. Martin L., Duchêne S., Deloule E., Vanderhaeghe O. // *Lithos.* 2006. V. 87. P. 174–192.
12. Martin L.A.J., Duchêne S., Deloule E., Vanderhaeghe O. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2008. V. 267. P. 161–174.
13. Naldrett A.J. *Magmatic Sulfide Deposits*. B.; Heidelberg: Springer, 2004. 727 pp.
14. Valley J.W. // *Revs Mineral. and Geochem.* 2003. V. 53. P. 343–385.
15. Valley J.W., Kinny P.D., Schulze D.J., Spicuzza M.J. // *Contribs Mineral. and Petrol.* 1998. V. 133. P. 1–11.

## OXYGEN ISOTOPE COMPOSITION OF ZIRCONS FROM THE TALNAKH ECONOMIC INTRUSION OF THE NORIL'SK PROVINCE: FIRST DATA

I. Yu. Badanina<sup>1</sup>, E. A. Belousova<sup>2</sup>, K. N. Malitch<sup>1</sup>, S. F. Sluzhenikin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Macquarie University, Sydney, Australia*

<sup>3</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry,  
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS N.L. Dobretsov October 15, 2018

Received November 7, 2018

This study presents the first results of oxygen isotope analyses ( $\delta^{18}\text{O}$ ) collected on zircons from the Talnakh economic intrusion within the Noril'sk province. Zircons from gabbro-diorite, gabbroic rocks of the layered series and plagioclase-bearing wehrlite have similar mantle-like mean  $\delta^{18}\text{O}$  values ( $5,39 \pm 0,49\%$ ;  $5,64 \pm 0,48\%$  and  $5,28 \pm 0,34\%$ , respectively), which differ from  $\delta^{18}\text{O}$  in zircons from sulfide-bearing melanocratic troctolite with a taxitic texture in the lower part of the intrusion (mean  $\delta^{18}\text{O} = 6,50 \pm 0,98\%$ ). These new oxygen isotope data support (i) the mantle-derived origin of the primary magma(s), parental to the Talnakh intrusion, and (ii) possible involvement of a crustal component during the formation of sulfide-bearing taxitic-textured rocks.

*Ключевые слова:* zircon, oxygen isotope composition, mantle-derived magmas, Talnakh economic intrusion, Noril'sk province, Russia.