

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 5, Number 413 (2015), 52 – 56

**NEW NANOSIZED FERRO-CHROME-MANGANITES
LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I – Li, Na, K) AND THEIR X-RAY STUDIES**

B. K. Kasenov¹, Sh. B. Kasenova¹, Zh. I. Sagintaeva¹,
A. A. Seysenova¹, E. E. Kuanyshbekov²

¹J. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,

² - E. A. Buketov Karaganda State University, Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: kasenov1946@mail.ru

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

Abstract. Reacting the solid phase oxides La, Fe (III), Cr (III), Mn (III) and carbonates Li, Na, K range 800-1200 °C obtained new phases - Ferro-chromium manganites LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I - Li, Na, K).

Reagents triturated thoroughly in an agate mortar and fired in a furnace «SNOL» at temperatures of 800-1200 °C for 20 hours. Low-temperature annealing conducted at 400 °C and for 20 hours.

Grinding them in a vibratory mill company «Retsch» (Germany) brand "MM301" received their nano-sized particles. Size of crushed particles was adjusted with an electron microscope JSPM-5400 Scanning Probe Microscope "JEOL". Mode feedback AC-AFM, the measurement mode "Topografiya" 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: LaLiFeCrMnO_{6,5} – a=20,181±0,030 Å, Z=8, V°=8219,17±0,09 Å³, V°_{un.cell}=1027,40±0,01 Å³, ρ_{x-ray}=5,05 g/cm³; LaNaFeCrMnO_{6,5} – a=20,168±0,027 Å, Z=8, V°=8203,30±0,08 Å³, V°_{un.cell}=1025,41±0,01 Å³, ρ_{x-ray}=5,06 g/cm³; LaKFeCrMnO_{6,5} – a=20,273±0,027 Å, Z=8, V°=8332,09±0,08 Å³, V°_{un.cell}=1041,51±0,01 Å³, ρ_{x-ray}=5,03 g/cm³. Derivatograph system "Paulik-Paulik-Erdey" range 25-1000 °C conducted thermal analysis study of ferro-chrome-manganite.

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

**НОВЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФЕРРО-ХРОМО-МАНГАНИТЫ
LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I – Li, Na, K)
И ИХ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

B. K. Kasenov¹, Sh. B. Kasenova¹, Zh. I. Sagintaeva¹,
A. A. Seysenova¹, E. E. Kuanyshbekov²

¹Химико-металлургический институт им. Ж. Абисева, Караганда, Казахстан,

²Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан

Ключевые слова: железо, хром, мanganит, синтез, рентгенография.

Аннотация. Твердофазным взаимодействием оксидов La, Fe(III), Cr(III), Mn(III) и карбонатов Li, Na, K в интервале 800-1200 °C получены новые фазы – ферро-хромо-мanganиты LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I – Li, Na, K).

Реагенты тщательно перетирались в агатовой ступке и отжигались в печи «SNOL» при температурах 800-1200 °C в течение 20 часов. Низкотемпературный отжиг проведен при 400 °C также в течение 20 часов.

Измельчением их на вибрационной мельнице компании «Retsch» (Германия) марки «MM301» получены их наноразмерные частицы. Размеры измельченных частиц устанавливали на электронном микроскопе JSPM-5400 Scanning Probe Microscope “JEOL”. Режим обратной связи AC-AFM, режим измерения «Топография», тип кантелеявера NSC35/AIBS, 7,5 нм фирмы «Mikromasch» (Япония).

Методом рентгенографии установлено, что все они кристаллизуются в кубической сингонии со следующими параметрами решетки: LaLiFeCrMnO_{6,5} – a=20,181±0,030 Å, Z=8, V°=8219,17±0,09 Å³,

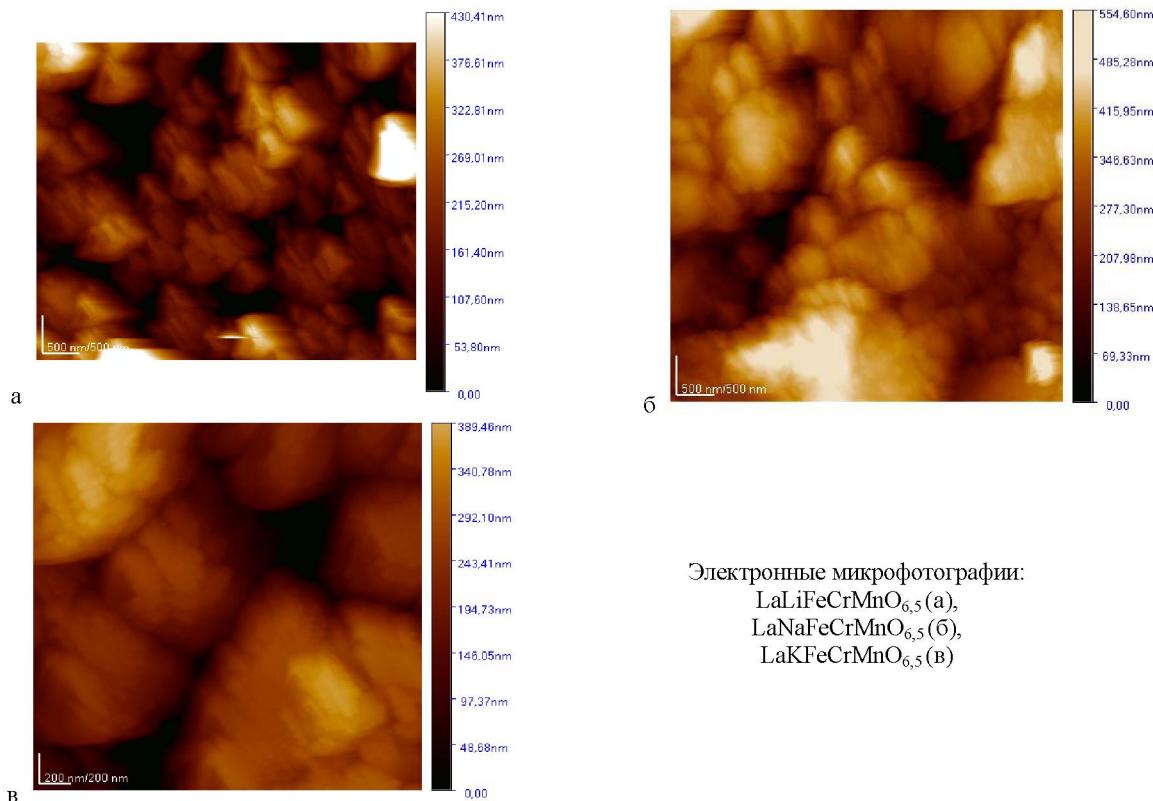
$V_{\text{эл.яч.}}^{\circ}=1027,40 \pm 0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,05 \text{ г/см}^3$; $\text{LaNaFeCrMnO}_{6,5}$ – $a=20,168 \pm 0,027 \text{ \AA}$, $Z=8$, $V^{\circ}=8203,30 \pm 0,08 \text{ \AA}^3$, $V_{\text{эл.яч.}}^{\circ}=1025,41 \pm 0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,06 \text{ г/см}^3$; $\text{LaKFeCrMnO}_{6,5}$ – $a=20,273 \pm 0,027 \text{ \AA}$, $Z=8$, $V^{\circ}=8332,09 \pm 0,08 \text{ \AA}^3$, $V_{\text{эл.яч.}}^{\circ}=1041,51 \pm 0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,03 \text{ г/см}^3$. На дериватографе системы «Паулик-Паулик-Ердей» в интервале 25-1000 °C проведен термический анализ исследуемых ферро-хромо-мanganитов.

В настоящее время сложные оксиды переходных 3d- и 4f- элементов со структурой перовскита или близкой к ней (манганиты, кобальтиты, хромиты, никелиты, никелаты и купраты РЗЭ) и их твердые растворы с оксидами щелочных и щелочноземельных металлов нашли широкое применение в различных областях науки и техники, благодаря наличию широкого спектра интересных свойств, как большая величина электропроводности в значительном диапазоне температур, электронный характер проводимости (полупроводниковый n- или p- типа или металлический), магнитные, сверхпроводящие и др. Следует отметить, что в 1993-94 г.г. именно у мanganитов типа $\text{La}(\text{Ca}, \text{Ba})\text{MnO}_3$ со структурой перовскита обнаружен эффект гигантского магнитного сопротивления [1-9].

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

Ферро-хромо-мanganиты указанного состава получены методом керамической технологии. Исходными реагентами для синтеза служили оксиды лантана (III) квалификации «ос.ч.», железа (III), хрома (III), марганца (III) и карбонаты лития, натрия и калия марки «ч.д.а.». Предварительно обезвоженные при 400 °C стехиометрические количества исходных веществ тщательно перемешивались, перетирались в агатовой ступке. Затем они в алюндовых тиглях в печи «SNOL» отжигались сначала при 800 °C, затем при 1200 °C смеси охлаждались, перемешивались и тщательно перетирались. Низкотемпературный отжиг составов проводили при температуре 400 °C также в течение 20 часов.

Наноразмерные частицы ферро-хромо-мanganитов 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 приведены электронные микрофотографии наночастиц исследуемых ферро-хромо-мanganитов. Как видно из данных рисунка размеры наночастиц (нанокластеров) находятся в пределах 30-60 нм.



Рентгенографическое исследование наноразмерных частиц соединений проводили на дифрактометре ДРОН-2,0 (CuK α – излучение, Ni – фильтр, U=30кВ, J=10mA, скорость вращения счетчика 2 об/мин, диапазон шкалы 1000 имп/с, τ =5с, 2θ =10-90°). Интенсивность дифракционных максимумов оценивали по 100 балльной шкале. Индицирование рентгенограмм полученных соединений проводили аналитическим методом [20].

Удовлетворительное согласие опытных и вычисленных значений $10^4/d^2$ указывает на корректность результатов индицирования рентгенограмм исследуемых соединений (таблица).

Индицирование рентгенограмм наноразмерных частиц
LaLiFeCrMnO_{6,5}(I), LaNaFeCrMnO_{6,5}(II), LaKFeCrMnO_{6,5}(III)

J/J ₀	$10^4/d^2_{\text{эксп.}}$	hkl	$10^4/d^2_{\text{выч.}}$
I			
17	663,6	333	663,6
100	1323	721	1327
16	1557	800	1573
17	1986	900	1991
6	2263	10.2.2	2654
7	3314	10.5.3	3293
7	3825	975	3810
31	3970	990	3982
7	7504	15.6.2	4522
12	5313	10.10.4	5309
10	6642	13.10.1	6636
II			
17	663,6	333	664
100	1322	721	1327
14	1533	732	1524
18	1988	900	1991
6	2231	931	2237
33	2652	10.2.2	2654
9	3314	10.5.3	3294
6	3778	12.3.1	3785
30	3966	10.6.5	3957
8	4462	10.9.1	4473
11	5320	10.10.4	5309
9	6631	13.10.1	6636
III			
17	657,5	333	658
9	1113	631	1120
100	1313	721	1315
19	1972	900	1972
7	2229	931	2216
31	2576	943	2581
9	3292	10.6.0	3312
6	3778	11.5.3	3775
30	3951	9.9.0	3945
7	4462	12.6.2	4481
9	5266	10.10.4	5260
9	6557	13.10.0	6551

На основании индицирования рентгенограмм установлено, что все исследуемые соединения кристаллизуются в кубической сингонии со следующими параметрами решеток: $\text{LaLiFeCrMnO}_{6,5}$ – $a=20,181\pm0,030 \text{ \AA}$, $Z=8$, $V^o=8219,17\pm0,09 \text{ \AA}^3$, $V^o_{\text{эл.яч.}}=1027,40\pm0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,05 \text{ г/см}^3$; $\text{LaNaFeCrMnO}_{6,5}$ – $a=20,168\pm0,027 \text{ \AA}$, $Z=8$, $V^o=8203,30\pm0,08 \text{ \AA}^3$, $V^o_{\text{эл.яч.}}=1025,41\pm0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,06 \text{ г/см}^3$; $\text{LaKFeCrMnO}_{6,5}$ – $a=20,273\pm0,027 \text{ \AA}$, $Z=8$, $V^o=8332,09\pm0,08 \text{ \AA}^3$, $V^o_{\text{эл.яч.}}=1041,51\pm0,01 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=5,03 \text{ г/см}^3$.

На дериватографе системы «Паулик-Паулик-Ердей» в интервале 25-1000 °C проведен термический анализ исследуемых соединений. Условия съемки: навеска соли 1500 мг, С=10°/мин, v=2 мм/мин. На кривой ДТА при указанном ΔT не наблюдаются заметные эффекты превращения и кривые термогравиметрии указывают на отсутствие убыли веса.

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что впервые получены наноразмерные ферро-хромо-манганиты состава $\text{LaMe}^{\text{I}}\text{FeCrMnO}_{6,5}$ (Me^{I} – Li, Na, K), определены типы их сингонии, параметры решеток и в интервале 25-1000 °C проведен их дериватографический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Третьяков Ю.Д., Брылёв О.А. Новые поколения неорганических функциональных материалов // Журнал РХО им. Д.И. Менделеева. – 2000. – Т. 45, № 4. – С. 10-16.
- [2] Балакирев В.Ф., Бархатов В.П., Голиков Ю.М., Майзель О.Г. Манганиты: равновесные и нестабильные состояния. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 398 с.
- [3] Портной К.И., Тимофеева Н.И. Кислородные соединения редкоземельных элементов. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
- [4] Гильдерман В.К., Земцова В.И., Пальгуев 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.
- [5] Супоницкий Ю.Л. Термическая химия оксосоединений РЭ и элементов VI-группы: автореферат дисс. докт. хим. наук. – Москва, 2001. – 40 с.
- [6] Макшина Е.В., Боровских Л.В., Кустов А.Л. и др. Кобальтиты лантана-стронция с перовскитной и слоистой структурной как катализаторы окисления метанола // Журнал физ. химии. – 2005. – Т. 70, № 1. – С. 253-257.
- [7] Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Ермагамбет Б.Т. и др. Двойные и тройные манганиты щелочных, щелочноzemельных и редкоземельных металлов. – Караганда: «Тенгри», 2012. – 317 с.
- [8] Касенов Б.К., Бектурганов Н.С., Мустафин Е.С., Ермагамбет Б.Т., Касенова Ш.Б., Давренбеков С.Ж., Сагинтаева Ж.И., Абильдаева А.Ж., Едильбаева 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.
- [9] 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: «TENGRI Ltd», 2013. – 172 с.
- [10] Касенов Б.К., Сергазина С.М., Касенова Ш.Б. и др. Синтез и рентгенографическое исследование ферритов $\text{ErM}^{\text{I}}\text{Fe}_2\text{O}_5$ (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 полученияnanoструктурированных частиц манганито-ферритов редкоземельных, щелочных и щелочноземельных металлов с общими формулами $\text{LnM}^{\text{I}}\text{MnFeO}_5$ и $\text{LnM}^{\text{II}}\text{MnFeO}_{5,5}$ где Ln – редкоземельный, M(I) – щелочной, M(II) – щелочноземельный металлы».
- [13] Заключение о выдаче Инновационного патента (№ заявки 2013/1355.1 от 04.05.2014г.). «Способ получения наноразмерных частиц купрато-манганитов щелочноземельных редкоземельных металлов состава $\text{LnM}^{\text{II}}_2\text{CuMnO}_6$ (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 nanoструктурированных манганито-ферритов $\text{NdM}^{\text{I},\text{II}}_1\text{MnFeO}_6$ (M^{I,II}-Mg, Ca, Sr, Ba) // Журнал неорган. химии. – 2013. – Т. 58, № 5. – С. 646.
- [15] Касенов Б.К., Сагинтаева Ж.И., Касенова Ш.Б., Касенова Ш.Б., Давренбеков С.Ж., Абильдаева А.Ж. Рентгенографическое исследование nanoструктурированных частиц манганито-ферритов $\text{NdM}^{\text{I}}\text{MnFeO}_5$ (M^I-Li, Na, K) // Журнал неорган. 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 nanoструктурированных частиц купрато-манганитов $\text{LaM}^{\text{II}}_2\text{CuMnO}_6$ (M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba) // Журнал неорган. 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 nanoструктурированных частиц двойных хромитов $\text{YbM}^{\text{II}}\text{Cr}_2\text{O}_{5,5}$ (M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba) // Журнал «Энциклопедия инженера-химика», Москва. – 2014. – № 5. – С. 11-14.
- [18] Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Абильдаева А.Ж. Синтез и рентгенографическое исследование манганито-ферритов $\text{La}^{\text{II}}_{1,5}\text{MnFeO}_6$ (M^{II}=Mg, Ca, Sr, Ba) // Журнал неорган. 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., Абильдаева А.Ж. Рентгенографические характеристики новых хромито-мanganитов $\text{LaMe}^{\text{I}}\text{CrMnO}_{6,5}$ и $\text{LaMe}^{\text{II}}\text{CrMnO}_{7,5}$ ($\text{M}^{\text{I}} = \text{Li}, \text{Na}; \text{Me}^{\text{II}} = \text{Mg}, \text{Ca}$) // Журнал неорганической химии. РАН. – 2013. – Т. 58, № 2. – С. 243-245.

- [20] Kovba L.M., Trunov V.K. Рентенофазовый анализ. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 232 с.

REFERENCES

- [1] Tret'akov Iu.D., Bryliov O.A. Zhurnal RHO im. D.I. Mendeleva. **2000**, 45, 4, 10-16 (In Russ.).
[2] Balakirev V.F., Barhatov V.P., Golikov Yu. M., Meisel O.G. Manganites: equilibrium and unstable states. Yekaterinburg: UB RAS, **2000**, 398p. (In Russ.).
[3] Portnoj K.I., Timofeeva N.I. Oxygen compounds of rare earth elements. M.: Metallurgy, **1986**, 480p. (In Russ.).
[4] Gil'derman V.K., Zemcova V.I., Pal'guev S.F. Izv. AN SSSR. Neorgan. Materialy, **1987**, 23, 6, 1001-1004 (In Russ.).
[5] Suponickij Ju.L. Thermal chemistry oxo compounds and rare earth elements VI-groups: abstract diss. Doctor. chemical Sciences. Moskva, **2001**, 40p. (In Russ.).
[6] Makshina E.V., Borovskih L.V., Kustov A.L. i dr. Cobaltites lanthanum-strontium and layered perovskite structure as catalysts for the oxidation of methanol. Zhurnal fiz.himii, **2005**, 70, 1, 253-257 (In Russ.).
[7] Kasenov B.K., Bekturgenov N.S., Ermagambet B.T. i dr. Double and triple manganites alkaline, alkaline earth and rare earth metals. Karaganda: «Tengri», **2012**, 317p. (in Russ.).
[8] Kasenov B.K., Bekturgenov 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.).
[9] Kassenov B.K., Bekturgenov N.S., Mustafin E.S. i dr. Double and triple chromite alkaline, alkaline earth and rare earth metals. Karaganda: «TENGRI Ltd », **2013**, 172 (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 от 19.06.2014g. Kasenov B.K., Bekturgenov N.S., Ermagambet B.T., Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I. i dr. (In Russ.).
[12] Innovacionnyj patent. № 29247 от 20.11.2014g. Kasenov B.K., Bekturgenov N.S., Tolymbekov M.Zh., Ermagambet B.T. i dr. (In Russ.).
[13] Zakljuchenie o vydache Innovacionnogo patenta (№ zayavki 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., Bekturgenova A.Zh., Dospaev M.M. Zhurnal «Jenciklopedia 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 neorganicheskoy himii. RAN, **2013**, 58, 2, 243-245 (In Russ.).
[20] Kovba L.M., Trunov V.K. X-ray analysis. M.: Izd-vo MGU, **1969**, 232p (In Russ.).

LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I – Li, Na, K) ЖАҢА НАНОӨЛШЕМДІ ФЕРРО-ХРОМ-МАНГАНИТТЕРИ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ РЕНТГЕНОГРАФИЯЛЫҚ ТҮРФЫДАН ЗЕРТТЕУ

Б. Қ. Қасенов¹, Ш. Б. Қасенова¹, Ж. И. Сагынтаева¹, А. А. Сейсенова¹, Е. Е. Қуанышбеков²

¹Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Караганды, Қазақстан,

²Е. А. Бекетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, Қазақстан

Тірек сөздер: темір, хром, мanganит, синтез, рентгенография.

Аннотация. La, Fe(III), Cr(III), Mn(III) тотықтары мен Li, Na, K карбонаттарын 800-1200 °C аралықта қаттыфазалы әрекеттесуімен жаңа фазалар - LaMe^IFeCrMnO_{6,5} (Me^I – Li, Na, K) ферро-хром-манганиттері алынды.

Реагенттер агат келіде мұқият араластырылып, «SNOL» пешінде 800-1200 °C аралықта 20 сағат бойы қыздырылды. Тәмен температуралық қыздыру 20 сағат 400 °C-та жүрді. «MM301» маркалы «Retsch» (Германия) компаниясының вибрациялық дірмененіде үтіту арқылы олардың наноөлшемдері алынды.

Үгітілген бөлшектер өлшемдері «Mikromasch» (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 nm.

Рентгенографиялық әдіспен олардың кубтық сингонияда кристалданатыны анықталып, келесідей топ көрсеткіштері алынды: LaLiFeCrMnO_{6,5} – a=20,181±0,030 Å, Z=8, V°=8219,17±0,09 Å³, V°_{зл.ұя}=1027,40±0,01 Å³, ρ_{рент}=5,05 г/см³; LaNaFeCrMnO_{6,5} – a=20,168±0,027 Å, Z=8, V°=8203,30±0,08 Å³, V°_{зл.ұя}=1025,41±0,01 Å³, ρ_{рент}=5,06 г/см³; LaKFeCrMnO_{6,5} – a=20,273±0,027 Å, Z=8, V°=8332,09±0,08 Å³, V°_{зл.ұя}=1041,51±0,01 Å³, ρ_{рент}=5,03 г/см³.

Поступила 29.07.2015г.