

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В НЕФЕЛИНЕ ИЗ ПОРОД ХИБИНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)

Гойчук О.Ф.¹, Лепеха С.В.², Коноплева Н.Г.^{1,3}, Пахомовский Я.А.^{1,3}, Паниковский Т.Л.¹,
Лялина Л.М.³

¹Центр наноматериаловедения ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия, o.goychuk@ksc.ru, t.panikorskii@ksc.ru

²Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
lepekha@igg.uran.ru

³Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, n.konopleva@ksc.ru

Хибинский щелочной массив расположен в западной части Кольского полуострова на контакте протерозойских и архейских пород (рис. 1а). Большая часть массива сложена нефелиновыми сиенитами – фойяитами, разделенными на две приблизительно равные по площади части конически-кольцевым разломом, заполненным фойдолитами (мельтейгитами-ийолитами-уртитам). Фойдолиты окаймлены оторочкой обогащенных калием нефелиновых сиенитов (рисчорритов) и/или неравнозернистых нефелиновых сиенитов («лявочорритов»), переходных по составу и структуре между фойяитами и рисчорритами. Нефелин является одним из главных породообразующих минералов практически всех пород Хибинского щелочного массива – фойяитов (рис. 1б), мельтейгит-уртитов (рис. 1в), рисчорритов, «лявочорритов» и апатит-нефелиновых пород [Иванюк и др., 2009; Яковенчук и др., 2010].

Нефелин $\text{Na}_3\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$ является номинально безводным минералом, однако многими исследователями отмечалось, что в структуре нефелина присутствует вода [Самсонова, 1973; Костылева-Лабунцова и др., 1978; Beran, 1974; Beran et al., 1989; Симакин и др., 2008; Гойчук и др., 2022; Mikhailova et al., 2022]. Форма нахождения воды в структуре нефелина остается дискуссионной, но в работах [Beran, 1974; Beran et al., 1989] установлено, что в структуре нефелина присутствует вода в виде молекул H_2O , которые имеют неоднородное распределение и три кристаллографические ориентации. Вода, вероятно, входит в позицию калия [Beran et al., 1989]. Абсолютная концентрация воды колеблется от 0.05 до 0.5 мас. % и контролируется количеством вакансий в структуре нефелина [Beran et al., 1989; Balassone et al., 1995].

В данной работе представлены результаты изучения методами ИК-спектроскопии нефелина из разных

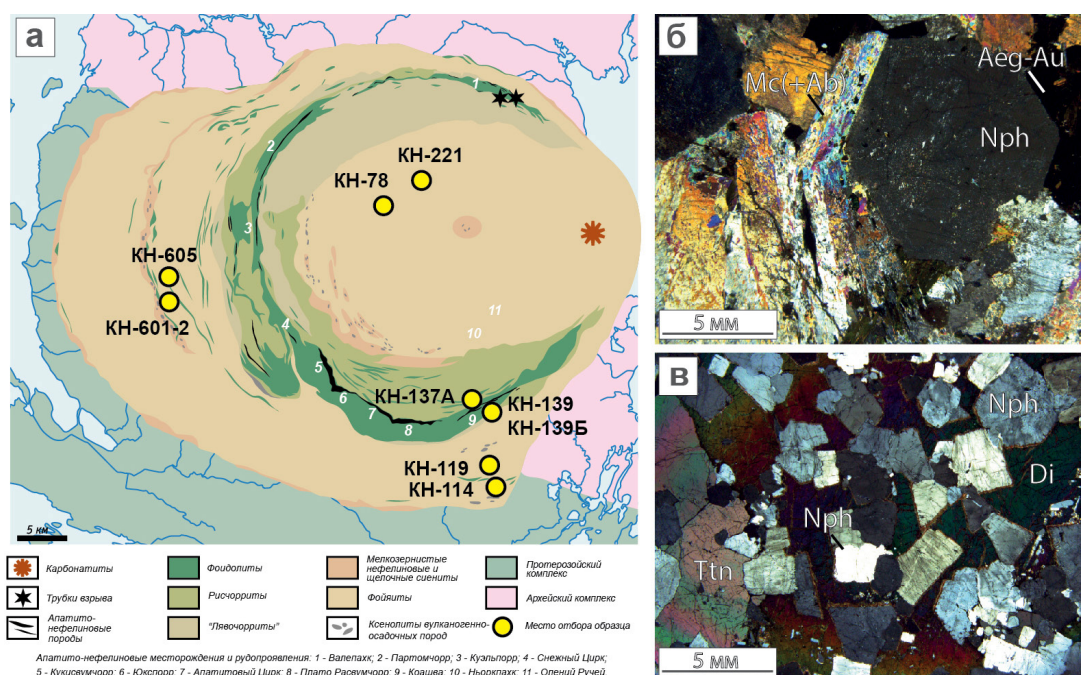


Рис. 1. а – геологическая карта Хибинского щелочного массива [Иванюк и др., 2009] с отмеченными местами отбора образцов; фото комбинированных шлифов в проходящем свете: б – фойяит (образец КН-119), в – уртит (образец КН-136). Ab – альбит, Aeg-Au – эгирин-авгит, Di – диопсид, Mc – микроклин, Nph – нефелин, Ttn – титанит

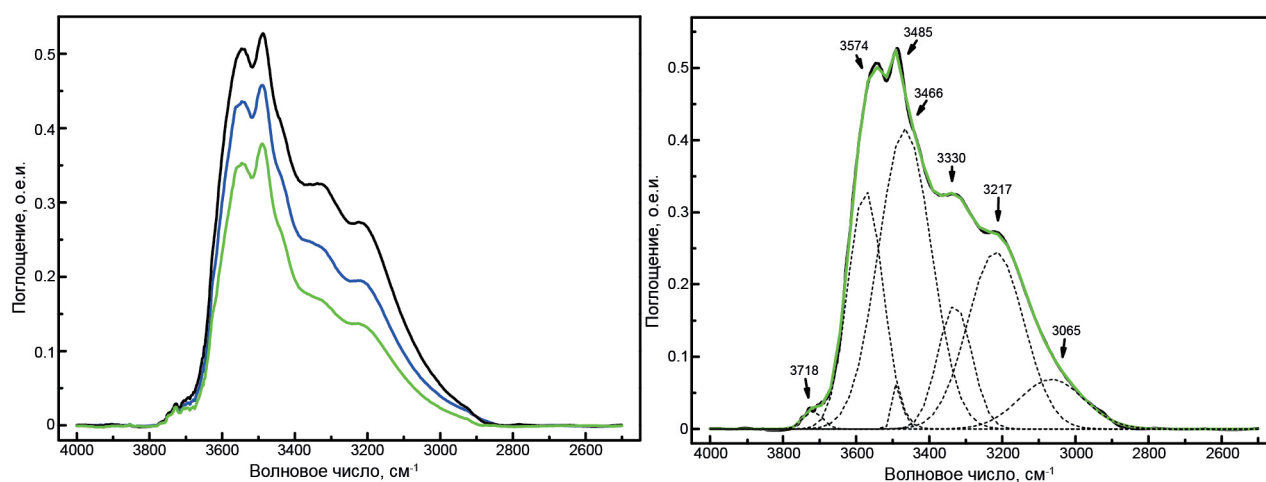


Рис. 2. а – серия ИК спектров поглощения в «водной» области для разных точек одной пластинки (образец КН-601/2); б – экспериментальный инфракрасный спектр поглощения воды в нефелине (черная линия) и моделируемый из Гауссовых компонент (зеленая линия)

пород массива (рис. 1) на предмет установления воды в его структуре и оценки её содержания. Образцы для исследования были предоставлены сотрудниками лаборатории № 48 Геологического института КНЦ РАН.

Для изучения были приготовлены стандартные препараты (по 10–15 зерен нефелина из каждого исследуемого образца были зафиксированы в эпоксидной смоле в произвольном положении относительно кристаллографических осей и отполированы с двух сторон до получения плоскопараллельных пластинок толщиной около 300 мкм). Инфракрасные спектры поглощения записаны с пластинок нефелина на ИК Фурье микроскопе Multiscop, совмещенном со спектрометром Spectrume One фирмы Perkin Elmer. Регистрация ИК спектров проводилась в неполяризованном ИК излучении с локальным разрешением 50 мкм в диапазоне валентных колебаний ОН-связи 2500–4000 см⁻¹. Содержание воды оценено с помощью методического подхода статистического

количественного определения содержания воды в номинально безводных минералах [Kovacs et al., 2008] и приведено в табл. 1.

Инфракрасные спектры всех пластинок нефелина проявляют полосы поглощения в области валентных колебаний О-Н связи. Наблюдается неоднородность поглощения по общей интенсивности в спектрах с разных точек в пределах одной пластинки (рис. 2а), что встречается в природных кристаллах нефелина [Balassone and Beran, 1995; Симакин и др., 2008], при этом соотношение интенсивностей отдельных линий в пластинке сохраняется. В спектрах отчетливо проявляются дополнительные полосы в сторону понижения частоты (рис. 2б). Пики около 3330 см⁻¹ и 3217 см⁻¹ имеют значимую интенсивность и вероятно представляют собой дополнительную структурную позицию воды в нефелине.

Таким образом, установлено, что в структуре нефелина присутствует вода, содержание которой

Таблица 1. Содержание воды в нефелине из разных типов пород Хибинского массива

Образец	Тип породы	Положение в массиве	Содержание воды (мас.%)	Толщина пластинки (мкм)
КН-114	Фойяит	Внешняя часть	1.29	280
КН-119	Фойяит	Внешняя часть	1.30	240
КН-78	Фойяит	Центральная часть	1.65	310
КН-221	Фойяит	Центральная часть	1.13	270
КН-605	Уртит	Малая дуга	0.75	280
КН-601-2	Уртит	Малая дуга	1.05	300
КН-139	Уртит	Главное кольцо	0.18	290
КН-139Б	Рисчоррит	Главное кольцо	—	270
КН-137А	Апатит-нефелиновая порода	Главное кольцо	0.14	310

Примечание. «—» – ниже предела обнаружения.

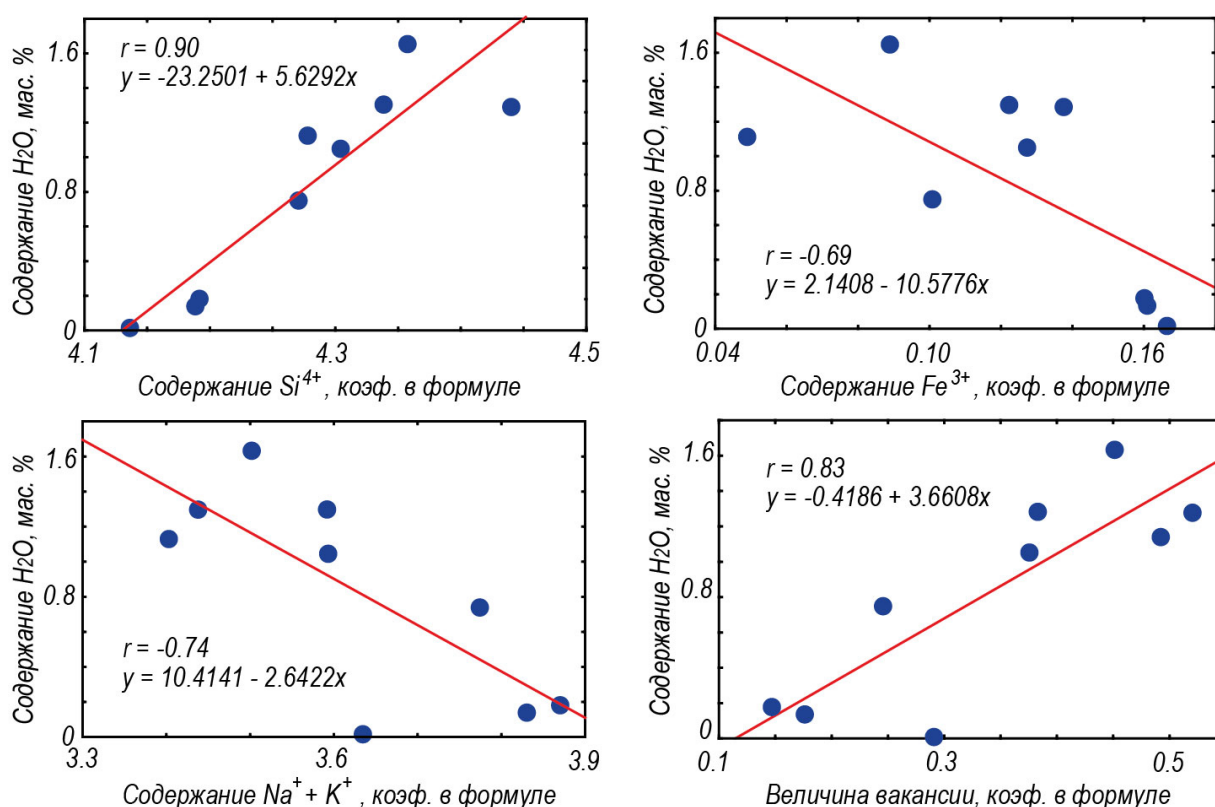


Рис. 3. Зависимость содержания воды в нефелине от его состава

колеблется от 0.14 до 1.65 мас. %. Выявлена закономерность ее распределения по породным комплексам Хибинского массива, которая заключается в том, что наибольшее содержание воды в нефелине присутствует в ранних образованиях, а именно в фойяитах, в то время как наименьшие содержания воды отмечены в поздних породах, которые претерпели различные постмагматические преобразования – в апатит-нефелиновых породах и рихсчорритах. Кроме того, содержание воды в нефелине зависит от его состава. На рис. 3 приведены значимые корреляционные зависимости при $p < 0.05$.

Работа выполнена в рамках тем НИР FMEZ-2022-0019 и AAAA-A19-119100290149-1. ИК спектры поглощения записаны и обработаны в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» в рамках темы № 123011800012-9 государственного задания ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2021-680.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гойчук О.Ф., Коноплева Н.Г., Паниковровский Т.Л. Нефелин-типоморфный минерал пород Хибинского щелочного массива: обзор литературных данных и перспективы изучения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. Т. 19. С. 47–52.
2. Иванюк Г.Ю., Горяинов П.М., Пахомовский Я.А., Коноплева Н.Г., Яковенчук В.Н., Базай А.В., Калашников А.О. Самоорганизация рудных комплексов. Синергетические принципы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2009. 392 с.
3. Костылева-Лабунцова Е.Е., Боруцкий Б.Е., Соколова М.Н., Шлюкова З.В., Дорфман М.Д., Дудкин О.Б., Козырева Л.В., Икорский С.В. Минералогия Хибинского массива. Том 2. М.: Наука, 1978. 227 с.
4. Самсонова Н.С. Минералы группы нефелина. М.: Наука, 1973. 151 с.
5. Симакин А.Г., Салова Т.П., Завельский В.О. Вхождение воды в структуру нефелина по данным ЯМР и ИК-спектроскопии // Геохимия. 2008. Т. 6. С. 674–678.
6. Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю., Коноплева Н.Г., Михайлова Ю.А., Пахомовский Я.А. Нефелин Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров) // ЗРМО. 2010. Т. 2. С. 80–91.
7. Balassone G., Beran A., Lueger-Ring K. Variable water content of nepheline from Somma-Vesuvio, Italy // Mineralogy and Petrology. 1995. V. 52. P. 75–83.
8. Beran A. UR-spektroskopischer Nachweis von H₂O

- in Nephelin // *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. 1974. V. 21. P. 299–304.
9. Beran A., Rossman G.R. The Water-Content of Nepheline // *Mineralogy and Petrology*. 1989. V. 40(3). P. 235–240.
 10. Kovács I. et al. Quantitative absorbance spectroscopy with unpolarized light: Part II. Experimental evaluation and development of a protocol for quantitative analysis of mineral IR spectra // *American Mineralogist*. 2008. V. 93(5-6). P. 765–778.
 11. Mikhailova J.A., Aksenov S.M., Pakhomovsky Ya.A., Moine B.M., Dusseaux C., Vaitieva Yu.A., Voronin M. Iron in Nepheline: Crystal Chemical Features and Petrological Applications // *Minerals*. 2022(12). P. 1257.