

**Новые минералоподобные сульфаты меди и висмута.**

**Научный руководитель – Shvanskaya Larisa Viktorovna**

*Бушнева Татьяна Дмитриевна*

*Студент (магистр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Москва, Россия

*E-mail: tanya.bushneva@inbox.ru*

Фумаролы представляют собой уникальное геологическое явление, которое привлекает внимание исследователей благодаря своему богатству минеральных формирований. В них создаются экстремальные условия среды — высокие температуры, давление и химически агрессивная среда, способствующие образованию редких минералов с необычными кристаллическими структурами. Изучение особенностей образования минералов в фумарольных зонах позволяет расширить знания о процессах минералообразования в природе. В лабораторных условиях природным соответствует получение минералоподобных соединений методом химической газотранспортной реакции.

Так, на Камчатке в вулкане Толбачик в фумарольных образованиях были открыты такие минералы меди и висмута как эласмохлоит,  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ , [Pekov et al., 2019] и набокоит,  $\text{KCu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5\text{Cl}$ , [Porova et al., 1987; Pertlik & Zemmann, 1988]. В их структурах присутствует система магнитоактивных катионов атомов меди, основанная на треугольных мотивах. Важнейшая особенность кристаллических структур с треугольниками из катионов переходных металлов, является затруднение установления дальнего антиферромагнитного порядка в случае сопоставимых по энергии спиновых обменов между ближайшими соседями в элементарном треугольном мотиве. В физике магнетизма твердых тел такой мотив расположения атомов называют решеткой кагомэ. Соединения с подобной топологией магнитной подсистемы могут проявлять свойства квантовой спиновой жидкости.

В рамках текущей работы методом химической газотранспортной реакции были получены новые минералоподобные сульфаты меди и висмута с катионами щелочных металлов. Были синтезированы кристаллы  $\text{KCu}_7\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ , структура которых имеет кристаллохимическое сходство с минералом набокоитом,  $\text{KCu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5\text{Cl}$ . Данные химического состава были изучены методом сканирующей электронной микроскопии, структура была определена методом монокристаллической рентгеновской дифракции. Соединения кристаллизуются в одной пространственной группе  $P4/nsc$  и имеют близкие параметры элементарных ячеек. Однако фазы не являются изоструктурными в силу присутствия дополнительного аниона хлора в структуре набокоита. Также различается координационное окружение атомов меди в описываемых структурах: чисто октаэдрическое в набокоите и перемежающиеся октаэдры и тетрагональные пирамиды в  $\text{KCu}_7\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ . Подсистема магнитоактивных катионов атомов меди характеризуется низкоразмерным магнитным поведением. Подобные свойства были обнаружены в новых фазах  $\text{KCu}_2\text{BiO}_2(\text{SO}_4)_2$  и  $\text{RbCu}_2\text{BiO}_2(\text{SO}_4)_2$ , полученных тем же методом синтеза в следующих сериях экспериментов. Соединения не являются изоструктурными, не смотря на формульную близость. В обеих структурах также присутствует подрешетка атомов меди, что позволяет соединению проявлять свойства квантовой спиновой жидкости.

Таким образом в ходе экспериментальных исследований газотранспортного синтеза минералоподобных сульфатов меди и висмута с катионами щелочных металлов были получены новые фазы состава  $\text{KCu}_7\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ ,  $\text{KCu}_2\text{BiO}_2(\text{SO}_4)_2$  и  $\text{RbCu}_2\text{BiO}_2(\text{SO}_4)_2$ , представляющие особый интерес для изучения их магнитного поведения.

### Источники и литература

- 1) Pekov I. V., Bitvin S. N., Agakhanov A. A., Viggasina M. F., Sidorov E. G. (2019): Elasmochloite,  $\text{Na}_3\text{Cu}_6\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5$ , a new fumarolic mineral from the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia. *Eur. J. Mineral.*, 31, 1025–1032.
- 2) Popova V.I., Popov V.A., Rudashevskiy N.S., Glavatskikh S.F., Polyakov V.O., Bushmakina A.F. (1987): Nabokoite  $\text{Cu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{KCl}$  and atlasovite  $\text{Cu}_6\text{Fe}_3\text{Bi}_3\text{O}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{KCl}$ . New minerals of volcanic exhalations. *Zapiski VMO*, 116, 358–367. (in Russian).
- 3) Pertlik F. & Zemmann, J. (1988): The crystal structure of nabokoite,  $\text{Cu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{KCl}$ : the first example of a  $\text{Te}(\text{IV})\text{O}_4$  pyramid with exactly tetragonal symmetry. *Mineral. Petrol.*, 38, 291–298.