

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 5, Number 413 (2015), 57 – 62

## NEW NANOSIZED FERRO-CHROME-MANGANITES NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K) AND THEIR X-RAY STUDIES

B. K. Kasenov<sup>1</sup>, Sh. B. Kasenova<sup>1</sup>, Zh. I. Sagintaeva<sup>1</sup>,  
A. A. Seysenova<sup>1</sup>, E. E. Kuanyshebekov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>J. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,

<sup>2</sup>E. A. Buketov Karaganda State University, Kazakhstan.

E-mail: kasenov1946@mail.ru

**Keywords:** iron, chrome, manganite, synthesis, x-ray.

**Abstract.** Technology using ceramic oxides of Nd, Fe (III), Cr (III), Mn (III) carbonates and Li, Na, K in the range of 800-1200 ° C to synthesize new phases - Ferro-chromium manganites NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> - Li, Na, K).

Annealing was performed in a furnace «SNOL» at temperatures of 800-1200°C for 20 hours with intermediate trituration in an agate mortar. Low-temperature annealing conducted at 400°C and for 20 hours.

Nanoscale particles are synthesized NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> - Li, Na, K) obtained by grinding them on a vibratory mill company «Retsch» (Germany) brand "MM301".

Size of crushed particles was adjusted with an electron microscope JSPM-5400 Scanning Probe Microscope "JEOL". Mode feedback AC-AFM, the measurement mode "Topogrifiya" type cantilever NSC35 / AIBS, 7,5 nm company «Mikromasch» (Japan).

The method of X-ray revealed that they crystallize in the cubic system with the following lattice parameters: NdLiFeCrMnO<sub>6,5</sub> – a=20,154±0,020 Å, Z=8, V<sup>o</sup>=8186,23±0,06 Å<sup>3</sup>, V<sup>o</sup><sub>un.cell.</sub>=1023,28±0,01 Å<sup>3</sup>, ρ<sub>x-ray.</sub>=5,11, ρ<sub>picn.</sub>=5,14±0,03 g/cm<sup>3</sup>; NdNaFeCrMnO<sub>6,5</sub> – a=20,066±0,024 Å, Z=8, V<sup>o</sup>=8079,46±0,07 Å<sup>3</sup>, V<sup>o</sup><sub>un.cell.</sub>=1009,93±0,02 Å<sup>3</sup>, ρ<sub>x-ray.</sub>=5,11; ρ<sub>picn.</sub>=5,13±0,01 g/cm<sup>3</sup>; NdKFeCrMnO<sub>6,5</sub> – a=20,233±0,069 Å, V<sup>o</sup>=8282±0,21 Å<sup>3</sup>, Z=8, V<sup>o</sup><sub>un.cell.</sub>=1035,36±0,03 Å<sup>3</sup>, ρ<sub>x-ray.</sub>=5,08; ρ<sub>picn.</sub>=5,09±0,02 g/cm<sup>3</sup>.

A IR spectroscopic study of ferro-chrome-manganite.

УДК 546.654:31:72:76:711/.717+621.386.8

## НОВЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФЕРРО-ХРОМО-МАНГАНИТЫ NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K) И ИХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Б. К. Касенов<sup>1</sup>, Ш. Б. Касенова<sup>1</sup>, Ж. И. Сагинтаева<sup>1</sup>,  
А. А. Сейсенова<sup>1</sup>, Е. Е. Куанышбеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,

<sup>2</sup>Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова, Казахстан

**Ключевые слова:** железо, хром, манганит, синтез, рентгенография.

**Аннотация.** Методом керамической технологии из оксидов Nd, Fe(III), Cr(III), Mn(III) и карбонатов Li, Na, K в интервале 800-1200 °С синтезированы новые фазы – ферро-хромо-манганиты NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K).

Отжиг проводили в печи «SNOL» при температурах 800-1200 °С в течение 20 часов с промежуточными перетираниями в агатовой ступке. Низкотемпературный отжиг проведен при 400 °С также в течение 20 часов.

Наноразмерные частицы синтезированных  $\text{NdMe}^{\text{I}}\text{FeCrMnO}_{6,5}$  ( $\text{Me}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K}$ ) получены измельчением их на вибрационной мельнице компании «Retsch» (Германия) марки «ММ301». Размеры измельченных частиц устанавливали на электронном микроскопе JSPM-5400 Scanning Probe Microscope “JEOL”. Режим обратной связи AC-AFM, режим измерения «Топография», тип кантелевера NSC35/AIBS, 7,5 nm фирмы «Mikromasch» (Япония).

Методом рентгенофазового анализа установлено, что все они кристаллизуются в кубической сингонии со следующими параметрами решетки:  $\text{NdLiFeCrMnO}_{6,5} - a=20,154\pm 0,020 \text{ \AA}$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}=8186,23\pm 0,06 \text{ \AA}^3$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.яч.}}=1023,28\pm 0,01 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ,  $\rho_{\text{пикн.}}=5,14\pm 0,03 \text{ г/см}^3$ ;  $\text{NdNaFeCrMnO}_{6,5} - a=20,066\pm 0,024 \text{ \AA}$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}=8079,46\pm 0,07 \text{ \AA}^3$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.яч.}}=1009,93\pm 0,02 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ,  $\rho_{\text{пикн.}}=5,13\pm 0,01 \text{ г/см}^3$ ;  $\text{NdKFeCrMnO}_{6,5} - a=20,233\pm 0,069 \text{ \AA}$ ,  $V^{\circ}=8282\pm 0,21 \text{ \AA}^3$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.яч.}}=1035,36\pm 0,03 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,08 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_{\text{пикн.}}=5,09\pm 0,02 \text{ г/см}^3$ .

Проведено ИК-спектроскопическое исследование ферро-хромо-манганитов.

Применением ферритов решаются многие проблемы вычислительной и сверхвысокочастотной техники, электронного приборостроения, техники связи и др. [1, 2].

Сложные оксидные соединения на основе хрома (III) характеризуются наибольшей устойчивостью, так как для него характерно большое число кинетически устойчивых комплексов [3, 4].

Интерес к манганитам во многом обусловлен с их огромным магнитным сопротивлением. Магнитные характеристики нанотрубок манганита, по оценкам их создателей, в целом соответствуют характеристикам массивного образца (магниторезистивные свойства в них проявляются при температурах ниже 200 K), а необычная геометрия открывает новые возможности [5].

До настоящего времени исследовались в основном, как отдельные ферриты, хромиты и манганиты, так и смешанные феррито-манганиты и хромито-манганиты редкоземельных, щелочных и щелочноземельных металлов [6-8].

Определенный теоретический и практический интерес представляет синтез комбинированных ферро-хромо-манганитов редкоземельных и щелочных металлов, особенно их наночастиц.

Повышенный интерес исследователей к нанобъектам вызван обнаружением у них необычайных физических и химических свойств [9].

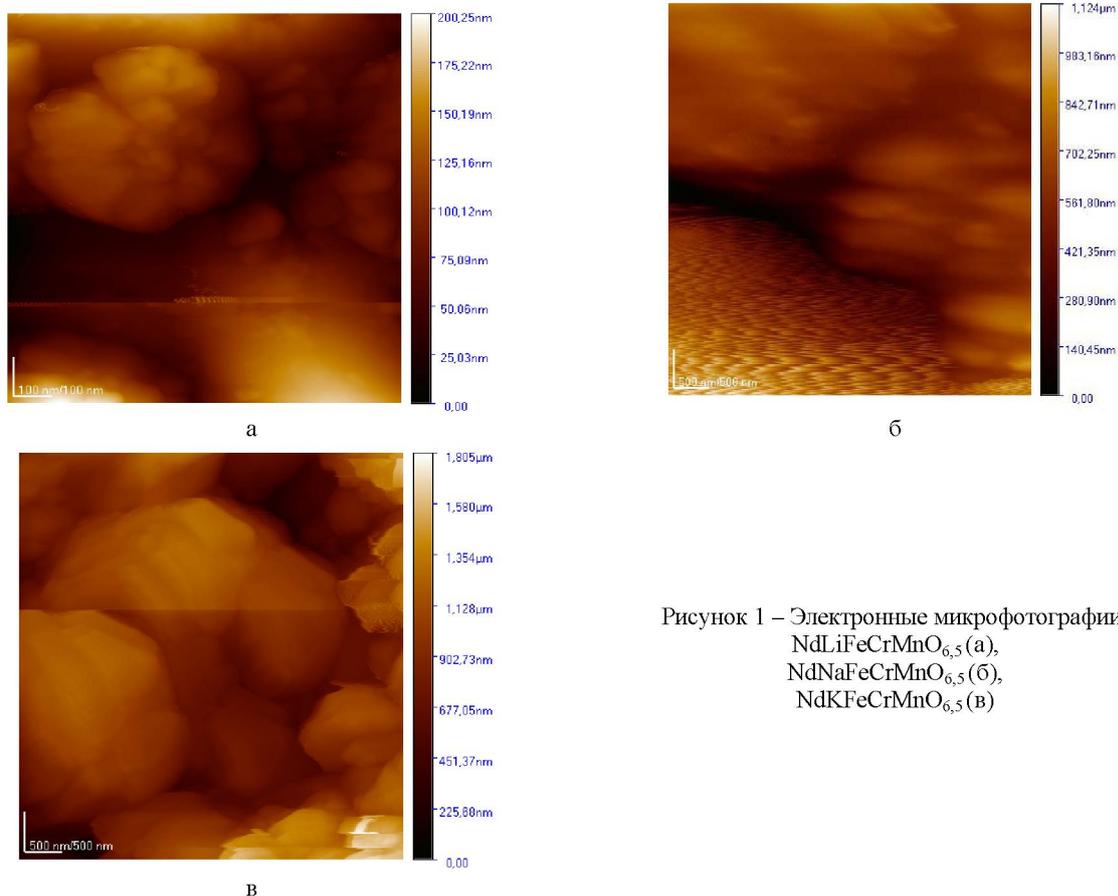


Рисунок 1 – Электронные микрофотографии:  
 $\text{NdLiFeCrMnO}_{6,5}$  (а),  
 $\text{NdNaFeCrMnO}_{6,5}$  (б),  
 $\text{NdKFeCrMnO}_{6,5}$  (в)

В связи с вышеизложенными целью данной работы является синтез и рентгенографическое исследование новых фаз – ферро-хромо-манганитов  $\text{NdMe}^{\text{I}}\text{FeCrMnO}_{6,5}$  ( $\text{Me}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K}$ ).

Твердофазный синтез соединений проведен методом керамической технологии из оксидов неодима (III) квалификации «ос.ч.», железа (III), хрома (III), марганца (III) и карбонатов лития, натрия и калия марки «ч.д.а.». Предварительно обезвоженные при  $400^\circ\text{C}$  стехиометрические количества исходных веществ тщательно перемешивались, перетирались в агатовой ступке. Затем они в алундовых тиглях в печи «SNOL» отжигались сначала при  $800^\circ\text{C}$ , затем при  $1200^\circ\text{C}$  в течение 20 часов, далее смеси охлаждались, перемешивались и тщательно перетирались. Низкотемпературный отжиг составов проводили при температуре  $400^\circ\text{C}$  также в течение 20 часов.

Наноразмерные частицы ферро-хромо-манганитов получали путем измельчения их на вибрационной мельнице MM301 (Retsch, Германия) аналогично [10-19]. Размеры наночастиц определены на электронном микроскопе JSPM-5400 Scanning Probe Microscope «Jeol». На рисунке 1 приведены электронные микрофотографии наночастиц исследуемых ферро-хромо-манганитов. Как видно из данных рисунка 1 размеры наночастиц (нанокластеров) находятся в пределах 30-100 нм.

Рентгенографическое исследование наноразмерных частиц соединений проводили на дифрактометре ДРОН-2,0 ( $\text{CuK}\alpha$  – излучение, Ni – фильтр,  $U=30\text{кВ}$ ,  $J=10\text{мА}$ , скорость вращения счетчика 2 об/мин, диапазон шкалы 1000 имп/с,  $\tau=5\text{с}$ ,  $2\theta=10-90^\circ$ ). Интенсивность дифракционных максимумов оценивали по 100 балльной шкале. Индексирование рентгенограмм полученных соединений проводили аналитическим методом [20].

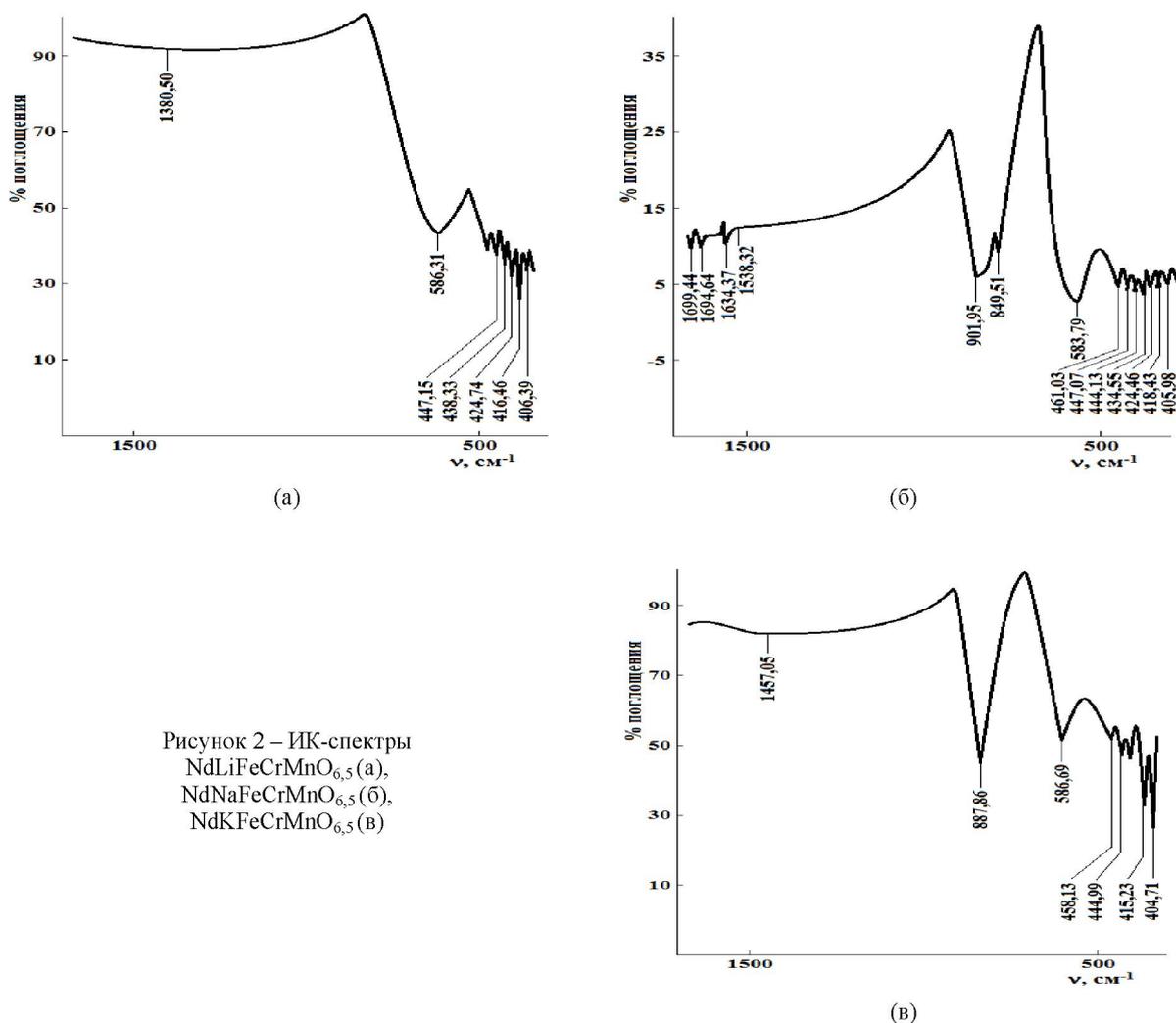


Рисунок 2 – ИК-спектры  
 $\text{NdLiFeCrMnO}_{6,5}$  (а),  
 $\text{NdNaFeCrMnO}_{6,5}$  (б),  
 $\text{NdKFeCrMnO}_{6,5}$  (в)

Пикнометрические плотности определяли согласно [21]. В качестве индифферентной жидкости использовали толуол.

На основании результатов индицирования установлено, что синтезированные ферро-хромоманганиты кристаллизуются в кубической сингонии, в пространственной группе  $Pm\bar{3}m$  в структуре искаженного перовскита:  $NdLiFeCrMnO_{6,5}$  –  $a=20,154\pm 0,03\text{Å}$ ,  $V^0=8186\pm 0,06\text{Å}^3$ ,  $Z=8$ ,  $V^0_{\text{эл.яч.}}=1023,28\pm 0,01\text{Å}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ;  $\rho_{\text{пикн.}}=5,14\pm 0,03\text{ г/см}^3$ ;  $NdNaFeCrMnO_{6,5}$  –  $a=20,066\pm 0,024\text{Å}$ ,  $V^0=8079\pm 0,07\text{Å}^3$ ,  $Z=8$ ,  $V^0_{\text{эл.яч.}}=1009,93\pm 0,02\text{Å}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ;  $\rho_{\text{пикн.}}=5,13\pm 0,01\text{ г/см}^3$ ;  $NdKFeCrMnO_{6,5}$  –  $a=20,233\pm 0,069\text{Å}$ ,  $V^0=8282\pm 0,21\text{Å}^3$ ,  $Z=8$ ,  $V^0_{\text{эл.яч.}}=1035,36\pm 0,03\text{Å}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,08\text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{\text{пикн.}}=5,09\pm 0,02\text{ г/см}^3$ .

ИК-спектроскопическое исследование соединений проводили на спектрофотометре AVATAR-360. На рисунке 2 представлены ИК-спектры исследуемых соединений. При расшифровке спектров руководствовались монографией [22].

$NdLiFeCrMnO_{6,5}$ . Полосы поглощения при 406,39; 416,46; 424,74; 438,33 и 447,15  $\text{см}^{-1}$  можно отнести к деформационным колебаниям  $\delta(\text{Nd-O})$ ,  $\delta(\text{Li-O})$ ,  $\delta(\text{Fe-O})$ ,  $\delta(\text{Cr-O})$ ,  $\delta(\text{Mn-O})$ ; 586,31  $\text{см}^{-1}$  – к колебанию  $\nu_i(\text{MnO}_6)$ , 1380,50  $\text{см}^{-1}$  – к изменениям симметрии групп  $\text{FeO}_3$ ,  $\text{CrO}_3$  и  $\text{MnO}_3$ .

$NdNaFeCrMnO_{6,5}$ . Полосы поглощения при 405,98; 418,43; 424,46; 434,55; 444,13; 447,07 и 461,03  $\text{см}^{-1}$  можно отнести к деформационным колебаниям  $\delta(\text{Nd-O})$ ,  $\delta(\text{Na-O})$ ,  $\delta(\text{Fe-O})$ ,  $\delta(\text{Cr-O})$ ,  $\delta(\text{Mn-O})$ ; 583,79 – к колебанию  $\nu_i(\text{MnO}_6)$ , 849,51 и 901,95  $\text{см}^{-1}$  – к гармоническим частотам групп  $W_e(\text{Mn-O})$  и  $W_e(\text{Cr-O})$ , 1538,32; 1634,37 и 1694,64 – к изменениям симметрии групп  $\text{MnO}_3$ ,  $\text{CrO}_3$  и  $\text{FeO}_3$ .

$NdKFeCrMnO_{6,5}$ . Полосы поглощения при 404,71; 415,23; 444,99; 458,13  $\text{см}^{-1}$  можно отнести к деформационным колебаниям  $\delta(\text{Nd-O})$ ,  $\delta(\text{K-O})$ ,  $\delta(\text{Fe-O})$ ,  $\delta(\text{Cr-O})$ ,  $\delta(\text{Mn-O})$ ; 586,69  $\text{см}^{-1}$  – к колебанию  $\nu_i(\text{MnO}_6)$ , 887,86  $\text{см}^{-1}$  – к гармоническим частотам групп  $W_e(\text{Mn-O})$ ,  $W_e(\text{Cr-O})$  и  $W_e(\text{Fe-O})$ , 1457,05  $\text{см}^{-1}$  – к изменениям симметрии групп  $\text{FeO}_3$  и  $\text{MnO}_3$ .

Таким образом, впервые получены наноразмерные ферро-хромоманганиты состава  $NdMe^I\text{FeCrMnO}_{6,5}$  ( $Me^I$  – Li, Na, K), определены типы их сингонии, параметры решеток и проведено ИК-спектроскопическое исследование.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Летюк Л.М., Журавлёв Г.И. Химия и технология ферритов. – Л., 1983. – 256 с.
- [2] Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. – М.: Металлургия, 1979. – 473 с.
- [3] Гильдерман В.К., Земцова В.И., Пальгубев С.Ф. Электропроводность и термо – э.д.с. ортохромитов редкоземельных элементов подгруппы церия // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1987. – Т. 23, № 6. – С.1001-1004.
- [4] Супоницкий Ю.Л. Термическая химия оксосоединений РЗЭ и элементов VI-группы: автореферат дисс. докт. хим. наук. – Москва, 2001. – 40 с.
- [5] [http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/4\\_23/index.htm](http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/4_23/index.htm)
- [6] Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Ермагамбет Б.Т. и др. Двойные и тройные манганиты щелочных, щелочноземельных и редкоземельных металлов. – Караганда: «Тенгри», 2012. – 317 с.
- [7] Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Мустафин Е.С., Ермагамбет Б.Т., Касенова Ш.Б., Давренбеков С.Ж., Сагинтаева Ж.И., Абильдаева А.Ж., Едилбаева С.Т., Сергазина С.М., Толоконников Е.Г., Жумадилов Е.К. Рентгенография, термодинамика и электрофизика двойных ферритов щелочных, щелочноземельных и редкоземельных металлов. – Караганда: «Тенгри», 2012. – 112 с.
- [8] Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Мустафин Е.С., Касенова Ш.Б., Ермагамбет Б.Т., Сагинтаева Ж.И., Жумадилов Е.К. Двойные и тройные хромиты щелочных, щелочноземельных и редкоземельных металлов. – Караганда: «TENGRILtd», 2013. – 172 с.
- [9] Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
- [10] Касенов Б.К., Сергазина С.М., Касенова Ш.Б. и др. Синтез и рентгенографическое исследование ферритов  $\text{ErM}^I\text{Fe}_2\text{O}_5$  ( $M^I$  – Li, Na, K, Cs) // Журнал неорган. химии. – 2010. – Т. 55, № 10. – С.1702-1705.
- [11] Инновационный патент. № 28710 от 19.06.2014г. Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Ермагамбет Б.Т., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И. и др. «Способ получения наноразмерных частиц двойных хромитов редкоземельных и щелочноземельных металлов».
- [12] Инновационный патент. № 29247 от 20.11.2014г. Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Толымбеков М.Ж., Ермагамбет Б.Т. и др. «Способ получения наноструктурированных частиц манганито-ферритов редкоземельных, щелочных и щелочноземельных металлов с общими формулами  $\text{LnM}^I\text{MnFeO}_5$  и  $\text{LnM}^{II}\text{MnFeO}_{5,5}$  где  $\text{Ln}$  – редкоземельный,  $M(I)$  – щелочной,  $M(II)$  – щелочноземельный металл».
- [13] Заключение о выдаче Инновационного патента (№ заявки 2013/1355.1 от 04.05.2014г.). «Способ получения наноразмерных частиц купрато-манганитов щелочноземельных редкоземельных металлов состава  $\text{LnM}^{II}_2\text{CuMnO}_6$  ( $\text{Ln}$  – La, Nd;  $M^{II}$  – Mg, Ca, Sr, Ba)» (Б.К. Касенов, Н.С. Бектурганов, М.Ж. Толымбеков и др.).

[14] Касенов Б.К., Давренбеков С.Ж., Мустафин Е.С. и др. Синтез и рентгенографическое исследование новых наноструктурированных манганито-ферритов  $\text{NdM}^{\text{II}}_{1.5}\text{MnFeO}_6$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) // Журнал неорганической химии. – 2013. – Т. 58, № 5. – С. 646.

[15] Касенов Б.К., Сагинтаева Ж.И., Касенова Ш.Б., Касенова Ш.Б., Давренбеков С.Ж., Абилдаева А.Ж. Рентгенографическое исследование наноструктурированных частиц манганито-ферритов  $\text{NdM}^{\text{II}}\text{MnFeO}_5$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}$ ) // Журнал неорганической химии. РАН. – 2013. – Т. 58, № 8. – С. 1095-1098.

[16] Касенова Ш.Б., Касенов Б.К., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Ермагамбет Б.Т., Сейсенова А.А., Смагулова Д.И. Синтез и рентгенографическое исследование наноструктурированных частиц купрато-манганитов  $\text{LaM}_2^{\text{II}}\text{CuMnO}_6$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) // Журнал неорганической химии. РАН. – 2014. – Т. 59, № 9. – С. 1243-1247.

[17] Касенов Б.К., Сагинтаева Ж.И., Касенова Ш.Б., Куанышбеков Е.Е., Сейсенова А.А., Бектурганова А.Ж., Доспаев М.М. Синтез и рентгенографическое исследование наноструктурированных частиц двойных хромитов  $\text{YbMe}^{\text{II}}\text{Cr}_2\text{O}_{5.5}$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) // Журнал «Энциклопедия инженера-химика», Москва. – 2014. – № 5. – С. 11-14.

[18] Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Абилдаева А.Ж. Синтез и рентгенографическое исследование манганито-ферритов  $\text{La}^{\text{II}}_{1.5}\text{MnFeO}_6$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) // Журнал неорганической химии. РАН. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 531-533.

[19] Касенов Б.К., Мустафин Е.С., Сагинтаева Ж.И., Исабаева М.А., Давренбеков С.Ж., Касенова Ш.Б., Абилдаева А.Ж. Рентгенографические характеристики новых хромито-манганитов  $\text{LaMe}_3^{\text{II}}\text{CrMnO}_6$  и  $\text{LaMe}_3^{\text{II}}\text{CrMnO}_{7.5}$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Li}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{Ca}$ ) // Журнал неорганической химии. РАН. – 2013. – Т. 58, № 2. – С. 243-245.

[20] Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 232 с.

[21] Кивилис С.С. Техника измерений плотности жидкостей и твердых тел. – М.: Стандартгиз, 1959. – 191 с.

[22] Накамото К. ИК спектры и КР неорганических и координационных соединений. – М.: Мир, 1991. – 536 с.

## REFERENCES

- [1] Letjuk L.M., Zhuravljov G.I. Chemistry and technology of ferrites. *L.*, **1983**, 256 (In Russ.).
- [2] Levin B.E., Tret'jakov Ju.D., Letjuk L.M. Physical and chemical bases of reception, properties and applications of ferrites. *M.: Metallurgija*, **1979**, 473 (In Russ.).
- [3] Gil'derman V.K., Zemcova V.I., Pal'guyev S.F. *Izv. AN SSSR. Neorgan. materialy.* – **1987**, 23, 6, 1001-1004 (In Russ.).
- [4] Suponickij Ju.L. Termicheskaja himija oksosojedinenij RZJe i jelementov VI-gruppy: avtoreferat diss. dokt. him. nauk. *Moskva*, **2001**, 40 (In Russ.).
- [5] [http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/4\\_23/index.htm](http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/4_23/index.htm)
- [6] Kasenov B.K., Bekturganov N.S., Ermagambet B.T. i dr. Double and triple manganites alkaline, alkaline earth and rare earth metals. *Karaganda: «Tengri»*, **2012**, 317 (In Russ.).
- [7] Kasenov B.K., Bekturganov N.S., Mustafin E.S. i dr. Radiography, thermodynamics and electrophysics double iron alkaline, alkaline earth and rare earth metals. *Karaganda: «Tengri»*, **2012**, 112 (In Russ.).
- [8] Kassenov B.K., Bekturganov N.S., Mustafin E.S. i dr. Double and triple chromite alkaline, alkaline earth and rare earth metals. *Karaganda: «TENGR Ltd»*, **2013**, 172 (In Russ.).
- [9] Gusev A.I. Nanomaterials, nanostructures, nanotechnology. *M.: Fizmatlit*, **2005**, 416 (In Russ.).
- [10] Kasenov B.K., Davrenbekov S.Zh., Mustafin E.S. i dr. *Zhurnal neorgan. himii*. **2013**, 58, 5, 646 (In Russ.).
- [11] Innovacionnyj patent. № 28710 ot **19.06.2014g.** Kasenov B.K., Bekturganov N.S., Ermagambet B.T., Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I. i dr. (In Russ.).
- [12] Innovacionnyj patent. № 29247 ot **20.11.2014g.** Kasenov B.K., Bekturganov N.S., Tolymbekov M.Zh., Ermagambet B.T. i dr. (In Russ.).
- [13] Zakljuchenie o vydache Innovacionnogo patenta (№ zjavki 2013/1355.1 ot **04.05.2014g.**) (In Russ.).
- [14] Kasenov B.K., Davrenbekov S.Zh., Mustafin E.S. i dr. *Zhurnal neorgan. Himii*, **2013**, 58, 5, 646 (In Russ.).
- [15] Kasenov B.K., Sagintaeva Zh.I., Kasenova Sh.B., Kasenova Sh.B., Davrenbekov S.Zh., Abil'daeva A.Zh. *Zhurnal neorgan. himii. RAN*, **2013**, 58, 8, 1095-1098 (In Russ.).
- [16] Kasenova Sh.B., Kasenov B.K., Sagintaeva Zh.I., Kuanyshbekov E.E., Ermagambet B.T., Sejsenova A.A., Smagulova D.I. *Zhurnal neorgan. himii. RAN*, **2014**, 59, 9, 1243-1247 (In Russ.).
- [17] Kasenov B.K., Sagintaeva Zh.I., Kasenova Sh.B., Kuanyshbekov E.E., Sejsenova A.A., Bekturganova A.Zh., Dospaev M.M. *Zhurnal «Jenciklopedija inzhenera-himika»*, *Moskva*, **2014**, 5, 11-14 (In Russ.).
- [18] Kasenov B.K., Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I., Abil'daeva A.Zh. *Zhurnal neorgan. himii. RAN*, **2014**, 59, 4, 531-533 (In Russ.).
- [19] Kasenov B.K., Mustafin E.S., Sagintaeva Zh.I., Isabaeva M.A., Davrenbekov S.Zh., Kasenova Sh.B., Abil'daeva A.Zh. *Zhurnal neorganicheskoj himii. RAN*, **2013**, 58, 2, 243-245 (In Russ.).
- [20] Kovba L.M., Trunov V.K. X-ray analysis. *M.: Izd-vo MGU*, **1969**, 232 (In Russ.).
- [21] Kivilis S.S. Technique measuring the density of liquids and solids. *M.: Standartgiz*, **1959**, 191 (In Russ.).
- [22] Nakamoto K. IR and Raman spectra of inorganic and coordination compounds. *M.: Mir*, **1991**, 536 (In Russ.).

**NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K) ЖАҢА НАНОӨЛШЕМДІ ФЕРРО-ХРОМ-МАНГАНИТТЕРІ  
ЖӘНЕ ОЛАРДЫ РЕНТГЕНОГРАФИЯЛЫҚ ТҰРҒЫДАН ЗЕРТТЕУ**

**Б. Қ. Қасенов<sup>1</sup>, Ш. Б. Қасенова<sup>1</sup>, Ж. И. Сағынтаева<sup>1</sup>,  
А. А. Сейсенова<sup>1</sup>, Е. Е. Қуаньшбеков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ж. Өбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды, Қарағанда,

<sup>2</sup>Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан

**Тірек сөздер:** темір, хром, манганит, синтез, рентгенография.

**Аннотация.** Керамикалық технология әдісімен Nd, Fe(III), Cr(III), Mn(III) тотықтары мен Li, Na, K карбонаттарынан 800-1200 °С аралықта жаңа фазалар – ферро-хром-манганиттер NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K) синтезделініп алынды.

Қосылыстарды қыздыру «SNOL» пеште 20 сағат бойы 800-1200 °С температураларда ағат келіде ара-ластыра отырып жүргізілді. Төмен температуралық қыздыру 20 сағат бойы 400 °С – та жүрді.

Синтезделініп алынған NdMe<sup>I</sup>FeCrMnO<sub>6,5</sub> (Me<sup>I</sup> – Li, Na, K) нанөөлшемді бөлшектері оларды «ММ301» маркалы «Retsch» (Германия) компаниясының вибрациялық диірменінде үгіту арқылы алынды.

Үгітілген бөлшектер өлшемдері «Mikrotasch» (Япония) фирмасының JSPM-5400 Scanning Probe Microscope “JEOL” электрондық микроскопында зерттелді. Кері байланыс режимі AC-AFM, өлшеу режимі «Топография», кантелевер типі NSC35/AIBS, 7,5 нм.

Рентгенфазалық әдіспен олардың кубтық сингонияда кристалданатыны анықталып, келесідей тор көрсеткіштері алынды: NdLiFeCrMnO<sub>6,5</sub> –  $a=20,154\pm 0,020 \text{ \AA}$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}=8186,23\pm 0,06 \text{ \AA}^3$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.ұя.}}=1023,28\pm 0,01 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ,  $\rho_{\text{пикн.}}=5,14\pm 0,03 \text{ г/см}^3$ ; NdNaFeCrMnO<sub>6,5</sub> –  $a=20,066\pm 0,024 \text{ \AA}$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}=8079,46\pm 0,07 \text{ \AA}^3$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.ұя.}}=1009,93\pm 0,02 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,11$ ,  $\rho_{\text{пикн.}}=5,13\pm 0,01 \text{ г/см}^3$ ; NdKFeCrMnO<sub>6,5</sub> –  $a=20,233\pm 0,069 \text{ \AA}$ ,  $V^{\circ}=8282\pm 0,21 \text{ \AA}^3$ ,  $Z=8$ ,  $V^{\circ}_{\text{эл.ұя.}}=1035,36\pm 0,03 \text{ \AA}^3$ ,  $\rho_{\text{рент.}}=5,08 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{\text{пикн.}}=5,09\pm 0,02 \text{ г/см}^3$ . Ферро-хром-манганитерге ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер жүргізілді.