

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/289083517>

# Mantle component in proterozoic granitoids: Evidence from He isotopes in rocks and minerals

Article in *Geochemistry International* · January 2001

CITATION

1

READS

10

3 authors, including:



**Valeriy Romanovich Vetrin**

Kola Science Centre, Apatity, Russia

100 PUBLICATIONS 994 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Serafim Veniaminovich Ikorsky**

Kola Science Centre

17 PUBLICATIONS 170 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Growth of heavily doped  $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$  crystals [View project](#)



0226-2019-0052 GI. [View project](#)

КРАТКИЕ  
СООБЩЕНИЯМАНТИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В ПРОТЕРОЗОЙСКИХ  
ГРАНИТОИДАХ: ИЗОТОПЫ He В ПОРОДАХ И МИНЕРАЛАХ

© 2001 г. В. Р. Ветрин, И. Л. Каменский, С. В. Икорский

Геологический институт КНЦ РАН

184200 Апатиты ул. Ферсмана, 14

e-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

Поступила в редакцию 31.5.2000 г.

Отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  обычно рассматривается как трассер процессов мантийно-корового взаимодействия. Величина этого отношения уменьшается по мере увеличения возраста пород вследствие невосполнимых потерь ими захваченного мантийного гелия и непрерывной генерации радиогенных изотопов этого элемента. Уменьшение величины рассматриваемого изотопного отношения от мантийных до радиогенных значений происходит за период ~1 млрд. лет [1, 2], что до недавнего времени ограничивало применимость геохимии благородных газов для изучения петрогенезиса древних пород. Однако в некоторых случаях докембрийские породы и минералы хорошо сохраняют гелий, захваченный в процессе их кристаллизации, что проливает свет на происхождение флюидов, принимавших участие в древних эндогенных процессах.

Благоприятным объектом для изучения геохимии благородных газов являются гранитоиды лицько-арагубского комплекса (ЛАК), образующие пояс массивов площадью около 900 км<sup>2</sup> в северо-западной части Мурманской области. Массивы формировались в более позднее время по отношению к складчатости и метаморфизму расположенной в контакте с ними палеопротерозойской Печенгской структуры, и возраст гранитоидов по данным Rb–Sr и U–Pb изохронных методов оценивается, соответственно, в 1.72 и 1.81 млрд. лет [3]. В строении массивов принимают участие породы 5 интрузивных фаз, из которых породы начальной и заключительной фаз, представленные, соответственно, кварцевыми диоритами, монцодиоритами, субщелочными габбро (1 фаза) и сиенитами, граносиенитами, кварцевыми монцонитами (5 фаза), произошли, как предполагается, при дифференциации всплывшего к основанию гранитного слоя мантийного астенолита [4]. Порфирированные гранодиориты и граниты второй (главной) фазы, а также лейкократовые мелкопорфирированные и жильные мелкозернистые граниты 3 и 4 фаз формировались из очага вторичной гранодиоритовой магмы, возникшей при палингенезе пород коры в термическом куполе

над мантийным астенолитом. Внедрению комплекса предшествовала переработка корового субстрата флюидами, обогащенными K, Zr, Nb, REE, обусловившими образование метасоматических порфириобластических пород, близких по составу гранитам и гранодиоритам [4].

В интервале 9100–10600 м разреза архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины (КСГС), расположенной в северной части Печенгской структуры, вскрыты многочисленные дайковые тела аналогичных гранитам 4 фазы ЛАК мелкозернистых, иногда слабо порфирированных гранитов, мощностью от десятков сантиметров до 10–15 м. Конкордантный U–Pb–возраст цирконов из этих пород составляет  $1765 \pm 2$  млн. лет [5].

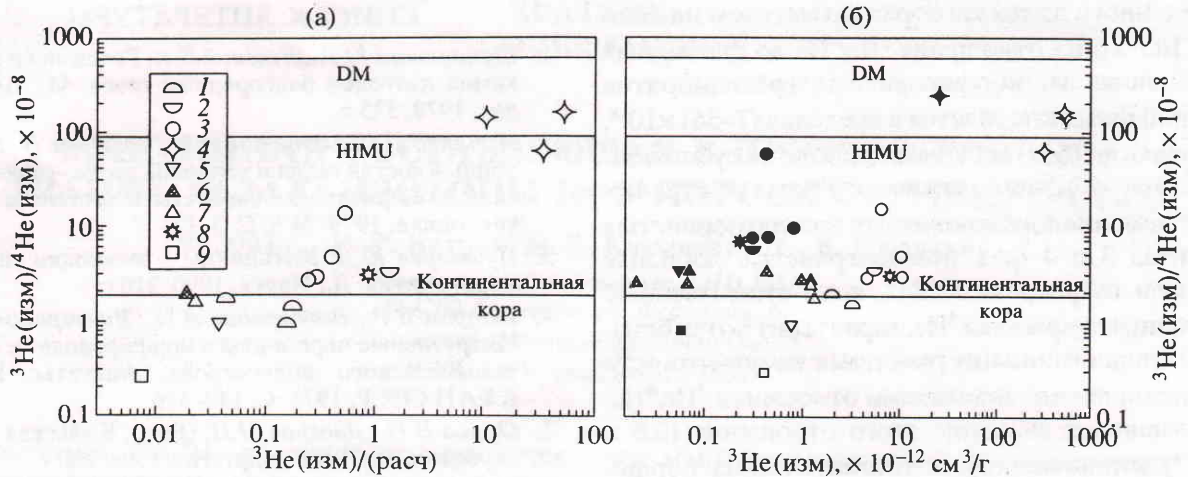
Изучение концентраций и изотопного состава He из гранитоидов производилось при выделении газов из пород и минералов методами плавления и дробления с использованием методик, опубликованных в предыдущих работах [6, 7]. Изотопный состав He определялся на масс-спектрометре МИ-1201 с погрешностью определения содержания не больше  $\pm 10\%$  ( $1\sigma$ ), и изотопных отношений:  $\pm 25\%$  при значении  $^3\text{He}/^4\text{He} = n \times 10^{-8}$  и  $\pm 2.5\%$  при  $^3\text{H}/^4\text{H} = n \times 10^{-6}$ . Навески пород и минералов (размер фракций 0.25–0.5 мм) составляли 0.1–0.2 г и 1–2 г при выделении газов, соответственно, методами плавления и дробления. Холостые опыты производились дважды в неделю в тех же условиях, что и анализы образцов, при значениях холостых  $1 \times 10^{-9}$  см<sup>3</sup> для  $^4\text{He}$ . Концентрации U, Th, Li определялись, соответственно, лазерно-флюоресцентным, рентгеноспектральным и спектрофотометрическим методами с воспроизводимостью определений  $\pm 10\%$ .

Концентрации He (в  $n \times 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г), выделенного при плавлении пород, зависят от степени их меланократовости и увеличиваются от лейкократовых гранитов 3 и 4 фаз (56–71) к породам 1, 2, 5 фаз (40–363) и порфириобластическим гранитам (142), достигая 335–522 в амфиболах из гранитоидов, что на 1–2 порядка превышает концентрации гелия, выделенного из одноименных пород и минералов

Содержание He, U, Th, Li, и значения отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в породах и минералах/licко-арагубского комплекса\*

Номер образца	Порода, минерал	$^4\text{He}, n \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$		$^3\text{He}/^4\text{He}, n \times 10^{-8}$		$^3\text{He}, n \times 10^{-12} \text{ см}^3/\text{г}$		Li, г/г	U, г/г	Th, г/г
		1	2	1	2	1	2			
115с/71	Субщелочное габбро, 1 фаза	100	1810	2.0	2.4	2.0	43	47	3.2	18.5
»	Амфибол	162 (5.5)	456	3.3 (5.8)	0.8	5.3 (0.32)	3.6	4	0.94	4
116с/71	Субщелочной габбродиабаз, 1 фаза	220	954	1.5	1.9	3.3	18	38	1.8	9.2
132/71	Порфириовидный гранодиорит, 2 фаза	159 (4.3)	1047	2.8 (7.2)	1.5	4.5	16	28	2.2	9
»	Амфибол	378	916	147	5.0	556	46	80	2.1	7
172/71	Порфириовидный гранодиорит, 2 фаза	363 (8.7)	1926	2.9 (9.6)	1.9	10.5	36	47	4.4	14.8
183с/71	Порфириовидный гранодиорит, 2 фаза	212 (5.8)	1446	4.8 (7.7)	1.6	10.2	24	40	2.9	13.1
»	Амфибол	335 (4.8)	581	160 (239)	1.6	536	9.4	16	0.81	7
200с/71	Порфириовидный гранодиорит, 2 фаза	40 (0.7)	959	15 (56.5)	1.1	6.4	11	27	1.8	9.3
»	Амфибол	522	580	63	1.6	329	9.1	23	0.9	6.2
30/70	Мелкопорфириовидный гранит, 3 фаза	75 (1.75)	1689	0.9 (3.4)	1.1	0.7	18	20	3	17.2
22/70	Мелкозернистый гранит, 4 фаза	71 (2)	2334	1.8 (3.5)	2.5	1.3	57	47	6.3	13.2
34086Б	Мелкозернистый гранит, глубина 9495.5 м	(34.4)		(2.8)		(0.96)				
35699	Мелкозернистый гранит, глубина 9565 м	(44.8)		(2.8)		(1.25)				
36034	Мелкозернистый гранит, глубина 9682.5 м	56.3 (12.6)		3.3 (2.1)		0.42 (1.2)				
37471	Мелкозернистый гранит, глубина 10068.5 м	(0.7)		(2.5)		(0.02)				
34086Б	Мелкозернистый гранит, глубина 9128 м	(2.9)		(2.4)		(0.07)				
С-1	Сиенит, 5 фаза	268 (3.6)	1207	3.0 (7.0)	0.7	8.0	8.5	16	2.0	13.0
7/70	Порфириобластический гранодиорит	142 (8.0)	1892	≤0.6 (0.8)	2.8	~0.4	52	61	4.8	12.2

\* Результаты определения содержания и изотопного состава гелия, выделенного методами плавления и дробления (в скобках). 1 – измеренные значения, 2 – вычисленные (см. текст). Жирным шрифтом показаны номера образцов гранитов из жильных тел в архейском комплексе Кольской сверхглубокой скважины.



Соотношение значений  $^3\text{He}/^4\text{He} - ^3\text{He}$  изм/расч (а) и  $^3\text{He}/^4\text{He} - ^3\text{He}$  изм (б) в гранитоидах лицо-арагубского комплекса и в порфиробластических породах из экзоконтактовых частей массивов

1-9 – результаты анализа гелия, выделенного при плавлении пород и минералов. 1 – субщелочное габбро 1 фазы, 2 – амфибол из пород 1 фазы, 3 – порфиroidные гранодиориты и граниты 2 фазы, 4 – амфибол из гранитоидов 2 фазы, 5 – мелкопорфиroidные граниты 3 фазы, 6 – мелкозернистые граниты из разреза КСГС, 7 – мелкозернистые граниты 4 фазы ЛАК, 8 – сиениты 5 фазы, 9 – порфиробластические породы гранодиоритового состава. Залитыми значками на рис. 1б показаны результаты анализа гелия, выделенного из пород (1-9) при измельчении образцов. НИМУ – обогащенная U + Th/Pb мантия, образованная ~1.7 млрд. лет назад [11], DM – деплетированная мантия [12].

методом дробления (таблица). Исключение составляет образец мелкозернистого гранита из разреза КСГС (№ 36034), в котором  $\text{He}_{\text{плав}}/\text{He}_{\text{дроб}} = 4.5$ .

Величина отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в породах земной коры колеблется в широких пределах – от  $(1-2) \times 10^{-8}$  в породах континентальной коры до  $\sim 1 \times 10^{-5}$  в базальтах MORB [8], достигая максимальных значений –  $(5-6) \times 10^{-5}$  в стеклах базальтов подводного вулкана Лоихи [9]. Для оценки вклада радиогенного  $^3\text{He}^*$  в величину отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  был произведен расчет его количества, образующегося в результате реакции:  $^6\text{Li}(n, \alpha) ^3\text{H} \rightarrow \beta^- \rightarrow ^3\text{He}^*$ , где  $\tau(^3\text{H}) = 12.2$  года,  $n$ , – тепловые нейтроны,  $\alpha$  – альфа-частицы [10]. При расчетах (для возраста 1765 млн. лет) учитывалась плотность нейтронного потока, обусловленного содержанием U, Th в породах и минералах, общий состав пород, а также содержание в них гадолиния и бора, имеющих большое сечение поглощения нейтронов.

Как следует из рисунка (а), для всех гранитоидов ЛАК величина отношения  $^3\text{He}$  изм/расч  $\leq 1$ , что может свидетельствовать о существенной роли радиогенного  $^3\text{He}^*$  в общем количестве легкого изотопа He, выделенного при плавлении пород.

Измеренное значение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  для большинства гранитоидов колеблется в пределах  $(0.9-3.0) \times 10^{-8}$ , что соответствует величине этого отношения в породах континентальной коры при минимальном значении отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в метасоматических порфиробластических породах  $(\leq 0.6) \times 10^{-8}$  и максимальном –  $15 \times 10^{-8}$  – в мезократовом ам-

фибол-биотитовом порфиroidном гранодиорите. Существенно более высокие значения отношения  $^3\text{He}/^4\text{He} - (63-160) \times 10^{-8}$  – близкие к значениям этого отношения в НИМУ – обогащенной U и Th мантии с возрастом ~1.7 млрд. лет [11] установлены для амфиболов из порфиroidных гранитов и гранодиоритов главной фазы. Поскольку величина отношения  $^3\text{He}_{\text{изм}}$  в амфиболов в 12-50 раз превышает ее вычисленное значение, это поддерживает заключение о ювенильной природе преобладающей части легкого изотопа He, т.е.  $^3\text{He}_{\text{изм}} \approx ^3\text{He}_{\text{захв}}$ . Содержание лития в рассматриваемых амфиболов составляет 16-80 г/т, что при возрасте в 1.765 млрд. лет определяет отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}_{\text{рад}} = (1.6-5.0) \times 10^{-8}$ , которое существенно ниже измеренных значений этого отношения. При средних значениях  $^3\text{He}/^4\text{He}_{\text{рад}} \sim 3 \times 10^{-8}$  и  $^3\text{He}/^4\text{He}_{\text{захв}} \sim 1.2 \times 10^{-6}$  соотношение мантийной (м) и коровой (к) компонент гелия в амфиболе может быть оценено как  $^3\text{He}_m/^4\text{He}_k \geq 40$ .

В отличие от метода плавления, при котором выделяется весь гелий, находящийся как в кристаллической решетке минералов, так и в составе флюидных включений, методика извлечения газов при дроблении образцов позволяет избирательно извлекать газы из флюидных включений, и тем самым уменьшить влияние радиогенных газов, накопившихся в кристаллической решетке. Как следует из таблицы и рисунка (б), изотопный состав гелия из флюидных включений характеризуется систематически более высокими значениями отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  по сравнению с составом гелия,

выделенного из тех же образцов методом плавления. Величина отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  во флюидных включениях из порфиридных гранодиоритов главной фазы колеблется в пределах  $(7-56) \times 10^{-8}$ , снижаясь до  $(6-7) \times 10^{-8}$  в амфиболе из субщелочного габбро 1 фазы и сиенитах 5 фазы и до  $(2-4) \times 10^{-8}$  в мелкопорфиридных и мелкозернистых гранитах 3 и 4 фаз. Мелкозернистые жильные граниты из разреза КСГС, имея существенные вариации содержания  $^3\text{He}$ , характеризуются близкими с аналогичными гранитами на поверхности среднекоровыми значениями отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$ . Минимальное значение этого отношения ( $0.8 \times 10^{-8}$ ) установлено в метасоматических порфириобластических породах (обр. 7/70), по содержанию главных компонентов сходных с порфиридными гранитами и гранодиоритами главной фазы ЛАК [4], но в отличие от последних не имеющих "мантийной" метки состава захваченного флюида. Полученные данные в совокупности с результатами геолого-геохимических исследований позволяют, вероятно, использовать величину отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  для разграничения близких по составу, но генетически различающихся образований.

Авторы благодарны И.Н. Толстихину за конструктивные замечания при подготовке окончательного варианта рукописи.

Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ, грант № 99-05-65158 и являются вкладом в проект МПГК-408 "Сравнение состава, структуры и физических свойств пород и минералов по разрезу Кольской сверхглубокой скважины и их гомологов на поверхности".

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуколюков Ю.А., Левский Л.К. Геохимия и космохимия изотопов благородных газов. М.: Атомиздат, 1979. 335 с.
2. Поляк Б.Г., Толстихин И.Н., Якуцени В.П. Изотопный состав гелия и тепловой поток-геохимический и геофизический аспекты тектогенеза // Геотектоника. 1979. № 5. С. 3-23.
3. Пушкарев Ю.Д. Мегациклы в эволюции системы кора-мантия. Л.: Наука, 1990. 216 с.
4. Ветрин В.Р., Виноградов А.Н., Виноградова Г.В. Интрузивные чарнокиты и порфиридные граниты Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1975. С. 149-316.
5. Орлов В.П., Лаверов Н.П. (Ред.). Кольская сверхглубокая. М.: Технонефтегаз, 1998. 260 с.
6. Kamensky I.L., Tolstikhin I.N., Vetrin V.R. Juvenile helium in ancient rocks:  $^3\text{He}$  excess in amphiboles from 2.8 Ga charnockite series - Crust-mantle fluid in intracrustal magmatic processes // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. P. 3115-3122.
7. Ikorsky S.V., Kamensky I.L., Nivin V.A. Combined application of sample-melting and crushing to isotopic investigations of noble gases (taking He as an example). ICOG-9. Abstracts. 1998. Beijing, China. P. 55.
8. Tolstikhin I.N., Marty B. The evolution of terrestrial volatiles: A view from helium, neon, argon and nitrogen isotope modelling. // Chemical Geol. 1998. V. 147. P. 27-52.
9. Honda M., McDougall I., Patterson D.B. et al. Noble gases in submarine pillow basalt glasses from Lihi and Kilauea, Hawaii: A solar component in the Earth. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1993. V. 57. P. 859-874.
10. Горшков Г.В., Зябкин В.А., Лятковская О.С., Цветков М.А. Естественный нейтронный фон атмосферы и земной коры. М.: Атомиздат, 1966. 410 с.
11. Zindler A., Hart S. Chemical geodynamics // Ann. Rev. Earth Planet Sci. 1986. V. 14. P. 493-571.
12. Chauvel C., Hoffman A.W., Vidal Ph. HIMU-EM: the French Polinesia connection // Earth Planet. Lett. 1992. V. 110. P. 99-119.