

## ТЕРМОЛИЗ ГИДРОКСОНИТРАТОВ АЛЮМИНИЯ

Н.Ф. Косенко, Н.В. Филатова, Е.А. Липина

Надежда Федоровна Косенко, Наталья Владимировна Филатова\*, Евгения Алексеевна Липина  
Ивановский государственный химико-технологический университет, кафедра технологии керамики и наноматериалов, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000.  
E-mail: nfkosenko@gmail.com, zyanata@mail.ru \*, evgenijalipina@rambler.ru

*Изучен термолиз различных гидроксонитратов алюминия, полученных растворением свежееосажденного гидроксида Al в стехиометрическом количестве азотной кислоты. При нагревании протекает их многостадийное разложение: постепенное отщепление химически связанной воды и денитрация. По данным комплексного термического анализа определен состав продуктов разложения гидратированных солей  $Al(OH)(NO_3)_2 \cdot nH_2O$ ,  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  и  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  в температурном интервале 40-800 °С. Установлено, что до 157 °С отщепляется кристаллогидратная вода (в две стадии). В ходе первичной дегидратации отщепляется наиболее слабо связанная в кристаллической решетке вода (0,5-0,8 молекулы  $H_2O$ ). Затем протекает вторичная дегидратация – отделение остаточной кристаллогидратной воды. С увеличением содержания гидроксогрупп в соединении этот процесс облегчается, о чем свидетельствует смещение соответствующего температурного интервала в сторону более низких температур. При 190-241 °С нитрат переходит в нитрит (примерно при одинаковых температурах для всех изученных соединений). В дальнейшем (249-376 °С) происходит денитрация и удаление химически связанной воды из анионов солей с образованием бёмита  $AlO(OH)$ , который впоследствии формирует переходные формы оксида алюминия. При термолизе  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  и  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  на процесс денитрации накладывается отщепление части химически связанной воды, поэтому термогравиметрические кривые на данной стадии имеют наиболее сложный характер. В результате все гидроксонитраты, в отличие от нитрата алюминия, превращаются в бёмит  $AlO(OH)$ , что подтверждается данными рентгенофазового анализа. Состав продуктов термического разложения дополнительно подтвержден данными элементного анализа.*

**Ключевые слова:** гидроксонитраты алюминия, термолиз, нитрат алюминия, нитрит алюминия, переходные оксиды алюминия, корунд

UDC: 66.092-977:54-381:546.62

## ALUMINUM HYDROXYNITRATES THERMOLYSIS

N.F. Kosenko, N.V. Filatova, E.A. Lipina

Nadezhda F. Kosenko, Natalya V. Filatova \*, Evgeniya A. Lipina  
Department of Technology of Ceramic and Nanomaterials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetev ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia  
E-mail: nfkosenko@gmail.com, zyanata@mail.ru \*, evgenijalipina@rambler.ru

*The thermolysis of various aluminum hydroxynitrates obtained by fresh precipitated Al hydroxide dissolution in a stoichiometric quantity of nitric acid has been studied. Under heating their multistage decomposition occurs including a gradual removal of chemically bonded water and denitration. According to thermal analysis data the composition of  $Al(OH)(NO_3)_2 \cdot nH_2O$ ,  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  and  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  decomposition products at temperatures of 40-800 °C*

*has been determined. It was ascertained that crystalline hydrate water segregates under 157 °C (double stage). In the course of the primary dehydration the most loosely coupled crystal water (0.5-0.8 water molecules) escapes. Then the secondary dehydration – the remaining crystal water removal – takes place. This process becomes easier with increasing hydroxygroups quantity; it is confirmed by a proper temperature interval shift to lower temperatures. At 190-241 °C nitrate turns into nitrite (at approximately the same temperature for all studied compounds). Afterwards (249-376 °C) the denitration and chemically bonded water removal from salts anions take place. At that boehmite  $AlOOH$  is formed. The latter gives alumina transitional forms. In the time of  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  and  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  thermolysis the partial removal of chemically bonded water overlaps on the denitration; so thermogravimetric curves have the most complex form. As a result all hydroxynitrates in contrast with aluminum nitrate are transformed into boehmite  $AlOOH$  that is confirmed by X-ray phase analysis. In addition, the composition of thermal decomposition products is confirmed by elemental analysis data.*

**Key words:** aluminium hydroxynitrates, thermolysis, aluminium nitrate, aluminium nitrite, alumina transitional forms, corundum

**Для цитирования:**

Косенко Н.Ф., Филатова Н.В., Липина Е.А. Термолиз гидроксонитратов алюминия. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 8. С. 31–37.

**For citation:**

Kosenko N.F., Filatova N.V., Lipina E.A. Aluminum hydroxynitrates thermolysis. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 8. P. 31–37.

## ВВЕДЕНИЕ

Гидроксоли – гидроксонитраты, гидроксохлориды, гидрокосульфаты – различных металлов (Gd, Y, Ce, Pd, Al, Mg, Cu, Ru и др.) представляют большой интерес для химиков-исследователей и технологов, поэтому процессам их получения и изучению их поведения уделяется большое внимание [1-15].

Основные соли алюминия, в первую очередь гидроксохлориды и гидроксонитраты, были предложены в качестве связующих в производстве огнеупоров, для грануляции адсорбентов, цеолитов, для подготовки воды [9, 10, 13, 15]. В процессе термообработки образуется оксид алюминия, положительно влияющий на прочность и водостойкость материалов. Имеются работы, посвященные исследованию термолиза нитрата церия [5], гидроксохлорида и гидрокосульфата магния [6, 11], гидроксохлорида алюминия [13]. В статьях [16, 17] охарактеризовано изменение химического состава нитрата алюминия (в том числе механоактивированного) при нагревании. В доступной литературе нами не было обнаружено сведений о механизме термического разложения гидроксонитратов алюминия. В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть процесс разложения  $AlOH(NO_3)_2 \cdot mH_2O$ ,  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  и  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  в интервале температур 40-800 °C.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Указанные соли получали растворением свежесозданного и центрифугированного гидроксида алюминия в стехиометрическом количестве азотной кислоты.

Термический анализ гидроксонитратов выполняли на анализаторе TGA 2 (SF) METTLER TOLEDO. В качестве эталона использовали оксид алюминия. Температуру поднимали со скоростью 5 град/мин. Газ продувки – воздух (50 мл/мин).

Прокаливанием при 1000 °C определяли общие потери массы вещества, которые затем сопоставляли с данными термического анализа.

Фазовый анализ устанавливали с помощью дифрактометра ДРОН-6 с использованием  $CuK\alpha$ -излучения. Идентификацию соединений осуществляли с помощью базы данных ASTM-JCPDS.

Элементный состав соединений определяли на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном анализаторе X-Supreme8000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для удобства сравнения в табл. 1 приведены температурные диапазоны отдельных стадий и соответствующие им потери массы веществ, а на рис. 1 показаны термогравиметрические (ТГ) зависимости.

Таблица 1

Данные термического анализа  
Table 1. Thermal analysis data

| Номер стадии  | Интервал температур, °C | Потеря массы, % |
|---|-------------------------|-----------------|
| <b>Al(OH)(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·mH<sub>2</sub>O</b>           |                         |                 |
| I   | 61,5-85,1               | 4,86            |
| II  | 100,2-156,5             | 37,19           |
| III   | 193,3-240,6             | 10,81           |
| IV  | 251,9-375,6             | 25,78           |
| V   | 438,6-800               | 2,94            |
| I-V   | 40-800                  | 81,58           |
|   | 20-1000                 | 82,44           |
| <b>Al(OH)<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O</b>             |                         |                 |
| I   | 47,9-80,3               | 6,09            |
| II  | 96,4-149,6              | 42,01           |
| III   | 200,6-238,2             | 6,69            |
| IV  | 251,8-371,5             | 19,73           |
| V   | 454,2-800               | 3,69            |
| I-V   | 40-800                  | 78,21           |
|   | 20-1000                 | 78,43           |
| <b>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>NO<sub>3</sub>·kH<sub>2</sub>O</b> |                         |                 |
| I   | 45,0-72,3               | 4,65            |
| II  | 89,3-142,1              | 21,18           |
| III   | 190,5-236,7             | 5,61            |
| IV  | 249,3-369,9             | 24,03           |
| V   | 464,0-800               | 6,20            |
| I-V   | 40-800                  | 61,67           |
|   | 20-1000                 | 62,39           |

Термолиз солей протекает при сравнительно невысоких температурах. Отчетливо проявляется их многостадийное разложение: постепенное отщепление химически связанной воды и денитрация.

По потерям массы при 1000 °C установили содержание молекул кристаллогидратной воды в формулах соединений, а по потерям массы, соответствующим переломам на кривых ТГ, – промежуточные продукты разложения соединений (табл. 2). Для сравнения приведены данные для нитрата алюминия Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O [16].

Таблица 2

Результаты расчета процесса разложения  
Table 2. Decomposition calculation results

| Номер стадии | Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·xH <sub>2</sub> O | Al(OH)(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·mH <sub>2</sub> O | Al(OH) <sub>2</sub> NO <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> NO <sub>3</sub> ·kH <sub>2</sub> O |
|--------------|--|--|--|--|
|              |  | x = 9  | m = 6,8  | n = 6,3  |
| I            | -0,5 H <sub>2</sub> O                                | -0,8 H <sub>2</sub> O                                    | -0,8 H <sub>2</sub> O                                  | -0,7 H <sub>2</sub> O  |
| II           | -8,5 H <sub>2</sub> O                                | -6,0 H <sub>2</sub> O                                    | -5,5 H <sub>2</sub> O                                  | -3,2 H <sub>2</sub> O  |
| III          | -3O  | -2,0 O   | - O  | - O  |
| IV           | -0,5(NO+NO <sub>2</sub> )                            | -(NO+NO <sub>2</sub> )                                   | -0,5(NO+NO <sub>2</sub> )<br>-0,5 H <sub>2</sub> O     | -0,5(NO+NO <sub>2</sub> )<br>-1,5 H <sub>2</sub> O                   |
| V            | –  | -0,5 (0,47) H <sub>2</sub> O                             | -0,5 (0,48) H <sub>2</sub> O                           | -1 (0,93) H <sub>2</sub> O   |

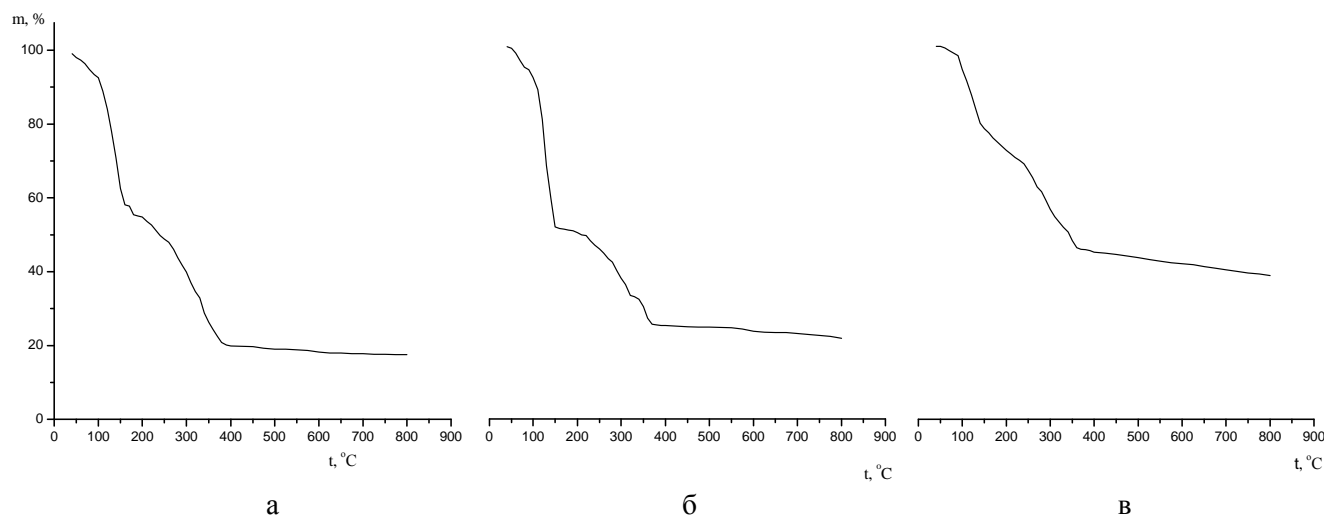


Рис. 1. ТГ кривые для Al(OH)(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·mH<sub>2</sub>O (а), Al(OH)<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O (б) и Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>NO<sub>3</sub>·kH<sub>2</sub>O (в)  
Fig. 1. TG curves for Al(OH)(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·mH<sub>2</sub>O (а), Al(OH)<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O (б) and Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>NO<sub>3</sub>·kH<sub>2</sub>O (в)

В ходе первичной дегидратации отщепляется наиболее слабо связанная в кристаллической решетке вода (0,5-0,8 молекулы H<sub>2</sub>O). Затем протекает вторичная дегидратация – отделение остаточной кристаллогидратной воды.

С увеличением содержания гидроксогрупп в соединении этот процесс облегчается, о чем свидетельствует смещение соответствующего темпера-

турного интервала в сторону более низких температур (табл. 1). Переход нитрата в нитрит происходит примерно при одинаковых температурах.

При термолизе Al(OH)<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O и Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>NO<sub>3</sub>·kH<sub>2</sub>O на процесс денитрации накладывается отщепление части химически связанной воды, поэтому ТГ кривые на стадии IV имеют наиболее сложный характер. В результате все гидроксонитра-

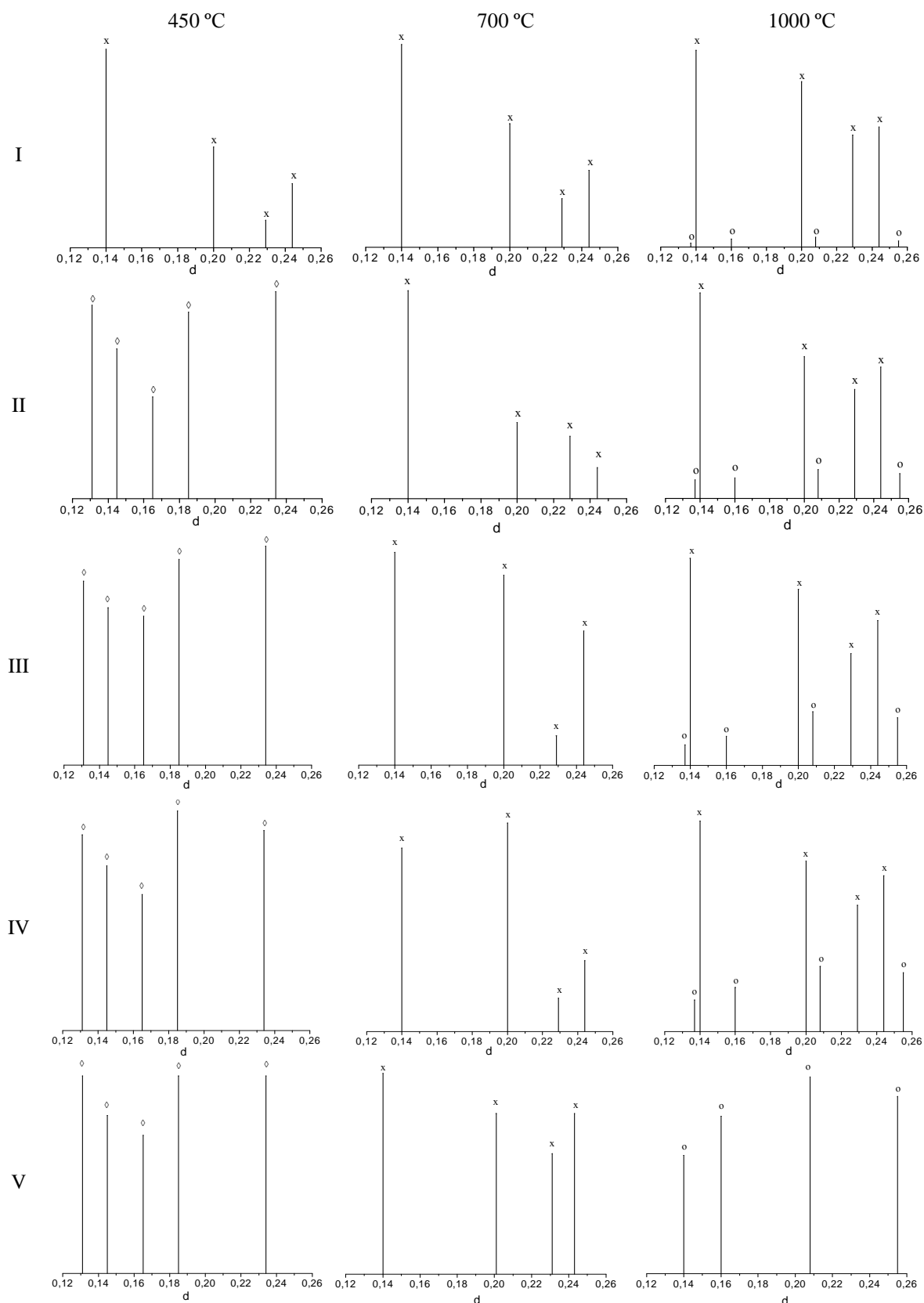


Рис. 2. Штрих-диаграммы для нитрата и гидроксонитратов алюминия после термической обработки (наиболее интенсивные линии): I –  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , II –  $\text{AlOH}(\text{NO}_3)_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ , III –  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , IV –  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{NO}_3 \cdot k\text{H}_2\text{O}$ , V – эталоны; x – переходные формы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\Theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ );  $\diamond$  – бёмит;  $\circ$  – корунд  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

Fig. 2. Stroke diagrams for aluminum nitrate and hydroxynitrates after a thermal treatment (the most intensive lines): I –  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , II –  $\text{AlOH}(\text{NO}_3)_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ , III –  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , IV –  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{NO}_3 \cdot k\text{H}_2\text{O}$ , V – reference standards; x –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  transitional forms ( $\Theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ );  $\diamond$  – boehmite;  $\circ$  – corundum  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

ты, в отличие от нитрата алюминия, превращаются в бёмит  $AlO(OH)$ , что подтверждается данными рентгенофазного анализа (рис. 2).

$Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$  после выделения кристаллогидратной воды и денитрации превращается в переходную форму  $Al_2O_3$  (или их набор, дифрактометрически неразличимых). Аналогичные вещества формируются также при разложении бёмита (рис. 2). Они сохраняются и при более высоких температурах.

Следует отметить, что при  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  появляется корунд  $\alpha-Al_2O_3$ , количество которого закономерно возрастает с увеличением содержания гидроксогрупп (или отношения  $OH/NO_3$ ) в соединении. Небольшое количество химически связанной воды сохраняется в веществах при температуре  $800\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для подтверждения химического состава кристаллогидратов был выполнен элементный анализ (табл. 3).

Таблица 3

Результаты элементного анализа нитрата и гидроксонитратов алюминия  
Table 3. Aluminium nitrate and hydroxynitrates elemental analysis results

| Показатель                | Соединение               |                              |                            |                              |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                           | $Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ | $Al(OH)(NO_3)_2 \cdot mH_2O$ | $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$ | $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$ |
| Содержание Н, %           | 4,75 (расч. 4,80)        | 5,11 (5,03)                  | 6,16 (6,18)                | 4,80 (4,72)                  |
| Содержание молекул $H_2O$ | 8,9                      | 6,8                          | 6,3                        | 3,9                          |
| Содержание N, %           | 11,19 (расч. 11,20)      | 9,73 (9,64)                  | 5,96 (5,92)                | 5,03 (5,16)                  |

### ВЫВОДЫ

Синтезированы гидроксонитраты алюминия состава  $Al(OH)(NO_3)_2 \cdot mH_2O$ ,  $Al(OH)_2NO_3 \cdot nH_2O$  и  $Al_2(OH)_5NO_3 \cdot kH_2O$  путем растворения свежесажженного гидроксида алюминия в азотной кислоте, количество которой рассчитывали с учетом требуемой степени нейтрализации соединений.

Методами комплексного термического, рентгенофазного и элементного анализа установлен состав продуктов термолиза в интервале температур  $40-800\text{ }^\circ\text{C}$ . Установлены основные стадии разложения: выделение кристаллогидратной воды; переход нитратов в нитриты; денитрация, на которую накладывается удаление химически связанной воды из анионов солей; отщепление воды из бёмита  $AlO(OH)$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Япрынцева А.Д., Баранчиков А.Е., Заболотская А.В., Борило Л.П., Иванов В.К. Синтез слоистого гидроксонитрата гадолиния в условиях гидротермально-микроволновой обработки. *Журн. неорг. химии*. 2014. Т. 59. № 12. С. 1633-1640. DOI: 10.7868/S0044457X14120289.
2. Крылов А.В., Бахтиева Е.А., Сучков М.К., Соловьев М.С., Флид В.Р. Кинетические закономерности топохимических реакций растворения и восстановления солей Pd(II). Тез. докл. VIII Междунар. науч. конф. "Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация как форма самоорганизации вещества". Иваново: Изд-во "Иваново". 2014. С. 39.
3. Балабанов С.С., Гавришчук Е.М., Пермин Д.А. Синтез и свойства золя гидроксиацетата иттрия. *Неорганич. материалы*. 2012. Т. 48. № 5. С. 583-587.
4. Балабанов С.С., Гавришчук Е.М., Дроботенко В.В., Каткова Е.Е., Крылов В.А., Сторожева Т.И., Чернова О.Ю. Получение слабоагломерированных порошков алюмоитриевого граната сжиганием смеси гидроксонитратов алюминия-иттрия с карбамидом и уксусной кислотой. *Неорганич. материалы*. 2012. Т. 48. № 4. С. 478-481.
5. Халипова О.С., Кузнецова С.А., Козик В.В. Влияние салициловой кислоты на процесс термолиза пленкообразующего раствора на основе нитрата церия (III). *Ползуновский вестн.* 2011. № 4-1. С. 74-77.
6. Свит Т.Ф. Исследование продуктов переработки рапы минеральных озер Алтайского края. *Ползуновский вестн.* 2011. № 4-1. С.188-192.

### REFERENCES

1. Yapyrintsev A.D., Baranchikov A.E., Zabolotskaya A.V., Borilo L.P., Ivanov V.K. Synthesis of Gadolinium Hydroxynitrate under Microwave Hydrothermal Treatment Conditions. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2014. V. 59. N 12. P. 1383-1390.
2. Krylov A.V., Bakhtieva E.A., Suchkov M.K., Solovyov M.S., Flid V.R. Kinetics regularities of dissolution and reduction topochemical reactions of Pd(II) salts. *Proceeding thesis VIII Int. Science "Kinetics and Mechanisms of Crystallization. Crystallization as a form of substances self-organization"*. Ivanovo: Publish. house "Ivanovo". 2014. P. 39 (in Russian).
3. Balabanov S.S., Gavrishchuck E.M., Permin D.A. Synthesis and properties of yttrium hydroxyacetate sols. *Neorg. Materialy*. 2012. V. 48. N 5. P. 583-587 (in Russian). DOI: 10.1134/S0020168512050020.
4. Balabanov S.S., Gavrishchuk E.M., Drobotenko V.V., Katkova E.E., Krylov V.A., Storozheva T.I., Chernova O.Yu. Preparation of weakly agglomerated yttrium aluminum garnet powders by burning a mixture of yttrium aluminum hydroxynitrates, urea, and acetic acid. *Neorg. Materialy*. 2012. V. 48. N 4. P. 478-481 (in Russian). DOI: 10.1134/S0020168512040012.
5. Khalipova O.S., Kuznetsova S.A., Kozik V.V. The influence of salicylic acid upon film-forming solution on the base of cerium (III) nitrate. *Polzunovsky Vestn.* 2011. N 4-1. P. 74-77 (in Russian).
6. Svit T.F. The investigation of brine treatment products of Altai mineral lakes. *Polzunovsky Vestn.* 2011. N 4-1. P. 188-192 (in Russian).

7. Юн Р., Чжон Л., Шусен Л., Цзиньлю Л., Кечанг Ц. Обращение гидроксидхлорида меди при окислительном карбонилировании метанола в диметилкарбонат и его роль в этом процессе. *Кинетика и катализ*. 2010. Т. 51. № 2. С. 265–269.
8. Ларин В.И., Хоботова Э.Б., Добрян М.А., Даценко В.В. Получение фунгицида гидроксидхлорида меди (II) из травильных медно-аммиачных растворов. *Укр. хим. журн.* 2008. Т. 74. № 7. С. 30-36.
9. Гомеля Н.Д., Крысенко Т.В., Шаблий Т.А. Получение гидроксидхлоридов алюминия и оценка их эффективности при осветлении воды. *Эко-технологии и ресурсосбережение*. 2004. № 2. С.49-51.
10. Куренков В.Ф., Снигирев С.В., Чуриков Ф.И. Сравнение эффективности при водоочистке гидроксидхлорида и сульфата алюминия в отсутствие и в присутствии полиакриламида. *Журн. прикл. химии*. 2000. Т. 78. № 8. С. 1346-1349.
11. Хузнахметов Р.Х., Хуснутдинов В.А., Сайфуллин Р.С. Кинетика разложения гидроксидсульфата и гидроксидхлорида магния в неизотермическом режиме. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 1992. Т. 35. Вып. 3. С. 77-80.
12. Сычев М.М. Неорганические клеи. Л.: Химия. 1986. 152 с.
13. Безлепкин В.А., Гордеев С.Я., Дегтярева Э.В. Получение глиноземной связки и исследование ее свойств. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 1982. Т. 25. Вып. 6. С. 740-743.
14. Землянухин В.И., Никифоров А.С., Новоселов Г.П., Прусаков В.Н., Скиба О.В., Царенко А.Ф., Шмидт В.С. Состояние исследований по переработке твэлов АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. *Исследования в области переработки облученного топлива и обезвреживания радиоактивных отходов. Сб. докл. V симпозиума СЭВ*. 1981. 7-10 апреля, ЧССР, Марианске Лазне. Т. 1. Прага-5-Збраслав. 1981. С. 26-36.
15. Белоцерковский Г.М., Сасин Э.М., Плаченев Т.Г. Получение водоустойчивого гранулированного силикагеля и изучение его свойств. *Журн. прикл. химии*. 1969. Т. 12. № 6. С. 1325-1330.
16. Косенко Н.Ф., Филатова Н.В., Денисова О.П. Механоактивированное разложение нитрата алюминия. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2004. Т. 47. Вып. 3. С. 74-76.
17. Riberro C.R., Messing G.L. Transformações químicas e estruturais no sistema nitrato de alumínio/alumina. *Cerâmica*. 1984. V. 30. N 174. P. 131-138.
7. Yun R., Zhon L., Zinlu L., Kechang Ts. The copper hydroxochloride formation under oxidizing methanol – dimethylcarbonate carbonylation and its processing role. *Kinetika I Kataliz*. 2010. V. 51. N 2. P. 265–269 (in Russian).
8. Larin V.I., Khabotova E.B., Dobriyan M.A., Datsenko V.V. The copper (II) hydroxochloride fungicide formation in cuproammonium solutions. *Ukr. Khim. Zhurn.* 2008. V. 74. N 7. P. 30-36 (in Russian).
9. Gomelya N.D., Krysenko T.V., Shablyi T.A. The aluminum hydroxochlorides formation and their efficiency evaluation in water cleaning process. *Eko-tekh. Resursosberezhenie*. 2004. N 2. P. 49-51 (in Russian).
10. Kurenkov V.F., Snigirev S.V., Churikov F.N. The water purification efficiency comparison of aluminum hydroxochloride and sulphate in the presence of polyacrylamide and with no its presence. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2000. V. 78. N 8. P. 1346-1349 (in Russian).
11. Khuziakmetov R.Kh., Khusnutdinov V.A., Saiyfullin R.S. The decomposition kinetics of magnesium hydroxosulphate and hydroxochloride in anisothermic conditions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 1992. V. 35. N 3. P. 77-80 (in Russian).
12. Sychyov M.M. Inorganic adhesives. L.: Khimiya. 1986. 152 p. (in Russian).
13. Bezlepkin V.A., Gordeev S.Ya., Degtyareva E.V. The aluminous adhesive formation and its properties investigation. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 1982. V. 25. N 6. P. 740-743 (in Russian).
14. Zemlyanukhin V.I., Nikiforov A.S., Novosyolov G.P., Prusakov V.N., Skiba O.V., Tsarenko A.F., Schmidt V.S. The research of fuel elements treatment for nuclear power station with fast neutron reactors. *Issledovaniya v oblasti pererabotki obluchennogo topliva i obezvrezhivaniya radioaktivnykh otkhodov. Proceeding of V Symp. SEV*. 1981, 7-10 april, ChSSR, Marianske Lazne. V.1. Praga-5-Zbraslav. 1981. P. 26-36 (in Russian).
15. Belotserkovsky G.M., Sasin E.M., Plachenov T.G. The water-resistant granulated silica gel obtaining and investigation of its properties. *Zhurn. Prikl. Khim.* 1969. V. 12. N 6. P.1325-1330 (in Russian).
16. Kosenko N.F., Filatova N.V., Denisova O.P. The mechanically activated decomposition of aluminum nitrate. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2004. V. 47. N 3. P. 74-76 (in Russian).
17. Riberro C.R., Messing G.L. Chemical and structural transformation in the system aluminum nitrate – alumina. *Ceramics*. 1984. V. 30. N 174. P. 131-138 (in Portugal).

Поступила в редакцию 16.05.2017  
Принята к опубликованию 18.07.2017

Received 16.05.2017  
Accepted 18.07.2017