

SOFT MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS OF ZINC, MANGANESE AND NICKEL DIPHOSPHATES

B.D. Balgysheva^{1*}, G.A. Boranbayeva², S.M. Kalaubek¹, Zh.S. Abseit¹, A.D. Daribay¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Umschool Training Center, Atyrau, Kazakhstan

*E-mail: beikut2013@mail.ru

Abstract. *Introduction.* Currently, condensed phosphates are used in many growths, while crystalline phosphate polymers were previously obtained by thermolysis, which is economically and environmentally unprofitable. In this regard, obtaining the required product at relatively low temperatures by mild mechanochemical synthesis (MMhC) is one of the urgent tasks. *The purpose* of this work is to establish conditions for the soft mechanochemical synthesis of zinc, manganese and nickel diphosphates. To achieve the goal of the work, a new mechanochemical method for the production of diphosphates of a number of d-elements (Zn, Mn, Ni) was developed, consisting of two stages of synthesis: 1) in the mechanochemical process of diphosphate; 2) in the heat treatment of the intermediate product. The mechanochemical synthesis was carried out in grinding machines, at a modern RETSCH brand planetary mill. Also, various complexes of physico-chemical research methods were used to study the properties and composition of the obtained materials. *Results and discussions.* With mechanochemical activation of the studied mixtures, intermediate compounds - $\text{NH}_4\text{M(II)PO}_4$ can be obtained, and thermolysis at low temperatures – target products - individual diphosphates Zn, Mn, Ni (400°C, 300°C, 500°C.) It has been established that this method is environmentally friendly and low energy costs. *Conclusion.* Conditions for the soft mechanochemical synthesis of zinc, manganese and nickel diphosphates were established.

Key words: soft mechanochemical synthesis, condensed phosphates, diphosphates, thermolysis, polyphosphate.

Balgysheva Beykut Dautbekovna Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: beikut2013@mail.ru

Boranbayeva Gulsaya Allabergenkyzy Master of Biological Sciences, e-mail: Gulsaya.b@mail.ru

Kalaubek Symbat Musakhankyzy master student, e-mail: kalaubeksybmat@gmail.com

Abseit Zhansaya Serikbaikyzy master student, e-mail: jansaiaabseit@mail.ru

Daribay Anar Duysenalikyzy master student, e-mail: anaradaribay@gmail.com

Citation: Balgysheva B.D., Boranbayeva G.A., Kalaubek S.M., Abseit Zh.S., Daribay A.D. Soft mechanochemical synthesis of zinc, manganese and nickel diphosphates. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 2(86), 52-63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.21>

МЯГКИЙ МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДИФОСФАТОВ ЦИНКА, МАРГАНЦА И НИКЕЛЯ

Б.Д. Балгышева^{1*}, Г.А. Боранбаева², С.М. Калаубек¹ Ж.С. Абсеит¹, А.Д. Дарибай¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Учебный центр Umschool, Атырау, Казахстан

*E-mail: beikut2013@mail.ru

Резюме. *Введение.* В настоящее время конденсированные фосфаты используются во многих отраслях, при этом кристаллические фосфатные полимеры до этого времени получали путем термоллиза которое является экономический и экологический невыгодным. В связи с этим получение требуемого продукта при относительно низких температурах мягким механохимическим синтезом (ММХС) является одной из актуальных задач. *Целью* настоящей работы является установить условия мягкого механохимического синтеза дифосфатов цинка, марганца и никеля. Для достижения цели работы был разработан новый механотермический способ получения дифосфатов ряда d-элементов (Zn, Mn, Ni), состоящий из двух стадий синтеза: 1) при механохимическом процессе дифосфата; 2) при термообработке промежуточного продукта. Механохимический синтез проводился в измельчительных аппаратах, на современной планетарной мельнице марки RETSCH. Также для изучения свойств и состава полученных материалов были использованы разные комплексы физико-химических методов исследования. *Результаты и обсуждения.* При механохимической активации исследуемых смесей удаются получить промежуточные соединения - $\text{NH}_4\text{M}(\text{II})\text{PO}_4$, а термоллизом при низких температурах – целевые продукты - индивидуальные дифосфаты Zn, Mn, Ni (400°C, 300°C, 500°C.) Установлено, что этот метод отличается экологической чистотой и низкими энергетическими затратами. *Заключение.* Были установлены условия мягкого механохимического синтеза дифосфатов цинка, марганца и никеля.

Ключевые слова: мягкий механохимический синтез, конденсированные фосфаты, дифосфаты, термоллиз, полифосфат.

<i>Балгышева Бейкут Даутбековна</i>	<i>Доктор химических наук, доцент</i>
<i>Боранбаева Гулсая Аллабергенкызы</i>	<i>Магистр биологических наук</i>
<i>Калаубек Сымбат Мусаханкызы</i>	<i>магистрант</i>
<i>Абсеит Жансая Серикбайкызы</i>	<i>магистрант</i>
<i>Дарибай Анар Дуйсеналикызы</i>	<i>магистрант</i>

1. Введение

Конденсированные фосфаты обладают рядом практически ценных свойств и являются перспективными для применения в сельском хозяйстве (удобрения пролонгированного действия, структурообразователи почв), промышленности (синтетические моющие средства), водных, водно-нефтяных системах (ингибиторы коррозии), и других отраслях народного хозяйства. Среди перечисленных направлений актуальным является получение полимерных фосфатов с полифункциональными свойствами: как ингибиторы коррозии, моющие средства, сорбенты, медицинские препараты, микроудобрения и др. Однако до настоящего времени кристаллические фосфатные полимеры, в частности дифосфаты получали термоллизом при высоких температурах в диапазоне 950-1250 [1]. Для

снижении температуры термолитиза может быть использован способ, который получил в механохимии название мягкий механохимический синтез (ММхС)[2]. Используя механическую обработку твердых тел, можно достичь существенных результатов в создании новых, экономически выгодных и экологически более чистых неорганических фосфат содержащих материалов [3].

2. Экспериментальная часть

В качестве исходных солей для исследования условий получения полимерных фосфатов с удобрительными свойствами были использованы оксиды и соли марганца, цинка, никеля, дигидрофосфат аммония. Все исходные соли для синтеза взяты марки «ч.д.а».

- | | |
|--|---|
| 1. MnO | 4. NH ₄ H ₂ PO ₄ |
| 2. ZnCO ₃ | 5. MnSO ₄ · 5H ₂ O |
| 3. (Ni(NO ₃) ₂) _x · 6H ₂ O | 6. FeSO ₄ |

Для изучения состава и свойств полифосфатов используется комплекс физико-химических методов исследования: рентгенофазовый, атомно-абсорбционный, ИК-спектроскопия, сорбтометрия, рентгенофлуоресцентный анализом, методы механохимической активации. Механохимический синтез проводился в измельчительных аппаратах, на современной планетарной мельнице марки RETSCH[4], согласно методике[5]. ММхС прекурсоров дифосфатов были проведены в лаборатории кафедры физической химии, катализа и нефтехимии КазНУ им. аль Фараби. Фазовый анализ синтезированных соединений проведен снятием рентгенограмм на дифрактометре ДРОН-3М с использованием медного излучателя. Определение вещества в смеси проводится по набору его межплоскостных расстояний ($d, \text{нм}$) и относительным интенсивностям (I/I_0) соответствующих линий на рентгенограмм. Согласно закону Брегга — Вульфа, необходимо определение углов отражения θ [6]. ИК спектры поглощения записывали в диапазоне 4000 – 500 см⁻¹ с помощью спектрофотометра Spесord, используя для съемки образцы (0.5 масс.%) в виде таблеток с КВг. Концентрация исследуемого вещества составляли 0.5 масс. %. Термическая обработка проводилась в муфельной печи. Электронно-микроскопический метод был использован для измерения частиц. Метод является удобным методом непосредственного изучения процессов структурообразования веществ. Был использован электронный микроскоп марки “Quanta 3D 200i Dual system, FEI”.

3. Результаты и их обсуждение

а. Синтез дифосфатов Mn, Ni, Zn, Fe и их характеристика

Для синтеза индивидуальных дифосфатов использован метод мягкого механохимического синтеза (ММхС) [5]. Для осуществления синтеза

соединений были составлены стехиометрические смеси для систем ZnO-(NH₄)H₂PO₄, MnO-(NH₄)H₂PO₄, NiO-(NH₄)H₂PO₄ с последующей МХА (механохимической активацией). Оксиды MeO (ZnO, NiO) были получены термическим разложением соединений ZnCO₃, NiCO₃ при температуре, 400°C. Для синтеза взята MnO марки «ч.д.а». **Этапы мягкого механохимического синтеза: 1 этап. Получение исходных оксидов**

Для получения оксида никеля (NiO), оксида цинка (ZnO), были использованы 15.4 г. ZnCO₃, 38.97 г. (Ni(NO₃)₂·6H₂O). Навеска соли в алундовом тигеле была помещена в печь до постоянной массы (на 1 час), при температуре 400°C. Разложение солей происходило по следующим реакциям при t = 400°C:

- $4(\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \rightarrow 4\text{NiO}(\text{OH}) + 8\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 22\text{H}_2\text{O}$ (400°C)
- $\text{ZnCO}_3 \rightarrow \text{ZnO} + \text{CO}_2$

Полученные вещества были идентифицированы методом РФА (Таблица 3).

2 этап. Условия МХ обработки:

Вначале отработан оптимальный режим интегратора:

Соотношение массы вещества к массам шаров в одной камере взято 5:100;

Диаметры шаров 6.1; 7.9; 11.15; 13.5 мм; общая масса шаров: 1451.59 г. Уравновешивание масс первого и третьего, второго и четвертого барабана с шарами и смесью. (табл.1), продолжительность опыта один час.

Таблица 1 - Распределение образцов в реакторе

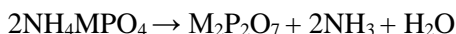
Барабан №	Масса барабана с шарами (г.)	Исходная смесь в барабане	Масса смеси (г.)	Образовавшиеся прекурсоры	Последовательность операций МХ - процесса
1	4311.6	NH ₄ H ₂ PO ₄ (6.8467 г.) + MnO (4.2249 г.)	11.0716	NH ₄ MnPO ₄	NH ₄ MnPO ₄
2	4390.9	(6.4451 г.) + ZnO (4.5637 г.)	11.0142	NH ₄ ZnPO ₄	NH ₄ ZnPO ₄
3	4310.7	Уравновесили песком	11.0030		
4	4390.8	(6.6967 г.) + NiO (4.3514 г.)	10.9881	NH ₄ NiPO ₄	NH ₄ NiPO ₄

Отбор проб всех порошкообразных веществ. Образовавшиеся прекурсоры (промежуточные соединения) идентифицированы методом РФА (Таблица 3). Установлено, что при МХ-процессе смеси происходят следующие реакции по схеме: MO (ZnO, MnO, NiO) + (NH₄)H₂PO₄ → NH₄MPO₄ + H₂O. Образовавшиеся прекурсоры соответствуют составам NH₄MnPO₄, NH₄NiPO₄, NH₄ZnPO₄. **3 этап. Термическая обработка прекурсоров**

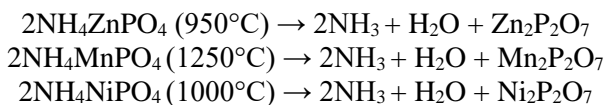
Для получения индивидуальных дифосфатов цинка, марганца, никеля образовавшиеся прекурсоры подвергались термообработке при

температурах 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000°C. Образцы в алуновом тигеле были помещены в печь до постоянной массы. Полученные вещества были идентифицированы методами РФА, ИК спектроскопии (Таблица 4, 5).

В результате термической обработки в диапазоне температур 300-1000°C схема реакции в общем виде:



Из литературы [6] известно, что дифосфаты цинка, марганца, никеля получают дегидратацией (термолиз) в области высоких температур согласно реакциям:



При этом продолжительность отжига длится 10 - 12 часов. Сопоставление результатов проведенного нами ММХС и известного термолиза указывает на большое преимущество первого способа: значительная экономия энергии и времени: температуры в 3 раза, времени в 6 раз. Также установлено, что при механохимической активации исследуемых смесей удаются получить промежуточные соединения - $\text{NH}_4\text{M}(\text{II})\text{PO}_4$, а термолизом при низких температурах – целевые продукты - индивидуальные дифосфаты Zn, Mn, Ni (400°C, 300°C, 500°C.)

3.2 Идентификация состава синтезированных соединений современными методами физико-химических исследований

Состав синтезированных соединений идентифицировали методами ИКС, РФА, атомно-абсорбционным, рентгенофлуоресцентный анализом.

Приведены штрихдиаграммы и межплоскостные расстояния интенсивности прекурсоров полученных на основе механохимической обработки смесей (Таблица 2).

Таблица 2 - Межплоскостные расстояния, интенсивности полученных ZnO, NiO.

	ZnO				NiO			
	$d, \text{Å}$				$d, \text{Å}$			
Литературные данные	$d, \text{Å}$	5.16	6.62	2.34	$d, \text{Å}$	2.10	2.40	1.50
	$I/I_0, \%$	100.00	65.00	75.00	$I/I_0, \%$	60.00	100.00	20.00
Синтезированный	$d, \text{Å}$	5.16	6.60	2.38	$d, \text{Å}$	2.09	2.41	1.47
	$I/I_0, \%$	100.00	63.20	75.60	$I/I_0, \%$	60.50	100.00	20.30

Таблица 2 из которых видно, что дифосфаты обладают дифракционными максимумами при незначительно отличающимися интенсивностью пиков. Эти данные свидетельствуют об идентичности

структуры рассматриваемых промежуточных соединений и двойных ортофосфатов аммония, Zn, Mn, Ni.

Таблица 3 - Межплоскостные расстояния, интенсивности основных фаз прекурсоров, двойных ортофосфатов аммония, Zn, Mn, Ni (ММхС).

NH₄ZnPO₄			
литературные данные		Синтезированный	
d, Å	I/I ₀ , %	d, Å	I/I ₀ , %
3.16	100.00	3.16	100.00
4.62	65.00	4.60	63.20
4.34	85.00	4.38	85.60
6.33	65.00	6.27	64.00
2.67	45.00	2.70	45.10
2.46	30.00	2.46	30.00
NH₄MnPO₄			
8.8	100.00	8.8	100.00
4.8	15.00	4.78	15.05
4.29	21.00	4.27	20.80
3.43	12.00	3.42	12.00
2.86	21.00	2.86	21.00
2.52	5.00	2.51	5.00
2.30	10.00	2.29	10.00
NH₄NiPO₄			
5.88	16.00	5.86	20
5.59	30.00	5.56	35
5.38	100.00	5.38	100
4.58	10.00	4.60	12
4.12	35.00	4.10	30
3.54	10.00	3.56	12
2.94	30.00	2.95	35

Данные РФА свидетельствует, что состав МХ - обработанных смесей отвечает двойным ортофосфатам.

Таблица 4 - Межплоскостные расстояния, интенсивности основных фаз синтезированных дифосфатов ряда 3d – элементов

Zn₂P₂O₇			
литературные данные		Синтезированный	
d, Å	I/I ₀ , %	d, Å	I/I ₀ , %
6.21	7.00	6.19	6.80
5.21	17.00	5.19	17.00
4.64	21.00	4.62	20.05
4.25	21.00	4.26	21.00
3.98	100	3.97	100
Mn₂P₂O₇			
5.17	8.00	5.17	8.00
4.43	7	4.39	6.50
3.08	100	3.09	100
2.94	60.00	2.94	60.00
2.58	20.00	2.58	20.00
2.35	4.00	2.36	4.00
2.17	20.00	2.16	20.00
Ni₂P₂O₇			
2.98	100	2.98	100
2.53	40.00	2.54	39.00
2.02	5.00	2.05	6.00
2.10	30.00	2.12	31.00
2.29	10.00	2.30	11.00

Результаты ИК – спектроскопии подтверждают индивидуальность полученных дифосфатов марганца, никеля и цинка (Таблица 5, 6, 7 рисунок 1, 2, 3). Основные колебательные частоты для Zn₂P₂O₇ (рис.1, табл.5) находятся в диапазоне 3500–500 см⁻¹. Анализ ИК спектров Zn₂P₂O₇ показал, что при комнатной температуре в диапазоне колебательной частоты 1423-3419.88 см⁻¹, наблюдаются полосы деформационного колебаний ν(OH-) группы.

Таблица 5 - Волновые числа (см⁻¹) максимумов полос поглощения в ИК спектрах Zn₂P₂O₇.

Частота колебания, ν, см ⁻¹ .		Частота поглощения
литературные данные	Синтезированный	
3470	3419.88	ν(OH)
1650	1631.08	ν(OH)
1400	1423.83	ν(OH)
962	942.44	ν _{as} (POP)
742	798.02	ν _s POP
740	720.02	ν _s POP
600	683.67	δPO
575	568.07	δPO
530	531.27	δPO

На ИК – спектре дифосфата цинка наблюдаются так же полосы поглощения в области 720.02-942.44 см⁻¹, соответствующие

деформационным колебаниям ν_s POP – групп, в области $683.67 - 531.27 \text{ см}^{-1}$ δ PO– групп (рисунок 1).

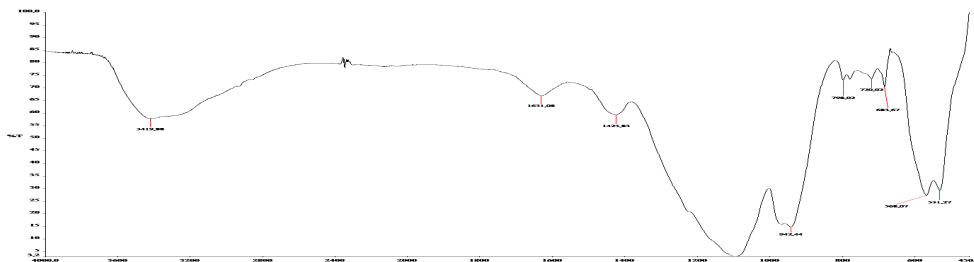


Рисунок 1 - ИК – спектр синтезированного $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$

В области (рисунок 1) $3433.35 - 531.87 \text{ см}^{-1}$ в составе синтезированного вещества ($\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$) наблюдаются деформационные колебательные частоты $1197.10 - 531.87 \text{ см}^{-1}$, которые соответствуют основным антисимметричным и симметричным колебательным частотам групп $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$.

В таблице 6 и рисунок 2 представлены результаты ИК - спектроскопии $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

Таблица 6 - Волновые числа (см^{-1}) максимумов полос поглощения в ИК спектрах $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Частота колебания, $\nu, \text{см}^{-1}$.		Частота поглощения
литературные данные	Синтезированный	
3450	3433.35	$\nu(\text{OH})$
1655	1629.84	$\nu(\text{OH})$
1200	1197.10	$\nu_{\text{as}}(\text{PO}_2)$
1170	1171.34	$\nu_{\text{as}}(\text{PO}_2)$
963	959.07	$\nu_{\text{as}}\text{POP}$
715	727.77	$\nu_s\text{POP}$
613	603.09	δPO
566	576.06	δPO
527	531.87	δPO

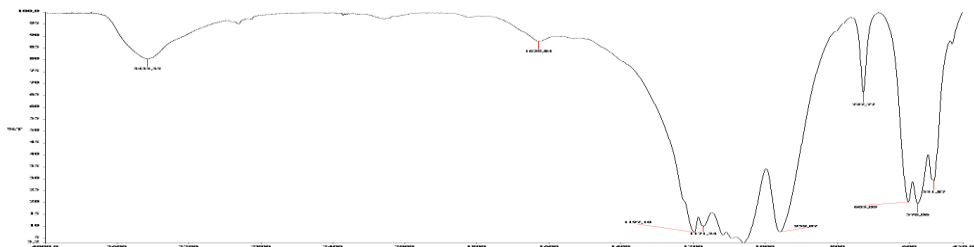


Рисунок 2 - Результаты ИК – спектроскопии синтезированного дифосфата марганца.

На ИК – спектре дифосфата никеля наблюдаются полосы поглощения в области $742.68\text{--}718.67\text{ см}^{-1}$, соответствующие деформационным колебаниям $\nu_s\text{PO}_4$ – групп, в области $572.63\text{--}450.00\text{ см}^{-1}$ δPO – групп (рисунок 3).

В таблице 7, рисунке 3 приведены результаты интерпретации ИК – спектра $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

Таблица 7 - Волновые числа (см^{-1}) максимумов полос поглощения в ИК спектрах $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Частота колебания, $\nu, \text{см}^{-1}$.		Частота поглощения
литературные данные	Синтезированный	
3430	3418.98	$\nu(\text{OH})$
2170	2346.13	$\nu(\text{OH})$
1650	1621.30	$\nu(\text{OH})$
742	742.68	$\nu_s\text{PO}_4$
690	718.67	$\nu_s\text{PO}_4$
564	572.63	δPO

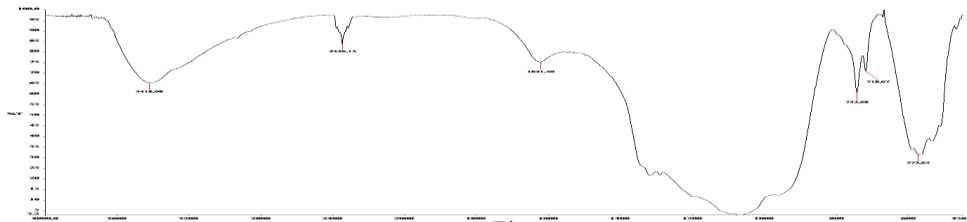
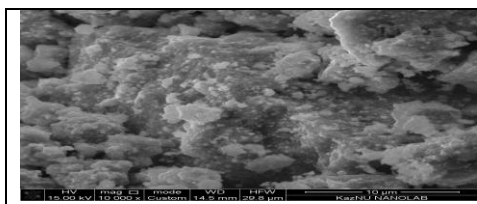
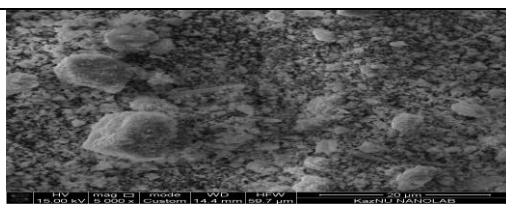


Рисунок 3 - ИК – спектроскопии синтезированного $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$

ИК спектр экспериментальных данных согласуются с литературными данными [7]. Деформационные колебательные частоты соответствуют основным антисимметричным и симметричным колебательным частотам групп $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$. В спектре дифосфата полосы $\nu_s\text{PO}_4$ может указывать на изогнутую или спрямленную конфигурацию мостика PO_4 [8]. Поэтому представляет интерес возможность спектроскопической оценки величины угла PO_4 . Частоты $\nu_s\text{PO}_4$ в спектрах большинства дифосфатов не выходят за пределы интервала $720 \pm 20\text{ см}^{-1}$. При увеличении угла PO_4 частота $\nu_s\text{PO}_4$ должна понижаться, но повышение динамического коэффициента связи $\text{P} - \text{O}(\text{P})$, обычно сопровождающее увеличение угла PO_4 , может компенсировать изменение данной частоты. При этом оба фактора, и кинетический и динамический, действуют в одном направлении на $\nu_s\text{PO}_4$, приводя к повышению частоты от 900 см^{-1} в дифосфатах щелочных металлов до $\sim 980\text{ см}^{-1}$ в дифосфатах магния и циркония. Результаты ИК спектра экспериментальных данных дифосфатов цинка, марганца и никеля показывает повышение частоты 959 см^{-1} (Таблица 6,7,8). Электронно-микроскопическим методом сделали фотографирование увеличенных изображений в светлом и темном поле. В рисунке один из полученных промежуточных соединений NH_4NiPO_4 , $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ после механохимической обработки (Рисунок 4, 5).

Рисунок 4 - Изображения СЭМ NH_4NiPO_4 Рисунок 5 - Изображения СЭМ $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Из электронно-микроскопического метода анализа видно что размер частиц увеличивается при механохимической активации. Определены размер частиц полученных дифосфатов.

4. Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Осуществлен мягкий механохимический синтез в конденсированных системах $\text{M(II)O} - \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, где M(II) – цинк, марганец, никель. Показано, что при механохимической обработке смесей происходит кислотно-основное взаимодействие с образованием прекурсоров промежуточного соединения $\text{NH}_4\text{M(II)PO}_4$. При последующей термической обработке в области температур $300\text{-}500^\circ\text{C}$ в течение 0.5 часов образуются дифосфаты $\text{M}_2\text{P}_2\text{O}_7$, что в 3-4 раза ниже температур известных способов получения (термолиз) и уменьшает продолжительность процесса термолиза в 6 раз. Установлено, что этот метод отличается экологической чистотой и низкими энергетическими затратами.
- Синтезированные прекурсоры и дифосфаты металлов идентифицированы методами ИК-спектроскопии, РФА.
- Были установлены условия мягкого механохимического синтеза дифосфатов цинка, марганца и никеля.

Финансирование: Казахский национальный университет имени аль-Фараби.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

МЫРЫШ, МАРГАНЕЦ ЖӘНЕ НИКЕЛЬ ДИФОСФАТТАРЫНЫҢ ЖҰМСАҚ МЕХАНОХИМИЯЛЫҚ СИНТЕЗИ

Б.Д. Балғышева^{1}, Г.А. Боранбаева², С.М. Қалаубек¹, Ж.С. Әбсеит¹, А.Д. Дәрібай¹*

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Umschool оқу орталығы, Атырау, Қазақстан

*E-mail: beikut2013@mail.ru

Түйіндеме. *Кіріспе.* Қазіргі уақытта конденсацияланған фосфаттар көптеген салаларда қолданылады, осы уақытқа дейін кристалды фосфат полимерлері термолиз арқылы алынған экономикалық және экологиялық тиімсіз. Осыған байланысты жұмсақ механохимиялық синтезбен (ММХС) салыстырмалы түрде төмен температурада қажетті өнімді алу өзекті міндеттердің бірі

болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты мырыш, марганец және никель дифосфаттарының жұмсақ механохимиялық синтезіне жағдай жасау болып табылады. Жұмыстың мақсатына жету үшін синтездің екі сатысынан тұратын d-элементтер қатарының (Zn, Mn, Ni) дифосфаттарын алудың жаңа механотермиялық тәсілі әзірленді: 1) дифосфаттың механохимиялық процесінде; 2) аралық өнімді термиялық өндеуде. Механохимиялық синтез ұсақтау аппараттарында, RETSCH маркалы заманауи планетарлық дірменде жүргізілді. Сондай-ақ, алынған материалдардың қасиеттері мен құрамын зерттеу үшін физика-химиялық зерттеу әдістерінің әртүрлі кешендері қолданылды. *Нәтижелер мен талқылау.* Зерттелетін қоспалардың механохимиялық активтенуінде аралық қосылыстар - $\text{NH}_4\text{M}(\text{II})\text{PO}_4$ алуға болады, ал төмен температурада термоліз – мақсатты өнімдер - Zn, Mn, Ni (400°C , 300°C , 500°C) жеке дифосфаттар.) бұл әдіс экологиялық таза және төмен энергия шығындарымен ерекшеленетіні анықталды. *Қорытынды.* Мырыш, марганец және никель дифосфаттарының жұмсақ механохимиялық синтезі үшін жағдайлар жасалды.

Түйінді сөздер: жұмсақ механохимиялық синтез, конденсацияланған фосфаттар, дифосфаттар, термоліз, полифосфат.

<i>Балғышева Бейқұт Даутбековна</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, доцент</i>
<i>Боранбаева Гүлсая Аллабергенқызы</i>	<i>Биология ғылымдарының магистрі</i>
<i>Қалаубек Сымбат Мұсаханқызы</i>	<i>магистрант</i>
<i>Әбсеит Жансая Серикбайқызы</i>	<i>магистрант</i>
<i>Дәрібай Анар Дүйсенәліқызы</i>	<i>магистрант</i>

Список литературы:

1. Avaliani M., Chagelishvili V., Barnovi N., Esakia N., Gvelesiani M., Makhatadze Sh. Condensed Phosphates as Inorganic Polymers and Various Domains of Their Applications. *Composite Materials Engineering*. **2019**, 111–20. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429242762-8>
2. Charoonsuk T., Vittayakorn, N. Soft-mechanochemical synthesis of monodispersed BaZrO₃ sub-microspheres: Phase formation and growth mechanism. *Mater. Des.* **2017**, No. 118, 44–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.01.029>
3. Eremina N.V., Makarova S.V., Isaev D.D., Bulina N.V. Soft mechanochemical synthesis and thermal stability of hydroxyapatites with different types of substitution. *Chimica Techno Acta*. **2022**, 9(3). DOI: <https://doi.org/10.15826/chimtech.2022.9.3.05>
4. Dakiche M., Belaid L., Zergane H., Fortas N., Zergoug M., Azzaz M. Syntheses and Characterization of Intermetallic Nanostructures Based on Mn. *J. Mater. Eng. Perform.* **2019**, No. 28(3), 1286–1292. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3407-6>
5. Аввакумов Е.Г., Куанышева Г.С., Балғышева Б.Д., Кетегенов Т.А., Косова Н.В., Уракаев Ф.Х. Механохимия неорганических веществ. Алматы, Қазақ университеті. **2012**, 161с.
6. Bortolotti M., Lutterotti L., Pepponi G., Combining XRD and XRF analysis in one rietveld-like fitting. *Powder Diffr.* **2017**, No. 32 (S1), 225–30. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0885715617000276>
7. Rusu O.A., Hoelderich W.F., Wyart H., Ibert M. Metal phosphate catalyzed dehydration of sorbitol under hydrothermal conditions. *Appl. Catal., B: Environmental*. **2015**, 176–177, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.03.033>
8. Jastrzbski W., Sitarz M., Rokita M., Булат К. Infrared spectroscopy of different phosphates structures. *Spectrochim. Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. **2011**, No. 79, 722–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2010.08.044>

References

1. Avaliani M., Chagelishvili V., Barnovi N., Esakia N., Gvelesiani M., Makhatadze Sh. Condensed Phosphates as Inorganic Polymers and Various Domains of Their Applications. *Composite Materials Engineering*. **2019**, 111–20. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429242762-8>
2. Charoonsuk T., Vittayakorn, N. Soft-mechanochemical synthesis of monodispersed BaZrO₃ sub-microspheres: Phase formation and growth mechanism. *Mater. Des.* **2017**, No. 118, 44–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.01.029>

3. Eremina N.V., Makarova S.V., Isaev D.D., Bulina N.V. Soft mechanochemical synthesis and thermal stability of hydroxyapatites with different types of substitution. *Chimica Techno Acta*. **2022**, 9(3). DOI: <https://doi.org/10.15826/chimtech.2022.9.3.05>
4. Dakiche M., Belaid L., Zergane H., Fortas N., Zergoug M., Azzaz M. Syntheses and Characterization of Intermetallic Nanostructures Based on Mn. *J. Mater. Eng. Perform.* **2019**, No. 28(3), 1286–1292. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3407-6>
5. Avvakumov E.G., Kuanysheva G.S., Balgysheva B.D., Ketegenov T.A., Kosova N.V., Urakaev F.Kh. Mechanochemistry of inorganic substances. Almaty, Kazakhskij universitet. **2012**, 161. (In Russ.)
6. Bortolotti M., Lutterotti L., Peponi G., Combining XRD and XRF analysis in one rietveld-like fitting. *Powder Diffr.* **2017**, No. 32 (S1), 225–30. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0885715617000276>
7. Rusu O.A., Hoelderich W.F., Wyart H., Ibert M. Metal phosphate catalyzed dehydration of sorbitol under hydrothermal conditions. *Appl. Catal., B: Environmental*. **2015**, 176–177, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.03.033>
8. Jastrzbski W., Sitarz M., Rokita M., Bułat K. Infrared spectroscopy of different phosphates structures. *Spectrochim. Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. **2011**, No. 79, 722–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2010.08.044>