CZU: 546.05:546.723 https://doi.org/10.59295/mabt2026.13

SINTEZA NANOPARTICULELOR OXIZILOR DE FIER OBȚINUTE DIN SALICILAȚII FIERULUI(III)

Viorina GORINCIOI, Boris PUȘCAȘU, Vasile LOZAN

Laboratorul Chimie Bioanorganică și Nanocompozite, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova

Rezumat

Cercetarea realizată a avut la bază obiectivul identificării condițiilor favorabile de obținere a nanomaterialelor folosind ca precursori combinații complexe homo– și heteronucleare ale Fe(III) în baza acidului salicilic. Utilizarea precursorilor heterometalici în sinteza nanoparticulelor a condus la obținerea oxizilor micști, ceea ce permite controlul omogenității și compoziției compușilor. Particulele obținute au fost caracterizate din punct de vedere microstructural prin microscopie electronică de transmisie (TEM), microscopie de baleaj (SEM), analiza dispersiei radiației X după energie și spectroscopia FT-IR.

Cuvinte-cheie: combinații coordinative ale fierului(III), oxo–carboxilați, clusteri heteropolinucleari, acidul salicilic, nanooxizi de fier.

SYNTHESIS OF IRON OXIDE NANOPARTICLES OBTAINED FROM IRON(III) SALICYLATES

Abstract

The research was based on the objective to identify favorable conditions for synthesis of nanomaterials using homo– and heteronuclear coordination compounds of Fe(III) based on salicylic acid. The use of heterometallic precursors in the synthesis of nanoparticles led to the obtaining of mixed oxides, which allows the control of the homogeneity and composition of the compounds.

The obtained particles were characterized from a microstructural point of view by transmission electron microscopy (TEM), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray analysis and FT-IR spectroscopy.

Keywords: coordination compounds of iron(III), oxo–carboxylates, heteropolynuclear clusters, salicylic acid, iron nanooxides.

Introducere

În ultimele decade nanotehnologia (nanoparticulele NP și nanostructurile NS) s-a dezvoltat rapid practic în toate domeniile științifice. Dezvoltarea nanotehnologiei a oferit oportunități extraordinare pentru diferite aplicații ale nanomaterialelor și nanocompozitelor datorită proprietăților deosebite și potențialului de aplicație, inclusiv noi tipuri de catalizatori super activi și selectivi, senzori chimici și biologici [1], agenți de transportare a medicamentelor [2,3], dispozitive performante de stocare a informațiilor, dispozitive magneto– și optoelectronice [4], etc. Materialele oxidice nanodimensionale își pot găsi întrebuințare și în electrotehnica contemporană [5,6], materiale feroelectrice [7] precum și în calitate de catalizatori, în unele reacții chimice [8].

Deși sunt cunoscute numeroase metode de sinteză a nanoparticulelor de oxizi de fier: descompunerea termică [9], metoda hidrotermală [10,11], metoda solvotermală [12], metoda electrochimică [13], co–precipitarea [14] ș.a., experimentatorii continuă cercetările în domeniul perfectării metodelor existente și crearea noilor metode de sinteză.

Pentru prepararea nanoparticulelor de oxid de fier cu formă și dimensiuni prestabilite, adesea se folosesc metode chimice, care sunt mai versatile în comparație cu celelalte metode [15]. De cele mai multe ori, drept precursori metalici pentru prepararea oxizilor de fier sau

oxizilor micști se utilizează sărurile acestora [16]. O atenție deosebită se acordă combinațiilor coordinative datorită proprietăților ce contribuie la creșterea solubilității și/sau a volatilizării precursorului. În numeroase cercetări metoda de obținere a nanoparticulelor se referă la descompunerea termică a complecșilor metalici cu liganzi ce conțin oxigen precum oleați sau acetați [16-18]. În dependență de condițiile de reacție și raportul molar al precursorilor se pot obține NP de diferite dimensiuni și forme [19].

Gama proprietăților nanoparticulelor de fier poate fi variată prin introducerea în componența chimică a unui alt element chimic obținându-se amestecuri de natură fizică [20,21]. În sursele științifice de specialitate mai rar sunt întâlnite exemple de clusteri homo– și heteronucleari ai fierului folosiți ca precursori pentru sinteza nanoparticulelor. Presupunem, că prin utilizarea clusterilor de fier în calitate de precursori în sinteza oxizilor de fier, va permite obținerea nanoparticulelor de o puritate mai înaltă comparativ cu oxizii obținuți din amestecuri de săruri metalice. Surfactanții selectați au servit ca agenți de stabilizare și protejare în scopul monitorizării controlului, păstrării dimensiunilor și dispersiei particulelor în mediile date [22].

Metode și materiale aplicate

Probele nanoparticulelor de oxizi de fier obținute **NP1-NP10** au fost investigate cu ajutorul microscopiei electronice de transmisie, microscopiei electronice de baleaj și spectroscopia cu raze X prin dispersie de energie.

Spectroscopia în domeniul infraroșu (FT-IR)

Spectrele FT-IR în domeniul 4000 – 400 cm^{-1} au fost înregistrate la spectrometrul Perkin-Elmer Spectrum–100 FTIR în Centrul Chimie Fizică și Anorganică al Institutului de Chimie.

Microscopia electronică de transmisie (MET)

Microscopia electronică de transmisie este metoda fundamentală aplicată în cercetarea și caracterizarea nanoparticulelor, oferind date cu privire la dimensiunea și morfologia acestora, precum și unele informații structurale.

Microscopia electronică de baleaj (MES)

Microscopia electronică de scanare sau baleaj este folosită cu scopul de a obține informații cu privire la dimensiunea, morfologia și compoziția chimică elementală a nanoparticulelor.

Spectroscopia cu raze X prin dispersie de energie (EDX)

Spectroscopia cu raze X prin dispersie de energie este o tehnică de analiză chimică folosită pentru a determina compoziția elementală a probelor. Aceasta funcționează prin iradierea probei cu electroni sau raze X, provocând emisia de raze X caracteristice, care sunt apoi detectate și analizate în funcție de energia lor.

Probele **NP1**–**NP5** au fost studiate în Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Materialelor (București–Măgurele, România) cu microscopul electronic de transmisie (MET), la o tensiune de accelerare de 200 kV. Pentru analiză s-a luat probă de nanoparticule, acestea au fost dispersate în 15 mL de hexan și lăsate timp de 5 minute pentru sedimentarea particulelor mari. O picătură de soluție a fost pusă pe o grilă de cupru, acoperită cu carbon și lăsată pentru 5 minute înainte de a pune următoarea picătură. Probele **NP6–NP10** au fost studiate în Institutul Științifico-Practic de Horticultură și Tehnologii Alimentare (Chișinău, Moldova) cu microscopul electronic prin transmisie (MET) Tesla-500, la o tensiune de accelerare de 100 kV.

Sinteza nanoparticulelor oxizilor de fier(III) obținute din salicilații polinucleari

Experimentele de obținere a nanoparticulelor au fost realizate în balon de sticlă cu trei gâturi, echipat cu un condensor, termometru și mantă de încălzire. Reacțiile de obținere ale NP au decurs în atmosferă de argon pentru a evita procese de oxidare nedorite. În calitate de precursori au fost folosiți salicilați μ_3–oxo de fier(III) sintetizați anterior de tipul FeM_2, unde M = Sr(**NP1**) și Fe_2M, unde M = Mn(**NP2**), Zn(**NP3**), Cu(**NP4**), Co(**NP5**), Fe(**NP6-NP10**) [23]. Sinteza nanoparticulelor de fier a fost efectuată în conformitate cu schema prezentată în Figura 1.



Figura 1. Schema de sinteză a nanoparticulelor

Pentru înlăturarea surplusului de surfactant, materialul obținut a fost dispersat în amestec de solvenți organici, după care a fost centrifugat timp de 10 min. Purificarea s-a repetat de 3-4 ori.

Nanoparticule NP1

Amestecul format din $\{[FeSr_2(Sal)_2(SalH)_2(NO_3)(DMA)_4]\}_n$ [24] (0,79 g, 2,00 mmol), acid oleic (2,53 mL, 7,96 mmol) şi 1–octadecenă (6,30 mL, 19,70 mmol) a fost transferat într-un balon cu trei gâturi și încălzit treptat până la 320 °C, menținut la această temperatură timp de o oră în curent continuu de argon [23]. Produsul de reacție a fost dizolvat în heptan (50,0 mL), filtrat şi extras cu etanol (50,0 mL). Precipitatul obținut de culoare brun închis a fost centrifugat timp de 10 minute (10000 rot/min), apoi spălat cu amestecul de CH_3OH:CH_3CN (1:1).

Nanoparticule NP2

Într-un balon cu trei gâturi, au fost plasate fierbătoare din porțelan, $[Fe_2MnO(SalH)_6(C_2H_5OH)(CH_3OH)_2]\cdot DMA\cdot C_2H_5OH\cdot 2CH_3OH\cdot H_2O$ [25] (0,88 g, 0,66 mmol), acid oleic (2,54 mL, 7,98 mmol) și 1–octadecenă (6,32 mL, 19,77 mmol). Amestecul reactant, a fost încălzit treptat până la 320 °C și menținută încălzirea timp de o oră în curent de argon. Substanţa vâscoasă obținută a fost dizolvată în amestecul de cloroform:metanol (1:1, 40,0 mL), apoi centrifugată timp de 10 minute (10000 rot/min). Produsul obținut după centrifugare a fost spălat cu hexan (20,0 mL), apoi cu amestecul din cloroform:metanol (1:1, 20 mL) și centrifugat 20 minute [23].

Nanoparticule NP3

Proba de nanoparticule **NP3** a fost sintetizată conform metodei prezentate pentru obținerea **NP2**, în rezultatul reacției dintre $[Fe_2ZnO(SalH)_6(C_2H_5OH)(CH_3OH)_2]\cdot DMF\cdot 2CH_3OH\cdot 1{,}5H_2O$ [25], acid oleic și 1–octadecenă, păstrând același raport molar [23].

Nanoparticule NP4

Procedeul de obținere a probei **NP4** este similar cu procedeul de obținere a **NP2–NP3** [23], diferența constând doar în utilizarea altui cluster trinuclear $[Fe_2CuO(SalH)_6(C_2H_5OH)(CH_3OH)_2]\cdot DMA\cdot 4H_2O$ [25].

Nanoparticule NP5

Proba de nanoparticule **NP5** a fost obținută în urma sintezei dintre compusul $[Fe_2CoO(SalH)_6(CH_3OH)_2(H_2O)]\cdot DMA\cdot 2{,}5H_2O$ [26] (0,68 g, 0,56 mmol), acid oleic (0,72 mL, 2,25 mmol) şi 1–octadecenă (1,77 mL, 5,54 mmol). Amestecul a fost încălzit într-un balon cu

trei gâturi timp de o oră, la 320 °C în curent de argon [23]. Particulele sintetizate au fost extrase cu hexan (50,0 mL), centrifugate timp de 10 min (10000 rot/min).

Nanoparticule NP6

Proba de nanoparticule **NP6** a fost obținută în rezultatul sintezei dintre amestecul $[Fe_3O(SalH)_6(H_2O)_3]Cl{\cdot}DMA{\cdot}H_2O$ [26] (0,79 g, 0,66 mmol), acid oleic (2,54 ml, 7,98 mmol) și 1–octadecenă (6,30 ml, 19,70 mmol), la temperatura de 320 °C în curent de argon într-un balon cu trei gâturi timp de o oră. După răcire, produsul de reacție din balon a fost extras cu hexan și trecut într-un pahar. Substanța de culoare neagră a fost centrifugată (10000 de rotații/min) timp de 10 minute, apoi spălată cu amestecul de solvenți organici CH_3Cl/CH_3OH (1:1, 40 mL) și re-centrifugată.

Nanoparticule NP7–NP10

Pentru prepararea probelor **NP7**–**NP10**, au fost efectuate 4 sinteze în diferite condiții de reacție folosind același precursor $[Fe_3O(SalH)_6(H_2O)_3]Cl{\cdot}DMA{\cdot}H_2O$ [26]. Baloanele cu produsele de reacție au fost încălzite treptat până la temperaturile menționate în Tabelul 1, după care la răcire a fost adăugat hexan (60,0 mL), apoi amestecurile au fost transferate în pahare, la care a fost adăugat etanol (70,0 mL), agitate cu baghete de sticlă. S-a observat că produsele de reacție conțin două faze, care au fost separate, iar stratul uleios ce conține nanoparticule suspendate în hexan a fost centrifugat timp de 10 minute (10000 rot/min). Compusul negru ce s-a depus la centrifugare, în toate cele patru cazuri, a fost spălat cu amestecul de solvenți hexan:acetonă (1:4, 25,0 mL) și centrifugat. Suspensiile obținute au fost analizate prin microscopia electronică de transmisie, care a demonstrat obținerea nanoparticulelor polidisperse.

Rezultate

Pentru determinarea grupelor funcționale ale probelor NP s-a utilizat spectroscopia în infraroșu (FT-IR), măsurătorile au fost realizate în domeniul 4000 – 400 cm^{-1}. În Figura 2 sunt prezentate spectrele FT-IR ale probelor de **NP1–NP6**, acid oleic și 1–octadecenă.

Prin analiza spectrală FT-IR a probelor **NP1**–**NP6** s-a stabilit existența substanței organice pe suprafața nanoparticulelor. Spectrele obținute pun în evidență prezența modurilor vibraționale corespunzătoare grupărilor hidroxil, carboxil și legăturii C–H. Benzile prezente în spectrele tuturor probelor studiate de la 3375 – 3003 cm^{-1} se atribuie vibrațiilor ν(OH), benzile de la 2954 – 2923 – 2852 cm^{-1} sunt caracteristice vibrațiilor de valență ν_{as} și ν_s ale legăturii C–H din grupele CH_3 și CH_2 (2954 cm^{-1} – $\nu_{as}(CH_3)$; 2923 cm^{-1} – $\nu_s(CH_2)$; 2852 cm^{-1} – $\nu_{as}(CH_2)$) [22]. Aceste benzi confirmă prezența agenților de stabilizare 1–octadecenă și acid oleic.

În spectrele FT-IR ale nanoparticulelor (NP) pot fi observate atât benzi caracteristice pentru oxidul de fier (600 – 400 cm^{-1}), cât și benzi caracteristice pentru agenții de stabilizare 1576 cm^{-1} – $\nu_{as}(COO^-)$; 1377 cm^{-1} – $\nu_s(COO^-)$. Banda caracteristică pentru grupele carboxilice protonate ale acizilor nereacționați (COOH) lipsește în spectrul probelor NP, ceea ce demonstrează că surfactanții sunt legați de suprafața nanoparticulelor prin intermediul grupărilor carboxilat.

Vibrațiile de valență în regiunea 1717 – 1200 cm^{-1} se atribuie alungirii legăturii C–O, vibrațiile de valență în domeniul ~ 1282 cm^{-1} sunt caracteristice vibrațiilor de alungire simetrice ale legăturii COO^-, iar banda intensă la ~ 1413 cm^{-1} este caracteristică legăturii C–O–H de deformare unghiulară. Banda de absorbție la 936 cm^{-1} prezentă în spectrul acidului oleic dispare și apare o bandă nouă la ~ 966 cm^{-1} ca rezultat al deformării din afara planului legăturii O–H [22].

Pentru obținerea unor rezultate concludente, probele de nanoparticule **NP1**–**NP6** au fost analizate prin microscopia electronică de transmisie (MET) la o tensiune de accelerare de 200kV și prin spectroscopia cu raze X prin dispersie de energie (EDX), cu scopul determinării dimensiunilor nanometrice, a formelor geometrice ale particulelor și compoziției cantitative elementale ale probelor.

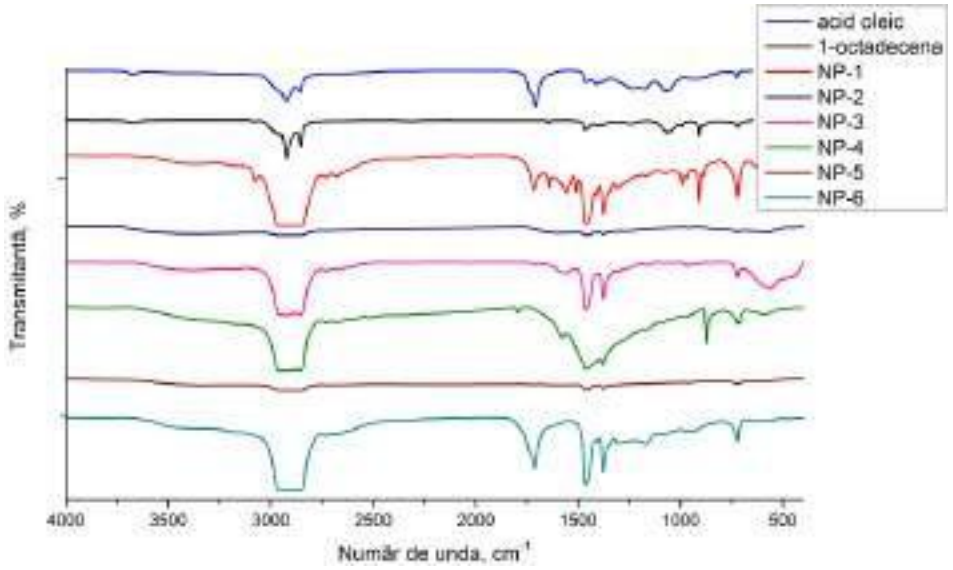
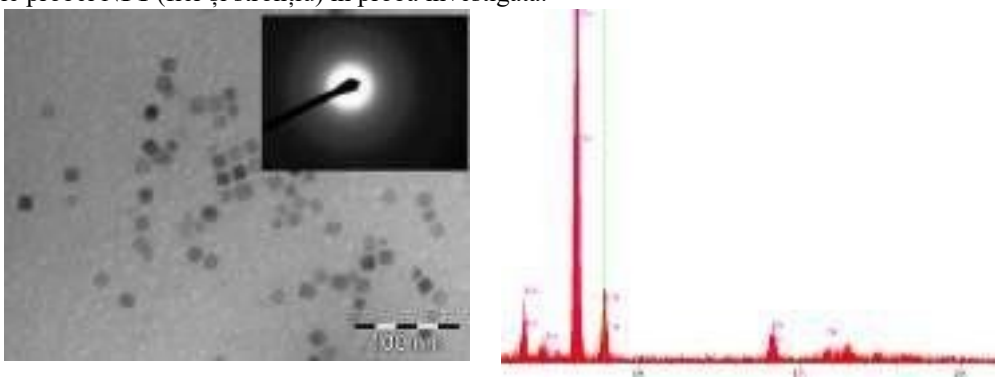


Figura 2. Spectrele FT-IR ale probelor de NP1–6 și ale agenților de stabilizare utilizați

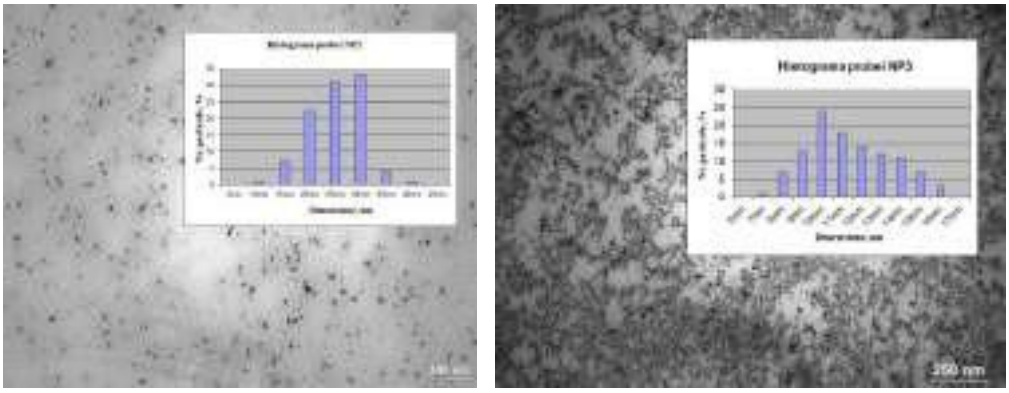
Probele de nanoparticule obținute în laborator au fost dispersate în hexan și cloroform. În Figura 3 sunt prezentate imaginile MET ale dispersiei de nanoparticule pulverizate pe grila de cupru acoperită cu carbon, modelul de difracție al electronilor și spectrul EDX pentru proba **NP1**. Geometria nanoparticilelor **NP1** (Figura 3, a) poate fi aproximată ca cuburi cu dimensiuni variate. Modelul de difracție electronică obținut (Figura 3, a) ne demonstrează că proba studiată este cristalină, iar liniile spectrului EDX (Figura 3, b) confirmă prezența elementelor constituente ale probei **NP1** (fier și stronțiu) în proba investigată.



a b

Figura 3. (a) Imaginea MET și difracția de electroni, (b) spectrul EDX ale probei NP1

Imaginile MET și histogramele distribuției particulelor după dimensiune pentru probele **NP2** și **NP3** sunt prezentate în Figura 4 (a, b). Geometria nanoparticulelor pentru proba **NP2** poate fi aproximată ca sfere cu unele iregularități, **NP2** cu dimensiuni mici au tendință sferică, iar cele cu dimensiuni mari obțin forma sferei perfecte (Figura 4, a). Histograma de distribuție a dimensiunilor nanoparticulelor **NP2** ne demonstrează că mărimea medie a nanoparticulelor este cuprinsă între 10 – 30 nm, dintre care ~ 33% din nanoparticule au diametrul 30 nm.

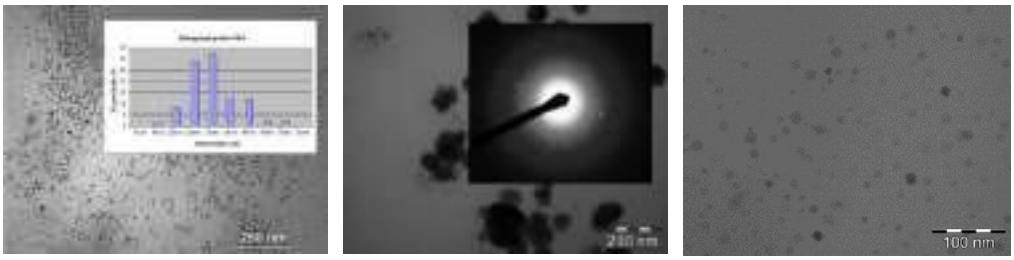


(a) (b)

Figura 4. Imagini MET și histogramele distribuției particulelor după dimensiune pentru probele NP2 (a) și NP3 (b)

Din imaginea MET a probei **NP3** (Figura 4, b) se observă prezența nanoparticulelor cu dimensiuni mai omogene cuprinse între 8 – 15 nm. Morfologic aceste particule au forme neregulate cu tendința spre formă cubică. Distribuția dimensiunii particulelor **NP3** după număr este prezentată în Figura 4, b. Astfel, nanoparticulele au dimensiuni de 7 – 16 nm, dintre care 22% au dimensiuni de 10 nm.

Imaginile MET a probelor **NP4–NP6** sunt prezentate în Figura 5. Din imaginea MET se observă, că nanoparticulele obținute **NP4** (Figura 5, a) au formă cubică cu valoarea medie a laturii ~ 11 nm; **NP5** (Figura 5, b) au forme neregulate de diferite dimensiuni; **NP6** (Figura 5, c) au formă cubică cu dimensiuni cuprinse între 7 – 20 nm cu lungimea medie ~ 11 nm.



NP4 NP5 NP6

Figura 5. Imagini MET ale nanoparticulelor NP4(a), NP5(b) și NP6(c)

Pentru **NP4** a fost calculată și construită curba de distribuție Gauss (Figura 6), astfel obținând imaginea repartizării valorilor dintr-o serie de date. Distribuția dimensiunii **NP4** după număr este prezentată în Figura 6, unde se observă că valoarea dimensiunilor particulelor cu cea mai mare frecvență tinde spre valorile 27 – 28 nm.

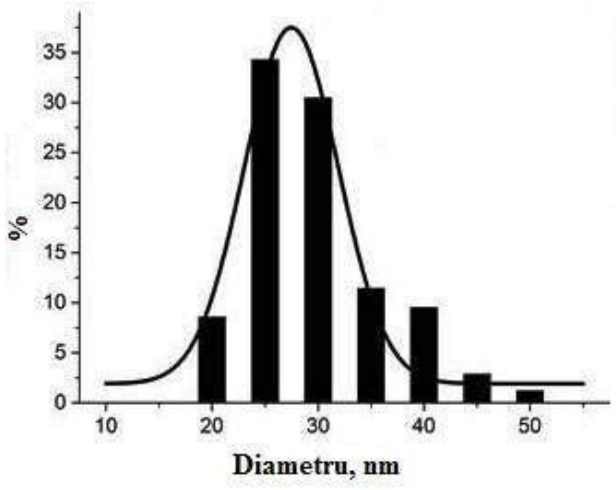


Figura 6. Histograma de distribuție a dimensiunilor particulelor NP4

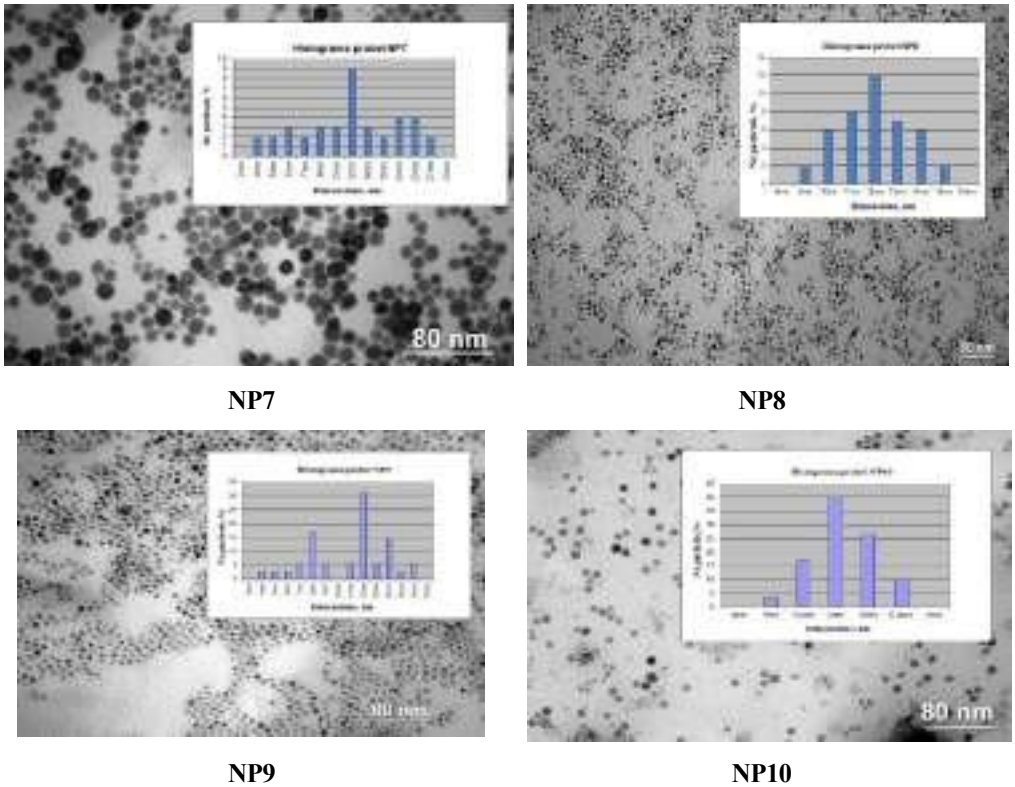
Ulterior s-a investigat influența temperaturii și timpul reacției asupra formei și dimensiunilor nanoparticulelor, păstrând raportul molar precursor : surfactant [17]. Pentru aceasta, în calitate de precursor a fost folosită combinația coordinativă $[Fe_3O(SalH)_6(H_2O)_3]Cl\cdot DMA\cdot H_2O$ și au fost efectuate patru sinteze de obținere a nanoparticulelor în diferite condiții (Tab. 1). Analiza **NP** realizată la microscopul electronic prin transmisie Tesla BS–500 a demonstrat, că nanoparticulele obținute au formă sferică cu tendința spre formă cubică. **NP7** au dimensiuni între 2 – 30 nm, cu o valoare medie de ~ 16 nm; dintre care 9% din NP au dimensiuni de 12 nm; **NP8** au formă sferică cu dimensiuni cuprinse între 8,7 – 14,7 nm, cu o medie ~ 11,7 nm; **NP9** au dimensiuni cuprinse între 4 – 16 nm, cu o medie ~ 11,7 nm cu formă sferică și tendință spre forma cubică; **NP10** au formă sferică cu dimensiuni cuprinse între 4 – 6,5 nm, dintre care 40% din NP au valoarea de 5 nm (Tabelul 1).

Tabelul 1. Condițiile de reacție în sintezele de obținere a NP7–NP10

Nr. sintezei	Nr. NP	Precursor[a] (mmol)	Surfactant[b] (mmol)	Solvent[c] (mL)	Temperatura (°C)	Timpul (min)	Diametrul NP (nm)
1	NP7	6	9	18	305	60	12
2	NP8	6	9	18	290	120	11,7
3	NP9	6	9	18	320	120	10
4	NP10	6	9	18	360	60	5,25

[a] *Precursor = Compusul* $[Fe_3O(SalH)_6(H_2O)_3]Cl\cdot DMA\cdot H_2O$
[b] *Surfactant = acid oleic*
[c] *Solvent = 1–octadecenă*

În literatura de specialitate s-a constatat, că odată cu creșterea temperaturii și mărirea timpului de reacție crește și dimensiunea nanoparticulelor [17]. În cazul experimentelor efectuate (Tabelul 1), nanoparticule cu cele mai mici dimensiuni s-au obținut în urma sintezei la temperatura de 360 °C timp de 60 min (Figura 7).



NP7 **NP8**

NP9 **NP10**

Figura 7. Imaginile MET ale nanoparticulelor NP7–NP10

Concluzii

Compușii coordinativi trinucleari Fe–M de tip μ_3–oxo au fost utilizați ca precursori pentru obținerea oxizilor micști de dimensiuni nanometrice prin metoda de descompunere termică. Pe parcursul cercetării au fost sintetizate și investigate 10 probe de nanoparticule de diverse forme și dimensiuni obținute din precursorii trinucleari homo– și heteronucleari ai fierului(III) cu compoziție și structură determinată. Investigările TEM și MES ale probelor analizate au demonstrat că produsele de reacție reprezintă oxizi de fier de diferite dimensiuni și forme.

Referințe:

1. Qiang, Y., Antony, J., Marino, M. G., Pendyala, S. Synthesis of Core-Shell Nanoclusters With High Magnetic Moment for Biomedical Applications. *IEEE Trans. Magn.*, 2004, 40(6), 3538–3540. DOI: 10.1109/TMAG.2004.828962.
2. Jain, T. K., Morales, M. A., Sahoo, S. K., Leslie-Pelecky, D. L., Labhasetwar, V. Iron Oxide Nanoparticles for Sustained Delivery of Anticancer Agents. *Mol. Pharmaceutics*, 2005, 2(3), 194–205. DOI: 10.1021/mp0500014.
3. Mody, V. V., Cox, A., Shah, S., Singh, A., Bevins, W., Parihar, H. Magnetic Nanoparticle Drug Delivery Systems for Targeting Tumor. *Appl. Nanosci.*, 2014, 4(4), 385–392. DOI: 10.1007/s13204-013-0216-y.
4. Yasumori, A., Matsumoto, H., Hayashi, S., Okada, K. Magneto-Optical Properties of Silica Gel Containing Magnetite Fine Particles. *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 2000, 18(3), 249–258. DOI: 10.1023/A:1008700107415.

5. Setter, N., Waser, R. Electroceramic Materials. *Acta Mater.*, 2000, 48(1), 151–178. DOI: 10.1016/S1359-6454(99)00293-1.
6. Schoonman, J. Nanostructured Materials in Solid State Ionics. *Solid State Ionics*, 2000, 135(1–4), 5–19. DOI: 10.1016/S0167-2738(00)00324-6.
7. Thurston, J. H., Whitmire, K. H. Molecular Precursors for Ferroelectric Materials: Synthesis and Characterization of Bi2M2(μ-O)(Sal)4(Hsal)4(OEt)2 and BiM4(μ-O)4(Sal)4 (Hsal)3(OiPr)4. *Inorg. Chem.*, 2003, 42(6), 2014–2023. DOI: 10.1021/ic026108s.
8. An, K., Somorjai, G. A. Size and Shape Control of Metal Nanoparticles for Reaction Selectivity in Catalysis. *ChemCatChem*, 2012, 4(10), 1512–1524. DOI: 10.1002/cctc.201200229.
9. Amara, D., Grinblat, J., Margel, S. Solventless Thermal Decomposition of Ferrocene as a New Approach for One-Step Synthesis of Magnetite Nanocubes and Nanospheres. *J. Mater. Chem.*, 2012, 22(5), 2188–2195. DOI: 10.1039/C1JM13942H.
10. Zhang, Z. J., Chen, X. Y., Wang, B. N., Shi, C. W. Hydrothermal Synthesis and Self-Assembly of Magnetite (Fe3O4) Nanoparticles with the Magnetic and Electrochemical Properties. *J. Cryst. Growth*, 2008, 310(24), 5453–5457. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2008.08.064.
11. Khalil, M., Yu, J., Liu, N., Lee, R. L. Hydrothermal Synthesis, Characterization, and Growth Mechanism of Hematite Nanoparticles. *J. Nanopart. Res.*, 2014, 16(4), 2362. DOI: 10.1007/s11051-014-2362-x.
12. Xing, R., Xu, F., Liu, S., Niu, J. Surfactant-Free Fabrication of Fe3O4 Nanospheres with Selective Shape. *Mater. Lett.*, 2014, 134, 71–74. DOI: 10.1016/j.matlet.2014.07.035.
13. Fajaro, F., Setyawan, H., Widiyastuti, W., Winardi, S. Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Surfactant-Free Electrochemical Method in an Aqueous System. *Adv. Powder Technol.*, 2012, 23(3), 328–333. DOI: 10.1016/j.apt.2011.04.007.
14. Lu, A., Salabas, E. L., Schüth, F. Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization, and Application. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2007, 46(8), 1222–1244. DOI: 10.1002/anie.200602866.
15. Hubert-Pfalzgraf, L. G. Some Trends in the Design of Homo- and Heterometallic Molecular Precursors of High-Tech Oxides. *Inorg. Chem. Commun.*, 2003, 6(1), 102–120. DOI: 10.1016/S1387-7003(02)00664-0.
16. Yu, W. W., Falkner, J. C., Yavuz, C. T., Colvin, V. L. Synthesis of Monodisperse Iron Oxide Nanocrystals by Thermal Decomposition of Iron Carboxylate Salts. *Chem. Commun.*, 2004, (20), 2306. DOI: 10.1039/b409601k.
17. Chen, C.-J., Lai, H.-Y., Lin, C.-C., Wang, J.-S., Chiang, R.-K. Preparation of Monodisperse Iron Oxide Nanoparticles via the Synthesis and Decomposition of Iron Fatty Acid Complexes. *Nanoscale Res. Lett.*, 2009, 4(11), 1343-1350. DOI: 10.1007/s11671-009-9403-x.
18. Park, J., An, K., Hwang, Y., Park, J.-G., Noh, H.-J., Kim, J.-Y., Park, J.-H., Hwang, N.-M., Hyeon, T. Ultra-Large-Scale Syntheses of Monodisperse Nanocrystals. *Nature Mater.*, 2004, 3(12), 891–895. DOI: 10.1038/nmat1251.
19. Kovalenko, M. V., Bodnarchuk, M. I., Lechner, R. T., Hesser, G., Schäffler, F., Heiss, W. Fatty Acid Salts as Stabilizers in Size- and Shape-Controlled Nanocrystal Synthesis: The Case of Inverse Spinel Iron Oxide. *J. Am. Chem. Soc.*, 2007, 129(20), 6352–6353. DOI: 10.1021/ja0692478.
20. Sangaiya, P., Jayaprakash, R. A Review on Iron Oxide Nanoparticles and Their Biomedical Applications. *J. Supercond. Nov. Magn.*, 2018, 31(11), 3397–3413. DOI: 10.1007/s10948-018-4841-2.
21. Wu, W., He, Q., Jiang, C. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies. *Nanoscale Res. Lett.*, 2008, 3(11), 397. DOI: 10.1007/s11671-008-9174-9.
22. Coates, J. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. In: *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, Meyers, R. A., Ed.; Wiley, 2000. DOI: 10.1002/9780470027318.a5606.
23. Gorincioi, V. Sinteza și studiul combinațiilor complexe polinucleare ale metalelor –s și –d cu acidul salicilic și derivații lui. Ph.D. Thesis, Chișinău, 2022, 217 p.
24. Gorinchoy, V. V., Turte, K. I., Simonov, Yu. A., Shova, S. G., Lipkowski, J., Shofranskii, V. N. Heteronuclear {Fe-Ba, Fe-Sr} Salicylate Complexes. Synthesis, Structure, and Physicochemical Properties. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2009, 35(4), 279–285. DOI: 10.1134/S1070328409040083.

25. Gorinchoy, V., Cuzan-Munteanu, O., Petuhov, O., Melnic, E., Kravtsov, V. Ch., Shova, S. Thermal Analysis, Synthesis and Structural Studies of Heterometallic {Fe2MO} Salicylate Complexes. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2019, 138(4), 2623–2633. DOI: 10.1007/s10973-019-08642-6.
26. Gorinchoy, V. V., Zubareva, V. E., Shova, S. G., Szanfranski, V. N., Lipkowski, J., Stanica, N., Simonov, Yu. A., Turta, C. I. Homo- and Heteronuclear Iron Complexes {Fe2MO} with Salicylic Acid: Synthesis, Structures, and Physicochemical Properties. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2009, 35(10), 731–739. DOI: 10.1134/S1070328409100042.

Date despre autori:



Viorina GORINCIOI, cercetător științific coordonator, Laboratorul Chimie Bioanorganică și Nanocompozite, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova
e-mail: oviorina@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6991-2241



Boris PUȘCAȘU, Inginer, Laboratorul Chimie Bioanorganică și Nanocompozite, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova
e-mail: borispuscasu@gmail.com
ORCID: 0009-0007-3906-0229



Vasile LOZAN, doctor habilitat în științe chimice, Conferențiar universitar, cercetător științific principal, Șeful laboratorului Chimie Bioanorganică și Nanocompozite, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova
e-mail: vasilelozan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6951-6115