

## Рентгенографические исследования продуктов гидротермальной кристаллизации в сложных многокомпонентных системах

Научный руководитель – Якубович Ольга Всеволодовна

Кочеткова Е.М.<sup>1</sup>, Кирюхина Г.В.<sup>2</sup>

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

Гидротермальные и пегматитовые месторождения хорошо известны многообразием минеральных видов, что в большой степени связано с широким химическим составом газов и растворов, под влиянием которых происходит перекристаллизация первичных минералов. Среди первичных фосфатов пегматитов наиболее распространены ортофосфаты железа и марганца, которые тесно связаны друг с другом: процесс отделения Mn от Fe проходит на пегматитовых стадиях магматической дифференциации. Разнообразие фосфатов железа и марганца обусловлено возможностью окисления  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  и  $Mn^{2+}$  до  $Mn^{3+}$ , причем сначала происходит окисления железа, и только после этого начинает окисляться марганец; нередко наблюдается зональность Mn. В кристаллических структурах фосфатов  $Mn^{2+}$  находится преимущественно в  $MnO_6$ -октаэдрах.

С целью получения новых фаз и изучения кристаллизации в сложных многокомпонентных системах, максимально приближенных к природным гидротермам, был поставлен ряд опытов по гидротермальному синтезу при  $T = 270-280^\circ C$  и  $P = 90-100$  атм. в системах  $M_2O - MeO/(Me_2O_3) - P_2O_5/V_2O_5 - Z - H_2O$ , где  $M^+$  - это ионы щелочных металлов  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Rb^+$ ,  $Cs^+$  и аммония  $NH_4^+$ ;  $Me$  - это атомы переходных металлов Mn, Zn, Ni, Co, Fe, Cu и алюминия Al; и  $Z$  - анионы  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , борный ангидрид  $B_2O_3$ , или кремниевая кислота  $nSiO_4 \cdot mH_2O$ , выполняющие функцию минерализаторов и регулирующие значение pH среды.

После того, как содержимое автоклавов было промыто водой, продукты кристаллизации были исследованы под бинокулярным микроскопом и разделены на фазы по морфологическим признакам. Для определения химического состава синтезированных фаз проводился качественный рентгеноспектральный анализ на сканирующем электронном микроскопе. Методом рентгеновской дифракции на порошковых и монокристалльных образцах были определены симметрия и параметры элементарных ячеек соединений. По совокупным результатам этих исследований фазы были идентифицированы с помощью базы структурных данных ICSD.

В ходе изучения 30 опытов диагностированы структурные аналоги минералов борациита, лейцитита, миларита, фосфатов трифилин-литофилитовой серии, триплоидита, аллюодита, литиофосфата и берлинита. Были также установлены: ванадил-ванадат  $(NH_4)_2(VO)(V_2O_7)$ , ванадил-фосфаты  $Na(VO)PO_4$  и  $(K, NH_4)(VO)PO_4$ , борофосфат  $Cs_2(Ni, Fe)_3(H_2O)_2[B_4P_6O_{24}(OH)_2]$ , ортофосфаты переходных и щелочных металлов  $LiZnPO_4$ ,  $NaZnPO_4$ ,  $KCoPO_4$  и пирофосфаты  $Mn_2P_2O_7$ ,  $(Mn, Co)_2P_2O_7(H_2O)_2$ . В некоторых системах минерализаторы прореагировали с основными компонентами шихты и вошли в состав кристаллов, а именно  $CuBr$ ,  $LiF$ ,  $Pb_2V_5O_9Br$ . Важно отметить, что три соединения получены впервые, - это синтетическая калиевая разновидность минерала манаксита  $K_2Mn[Si_4O_{10}]$  и два водных фосфата марганца и калия  $KMnAl_2(PO_4)_3(H_2O)_2$  и  $K_2Mn_3(H_2O)_2[P_2O_7]$ . Для новых фаз будут выполнены полные рентгеноструктурные исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-35-00623.

Авторы благодарны Якубович О.В. за руководство научно-исследовательской работой.