



UO'T: 546.05;546.06;546.47;548.315; 661.743.24

Oybek XUDOYBERGANOV,
Xorazm Ma'mun akademiyasi katta ilmiy xodimi, PhD
E-mail: oybek_hudoyberganov@mail.ru

Urganch davlat universiteti kimyo kafedrasi dotsenti, k.f.n Y.Taxirov taqrizi asosida

SYNTHESIS AND STRUCTURE OF THE COMPLEX OF ZINC ACETATE AND SUCCINIC ACID WITH THE SODIUM SALT

Annotation

This article highlights the research results on the synthesis of a new heterometallic complex compound of zinc acetate and succinic acid with the sodium salt and the determination of their composition, structure and properties by physico-chemical methods: scanning electron microscope-energy dispersive analysis (SEM-EDS), X-ray phase analysis, thermal analysis and X-ray structural analysis. The central atom of the complex compound is zinc, the oxygen atom of the carboxyl group of the acetate residue and the sodium salt of succinic acid are interconnected through the oxygen atom of the carboxyl group, forming a complex compound with a coordination number of 6.

Key words: Zinc acetate, succinic acid with the sodium salt, ligand, thermal analysis, SEM-EDS, X-ray phase and X-ray structural analysis, complex compound, coordination number, Mercury program, coordination capacity, complex compound stability.

СИНТЕЗ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА ЦИНКА АЦЕТАТА И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ С НАТРИЕВОЙ СОЛЬЮ

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по синтезу нового гетерометаллического комплексного соединения ацетата цинка и янтарной кислоты с натриевой солью и определению их состава, структуры и свойств физико-химическими методами: сканирующей электронной микроскопией с энергодисперсионным анализом (СЭМ-ЭДА), рентгенофазовым анализом, термическим анализом и рентгеноструктурным анализом. Центральным атомом комплексного соединения является цинка, атом кислорода карбоксильной группы ацетатного остатка и натриевая соль янтарной кислоты соединены между собой через атом кислорода карбоксильной группы, образуя комплексное соединение с координационным числом 6.

Ключевые слова: ацетата цинка, янтарная кислота с натриевой солью, лиганд, термический анализ, СЭМ-ЭДА, рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ, комплексное соединение, координационное число, программа «Меркурий», координационная способность, комплексное соединение, стабильность.

RUX ATSETATI HAMDA QAHRABO KISLOTASINING NATRIYLI TUZI BILAN KOMPLEKSI SINTEZI VA STRUKTURASI

Annotatsiya

Maqolada rux atsetatining qahrabo kislotasi natriyli tuzi bilan yangi geterometall kompleks birikmasi sintez qilingan va ularning tarkibi, tuzilishi va xossalari fizik-kimyoviy metodlar: skanerlovchi elektron mikroskop-energiya dispersion tahlil (SEM-EDT), rentgenfazaviy tahlil, termik analiz va rentgen strukturaviy tahlil yordamida o'rganilgan. Kompleks birikma tarkibidagi markaziy atom rux, atsetat qoldig'i tarkibidagi karboksil guruhining kislorod atomi va qahrabo kislotasining natriy tuzi bilan ham karboksil guruhidagi kislorod atomi orqali o'zaro bog'lanib, koordinatsion soni 6 ga teng bo'lgan kompleks birikmani hosil qilgan.

Kalit so'zlar: Rux atsetati, qahrabo kislotasining natriyli tuzi, ligand, termik analiz, SEM-EDX, rentgenfazaviy va rentgen strukturaviy tahlil, kompleks birikma, koordinatsion son, Mercuriy dasturi, koordinatsion sig'im, kompleks birikma barqarorligi.

Kirish. Ushbu maqolada kompleks birikmalar kimyosining yangi yo'nalishlaridan bo'lgan geterometall koordinatsion birikmalar sintezi va ularning fizik-kimyoviy metodlar bilan tahlili haqida ma'lumotlar berilgan. Hozirgi davrda kompleks birikmalar kimyosi bilan shug'ullanuvchi olimlar tomonidan tarkibida ikki xil metall atomi tutgan koordinatsion birikmalarni sintez qilish va ularning tahlilini amalga oshirish bo'yicha ishlar keng ko'lamda amalga oshirilyapti. Ushbu sintezlangan koordinatsion birikma tarkibida ikki xil metall atomi va turli xil kislota qoldig'i tutganligi, shu jumladan, ular tarkibida juft elektronga ega geteroatomlarning mavjudligi, ularning 3d-metallari bilan kompleks birikmalar hosil qilish imkoniyatini yanada kengaytiradi. Shuningdek, Yangi O'zbekistonning 2022–2026-yillardagi taraqqiyot strategiyasida "iqtisodiyotni rivojlantirish ustuvor yo'nalishlari belgilangan hamda mahalliy xomashyo resurslarini chuqur qayta ishlash asosida, yuqori qo'shimcha qiymatli tayyor mahsulot ishlab chiqarishni yanada jadallashtirish, sifat jihatdan yangi mahsulot va texnologiya turlarini o'zgartirish masalalari alohida belgilab qo'yilgan [1]. Ushbu yo'nalishda iqtisodiyotimizning yetakchi tarmoqlaridan biri bo'lgan, kimyo sanoatini rivojlantirishda, yangi kompleks birikmalarni sintez qilish, ularning biologik faolliklarini tadqiq etishga keng e'tibor qaratilmoqda. Ushbu masalalardan kelib chiqqan holda laboratoriya sharoitida o'simliklarning qurg'oqchilik va turli zararli hasharotlarga qarshi kurashish qobiliyatini oshiruvchi qo'shimcha biologik faol ozuqa modda sifatida ishlatiluvchi biostimulyator sintezini amalga oshirildi.

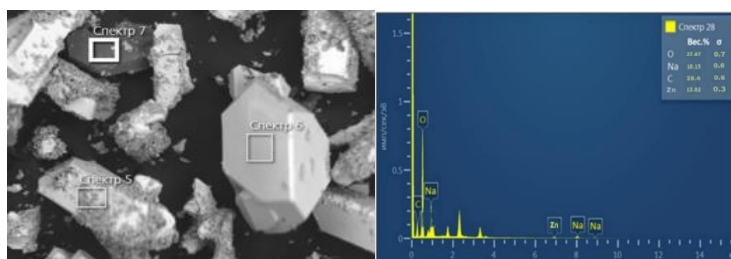
Tadqiqotning maqsadi rux atsetati hamda qahrabo kislotasi natriyli tuzi bilan kompleksining sintezi, tarkibi, tuzilishi va xossalari aniqlashdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun rux atsetatining, qahrabo kislotasi natriyli tuzi bilan kompleks birikmasining sintez qilish usullari ishlab chiqilgan va sintezi amalga oshirilgan. Sintez qilingan birikmlarning tarkibi va tuzilishi SEM-EDX, termik analiz va rentgen strukturaviy tahlil metodlari yordamida o'rganilgan.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Adabiyotlarda rux atsetatining va qahrabo kislotasining kompleks birikmalari sintezi, tuzilishi o'rganish va amaliy qo'llanilishi bo'yicha ishlarining natijalarini umumlashtirgan ko'plab sharhlar uchraydi. Matyoqubova M.X., Hasanov Sh.B tomonidan yozilgan "Kobalt(II) ionining qaxrabo kislotasi va monoetanolamin bilan kompleks birikmalari" mavzusidagi maqolada qaxrabo kislotasining kobalt metali va monoetanolamin bilan aralash ligandli kompleks birikmasini sintez qilish metodlari berilgan[2].

Kadirova Sh.A., Razzokova S.R., Ziyayev A.A tomonidan "Spektroskopiya usullaridan foydalangan holda oksadiazolin hosilasi bilan 3d metallarning komplekslarini sintez qilish va o'rganish" mavzusida yozilgan maqolada 5-(p-nitrofenil)-1,3,4-oksadiazolin-2-tion bilan Co(II), Ni(II), Cu(II) va Zn(II) ning yangi kompleks birikmalari sintez qilingan. Olingan birikmalar strukturasi IQ va PMR spektroskopik tadqiqotlari asosida polidentat ligand $-C=S$ guruhining oltingugurt atomi orqali kompleks hosil qiluvchiga muvofiqlashtirilganligi ko'rsatilgan. Bunda tetraedr konfiguratsiyaga ega aralash-ligandli molekulyar-ionli kompleks birikmalar hosil bo'lgan[3]. Brina Dojer, Andrey Peveds, Ferdinand Belay, Matjaz Kristl tomonidan yozilgan "3- va 4-aminopiridinli ikkita yangi rux (II) asetatli kompleks birikma sintezi va tuzilishi" mavzusidagi yozilgan maqolada, olingan mahsulotlar strukturaviy jihatdan bir kristalli rentgen nurlari diffraksiyasi bilan tavsiflangan. $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ va 3-aminopiridin (3-apy) reaksiyasi natijasida sintez qilingan birikmaning rangsiz kristallari $[Zn_3(O_2CCH_3)_6(3-apy)_2(H_2O)_2]$ formulali uch yadroli kompleks molekullardan iborat. Molekulasi shakli tetraedrik shaklda ekanligi aytilgan bo'lsa, $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ning 4-aminopiridin (4-apy) bilan reaksiyasi natijasida olingan rangsiz kristallar bir yadroli kompleksdan iborat $[Zn(O_2CCH_3)_2(4-apy)_2]$ ekanligi takidlangan[4]. Shuningdek, adabiyot manbalari tahlilining ko'rsatishicha, rux atsetati va qahrabo kislotasining kompleks birikmalarini tahlil qilish bo'yicha keng miqyosda tajriba natijalari bo'lishiga qaramasdan, bu ligandlar asosida olingan geterometall kompleks birikmalar sintezi va tuzilishi yetarli darajada o'rganilmagan. Shu sababli, rux atsetati hamda qahrabo kislotasi natriyli tuzi bilan geteroyadroli kompleks birikmasini sintez qilish, fizik-kimyoviy va biologik faolligini aniqlash alohida ilmiy qiziqish tug'diradi. Tadqiqotlar natijasida gomo- va geterometall koordinatsion birikmalar sintezi amalga oshirilgan, ularning tuzilishi, kimyoviy va ayrim fizik xossalari tahlil qilingan [5].

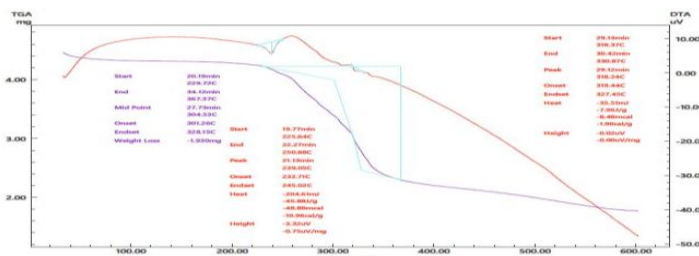
Tadqiqot metodologiyasi. Ishda zamonaviy fizik-kimyoviy metodlar: skanerlovchi elektron mikroskop-energiya dispersion tahlil (SEM-EDT), rentgenfazaviy tahlil, termik analiz va rentgen strukturaviy analiz usullaridan foydalanilgan[6]. $[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ tarkibli kompleks birikma sintezi quyidagi metodika bo'yicha amalga oshirildi. Qaytarma sovutgich bilan jihozlangan ikki og'izli kolbaga, 0,001 mol $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ tuzining suvdagi 10ml eritmasi quyildi. Eritma ustiga ikkinchi eritma 0,002 mol qahrabo kislotasi natriyli tuzining etanoldagi 20ml eritmasi, xar 10 minut davomida 5ml dan qo'shiladi. Aralashma 50 minut davomida aralashtirib turgan holda, qaynatildi [7]. Erituvchisi xona haroratida bug'latildi. Olingan mahsulot dietil efirda yuvildi. Olingan tiniq eritma uch kun davomida ochiq havoda, so'ngra quritish shkafiga 8 kun davomida quritildi va kompleks birikmaning monokristali o'stirildi. Unum 74 %. Tsuyuq = 186 °C.

Sintez qilingan kompleks birikmadagi elementlarning miqdorlari (uglerod, kislorod va metall atomlari) SEM-EDT metodi yordamida analiz qilindi [8]. Komplekslarning mikrostrukturallari va EDT diagrammalari 1-rasmda keltirildi.



1-rasm. $[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{C}_3\text{COO})_2]$ kompleks birikmasining mikrostrukturasi va EDT diagrammasi

Tahlil va natijalar. $[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ kompleksining termik barqarorligi va tarkibida suv molekullari bor yoki yo'qligini aniqlash maqsadida termik analiz o'tkazildi [9,10]. Termik analiz natijalari: birikmalarni termik parchalanish bilan boruvchi issiqlik effekti tabiati, temperatura effekti intervallari va ularning tabiati, massani mg larda kamayishi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. $[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ kompleks birikmasi derivatogrammasi

$[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ tarkibli kompleks birikmaning DTA egrisida 76,84°C da endotermik effektlar va 236, 310, 316, 344°C da ekzotermik effektlar mavjud. 76°C dagi effekt suvning parchalanishiga mos keladi. Keyingi 76-236°C termoeffektlarda asosiy massaning 10,66 % ya'ni 0.575 mg yo'qotiladi. Keyingi parchalanish 342-354°C oralig'ida kechadi. Unda asosiy massaning 38,4% organik kislota qoldig'ining parchalanishi va termoliz mahsuloti sifatida rux oksidining hosil bo'lishi o'rganildi. Aralash ligandli komplekslarning derivatografik tahlili natijasida namunaning massasi, komplekslarning parchalanish massasi va komplekslarning termik barqarorligi harorat organi sari o'zgarib borishi aniqlandi. Sintezlangan $[(\text{SucNa})_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$

kompleks birikma monokristallari o'stirilib, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Bioorganik kimyo institutining jamoaviy foydalanish markaziga o'rnatilgan XtaLAB Synergy(Rigaki, Yaponiya) difraktometrida rentgenstrukturaviy tahlili o'tkazildi [11]. Rentgen strukturaviy tahlil natijalari Xcalibur Roxford Diffraction avtomatik difraktometrida 293 K haroratda (Cu Karadiation, $k = 1,54184 \text{ \AA}$, xscan rejimi, grafit monoxromator) olingan. Rentgen tuzilish tahlili yordamida kompleks birikma monokristaliga tegishli parametrlar *Cif* fayl yordamida olinib, *u platon* va *mercuriy* dasturlari bilan ishlanib, tegishli ma'lumotlar olindi. Monokristalga tegishli parametrlar quyidagi jadvallarda ifodalab berildi.

1-Jadval

Qahrabo kislotasining natriyli tuzi va Zn(II) atsetati bilan olingan kompleks birikmasi monokristalining kristallografik ma'lumotlari va strukturasiga aniqlik kirituvchi parametrlar

Parametr	Qiymatlar	Parametr	Qiymatlar
Zn li-kompleks birikma: $[\text{ZnC}_{12}\text{H}_{14}\text{Na}_4\text{O}_{12}]$			
Formula	$\text{ZnC}_{12}\text{H}_{14}\text{Na}_4\text{O}_{12}$	Kristall o'lchami, mm	$0.26 \times 0.22 \times 0.14$
Molekulyar massa	507.58	Harorat T, °K	294
Singoniya	Triklinik	Skanerlash oralig'i θ , °	$3,6; -54,62$
Fazoviy guruh	C1	Interval h,k,l	$-24/18, -9/6, -18/14$
a, Å	16.56	Jami reflekslar	5418
b, Å	16.56	Mustaqil reflekslar soni	1627
c, Å	11.72	R_{int}	0.054
α , °	90	$F2 \geq 2\sigma(F2)$ kriteriy	1084
β , °	90	Aniqlagan parametrlar	244
γ , °	90	Strukturani aniqlash sifati	1.16
V, Å ³	3216	$R_1, wR_2 (I > 2\sigma(I))$	0.0445, 1.532, 1.24
Z	2	$\Delta\rho_{\text{min}} / \Delta\rho_{\text{max}}, e\text{\AA}^{-3}$	-0.46 / 0.52
Dx, g/cm ³	0.524	CCDC-raqami va ref-kod	
$\mu(\text{CuK}\alpha)$, mm ⁻¹	0.427		

Kristalning elementar yacheykasi parametrlari quyidagicha: fazoviy guruhi C1, $a=16.56\text{\AA}$, $b=16.56\text{\AA}$, $c=11.72\text{\AA}$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$, $\gamma=90^\circ$, $V=3216\text{\AA}^3$, $Z=2$. $[(\text{SucNa}_2)_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ kompleksi monoyadroli bo'lib Zn^{2+} ionining qahrabo kislotasi va sirka kislota qoldig'i bilan hosil qilingan, neytral tabiatga ega.



3-rasm. Sintezlangan $[(\text{SucNa}_2)_2\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ tarkibli kompleks birikma kristalining tasviri

2-jadval

Kompleks birikmaning bog' uzunliklari va bog'lanish burchaklari

Bog'	d, Å	Burchak	ω , grad
Zn(1)-O(1)	1.8923	O(1)-Zn(1)-O(2)	83.83
Zn(1)-O(2)	1.8117	O(1)-Zn(1)-O(3)	91.38
Zn(1)-O(3)	1.8780	O(1)-Zn(1)-O(4)	84.67
Zn(1)-O(4)	1.8834	O(1)-Zn(1)-O(5)	74.38
Zn(1)-O(5)	2.1451	O(1)-Zn(1)-O(6)	146.85
Zn(1)-O(6)	2.1521	O(1)-Zn(1)-C(4)	135.72
Zn(1)-C(4)	2.3419	O(2)-Zn(1)-O(3)	161.14
Na(1)-O(11)	2.1600	O(2)-Zn(1)-O(4)	90.01
Na(2)-O(10)	2.1595	O(2)-Zn(1)-O(5)	71.95
Na(3)-O(9)	2.1597	O(2)-Zn(1)-O(6)	68.37
Na(4)-O(12)	2.1604	O(2)-Zn(1)-C(4)	83.61
O(1)-C(1)	1.3557	O(3)-Zn(1)-O(4)	107.75
O(2)-C(3)	1.3339	O(3)-Zn(1)-O(5)	89.19
O(3)-C(5)	1.2093	O(3)-Zn(1)-O(6)	120.68
O(4)-C(8)	1.2103	O(3)-Zn(1)-C(4)	87.23
O(5)-C(12)	1.2649	O(4)-Zn(1)-O(5)	153.45

Kompleks tarkibidagi Zn(1)-O(1), Zn(1)-O(2), Zn(1)-O(3), Zn(1)-O(4) va Zn(1)-O(5), Zn(1)-O(6) bog'lari orasidagi masofasi qiymati mos ravishda $1.8923\text{\AA}$, $1.8117\text{\AA}$, $1.8780\text{\AA}$, $1.8834\text{\AA}$ va $2.1451\text{\AA}$, $2.1521\text{\AA}$ ga teng [12].

3-jadval

Kristall tuzilishidagi vodorod bog'lar ($\text{\AA}^\circ$)

Bogʻlanish D—H···A	Masofa, Å			Burchak D—H···A, grad.	Atom koordinatalari, Å
	D—H	H···A	D···A		
[(SucNa ₂) ₂ Zn(CH ₃ COO) ₂]					
C(4)—H(10)···O(3)	1.12	2.51	2.930	101	x,y,1+z
O(2)—H(2A)···O(1)	0.88	1.94	2.648	103	-1/2+x,-1/2+y,z
O(2)—H(2B)···O(3)	0.78	1.83	2.671	106	-1/2+x,-1/2+y,z

C(2)–H(2C)...O(1)	0.89	2.44	3.263	112	$x, 1/2-y, 1/2+z$
C(3)–H(3A)...O(3)	0.89	2.39	3.178	112	$1/2+x, 1/2+y, z$
O(3)–H(3C)...O(4)	0.85	1.89	2.728	108	$1-x, 1/2+y, 3/2-z$
O(3)–H(3D)...O(1)	0.85	1.94	2.730	116	$x, 3/2-y, 1/2+z$

O(1)–Zn(1)–O(2), O(1)–Zn(1)–O(3), O(1)–Zn(1)–O(4), O(1)–Zn(1)–O(5) va O(1)–Zn(1)–O(6), O(2)–Zn(1)–O(3) ning burchak kattaliklari mos ravishda 83.83° , 91.38° , 84.67° , 74.38° va 146.85° , 135.72° ga teng ekanligini ko'rish mumkin. Kompleks birikma tarkibidagi qahrabo kislotasi natriyli tuzi kislorod atomi va markaziy atom rux orasidagi masofa farqi Yan-Tellar effekti bilan tushuntiriladi.

Kompleks birikmadagi markaziy atom rux triklinik tipida ikkita molekula atsetat qoldig'i kislorod atomi va qahrabo kislota qoldig'idagi kislorod atomlari bilan koordinatsiyalanadi. Bunda atsetat qoldig'i kislorod atomi orqali monodentat va ikkita qahrabo kislotasi qoldig'i esa kislorod atomlari orqali bidentat ligandlar sifatida koordinatsiyalanishda qatnashadi. Markaziy atom kobaltning koordinatsion soni 6ga teng bo'lib, sp^3d^2 xolatda gibridlangan. Tahlil natijalari ko'ra kompleks tarkibidagi sirka kislotasi qoldig'i va natriy suksinat molekullari ishtirokidagi, C(4)–H(10)...O(3), O(2)–H(2A)...O(1), O(2)–H(2B)...O(3) va C(2)–H(2C)...O(1) turdagi vodorod bog'lar (3-jadval) hisobiga bc tekislikiga parallel ikki o'lchamli qatlam hosil bo'lganligi hisobiga barqaror bo'ladi.

Xulosa va takliflar. [(SucNa₂)₂Zn(CH₃COO)₂] kompleks birikma tarkibida ikki xil tabiatli metall atomlari borligi va ular geterometall poliyadroli kompleks birikma hosil qilishi aniqlandi. Yaratilgan sintez metodi o'xshash koordinatsion birikmalarni keyinchalik sintez qilishda qo'llanilishi mumkin. [(SucNa₂)₂Zn(CH₃COO)₂] koordinatsion birikmaning monokristallari o'stirildi va unga tegishli parametrlar *mercuriy* dasturi yordamida aniqlanib, jadval ma'lumotlari yordamida ifodalab berildi. Olingan geterometall poliyadroli kompleks birikmada markaziy atom rux bo'lib uning, koordinatsion soni 6 ga teng ekanligini va gibridlanishi sp^3d^2 holatda bo'lishini rentgen strukturaviy tahlildan olingan ma'lumotlarga tayanib aytish mumkin.

ADABIYOTLAR

- O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.
- Матякубова М.Х., Хасанов Ш.Б. Комплексы моноэтаноламина и янтарной кислоты с солями кобальта (II). *Universum: технические науки* Выпуск: 2(95) Февраль 2022. 37-40 С.
- Kadirova Sh.A., Razzokova S.R., Ziyayev A.A. Синтез и исследование комплексов 3d-металлов с производным оксадиазолина методами спектроскопии. *Universum: химия и биология* выпуск: 5(59) май 2029, ст. 48-53.
- Brina Dojer, Андрей Певец, Фердинанд Белай, Matjaž Kristl. Два новых ацетата цинка (II) с 3- и 4-аминопиридином: синтез и структурные свойства. 2015;62(2):312-8. doi: 10.17344/acsi.2014.1111.
- Шакирова Ю.Р. Гомо- и гетерометаллические люминесцентные комплексы металлов подгруппы меди: син-тез и исследование фотофизических свойств: дис. ... канд. хим. наук : 02.00.01. – СПб., 2014. – 181 л.
- Synthesis and properties of the coordination compound of calcium stearate with thiocarbamide // Khasanov Sh.B., Ibodullaeva T.A., Abdullaeva Z.Sh., Khudoyberganov, O.I. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2023, 2023(2), P-111–115.
- Прямой синтез координационных соединений. Под ред. акад. НАН Украины Скопенко В. В. - Киев: Вент, 1997.-175 с.
- Корусенко П. М., Несов С. Н., Ивлев К. Е. Морфология, структура и электрохимические свойства композита MnOx @ CNTs: исследование методами SEM, EDX, XPS и CVA // Омский научный вестник. 2022. № 2 (182). С. 86–92. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-86-92.
- Ковба П. М., Трунов В. К. Рентгенофазовый анализ. - М.: МГУ, 1976. - 232 с.
- Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В. Термический анализ минералов и неорганических соединений. Москва: Изд-во МГУ, 1987. - С.190.
- Шаталова Т.Б., Шляхтин О.А., Веряева Е. Методы термического анализа. – Москва: 2011. – 72 с.
- Савицкая Л.К. Рентгеноструктурный анализ: учебное пособие// Томск: СКК-Пресс, 2006, стр.274.