

**Экзотический характер природных фосфатов никеля и кристаллическая структура  $\text{Na}_2\text{CuNi}[\text{PO}_4]_2$ , полученного в гидротермальных условиях медно-никелевой фосфатной системы**

**Научный руководитель – Якубович Ольга Всеволодовна**

*Верченко П.А.<sup>1</sup>, Кирюхина Г.В.<sup>2</sup>*

1 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Москва, Россия, *E-mail: yapoletta@mail.ru*; 2 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Москва, Россия, *E-mail: g-biralo@yandex.ru*

Геохимия природных фосфатов и минералов никеля значительно различается. Никель является типичным халькофильным и сидерофильным элементом, концентрируется в метеоритах в металлической фазе. Из магматического расплава никель быстро выводится при кристаллизационной дифференциации, и с увеличением кремнеземистости расплава происходит резкое снижение содержания никеля [1]. Фосфор же является биофильным элементом. Источниками фосфора служат карбонатитовые и щелочные магматические массивы, апатиты осадочного происхождения и гуано [1]. Таким образом, минералы никеля преимущественно встречаются в породах ультраосновного состава, и его основные скопления сосредоточены в мантии или ядре земли, в то время как фосфатные минералы часто приурочены к щелочным породам и сконцентрированы в земной коре.

Известные на данный момент лишь два природных фосфата никеля имеют метеоритное происхождение. Арупит,  $(\text{Ni}, \text{Fe}^{2+})_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  впервые был установлен в богатом никелем железном метеорите Санта-Катарина [2]. Образование кассидиита,  $\text{Ca}_2(\text{Ni}, \text{Mg})[\text{PO}_4]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  связано с выветриванием шрейберзита  $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{P}$  (метеорит Вольф-Крик, Австралия) [3].

Тем не менее, лабораторный синтез является постоянным источником получения разнообразных фосфатов никеля. При исследовании продуктов гидротермальной кристаллизации в медно-никелевой фосфатной системе нами были выделены хорошо ограненные косоугольные кристаллы зеленого цвета (рис. 1). В химическом составе фазы, изученной на сканирующем электронном микроскопе, установлены атомы Cu, Ni, Na, P и O. Методом монокристалльной рентгеновской дифракции (Xcalibur-S-CCD, Mo-K $\alpha$ -излучение) установлена кристаллическая структура новой фазы  $\text{Na}_2\text{CuNi}[\text{PO}_4]_2$ :  $a = 5.1300(1)$ ,  $b = 8.6729(2)$ ,  $c = 6.8473(2)$  Å,  $\beta = 97.104(3)^\circ$ , пр. гр.  $P2_1/n$ ,  $R = 0.024$ . Основа кристаллической структуры - вытянутые вдоль оси  $c$  цепочки из связанных по ребрам октаэдров никеля и искаженных Ян-Теллеровских [4+2] полиэдров меди. Ортофосфатные тетраэдры связывают между собой цепочки вдоль осей  $a$  и  $b$ ; пустоты структуры заполнены атомами натрия (рис. 2). Новая фаза изоструктурна b-модификации фосфата меди и натрия  $\text{NaCu}[\text{PO}_4]$  [4], в кристаллической структуре которого обе катионные позиции переходного металла заселены атомами одного сорта.

Авторы выражают благодарность своему научному руководителю О.В. Якубович за постоянную помощь в проведении научно-исследовательской работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ МК-1613.2021.1.5.

**Источники и литература**

- 1) Бычков А.Ю. // Курс лекций «Геохимия элементов», 2021.
- 2) Puziewicz J. // Amer. Mineral. 1990. V. 75. P. 1209-1216.
- 3) White J.S. Jr., Henderson E.P., Mason B. // Amer. Mineral. 1967. V. 52. P. 1190-1197.

- 4) Ulutagau-Kartin M., Etheredge K.M.S.G., Schimek G.L., Hwu Sh.-J. // J. Alloys Compd. 2002. V. 338. P. 80–86.

Иллюстрации

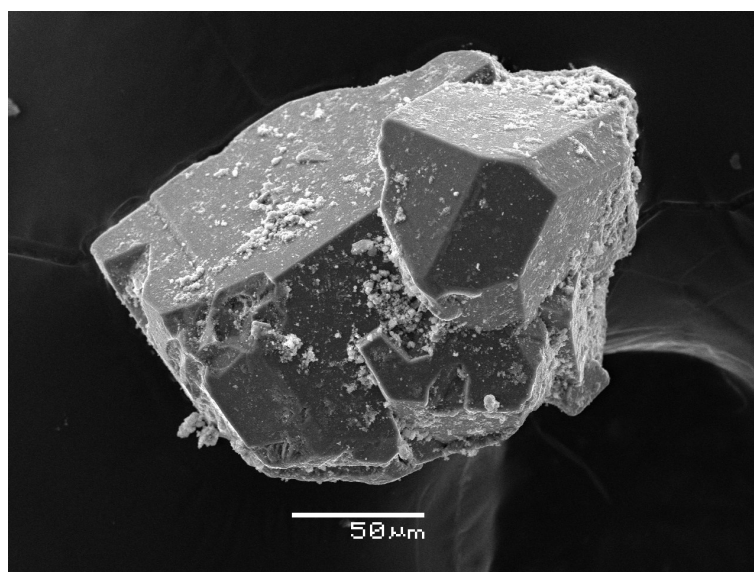


Рис. 1. РЭМ-изображение кристаллов Na<sub>2</sub>CuNi[PO<sub>4</sub>]<sub>2</sub>.

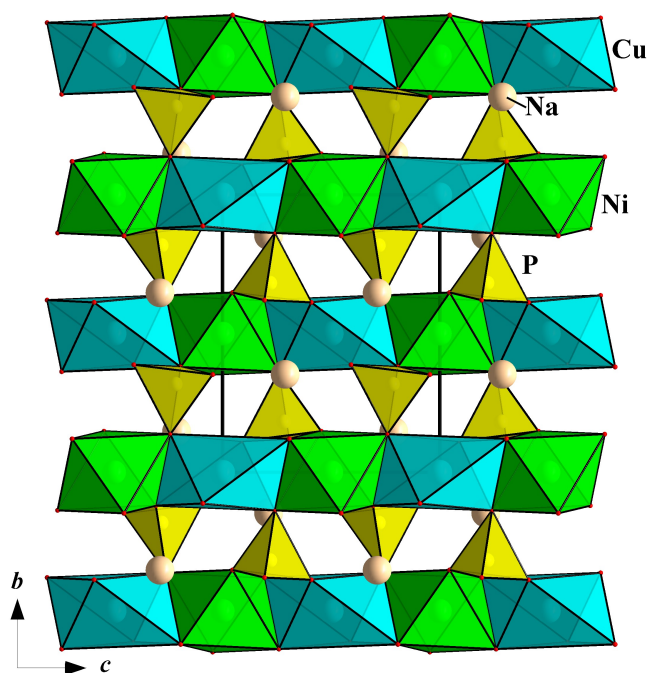


Рис. 2. Проекция кристаллической структуры Na<sub>2</sub>CuNi[PO<sub>4</sub>]<sub>2</sub> на плоскость (100).