

## ORGANIK KIMYODA BIOFAOL MODDALAR SINTEZI

Raximberdiyeva Umidaxon Ravshanbek qizi

Qo'qon universiteti andijon filiali 2-kurs talabasi

E-mail: [umidaraximberdiyeva@gmail.com](mailto:umidaraximberdiyeva@gmail.com)

Tel: +998884541606

Mamatkulova O'g'ilxon Odilovna

Qo'qon universiteti andijon filiali Umumiy kimyo kafedrası dotsenti

E-mail: [mamatkulovaogilxon.@gmail.uz](mailto:mamatkulovaogilxon.@gmail.uz)

Tel: +998 911760818

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20225918>

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada organik kimyoda biofaol moddalar sintezi muammosining zamonaviy holati va tibbiyot amaliyoti uchun ahamiyati tizimli tahlil qilinadi. Tadqiqot maqsadi dori nomzodlari sifatida ko'riladigan gibridd tuzilmalarni yaratishda qo'llaniladigan asosiy sintetik strategiyalarni, ularning mexanistik asoslarini hamda laboratoriya sharoitida takrorlanadigan metodologik protokollarni asoslashdan iborat. Metodologiya sifatida retrosintetik tahlil, reaksiya mexanizmlarini baholash, tuzilma-faollik bog'liqligi yondashuvi, shuningdek, "yashil kimyo" mezonlari bo'yicha jarayonlarni optimallashtirish qabul qilindi. Ilmiy yangilik sifatida farmakofor fragmentlarni bir molekulada birlashtirish, selektiv funkcionallash, regio va stereokimyoviy boshqaruv hamda sintetik bosqichlar sonini kamaytirish orqali hosildorlikni oshirish konsepsiyasi asoslab beriladi. Amaliy jihatdan maqolada reaksiyon sharoit tanlovi, katalizator, erituvchi va tozalash usullarining biofaollikni saqlashga ta'siri ko'rsatib beriladi.

**Kalit so'zlar.** biofaol modda; organik sintez; farmakofor; kataliz; tuzilma-faollik; yashil kimyo; stereoselektivlik

**Аннотация.** В статье выполнен системный анализ современного состояния синтеза биологически активных веществ в органической химии и его значения для медицинской практики. Цель исследования заключается в обосновании ключевых синтетических стратегий создания гибридных структур, рассматриваемых как кандидаты лекарственных средств, с акцентом на механистические основы и воспроизводимые лабораторные протоколы. Методология включает ретросинтетический анализ, оценку механизмов реакций, подход «структура активность», а также оптимизацию процессов по критериям «зеленой химии». Научная новизна состоит в аргументации концепции объединения фармакофорных фрагментов в одной молекуле, селективной функционализации, управлении регио и стереохимией и повышении выходов за счет сокращения числа стадий синтеза. Практическая значимость связана с показом влияния выбора условий реакции, катализатора, растворителя и методов очистки на сохранение биологической активности целевых соединений.

**Ключевые слова.** биологически активное вещество; органический синтез; фармакофор; катализ; структура активность; зеленая химия; стереоселективность

**Abstract.** This paper provides a systematic analysis of the current state of bioactive compound synthesis in organic chemistry and its relevance to medical practice. The aim is to substantiate key synthetic strategies for designing hybrid molecular architectures considered as drug candidates, with emphasis on mechanistic rationales and reproducible laboratory

workflows. The methodology relies on retrosynthetic planning, evaluation of reaction mechanisms, structure activity relationship principles, and process optimization under green chemistry criteria. Scientific novelty is articulated through the concept of integrating multiple pharmacophoric fragments within a single scaffold, applying selective functionalization, controlling regio and stereochemistry, and improving overall yields by reducing step count. Practical significance is demonstrated by outlining how reaction conditions, catalysts, solvents, and purification techniques affect the integrity of bioactive motifs and the preservation of biological potency. The study highlights scalable, analytically verifiable approaches that facilitate translation from bench synthesis to early pharmaceutical development.

**Keywords.** bioactive compound; organic synthesis; pharmacophore; catalysis; structure activity relationship; green chemistry; stereoselectivity

**Introduction.** Biofaol moddalar sintezi organik kimyoning tibbiyot bilan bevosita tutashgan yo'nalishi bo'lib, u kasalliklarni davolash va diagnostika qilish uchun zarur bo'lgan kichik molekular agentlarni maqsadli yaratish jarayonini anglatadi. Bu yo'nalishning mexanizmi shundan iboratki, molekula tuzilishidagi funksional guruhlar va stereokimyoviy konfiguratsiya biologik nishonlar bilan o'zaro ta'sir energiyasini belgilaydi, natijada selektivlik, kuch, toksiklik va farmakokinetik ko'rsatkichlar shakllanadi. Masalan, aromatik halqa va amid bog'i kombinatsiyasi ko'pincha oqsil cho'ntaklarida vodorod bog'lanishlari va pi pi o'zaro ta'sirlar orqali mustahkam komplekslar beradi, bu esa ferment inhibitirlari sinfining ko'plab vakillarida uchraydi. Farmatsevtik bozor tahlillarida kichik molekular dori vositalari ulushi yuqoriligicha qolayotgani, klinik nomzodlarning sezilarli qismi heterotsiklik skeletlarga tayangani va ko'p bosqichli sintezning umumiy chiqimi ko'pincha 10–30 foiz diapazonda shakllanishi qayd etiladi, bu esa samarador jarayonlar izlanishini kuchaytiradi. Ilmiy jihatdan dolzarblik molekulyar dizayn, kataliz va analitik nazoratning uyg'unlashuvi orqali "tez sintez tez sinov" siklini qisqartirish, hamda biofaollikni oshirish bilan birga ekologik yuklamani kamaytirish zaruratidan kelib chiqadi [1; 4].

Organik kimyoda biofaol moddalar sintezi bo'yicha zamonaviy adabiyotlarda ikki asosiy yondashuv ustun: maqsadga yo'naltirilgan sintez va diversifikatsion sintez, ularning farqi dizayn falsafasi va kutubxona hajmi bilan belgilanadi. Mexanizm nuqtai nazaridan maqsadga yo'naltirilgan sintez aniq farmakofor modeliga mos molekularni bosqichma bosqich yig'ishni ko'zlasa, diversifikatsion sintez umumiy oraliq skeletdan turli substituentlar kiritish orqali yuzlab analoglarni tez yaratishga tayanadi. Masalan, bitta bromlangan aromatik oraliqdan Suzuki yoki Buchwald Hartwig kuplashi orqali turli aril yoki amin substituentlar qo'shib, bir xil yadro atrofida analoglar qatori olinadi. Amaliy ko'rsatkich sifatida palladiy katalizli kuplashlarda laboratoriya miqyosida 60–90 foiz gacha hosil qayd etilishi mumkin, biroq qimmat katalizator va metall qoldiqlari nazorati ishlab chiqarish bosqichida qo'shimcha xarajat keltiradi. Ilmiy izoh shundan iboratki, yuqori hosildorlikning o'zi yetarli emas, chunki biofaol modda uchun kimyoviy tozalik, stereokimyoviy bir xillik, izomerlar nisbati va qoldiq metall miqdori farmakopeya talablari bilan cheklanadi, bu esa metod tanlovini faqat sintetik qulaylik emas, balki regulyator moslik bilan ham bog'laydi [2; 6].

Tadqiqot muammosi sifatida biofaol molekularlarning ko'p funksional guruhlarga egaligi tufayli kimyoviy selektivlikni ta'minlash, bosqichlar sonini kamaytirish va yakuniy mahsulotning biologik mosligini saqlash masalasi turadi. Mexanizm darajasida bu muammo

himoya guruhlarini strategiyasi, kimyoviy moslik oynasi, reaktivlikning nozik farqlari hamda erituvchi va katalizatorning mikro-muhit ta'siri bilan bog'lanadi. Masalan, amin va fenol guruhlarini bir molekulada bir vaqtning o'zida alkillash rejalashtirilsa, noto'g'ri sharoitda O-alkillash yoki N-alkillash raqobati yuzaga keladi va aralashma hosil bo'ladi. Statistik kuzatuvlarda ko'p funktsiyali sintez yo'llarida himoya-dehimoya bosqichlari umumiy bosqichlarning 30–50 foizigacha ulushni egallashi, bu esa E-faktorni oshirishi va vaqtni uzaytirishi ko'rsatiladi. Ilmiy nuqtai nazardan, selektivlik muammosini yechish uchun kimyoviy kinetika, HSAB konsepsiyasi, hamda katalitik markazlarning ligand muhitini boshqarish kabi fundamental yondashuvlar zarur, shuning uchun maqolada aynan mexanistik asoslangan strategiyalar markazga qo'yiladi [3].

Ushbu maqolaning maqsadi organik kimyoda biofaol moddalar sintezi uchun qo'llaniladigan ustuvor strategiyalarni IMRAD mantiqida tizimlashtirish, metod tanlovini ilmiy asoslash va natijalarni tibbiy ixtisoslik 14.00.17 doirasidagi biomolekulyar ta'sir kontekstida talqin qilishdan iborat. Mexanizm jihatdan maqsad retrosintez orqali farmakofor fragmentlarni optimal ulash nuqtalarini tanlash, selektiv funkcionallash yo'llarini ajratish va analitik nazorat bilan tasdiqlash jarayonlariga tayangan. Misol sifatida azotli heterotsikl yadroga amid yoki sulfonamid "tutqich" orqali aromatik fragment biriktirish, so'ngra periferik substituentlarni kech bosqichda diversifikatsiya qilish konsepsiyasi olinadi. Miqdoriy mezon sifatida bosqichlar sonini 8–10 dan 4–6 gacha qisqartirish, umumiy chiqimni 2–3 baravar oshirish hamda erituvchi sarfini kamaytirish kabi ko'rsatkichlar maqsadli indikatorlar sifatida qabul qilinadi. Ilmiy yangilik shundaki, sintez dizayni biofaolligni faqat yakuniy test natijasi sifatida emas, balki sintez davomida saqlanadigan nozik strukturaviy parametrlar majmuasi sifatida ko'radi va bu yondashuvni mexanistik dalillar bilan mustahkamlaydi [5].

**Materials and Methods.** Mazkur tadqiqotda "materiallar" sifatida organik sintezda keng qo'llanadigan farmakofor sinflari va reaksiyon platformalar konseptual model sifatida tanlandi, chunki maqola laboratoriya protokollarini real sharoitga mos tushuntirishni ko'zlaydi. Mexanizmni ochib berish uchun retrosintetik tahlil birlamchi usul sifatida qo'llanib, maqsadli molekulalar C–C va C–N bog'larining hosil bo'lishi, oksidlanish-qaytarilish, atsillanish hamda halqalash bosqichlariga ajratildi. Masalan, umumiy skelet sifatida indol, benzotriazol, imidazol yoki piridin yadrolariga ulangan amid, urea yoki sulfonamid fragmentlari ko'rib chiqildi, chunki bunday tuzilmalar ko'plab biofaol sinflarda uchraydi. Miqdoriy jihatdan jarayon samaradorligi uchun atom iqtisodiyligi, E-faktor, bosqichlar soni, har bir bosqich hosili va umumiy hosil ko'rsatkichlari tanlab olindi, bunda E-faktor 25 dan past bo'lishi laboratoriya darajasida "yaxshilangan" amaliyot mezoni sifatida qabul qilindi. Ilmiy izoh sifatida, bu indikatorlar "yashil kimyo" tamoyillariga mos ravishda nafaqat chiqimni, balki chiqindi oqimini va tozalash yukini ham baholashga imkon beradi [4].

Metodik yondashuv sifatida reaksiya mexanizmlarini baholashda elektron effektlar, oraliq komplekslar barqarorligi va kinetik nazorat hamda termodinamik nazorat farqi asosiy tushuntiruvchi o'lchovlar sifatida ishlatildi. Mexanizm darajasida, masalan, nukleofil almashinish reaksiyalarida SN2 yo'li sterik to'siq va erituvchi tabiatiga sezgir bo'lsa, aromatik nukleofil almashinish SNAr yo'li elektron tortuvchi guruhlar bilan faollashgan halqalarda ustun bo'lishi ko'rsatildi. Misol sifatida 4-ftor nitrobenzolda amin bilan SNAr orqali C–N bog' hosil qilish, so'ng nitro guruhni qaytarib anilin hosil qilish va undan keyin atsillash orqali amid

sintezi ketma-ketligi olinadi. Raqamlar bilan ifodalanganda, SNAr bosqichida 70–85 foiz, qaytarish bosqichida 80–95 foiz, atsillash bosqichida 75–90 foiz hosil kuzatilishi mumkin, biroq umumiy hosil bosqichlar ko‘payishi bilan geometrik kamayishi metod tanlovini keskin muhim qiladi. Ilmiy izoh shundan iboratki, mexanistik tushuncha reaktivlik oynasini oldindan bashorat qilishga yordam beradi va himoya guruhlariga ehtiyojni kamaytiradi, bu esa biofaol modda sintezida tezkor optimallashtirishni ta‘minlaydi [1; 6].

Analitik nazorat va tuzilmani tasdiqlash metodlari sifatida  $^1\text{H}$  NMR va  $^{13}\text{C}$  NMR, IR spektri, yuqori aniqlikdagi massa spektrometriyasi hamda yupqa qatlamli xromatografiya konseptual “standart paket” sifatida qabul qilindi. Mexanizm nuqtai nazaridan analitik usullar reaksiya tugallanishi, yon mahsulotlar profili va izomerlar nisbatini aniqlash orqali selektivlikni boshqarish vositasi bo‘lib xizmat qiladi, ya‘ni analitika sintezning passiv yakuni emas, balki faol boshqaruv elementidir. Masalan, amid hosil bo‘lishida IR spektrida  $\text{C}=\text{O}$  cho‘zilish tebranishi odatda 1650–1700  $\text{cm}^{-1}$  atrofida paydo bo‘lishi, NMRda esa amid NH signali past maydonga siljishi kutiladi, bu belgilar mexanistik to‘g‘rilikni tasdiqlaydi. Statistik ko‘rsatkich sifatida, laboratoriya amaliyotida tozalashning 1–2 martalik qayta kristallanish yoki kolonkali xromatografiya bilan bajarilishi yakuniy tozalikni ko‘pincha 95 foizdan yuqoriga olib chiqishi mumkin, ammo jarayon masshtablashda erituvchi sarfini keskin oshirishi ehtimoli bor. Ilmiy izoh sifatida, biofaol moddalarda izomerik aralashmalar biologik natijani buzishi mumkinligi sababli, analitik tasdiqning chuqurligi farmakologik talqinning ishonchliligini belgilaydi va shuning uchun metodologik qismda analitik kriteriyalar alohida o‘rin egallaydi [2].

**Results.** Tadqiqot natijalari organik sintezda biofaol modda yaratishning uch asosiy konseptual yo‘lini ajratib ko‘rsatdi: farmakofor gibridizatsiyasi, kech bosqichli funkcionallash va modulli kuplash reaksiyalariga tayangan diversifikatsiya. Mexanizm jihatdan farmakofor gibridizatsiyasi ikki yoki undan ortiq biofaol fragmentni bitta skeletda “tutqich” orqali ulashni anglatadi, bunda tutqich sifatida amid, urea, sulfonamid yoki triazol ko‘priklari ishlatiladi. Misol tariqasida azotli heterotsikl yadroga sulfonamid orqali aromatik fragment ulash va keyin periferik pozitsiyada alkoksi yoki amin substituent kiritish orqali lipofillikni boshqarish sxemasi tasvirlandi. Miqdoriy natijalar sifatida, modulli yondashuvda analoglar sonini 10–20 ta darajasida qisqa muddatda olish mumkinligi, kuplash bosqichlarida o‘rtacha hosil 75–85 foiz atrofida shakllanishi va umumiy bosqichlar 5–6 tadan oshmasligi jarayon samaradorligini ko‘rsatdi. Ilmiy izoh shundan iboratki, gibridizatsiya yondashuvi biofaollikni ko‘paytirishi mumkin, chunki bir molekula bir nechta o‘zaro ta‘sir nuqtasini ta‘minlaydi, biroq ortiqcha molekulyar og‘irlik va polar sirt maydoni oshishi farmakokinetik cheklovlarga olib kelishi ham qayd etildi.

Natijalarda selektivlikni oshirishning amaliy mexanizmlari sifatida chemoselektiv reagentlar, yumshoq kataliz sharoitlari va erituvchi muhitini boshqarish muhimligi ajratib ko‘rsatildi. Mexanizm darajasida, masalan, C–N bog‘ hosil qilishda kuchli asos va yuqori harorat yon reaksiyalarni kuchaytirsa, ligand bilan barqarorlashtirilgan katalitik tizimlar pastroq haroratda kerakli yo‘lni tezlashtirishi mumkinligi ko‘rsatildi. Misol sifatida aril galogenidlarni aminlar bilan bog‘lashda klassik sharoitlar o‘rniga katalitik kuplash tanlanganda, substrat doirasining kengayishi va funksional guruhlar tolerantligi oshishi qayd etildi. Raqamli ko‘rsatkich sifatida funksional guruh tolerantligi sharoitida himoya guruhlariga ehtiyoj 2–3 bosqichga kamayishi, natijada umumiy hosilning 1,5–2 baravar yaxshilanishi konseptual

ravishda hisob-kitob qilindi. Ilmiy izoh shundan iboratki, selektivlikni oshirish biomolekulyar sinovlarda “noto’g’ri manba” muammosini kamaytiradi, ya’ni kuzatilgan biofaollik maqsadli molekulaga tegishli bo’lish ehtimoli ortadi va bu natijalarning reproduktivligini kuchaytiradi.

Tadqiqot “yashil kimyo” nuqtai nazaridan jarayonlarni baholash natijasida erituvchi tanlovi va bosqichlar soni ekologik ko’rsatkichlarda hal qiluvchi rol o’ynashini ko’rsatdi. Mexanizm jihatdan erituvchi reaktivlikni solvatsiya orqali boshqaradi, shu bilan birga tozalash jarayonlarida sarf bo’ladigan resurslar hajmini belgilaydi, demak, erituvchi tanlovi kinetik samaradorlik va ekologik izning qo’shma funksiyasidir. Misol sifatida xlorlangan erituvchilardan voz kechib, etanol, etil atsetat yoki 2-MeTHF kabi nisbatan maqbul muqobilarga o’tish, shuningdek, mikrotolqinli isitish yoki oqim reaktorlaridan foydalanish orqali vaqtni qisqartirish yo’llari ko’rsatildi. Miqdoriy bahoda, erituvchi almashtirish va qayta ishlatish amaliyoti laboratoriya chiqindilarini 20–40 foiz kamaytirishi, oqim texnologiyasi esa reaksiyon vaqtni bir necha soatdan daqiqalarga tushirishi mumkinligi konseptual natija sifatida keltirildi. Ilmiy izoh shundan iboratki, biofaol modda sintezi ko’pincha seriya sinovlari uchun ko’p miqdorda analoglar talab qilgani sababli, ekologik optimallashtirish ilmiy etikaga va iqtisodiy samaradorlikka bir vaqtda xizmat qiladi.

Quyidagi jadvalda biofaol moddalar sintezida keng tarqalgan bog’ hosil qilish strategiyalari taqqoslandi, bunda ta’rif, mexanistik xususiyat, amaliy misol, kutiladigan hosildorlik diapazoni va ilmiy izoh birlashtirildi. Mexanizmga asoslangan bunday taqqoslash strategik tanlovni tezlashtiradi va metodni “odatiy” emas, “asoslangan” qarorga aylantiradi. Misol va raqamlar umumiy laboratoriya tajribalaridan olinadigan tipik diapazon sifatida berildi, chunki maqsad metodologik yo’l-yo’riqni strukturalashdir. Ilmiy izoh ustuni esa biofaol molekulalardagi funksional guruhlar tolerantligi, izomer nazorati va masshtablashga moslikni tushuntirishga xizmat qiladi. Natijada jadval sintez rejasini tuzishda tezkor referens sifatida ishlaydi va ixtisoslik 14.00.17 doirasida dori nomzodlari dizaynini qo’llab-quvvatlaydi.

**Jadval.** Biofaol modda sintezida asosiy reaksiyon strategiyalar taqqoslanishi

Strategiya nomi: Ta’rif; Mexanizm; Misol; Odatdagi hosil, foiz; Ilmiy izoh

Atsillanish: Amid yoki ester bog’i hosil qilish; nukleofil almashinish orqali acil transfer;  $R-COCl + R'-NH_2 \rightarrow R-CONHR'$ ; 75–90; yuqori ishonchlilik beradi, ammo acil xloridlar namlikka sezgir va yon tuzlar chiqindi oshiradi

SNAr: Faollashgan aromatik halqada nukleofil almashinish; Meisenheimer oraliq kompleks;  $4-F-C_6H_4-NO_2 + RNH_2 \rightarrow 4-NHR-C_6H_4-NO_2$ ; 70–85; elektron tortuvchi guruhlar talab qilinadi, selektivlik yaxshi, metall qoldig’i yo’q

Kuplash (Pd-kataliz): C–C yoki C–N bog’larni katalitik biriktirish; oksidlovchi qo’shilish va reduktiv eliminatsiya;  $Ar-Br + Ar'-B(OH)_2 \rightarrow Ar-Ar'$ ; 60–90; keng substrat doirasi bor, lekin qimmat katalizator va metall qoldig’i nazorati zarur

**Klik reaksiyasi:** Triazol ko’prigi orqali modulli ulash; 1,3-dipolyar sikloqo’shilish;  $R-N_3 + R'-C\equiv CH \rightarrow$  triazol; 80–95; bioortogonal xarakteri bor, gibrid molekulalar uchun qulay, ammo azid xavfsizligi muhim

Kimyoviy formulalar va umumiy tenglamalar natijalarni strukturalash uchun minimal ko’rinishda keltirildi, chunki biofaol sintez ko’pincha bog’ hosil qilish tiplariga tayangan holda rejalashtiriladi. Mexanizmni yoritish uchun amid hosil bo’lishi  $R-COOH + H_2N-R' \rightarrow R-CONH-R' + H_2O$  ko’rinishida umumiyashtirildi, bunda amaliyotda suv ajralishini haydovchi reagentlar

yoki aktivatorlar qo'llanishi ma'lum. Misol sifatida karboksil kislota va aminni biriktirishda coupling reagentlar ishlatilganda yon mahsulotlar ko'payishi, biroq yumshoq sharoitda sezgir farmakoforlar saqlanishi qayd etiladi. Raqamlar bilan ifodalansa, coupling reagentli amidlanishlar ko'pincha 70–90 foiz diapazonda boradi, ammo tozalashda qo'shimcha 10–20 foiz mass yo'qotilishi sodir bo'lishi mumkin. Ilmiy izoh shundan iboratki, biologik testlar uchun zarur bo'lgan tozalik darajasiga erishish ko'pincha "kimyoviy hosil"dan ko'ra "izolyatsiya qilingan hosil"ni muhimroq qiladi, shuning uchun natijalarda aynan jarayon yakuniy bosqichlarining ahamiyati ko'rsatildi.

**Discussion.** Olingan natijalar biofaol moddalar sintezida mexanistik asoslangan modullik yondashuvi adabiyotlarda ta'kidlangan "tezkor analoglar qatori" konsepsiyasi bilan mos kelishini ko'rsatadi, biroq bizning tahlilda selektivlik va regulyator moslik omillari markaziy o'ringa chiqarildi [1; 5]. Mexanizm nuqtai nazaridan, kuplash va klik kabi reaksiyalar retrosintezda "ulash tuguni" vazifasini bajaradi, bu esa turli fragmentlarni minimal qayta rejalashtirish bilan birlashtirishga imkon beradi. Misol tariqasida triazol ko'prigi orqali bog'langan gibrid molekulalarda triazolning metabolik barqarorligi ba'zan afzallik bersa, boshqa holatlarda polar sirt maydoni oshib, hujayra membranasidan o'tish cheklanishi mumkinligi adabiyot bilan uyg'un talqin qilindi. Raqamli yondashuv sifatida cLogP, HBD va HBA ko'rsatkichlari, shuningdek, molekulyar og'irlikning 500 dalton atrofidagi "chegaraviy" qiymatlari sintez dizaynida amaliy mezon bo'lib xizmat qilishi, analoglar qatorida esa ushbu ko'rsatkichlarning tarqalishi kuzatilishi kerakligi muhokama qilindi. Ilmiy izoh shundan iboratki, organik sintezdagi "muvaffaqiyat" faqat hosil bilan emas, balki biologik tizimdagi transport va bog'lanish bilan ham belgilanadi, shuning uchun sintezni biofaollik mantig'idan uzib qo'yish metodologik xatoga olib keladi [6].

Natijalar "yashil kimyo" mezonlari bilan qiyoslanganda, bosqichlarni qisqartirish va erituvchi tanlovi ekologik va iqtisodiy samaradorlikni bir vaqtning o'zida yaxshilashi haqidagi umumiy ilmiy qarashni mustahkamladi, ammo amaliy cheklovlar ham aniqlandi [4]. Mexanizm jihatdan, masalan, suv yoki spirtlarda boradigan reaksiyalar ko'pincha ionik yo'llarni qo'llab-quvvatlasa-da, gidrofob substratlar uchun mass-transfer muammosi paydo bo'lishi mumkin, bu esa qo'shimcha surfaktant yoki faza ko'chirish katalizatorlarini talab qiladi. Misol sifatida mikroto'lqinli isitish reaksiyon vaqtini keskin kamaytirsa-da, issiqlik taqsimoti va masshtablash muammolari tufayli sanoatga ko'chirishda oqim reaktorlar ko'proq mos kelishi ta'kidlandi. Raqamlar nuqtai nazaridan, laboratoriyada 10–30 daqiqalik mikroto'lqinli protokollar o'rniga oqimda 1–5 daqiqalik residence time bilan barqaror konversiyaga erishish mumkinligi ko'rsatiladi, biroq uskuna kapital xarajatlari sezilarli bo'lishi ehtimoli ham mavjud. Ilmiy izoh shundan iboratki, biofaol moddalar sintezi "tezlik" va "barqarorlik" o'rtasidagi muvozanatni topishni talab qiladi, chunki biologik testlar uchun doimiy sifatdagi namuna oqimi metodning real qiymatini belgilaydi [2].

Muayyan ixtisoslik 14.00.17 kontekstida, ya'ni biomolekulyar jarayonlar va klinik yo'nalishlarga yaqin sohalarda, sintez natijalarining talqini biologik nishonlarning tabiatiga moslashtirilishi lozimligi muhokama qilindi. Mexanizm darajasida ferment inhibitori uchun elektrofildik "jangovar" markaz kerak bo'lishi mumkin, retseptor ligandlari uchun esa konformatsion moslashuv va vodorod bog'lari geometriyasi ustun bo'ladi, demak, sintezda funksional guruh joylashuvi va stereokimyo hal qiluvchi rol o'ynaydi. Misol sifatida kiral

markazga ega bo'lgan molekullarda enantiomerlarning biofaolligi keskin farq qilishi, shuning uchun asimmetrik kataliz yoki kiral ajratish strategiyasini dastlabki dizayn bosqichidayoq ko'zlash zarurligi keltirildi. Statistik jihatdan, kiral dori vositalarining sezilarli qismi bitta enantiomer sifatida bozorga chiqarilishi, enantiomerik ortiqcha qiymatning odatda 95 foizdan yuqori talab qilinishi amaliy standartlar mavjudligini eslatadi. Ilmiy izoh shundan iboratki, stereokimyoviy nazorat organik sintezning sof "texnik" masalasi emas, balki biologik xavfsizlik va samaradorlikning fundamental omilidir, shu sababli muhokamada stereoselektiv yondashuvlar alohida urg'u bilan yoritildi [3].

Tadqiqotning cheklovlari sifatida, birinchidan, ko'rib chiqilgan hosildorlik diapazonlari umumiy laboratoriya tajribalariga tayangan konseptual baho ekanligi, ikkinchidan, aniq biofaollik qiymatlari keltirilmagani sababli SAR xulosalari metodologik darajada qolishi, uchinchidan, masshtablash uchun zarur bo'lgan texnik-iqtisodiy ma'lumotlar to'liq modellashmaganini qayd etish mumkin. Mexanizm nuqtai nazaridan, bu cheklovlar shuni anglatadiki, bir xil reaksiya tur turli substratlarda turlicha kinetika va selektivlik beradi, demak, umumiy qoidalar har doim ham bevosita ko'chirilmaydi. Misol tariqasida elektron boy aromatik tizimlarda SNAr ishlamasligi, yoki kuplashda katalizator zaharlanishi sababli kutilgan hosilga erishilmasligi mumkinligi eslatildi. Raqamli ifodada, bitta "muammoli" bosqichdagi 20 foizlik yo'qotish umumiy hosilni bosqichlar soniga bog'liq ravishda 1,2–1,5 baravar pasaytirishi mumkin, bu esa dizayn bosqichida risklarni baholash zaruratini ko'rsatadi. Ilmiy izoh shundan iboratki, kelajak tadqiqotlari uchun yuqori o'tkazuvchanlikdagi sintez va avtomatlashtirilgan optimallashtirish, shuningdek, hisoblash kimyosi orqali reaktivlikni oldindan aytish yo'nalishlari metodologik bo'shliqlarni to'ldirishga xizmat qiladi [5].

**Conclusion.** Ushbu maqolada organik kimyoda biofaol moddalar sintezining dolzarb muammolari va ularni hal etishning mexanistik asoslangan strategiyalari IMRAD mantiqida tizimli bayon qilindi. Tadqiqot natijalari farmakofor gibridizatsiyasi, kech bosqichli funkcionallash va modulli kuplash reaksiyalari biofaol analoglar qatorini tez va nazoratli yaratishda eng samarali konseptual yo'llardan ekanini ko'rsatdi. Selektivlikni oshirishda mexanizmga tayangan sharoit tanlovi, funktsional guruh tolerantligi va analitik nazoratning integratsiyasi yakuniy mahsulot sifatini belgilovchi omil sifatida asoslandi. Jarayonlarni "yashil kimyo" mezonlari bo'yicha baholash bosqichlar sonini qisqartirish va erituvchi tanlovini optimallashtirish ekologik hamda iqtisodiy samaradorlikni birgalikda yaxshilashini umumlashtirdi. Stereokimyoviy boshqaruv va tozalik mezonlari biofaollik talqinining ishonchligini ta'minlaydigan fundamental talablar sifatida sintez dizayniga kiritilishi zarurligi yakuniy xulosa sifatida ifodalandi.

### Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Joule J. A., Mills K. Heterocyclic Chemistry. 5th ed. Chichester, Wiley, 2010. 768 p.
2. Carey F. A., Sundberg R. J. Advanced Organic Chemistry. Part B: Reactions and Synthesis. 5th ed. New York, Springer, 2007. 936 p.
3. March J., Smith M. B. March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure. 6th ed. Hoboken, Wiley, 2007. 2352 p.
4. Anastas P. T., Warner J. C. Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford, Oxford University Press, 1998. 152 p.

5. Trost B. M. Atom economy a challenge for organic synthesis: homogeneous catalysis leads the way. *Angewandte Chemie International Edition*. Weinheim, Wiley-VCH, 1995. P. 259–281.
6. Ермаков С. В., Киселев В. Д. *Органический синтез: методы и практикум*. Москва, Лаборатория знаний, 2019. 384 с.

