SIANUR KISLOTASINING META- VA ORTOFOSFOR KISLOTALARI BILAN REAKSIYASI MAHSULOTLARINI INFRAQIZIL (IQ) SPEKTROSKOPIYA USULI YORDAMIDA O‘RGANISH

Mardonov O‘ktam Mardonovich
Buxoro davlat universiteti, k.f.n., dotsent
Buxoro sh. O‘zbekiston
Aslonova Ferangiz Sadilloyevna
Buxoro davlat universiteti Tayanch doktorant
Buxoro sh. O‘zbekiston
Xoliqova Gulyayra Qo‘ldoshevna
Buxoro davlat universiteti Tayanch doktorant
Buxoro sh. O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot sianur kislotasining meta- va ortofosfor kislotalari bilan boshqariladigan termik sharoitlarda o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida hosil bo‘ladigan reaksion mahsulotlarning infraqizil (IQ) spektrlarini chuqur tahlil qilishga bag‘ishlangan. Reaktivlar aralashmasini me’yoriy haroratda qizdirish orqali olingan materiallar tarkibida kuchli vodorod bog‘lari bilan mustahkamlangan va ehtimol fosforillangan oraliq strukturalar shakllangan. Olingan mahsulotlarning IQ spektrlari ν(O–H), ν(N–H), ν(C=O), ν(P=O) va ν(P–O) tebranishlariga mansub absorbsiya chiziqlarining sezilarli siljishlari va intensivlikdagi o‘zgarishlari bilan xarakterlanadi. Ushbu tebranishlar triazin halqasi, PO_3^- va PO_4^{3-} guruhlari, P=O bog‘lari hamda N–H•••O va O–H•••O tipidagi vodorod bog‘lari shakllanishiga jalb qilingan funksional guruhlarning ishtirokini tasdiqlaydi. Spektrlarning qiyosiy tahlili fosfor kislotasining turi (meta yoki orto) hamda miqdoriga bog‘liq holda fosforillanish darajasining o‘zgarishi bilan yuzaga keladigan strukturaviy transformatsiyalarni aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar reaksiyaning asosiy bosqichlari, yangi hosil bo‘layotgan birikmalarning shakllanish mexanizmi va ularning tebranish xususiyatlarini yoritib, sianur kislotasining fosfor kislotasi fragmentlari bilan qattiq fazadagi o‘zaro ta’sir mexanizmini chuqurlashtiradi.

Kalit so‘zlar: sianur kislota; meta- va ortofosfor kislotalari; infraqizil (IQ) spektroskopiya; vodorod bog‘lari; fosfatlar; sianurat; molekulyar kompleks; reaksion mahsulotlar.

Аннотация: В работе детально исследованы инфракрасные (ИК) спектроскопические особенности реакционных продуктов, формирующихся при взаимодействии циануровой кислоты с мета- и ортофосфорными кислотами в контролируемых термических условиях. Материалы были получены путем нагревания смесей реагентов при умеренных температурах,

ISSN 3030-3907

что привело к образованию систем с развитой сетью водородных связей и вероятных фосфорилированных промежуточных соединений. ИК-спектры синтезированных продуктов демонстрируют значимые смещения и вариации интенсивности полос поглощения ν(OH), ν(NH), ν(C=O), ν(P=O) и ν(P–O), что отражает вклад функциональных групп, участвующих в образовании водородных связей типов N–H•••O и O–H•••O, а также колебания триазинового кольца, PO_3^- и PO_4^{3-} фрагментов. Сравнительный анализ спектральных данных указывает на структурные изменения, вызванные различной степенью фосфорилирования, которая определяется видом (мета- или орто-) и количеством введенной фосфорной кислоты. Полученные результаты проясняют механизмы протекания реакции, стадии формирования новых соединений и их колебательное поведение, что способствует расширенному пониманию взаимодействия циануровой кислоты с фосфатными фрагментами в химии твердого состояния.

Ключевые слова: циануровая кислота; мета- и ортофосфорные кислоты; ИК-спектроскопия; водородные связи; фосфаты; цианурат; молекулярный комплекс; продукты реакции.

Abstract: This study provides an in-depth infrared (IR) spectroscopic examination of the reaction products formed during the interaction of cyanuric acid with meta- and orthophosphoric acids under controlled thermal conditions. The synthesized materials were obtained by heating mixtures of the reagents at moderate temperatures, leading to the formation of structures stabilized by extensive hydrogen-bonding networks and potentially phosphorylated intermediates. The IR spectra of the obtained products display pronounced shifts and variations in the intensity of the absorption bands corresponding to ν(OH), ν(NH), ν(C=O), ν(P=O), and ν(P–O) vibrations. These spectral features reflect the involvement of functional groups participating in N–H•••O and O–H•••O hydrogen-bond formation, as well as vibrations of the triazine ring, PO_3^- and PO_4^{3-} units. Comparative evaluation of the spectral characteristics reveals structural transformations associated with differences in the degree of phosphorylation, governed by both the type (meta or ortho) and the quantity of phosphoric acid introduced. The findings elucidate reaction pathways, formation mechanisms, and vibrational behavior of the newly generated compounds, thereby enhancing the understanding of solid-state interactions between cyanuric acid and phosphoric acid fragments.

Keywords: cyanuric acid; meta- and orthophosphoric acids; infrared spectroscopy; hydrogen bonding; phosphates; cyanurate; molecular complex; reaction products

Kirish

ISSN 3030-3907

Sianur kislota ($C_3H_3N_3O_3$) — triazin halqasiga ega geterosiklik birikma bo‘lib, molekula tarkibidagi uchta karbonil va imidazol tipidagi N–H funksional guruhlar tufayli barqaror va ko‘p markazli vodorod bog‘lari tarmoqlarini hosil qilish qobiliyati bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyati uni molekulyar komplekslar, intermediatlar va vodorod bog‘lari orqali barqarorlashgan supramolekulyar strukturalar sintezida istiqbolli komponent sifatida namoyon qiladi. Kvant-kimyoviy hisoblashlarga asoslangan bir qator tadqiqotlarda sianur kislotasining o‘zgarishi va hosilalari batafsil o‘rganilgan. Jumladan, oligo(peptid)-formaldegid bilan o‘zaro ta’sirlashuvi matritsa sharoitida tahlil qilingani[12], shuningdek sianur kislotasining semikarbazon molekulasi uchun Mulliken bo‘yicha atom zaryadlarining taqsimoti aniqlangani[13,14] ma’lum qilingan. Bundan tashqari, sianur kislotasining yuqori termofizik va fizik-mexanik xususiyatlarga ega bir qator hosilalari ishlab chiqilgani va ular kompozit materiallarni modifikatsiyalashda qo‘llanilishi ko‘plab tadqiqotlarda qayd etilgan[8].

So‘nggi yillarda sianur kislotasining mineral kislotalar, ayniqsa fosfor kislotasi hosilalari bilan reaksion faolligiga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. Bu qiziqishning asosiy sababi — vodorod bog‘lari orqali barqarorlashgan adduktlar, shuningdek fosfat guruhlarini o‘z ichiga olgan yakuniy mahsulotlarning hosil bo‘lish imkoniyatidir[3,5]. Fosfor kislotalari, jumladan ortofosfor (H_3PO_4) va metafosfor (HPO_3) kislotalari, strukturaviy va kislotalik xususiyatlari bilan farqlanib, donor-akseptor markazlarga nisbatan turlicha reaktivlik ko‘rsatadi. Sianur kislotasi va fosfor kislotalarining eritmada olib borilgan reaksiyalari, ayniqsa mo‘‘tadil termik sharoitlarda, funksional guruhlarning kimyoviy tabiatiga bog‘liq holda yangi molekulyar birikmalar hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin[1,2]. Mazkur jarayonlarni o‘rganish sianur kislotasining fosforli fragmentlar bilan o‘zaro ta’siri, barqaror komplekslar shakllanishi va qattiq faza kimyosidagi o‘zgarishlarni chuqurroq anglash uchun muhimdir.

Spektroskopiya, xususan infraqizil (IQ) spektroskopiya, molekulyar birikmalarda yuz beradigan strukturaviy o‘zgarishlar, vodorod bog‘lari tizimlari hamda funksional guruhlar transformatsiyasini aniqlashda eng samarali va informativ usullardan biridir. Kislota-asos va donor–akseptor komplekslarda IQ-spektrlardagi yutilish chiziqlarining siljishi — ayniqsa N–H, O–H, C=O, P=O hamda triazin halqasi tebranishlari sohasidagi o‘zgarishlar — o‘zaro ta’sir shakllanishi va yangi strukturalarning hosil bo‘lganini ishonchli tasdiqlovchi sezgir indikatorlar sifatida xizmat qiladi[4,9,11]. Avvalgi tadqiqotlarda sianur kislotasi ishtirokidagi turli vodorod bog‘li molekulyar assambleyalar tasvirlangan bo‘lsa-da, uning fosfor kislotalari bilan, ayniqsa meta- va ortofosfor shakllari bilan tebranish spektroskopiyasi yordamida o‘zaro ta’siri yetarlicha chuqur tadqiq etilmagan.

ISSN 3030-3907

Shu sababli ushbu ish sianur kislotasining meta- va ortofosfor kislotalari bilan reaksiyalaridan hosil bo‘lgan mahsulotlarning sintezi va IQ-spektroskopik tavsifiga bag‘ishlangan. Olingan materiallarning tebranish profillaridagi o‘zgarishlarni tahlil qilish fosfat fragmentlari ishtirokida shakllangan yangi vodorod bog‘li strukturalarning asosiy xususiyatlarini aniqlashga imkon beradi. Spektrlarning qiyosiy tahlili sianur kislotasining fosfor kislotalarining turli shakllari bilan reaksion qobiliyatiga doir muhim ma’lumotlarni ochib beradi hamda qattiq fazada hosil bo‘ladigan birikmalarning tuzilishi va kimyoviy tabiatini chuqurroq anglash imkonini yaratadi.

Eksperimental qism

Addukt sintezi: Sianur kislota va ortofosfat kislota o‘rtasida potensial molekulyar kompleks hosil bo‘lishi suvli-ishqoriy sharoitlarda o‘rganildi. Uchlik aralashma, ya’ni sianur kislota, ortofosfat kislota va KOH gidroksidi molyar nisbati 1:1:4 bo‘lgan aralashma, 20 ml suvda 80 °C haroratda 30–40 daqiqa davomida qizdirildi. Ushbu stexiometrik nisbatda KOHning ortiqcha miqdori kuchli ishqoriy muhitni tezda yaratib, pH=11 ni ta’minladi. Bunday muhit sianur kislota va ortofosfat kislotaning deprotonlanishini deyarli to‘liq amalga oshiradi va ularni mos ravishda sianurat va fosfat anionlariga aylantiradi. Reaksion aralashmani filtratsiyadan o‘tkazgandan so‘ng, filtratdan kristall modda asta-sekin tushdi[3,10]. Kristallar suvli muhitda sekin nukleatsiya va o‘sish jarayoni orqali ajratib olindi va keyin quritildi. Kristallanishning odatdagidan sekin kechishi, ehtimol, mos ion shakllarining past eruvchanligi va asta-sekin ortiqcha to‘yinganligi bilan bog‘liq bo‘lib, molekulyar kompleks hosil bo‘lish bilan bog‘liq kooperativ yig‘ilish yoki shablon effektidan kelib chiqmagan.

Noma’lum suvli muhitda sianur kislota va HPO_3 reaksiya mahsulotlarini olish maqsadida, 1:1 molyar nisbatda sianur kislota va metafosfat kislota etanolda aralashtirildi va 60 °C haroratda 2 soat davomida adduk hosil bo‘lishi uchun aralashtirildi. Aralashma keyin xona haroratiga sovutilib, hosil bo‘lgan qoldiq filtratsiyadan o‘tkazildi va vakuum ostida 40 °C haroratda 12 soat davomida quritildi. Olingan oq qattiq modda erish nuqtasi (t_s=380 °C), elementar kimyoviy tahlil va Fourier-IQ spektroskopiyasi (FTIR) yordamida tavsiflandi.

Shimadzu IR-Tracer-100 asbobida o‘tkazilgan IQ spektrlari toza sianur kislota, metafosfor kislota va ularning asosida sintez qilingan adduk uchun 4000–600 sm^{-1} diapazonda yozib olindi. Kuzatilgan tebranish chastotalaridagi siljishlar adduk hosil bo‘lganini tasdiqlash uchun tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama

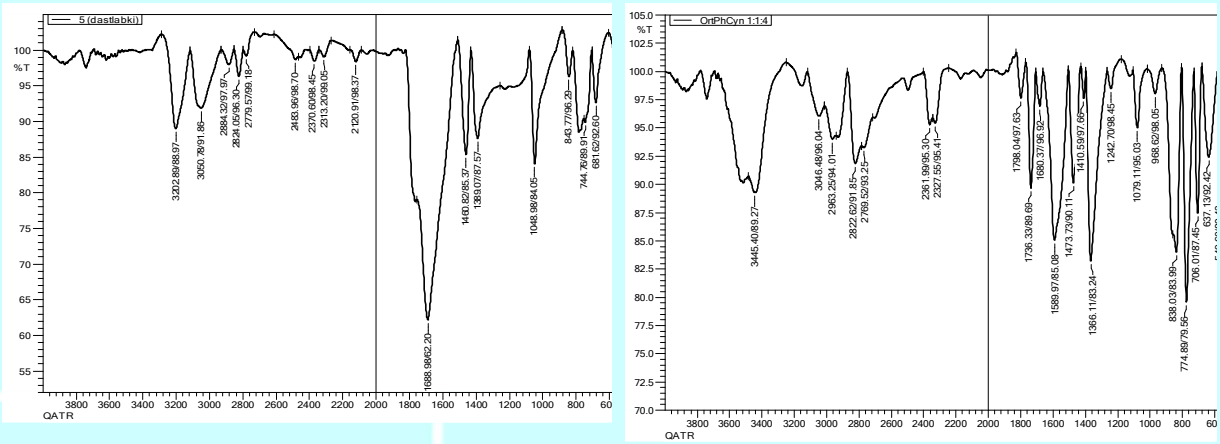
Izolyatsiyalangan qattiq moddaning IQ-spektri (KBr tabletkasi, sm^{-1}) mahsulotning kimyoviy tabiati va tuzilish tarkibini ishonchli tasdiqlovchi ma’lumotlarni beradi. 3430–3450 sm^{-1} hududida joylashgan keng va diffuz yutilish

ISSN 3030-3907

chizig‘i O–H bog‘larining valent tebranishlariga mos keladi; bu bog‘lanishlar suv molekulalarining gidratlanishi va vodorod bog‘larida ishtirok etayotgan sianur va fosfat anionlarining gidroksil guruhlaridan kelib chiqadi. Molekulyar komplekslar yoki sokristallarga xos tartibli va aniq yo‘naltirilgan vodorod bog‘lari tarmoqlaridan farqli o‘laroq, ushbu keng chiziqda nozik strukturasi mavjud emas, bu esa gidratlar va ion tuzlariga xos tartibsiz muhitni ko‘rsatadi (1a, b-rasmlar).

1680–1790 sm^{-1} hududida bir nechta intensiv chiziqlarning mavjudligi sianur kislotasining karbonil guruhining valent tebranishlariga xosdir. Ishqoriy sharoitda (bizning holatda pH=11) sianur kislota deprotonizatsiyaga uchraydi va delokalizatsiyalangan triazin–trikarbonil fragmentlaridan tashkil topgan sianurat anionlarini hosil qiladi. Triazin halqasidagi rezonans barqarorligi uchta karbonil guruh orasida elektronlarning assimetrik taqsimlanishiga olib keladi, bu esa ν(C=O) asosiy tebranish chiziqlarining kuzatilgan parchalanishiga sabab bo‘ladi (1a-rasm). Ushbu chiziqlarning joylashuvi va nisbiy intensivligi kalий sianurati va boshqa ishqor metallari sianurat tuzlarining ma’lumotlariga yaxshi mos keladi. Muhimi shundaki, C=O chastotalari sianurat ionlari uchun tipik diapazonda qoladi va molekulyar komplekslarda kuchli vodorod bog‘lari hosil bo‘lishiga xos bo‘lgan sezilarli qizil siljishni (odatda 10–30 sm^{-1}) ko‘rsatmaydi[3].

Fosfat guruhiga tegishli tebranishlar spektrning “barmoq izi” deb ataladigan hududida ustunlik qiladi. 1243 sm^{-1}, 1079 $см^{-1}$, 968 $см^{-1}$ va 549 $см^{-1}$ chastotalarda kuzatilgan chiziqlar mos ravishda P=O, P–O(H), P–O^- bog‘lari va PO_4^{3-} ionining deformatsion tebranishlariga to‘g‘ri keladi. Ushbu chiziqlar chastotasi kalий gidrofosfat ($KHPO_4$) va kalий fosfat (K_3PO_4) ma’lumotlariga yaxshi mos keladi. P=O bog‘ining valent tebranish chizig‘i taxminiy joylashuvi va intensivligi 1240 $см^{-1}$ atrofida bo‘lib, kutilgan natijaga mos keladi. Ushbu chiziqda sezilarli siljishlarning mavjud emasligi, fosfat guruhlari ishtirokida “sianur kislota–fosfat kislota” molekulyar kompleksining hosil bo‘lmasligini tasdiqlaydi.



1-rasm. Infraqizil (IQ) spektrlari: (a) sianur kislotasi; (b) o‘zaro ta’sir natijasida hosil bo‘lgan mahsulot.

Sianur kislota va H_3PO_4 o‘rtasidagi molekulyar o‘zaro ta’sir natijasida hosil

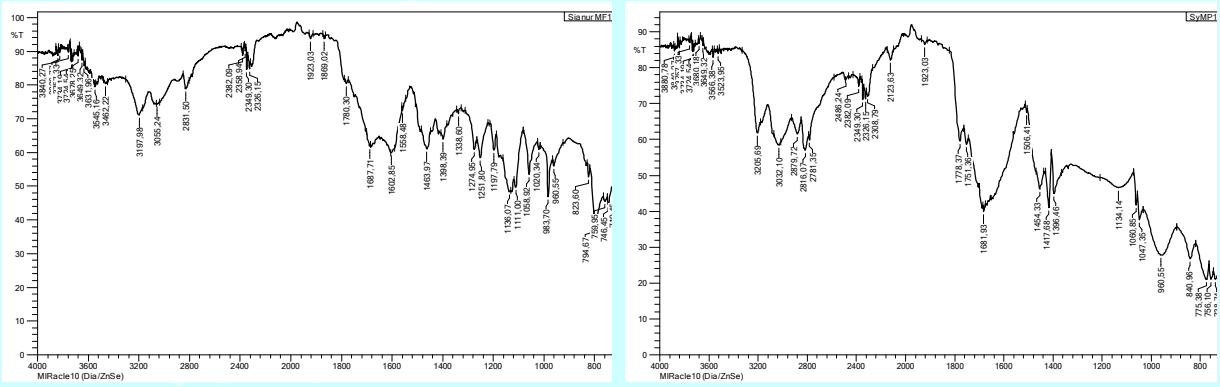
ISSN 3030-3907

bo‘lishi mumkin bo‘lgan yangi koherent yutilish chiziqlari yoki past chastotali siljishlarning mavjud emasligi shuni ko‘rsatadiki, ajratilgan kristall modda tipik molekulyar kompleks emas, balki sianurat va ortofosfat kaliy tuzlarining ionik tarzda ajratilgan aralashmasidir.

Sianur kislota va metafosfor kislotasi o‘rtasidagi spektrlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, 3545,16 $см^{-1}$ va 3462,22 $см^{-1}$ chastotalardagi yuqori chastotali chiziqlar H_2O molekulalari yoki gidroksil guruhlari (-OH) mavjudligini bildiradi. 3198–2831 $см^{-1}$ diapazonda esa to‘rt keng chiziq kuzatiladi, ular ikkilamchi aminning NH guruhlarining assimetrik va simmetrik valent tebranishlariga mos keladi. Chiziqlarning keng shakli ikki komponentning (>N–H, C=O, HO–PO_2) guruhlari ishtirokidagi molekulyar vodorod bog‘lari bilan bog‘liq bo‘lib, 2150–1890 $см^{-1}$ diapazonda kuzatilgan zaif chiziqlarning paydo bo‘lishi bilan tasdiqlanadi.

1780,3 $см^{-1}$ va 1687,71 $см^{-1}$ dagi chiziqlar turli tabiatga ega bo‘lgan karbonil guruhlarining (>C=O…HO–PO_2) mavjudligidan dalolat beradi. Geterosiklning laktim/laktam shakllari esa 1602,85 $см^{-1}$ dagi halqa tebranishlari orqali namoyon bo‘ladi. 1463,97 ва 1398,39 $см^{-1}$ chastotalardagi dubletlar C–N / C=N bog‘larining simmetrik tebranishlariga mos keladi, 1058 $см^{-1}$ dagi qo‘shimcha chiziq esa triazin geterosikli guruhiga mansubdir (2a-rasm).

1274,95; 1251,80 va 1197,74 $см^{-1}$ dagi chiziqlar metafosfat guruhining ν(P-O) tebranishlariga mos keladi. 983,70 va 960,55 $см^{-1}$ dagi ν(P=O) dubleti esa strukturaning chiziqli yoki siklik tabiatga ega bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. 759,95; 719,45 va 669,3 $см^{-1}$ da kuzatilgan δ(O–P=O) hamda δ(O=P=O) egilish tebranishlari PO_3^- guruhlarida yuzaga kelgan struktura buzilishlari (deformatsiyalar) mavjudligidan dalolat beruvchi dubletlarni hosil qiladi.



2-rasm. IQ spektrlari: a) sianur kislotasi va metafosfat kislotasining 1:1 molyar nisbatdagi o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘lgan birikma; b) sianur kislotasi va metafosfat kislotasining 1:3 molyar nisbatdagi o‘zaro ta’siri natijasida hosil bo‘lgan birikma.

(1:1=$C_3H_3N_3O_3$:HPO_3) tarkibiga mos keluvchi ikkinchi birikmaning spektri ν(OH) va ν(NH) tebranishlarining yuqori chastota sohasiga siljishini

ISSN 3030-3907

(ν(NH)=3205,69 sm^{-1}) hamda 3032,10 sm^{-1}, 2879,72 sm^{-1}, 2486,24 sm^{-1} va 2308,79 sm^{-1} da yangi yutilish chiziqlarining paydo bo‘lishini namoyon qiladi. 2123,63 sm^{-1} dagi yutilish chizig‘i molekulalararo o‘zaro ta’sirlarning yuzaga kelganini tasdiqlaydi.

Sianur kislotasi–HPO_3 tizimida ν(C=O) va ν(P-O) polosalarining past chastotali siljishlari, boshlang‘ich moddalarnikidan farq qiluvchi tuzilishga ega bo‘lgan molekulyar kompleks hosil bo‘lganini ko‘rsatadi[7].

Xulosalar

IQ-spektral tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, berilgan reaksiya sharoitida ajratib olingan qattiq modda maqsadli molekulyar kompleks emas; u sianurat va fosfat anionlarining strukturaviy jihatdan mustaqil tuzlari aralashmasidan iborat. Bu holat spektrda yangi koherent chiziqlarning yo‘qligi hamda P=O, P–O va C=O bog‘lari tebranishlarining sezilarli siljimaganligi bilan tasdiqlanadi.

Suvli (etanolli) muhitda, ishqoriy sharoitda sintez qilingan yangi addukt esa sianur kislotasi va metafosfor kislotasi o‘rtasida vodorod bog‘lari orqali barqarorlashgan tizimdir. FTIR spektroskopiyasi O–H, P=O, C=O va C–N bog‘lari tebranishlarida kuzatilgan xarakterli siljishlar orqali adduktning shakllanganini yaqqol tasdiqlaydi. O‘zaro ta’sirlashuv >C=O hamda H–O–PO_2 guruhlari ishtirokidagi vodorod bog‘lari orqali kechadi, bunda elektron zichligining qisman qayta taqsimlanishi sianur kislotasining triazin karkasiga ma’lum darajada ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu natijalar triazin–fosfat tizimlarida vodorod bog‘lanishlarining shakllanish mexanizmini yoritib beradi va supramolekulyar kimyo, kataliz hamda ilg‘or materiallar kimyosida muhim nazariy asos yaratadi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda sintez qilingan adduktning termik barqarorligi, kristallografik xususiyatlari (XRD) hamda biomateriallar va nanotexnologiyalardagi potensial qo‘llanish imkoniyatlari chuqurroq o‘rganilishi rejalashtirilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Horacek H. ATP bioproduktlari, shuningdek DNK va intumessent olovdan himoyalovchi qo‘shimchalardagi fosforning umumiy xususiyatlari va noyob roli // *Open Access Library Journal*. – 2024. – T. 11. – № 7. – B. 1–29.

2. Gao C. va boshqalar. Fosfor kislotasi bilan legirlangan, gipertarmoqlangan bog‘lovchi imidazol guruhlari asosidagi yuqori haroratga chidamli proton o‘tkazuvchi membranalar uchun polibenzimidazolning sintezi va xossalari // *Polymers*. – 2020. – T. 12. – № 3. – 515-bet.

3. Zulkefeli M. va boshqalar. Bis(Zn^{2+}-cyclen), sianur kislotasi va mis asosida suvda hosil bo‘lgan supramolekulyar fosfataza yordamida fosfat monoefirining selektiv gidrolizi // *Inorganic Chemistry*. – 2011. – T. 50. – № 20. – B. 10113–10123.

ISSN 3030-3907

4. Silverstein R. M., Webster F. X., Kiemle D. J., Bryce D. L. *Organik birikmalarni spektrometrik aniqlash*. – 8-nashr. – Nyu-York: Wiley, 2014. – 512 b.
5. Desiraju G. R. Kristallar injiniringida kompleks yondashuv // *Accounts of Chemical Research*. – 2002. – T. 35. – B. 565–573.
6. Braga D., Grepioni F. Kristallar injiniringida intermolekulyar o‘zaro ta’sirlar // *Chemical Reviews*. – 1998. – T. 98. – B. 1375–1406.
7. Aslonova F. S., Mardonov U. M., Ganiev B. Sh., Kholikova G. K. Sianur kislotasi va metafosfor kislotasi adduktsining sintezi va IK-spektr tahlili // *Problems of Chemical Science, Its Application in Industry and Green Technologies* xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. 18–19 aprel 2025. – Namangan. – B. 680–682.
8. Ganiev B. Sh., Kholikova G. K., Aslonova F. S. Sianur kislotasi mono-, di-, tri-mochevina almashgan hosilalarining IK-spektri // *Kimyo tovarlari va xalq tabobati muammolari va istiqbollari* IX xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari. 15–16 sentabr 2022. – B. 161–164.
9. Taga T., Sato T., Kobayashi M. Molekulyar kristallardagi vodorod bog‘lari tuzilmalari // *Journal of Molecular Structure*. – 2008. – T. 875. – B. 102–110.
10. Boldyreva E. V. Organik kristallar mexanokimyosi // *Chemical Society Reviews*. – 2010. – T. 39. – B. 4433–4444.
11. Nishikiori H., Kobayashi M., Fujii T. Vodorod bog‘lanishi va tebranish xususiyatlari // *Vibrational Spectroscopy*. – 2014. – T. 70. – B. 68–74.
12. Amrullaev A., Boltaeva S., Rashitova S., Ganiev B. Sianur kislotasi asosida urea-formaldegid oligomer(lar)i sorbentlarining sintezi va sorbsion xossalari // *BIO Web of Conferences*. – 2024. – T. 130. – P. 06004. – EDP Sciences.
13. Ganiev B. Sh., Aslonova F. S. Sianur kislotasi semikarbazonining DFT-hisoblari // *Journal of Science, Research and Teaching*. – 2023. – T. 2. – № 5. – B. 70–77.
14. Ganiev B. Sh., Aslonova F. S. Sianur kislotasi semikarbazonining global deskriptorlari va reaktivligi (DFT) bo‘yicha tadqiqotlar // *Journal of Science, Research and Teaching*. – 2023. – T. 2. – № 5. – B. 124–133.
15. Steiner T. // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2002. – T. 41. – B. 48–76.

ISSN 3030-3907