BIOTEXNOLOGIYANING ZAMONAVIY RIVOJLANISH TENDENSIYALARI VA AMALIY AHAMIYATI

Jumayeva Gulruh Tohirjon qizi
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti Tyutorlar faoliyatini muvofiqlashtirish va talabalar bilan manzili ishlash bo‘limi tyutori
jumayevagulruh00@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22979936

Annotatsiya. Mazkur maqolada biotexnologiyaning zamonaviy rivojlanish tendensiyalari va uning amaliy ahamiyati kompleks ravishda tahlil qilingan. Tadqiqotda genomika, gen muhandisligi, CRISPR/Cas texnologiyasi, sintetik biologiya, bioinformatika va sun’iy intellektning biotexnologik jarayonlar bilan integratsiyasi yoritilgan. Shuningdek, biotexnologiyaning tibbiyot, farmatsevtika, qishloq xo‘jaligi, oziq-ovqat sanoati va ekologiyada qo‘llanilish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Tahlil natijalari zamonaviy biotexnologiya fanlararo xususiyatga ega bo‘lib, biologik resurslardan samarali foydalanish, yangi biologik mahsulotlar yaratish, kasalliklarni diagnostika qilish va davolash, qishloq xo‘jaligi mahsuldorligini oshirish hamda ekologik muammolarni kamaytirishda muhim amaliy imkoniyatlarga ega ekanligini ko‘rsatdi. Shuningdek, sun’iy intellekt va biotexnologiya integratsiyasi kelajakdagi ilmiy tadqiqotlarning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida asoslangan.
Kalit so‘zlar: biotexnologiya, genomika, gen muhandisligi, CRISPR/Cas, sintetik biologiya, bioinformatika, sun’iy intellekt, biotibbiyot, bioremediatsiya.

Аннотация. В данной статье всесторонне анализируются современные тенденции развития биотехнологии и ее практическое значение. Исследование охватывает интеграцию геномики, генной инженерии, технологии CRISPR/Cas, синтетической биологии, биоинформатики и искусственного интеллекта с биотехнологическими процессами. Также рассматриваются потенциальные области применения биотехнологии в медицине, фармацевтике, сельском хозяйстве, пищевой промышленности и экологии. Результаты анализа показывают, что современная биотехнология является междисциплинарной и обладает значительным практическим потенциалом в эффективном использовании биологических ресурсов, создании новых биологических продуктов, диагностике и лечении заболеваний, повышении сельскохозяйственной продуктивности и снижении экологических проблем. Интеграция искусственного интеллекта и биотехнологии также признана одним из перспективных направлений будущих научных исследований.
Ключевые слова: биотехнология, геномика, генная инженерия, CRISPR/Cas, синтетическая биология, биоинформатика, искусственный интеллект, биомедицина, биоремедиация.

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of modern development trends in biotechnology and its practical significance. The study highlights the integration of

genomics, genetic engineering, CRISPR/Cas technology, synthetic biology, bioinformatics, and artificial intelligence with biotechnological processes. It also examines the potential applications of biotechnology in medicine, pharmaceuticals, agriculture, the food industry, and environmental science. The analysis demonstrates that modern biotechnology is interdisciplinary in nature and offers significant practical potential for the efficient use of biological resources, the creation of new biological products, disease diagnosis and treatment, increased agricultural productivity, and the mitigation of environmental problems. Furthermore, the integration of artificial intelligence and biotechnology is identified as a promising direction for future scientific research.

Keywords: biotechnology, genomics, genetic engineering, CRISPR/Cas, synthetic biology, bioinformatics, artificial intelligence, biomedicine, bioremediation.

Kirish. Bugungi kunda biotexnologiya biologiya, tibbiyot, farmatsevtika, qishloq xo‘jaligi, oziq-ovqat sanoati, ekologiya va axborot texnologiyalari bilan uzviy integratsiyalashib borayotgan fanlararo ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Biologik tizimlar, hujayralar, mikroorganizmlar va ularning molekulyar komponentlaridan amaliy maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarining kengayishi biotexnologiyaning zamonaviy fan va ishlab chiqarishdagi ahamiyatini sezilarli darajada oshirmoqda. Ayniqsa, genomika, gen muhandisligi, molekulyar biologiya va bioinformatikaning jadal rivojlanishi biologik jarayonlarni yuqori aniqlikda o‘rganish va boshqarish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda [1]. Zamonaviy biotexnologiyaning muhim xususiyatlaridan biri biologik jarayonlarning raqamli texnologiyalar bilan uyg‘unlashuvidir. Genomik ma’lumotlarning hajmi ortib borishi natijasida ularni qayta ishlash, tahlil qilish va biologik qonuniyatlarni aniqlashda bioinformatika hamda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish tobora kengaymoqda. Sun’iy intellekt asosidagi algoritmlar katta hajmdagi biologik ma’lumotlarni tahlil qilish, oqsil tuzilishini bashorat qilish, biologik faol molekulalarni aniqlash va yangi dori vositalarini izlash jarayonlarini optimallashtirish imkonini bermoqda [2]. Genom tahrirlash texnologiyalarining, xususan, CRISPR/Cas tizimlarining rivojlanishi ham biotexnologiyaning yangi bosqichini shakllantirdi. Mazkur texnologiya genetik materialning muayyan qismlarini nisbatan yuqori aniqlikda o‘zgartirish imkonini berishi sababli fundamental biologik tadqiqotlar bilan bir qatorda tibbiyot, farmatsevtika va qishloq xo‘jaligida ham keng tadqiq qilinmoqda [3]. Genom tahrirlashning rivojlanishi irsiy kasalliklarning molekulyar mexanizmlarini o‘rganish, yangi terapevtik yondashuvlarni ishlab chiqish hamda o‘simliklarning ayrim foydali xususiyatlarini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratmoqda.

Biotexnologiyaning yana bir istiqbolli yo‘nalishi sintetik biologiya hisoblanadi. Sintetik biologiya biologik tizimlarni muhandislik tamoyillari asosida loyihalash, qayta tashkil etish va yangi funksional xususiyatlarga ega biologik tizimlarni yaratishni nazarda tutadi. Ushbu yo‘nalish biologik mahsulotlar, farmatsevtik moddalar, fermentlar, biomateriallar va bioasosli kimyoviy birikmalarni ishlab chiqarish imkoniyatlarini kengaytirmoqda [4]. Sintetik biologiyaning sun’iy intellekt, avtomatlashtirish va robototexnika bilan integratsiyalashuvi esa biologik jarayonlarni loyihalash va optimallashtirishning yangi imkoniyatlarini yuzaga keltirmoqda [5]. Biotexnologiyaning amaliy ahamiyati, ayniqsa, tibbiyot va farmatsevtika sohalarida yaqqol namoyon bo‘lmoqda. Rekombinant oqsillar, monoklonal antitanalar, vaksinalar, hujayra va gen terapiyalariga asoslangan texnologiyalar zamonaviy tibbiy

biotexnologiyaning muhim yo‘nalishlarini tashkil etadi. Genomik tahlil esa kasalliklarni aniqlash, individual xavf omillarini baholash va ayrim holatlarda davolash strategiyasini tanlash uchun qo‘shimcha molekulyar ma’lumotlarni taqdim etmoqda [6].

Ekologik muammolarni hal etishda ham biotexnologik yondashuvlarning ahamiyati ortib bormoqda. Bioremediatsiya, oqova suvlarni biologik tozalash, organik chiqindilarni qayta ishlash va biogaz olish kabi texnologiyalar tabiiy resurslardan samarali foydalanish hamda atrof-muhitga tushadigan yuklamani kamaytirishga xizmat qilishi mumkin. Shu jihatdan biotexnologiya barqaror rivojlanish va bioiqtisodiyot konsepsiyalarini amalga oshirishning ilmiy-texnologik vositalaridan biri sifatida qaralmoqda [7]. Shu sababli biotexnologiyaning zamonaviy rivojlanish tendensiyalarini tizimli ravishda o‘rganish, yangi texnologiyalarning amaliy imkoniyatlarini aniqlash va ularni tibbiyot, qishloq xo‘jaligi, farmatsevtika, ekologiya hamda sanoat ishlab chiqarishiga samarali joriy etish mexanizmlarini tadqiq qilish dolzarb ilmiy masalalardan biridir. Mazkur maqolada zamonaviy biotexnologiyaning asosiy rivojlanish yo‘nalishlari, ularning amaliy ahamiyati va istiqbollari kompleks tahlil qilinadi.

Adabiyotlar tahlili. Biotexnologiyaning zamonaviy rivojlanish tendensiyalarini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy adabiyotlar tahlili ushbu sohaning an’anaviy biologik jarayonlardan yuqori texnologiyali, raqamlashtirilgan va fanlararo tizimga aylanganligini ko‘rsatadi. Zamonaviy tadqiqotlarda biotexnologiya genomika, molekulyar biologiya, gen muhandisligi, sintetik biologiya, bioinformatika, sun’iy intellekt va avtomatlashtirish kabi yo‘nalishlar bilan o‘zaro integratsiyada rivojlanayotgan kompleks ilmiy-amaliy soha sifatida talqin qilinadi [1]. Alberts va hammualliflarning molekulyar biologiya bo‘yicha fundamental tadqiqotlarida hujayra tuzilishi, genetik axborotning uzatilishi, oqsil sintezi va molekulyar jarayonlarning biologik tizimlar faoliyatidagi o‘rni chuqur tahlil qilingan. Ushbu ilmiy yondashuvlar zamonaviy biotexnologik texnologiyalarning nazariy asoslarini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega. Xususan, molekulyar biologiya va genetika sohasidagi bilimlarning kengayishi biologik obyektlarni maqsadli ravishda o‘zgartirish hamda ulardan amaliy mahsulotlar olish imkoniyatlarini kengaytirdi [1].

Genomika yo‘nalishidagi tadqiqotlarda biologik organizmlarning genetik materialini kompleks o‘rganish va katta hajmdagi genomik ma’lumotlarni tahlil qilish masalalariga alohida e’tibor qaratilgan. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti materiallarida genomik texnologiyalarning tibbiy diagnostika, kasalliklarning molekulyar mexanizmlarini aniqlash va individual tibbiyot imkoniyatlarini rivojlantirishdagi ahamiyati qayd etiladi [2]. Mazkur yondashuv genomik ma’lumotlardan foydalanish biotexnologiyaning nafaqat fundamental, balki amaliy yo‘nalishlarini ham sezilarli darajada kengaytirayotganini ko‘rsatadi. Gen muhandisligi va genom tahrirlash texnologiyalari bo‘yicha ilmiy adabiyotlarda CRISPR/Cas tizimiga alohida e’tibor beriladi. Doudna va Charpentier tomonidan CRISPR-Cas9 texnologiyasining molekulyar mexanizmlari va genetik materialni tahrirlashdagi imkoniyatlari yoritilgan bo‘lib, mazkur texnologiya keyinchalik biologik va biotibbiyot tadqiqotlarining muhim vositalaridan biriga aylandi [3]. Ushbu yo‘nalishdagi tadqiqotlar genlarni funksional jihatdan o‘rganish, biologik modellar yaratish va ayrim kasalliklarning molekulyar asoslarini tadqiq etishda yangi imkoniyatlar yaratgan. Sintetik biologiya bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar biotexnologiyaning rivojlanishida yangi paradigmaga o‘tilayotganini ko‘rsatadi. Katz va hammualliflar sintetik biologiyaning sanoat biotexnologiyasidagi

imkoniyatlarini tahlil qilib, biologik tizimlarni muhandislik tamoyillari asosida loyihalash orqali yangi biologik mahsulotlar va ishlab chiqarish jarayonlarini yaratish mumkinligini ta'kidlaydi [4]. Ushbu tadqiqotlar sintetik biologiyaning farmatsevtika, kimyo, oziq-ovqat va bioenergetika kabi sohalarda qo'llanilish imkoniyatlarini kengaytirayotganini ko'rsatadi.

Qishloq xo'jaligi biotexnologiyasiga oid tadqiqotlarda esa genetik seleksiya, markerlarga asoslangan seleksiya, gen tahrirlash, biologik o'g'itlar va biopestitsidlardan foydalanish masalalari keng o'rganilgan. Ushbu yo'nalishdagi ilmiy izlanishlar qishloq xo'jaligi ekinlarining hosildorligi, kasalliklarga va noqulay muhit sharoitlariga chidamliligini oshirish, shuningdek, resurslardan samarali foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishga qaratilgan. Biotexnologik yondashuvlar oziq-ovqat xavfsizligi va iqlim o'zgarishi sharoitida qishloq xo'jaligining moslashuvchanligini oshirish vositalaridan biri sifatida ko'rilmoqda [8]. Ekologik biotexnologiyaga oid tadqiqotlarda mikroorganizmlardan foydalanish orqali ifloslangan tuproq va suvlarni tozalash, organik chiqindilarni qayta ishlash, biologik parchalanadigan materiallar olish hamda bioenergetik resurslarni shakllantirish masalalari o'rganilgan. Ushbu tadqiqotlar biotexnologiyaning ekologik barqarorlikni ta'minlash va aylanma iqtisodiyot tamoyillarini amalga oshirishdagi amaliy imkoniyatlarini ko'rsatadi [9].

Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlar tahlili biotexnologiyaning rivojlanishi uchta asosiy tendensiya — biologik tizimlarni molekulyar darajada boshqarish, raqamli texnologiyalar bilan integratsiyalashuv va ishlab chiqarish jarayonlarini biologik asosda optimallashtirish bilan tavsiflanayotganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarning katta qismi alohida texnologik yo'nalishlarga bag'ishlangan bo'lib, genomika, CRISPR/Cas, sintetik biologiya, sun'iy intellekt, tibbiyot, qishloq xo'jaligi va ekologik biotexnologiyaning yagona tizim sifatidagi amaliy ahamiyatini kompleks baholash masalasi dolzarb bo'lib qolmoqda. Shundan kelib chiqib, mazkur tadqiqotda biotexnologiyaning zamonaviy rivojlanish tendensiyalari o'zaro bog'liq texnologik yo'nalishlar majmuasi sifatida tahlil qilinib, ularning tibbiyot, farmatsevtika, qishloq xo'jaligi, oziq-ovqat sanoati, ekologiya va bioiqtisodiyotdagi amaliy ahamiyatini aniqlashga e'tibor qaratiladi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Tadqiqot davomida ilmiy adabiyotlar, zamonaviy biotexnologik texnologiyalar va ularning amaliy qo'llanish yo'nalishlarini tizimli tahlil qilish natijasida biotexnologiya rivojlanishining bir nechta ustuvor tendensiyalari aniqlandi. Tahlil natijalari zamonaviy biotexnologiya alohida biologik texnologiyalar majmuasidan fanlararo, raqamlashtirilgan va yuqori texnologiyalarga asoslangan kompleks tizimga aylanib borayotganini ko'rsatdi.

Biotexnologiyaning asosiy rivojlanish tendensiyalari. Tadqiqot natijalariga ko'ra, zamonaviy biotexnologiyaning rivojlanishini quyidagi asosiy yo'nalishlarda ifodalash mumkin:

Rivojlanish tendensiyasi	**Asosiy texnologiyalar**	**Amaliy qo'llanish sohasi**
Genomik texnologiyalarning rivojlanishi	Genom sekvenslash, genomik tahlil	Tibbiyot, genetika, seleksiya
Genom tahrirlash	CRISPR/Cas	Tibbiyot, qishloq xo'jaligi, fundamental biologiya
Sintetik biologiyaning rivojlanishi	Biologik tizimlarni loyihalash	Farmatsevtika, sanoat, bioenergetika
Raqamli biotexnologiya	Bioinformatika, Big Data	Genomika, diagnostika, ilmiy tadqiqotlar
AI va biotexnologiya integratsiyasi	Mashinali o'qitish, AI algoritmlari	Dori izlash, diagnostika, biologik modellashtirish

Qishloq xo‘jaligi biotexnologiyasi	Genetik seleksiya, biopreparatlar	O‘simlikchilik, oziq-ovqat xavfsizligi
Ekologik biotexnologiya	Bioremediatsiya, biologik tozalash	Ekologiya, chiqindilarni qayta ishlash

Mazkur natijalar zamonaviy biotexnologiyada texnologik integratsiya jarayoni kuchayib borayotganini ko‘rsatadi. Xususan, genomika va bioinformatikaning rivojlanishi katta hajmdagi biologik ma’lumotlarni qayta ishlash imkoniyatlarini kengaytirgan bo‘lsa, sun’iy intellekt ushbu ma’lumotlardan yangi biologik qonuniyatlarni aniqlash va prognozlashda foydalanish imkonini bermoqda [1; 2].

Genomika va gen tahrirlash texnologiyalarining amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalaridan biri genomika va gen tahrirlash texnologiyalari biotexnologiyaning eng tez rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri ekanligini ko‘rsatdi. Genomik ma’lumotlardan foydalanish organizmlarning genetik xususiyatlarini chuqurroq o‘rganish, kasalliklar bilan bog‘liq genetik omillarni aniqlash va biologik jarayonlarni molekulyar darajada tahlil qilish imkonini beradi [2]. CRISPR/Cas texnologiyasining rivojlanishi esa genetik materialni maqsadli o‘zgartirish imkoniyatlarini kengaytirdi. Doudna va Charpentier tomonidan tavsiflangan CRISPR-Cas9 tizimi gen tahrirlash texnologiyalarining rivojlanishida muhim ilmiy asoslardan birini yaratdi [3]. Bugungi kunda ushbu yo‘nalish fundamental biologik tadqiqotlar bilan bir qatorda tibbiyot va qishloq xo‘jaligi biotexnologiyasida ham tadqiq qilinmoqda. Muhokama nuqtayi nazaridan, gen tahrirlash texnologiyalarining amaliy qiymati faqat texnik imkoniyatlar bilan belgilanmaydi. Ularning xavfsizligi, aniqligi, biologik oqibatlari va etik jihatlari ham muhim ahamiyatga ega. Shu sababli genom tahrirlash bo‘yicha texnologik innovatsiyalarni amaliyotga joriy etishda ilmiy dalillar va tegishli bioxavfsizlik me’yorlari birgalikda hisobga olinishi zarur.

Sun’iy intellekt va biotexnologiyaning integratsiyasi. Tadqiqot natijalari biotexnologiyaning raqamlashtirilishi va sun’iy intellekt texnologiyalarining biologik tadqiqotlarga kirib kelishi alohida tendensiya sifatida shakllanganligini ko‘rsatdi. Biologik ma’lumotlar hajmining ortishi ularni an’anaviy usullar bilan qayta ishlash imkoniyatlarini cheklab, avtomatlashtirilgan analitik vositalarga bo‘lgan ehtiyojni oshirmoqda. Sun’iy intellekt yordamida genomik ketma-ketliklarni tahlil qilish, oqsil tuzilishini bashoratlash, potensial biologik faol birikmalarni aniqlash va yangi dori vositalarini izlash jarayonlarini tezlashtirish mumkin. Shu bilan birga, AI texnologiyalarining natijalari ma’lumotlar sifati, modelning to‘g‘ri tanlanishi va biologik eksperimental tekshiruvlarga bog‘liq bo‘lib qoladi [4]. Demak, AI biotexnologik tadqiqotlarda inson mutaxassisining o‘rnini to‘liq almashtiruvchi vosita sifatida emas, balki katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash, modellashtirish va qaror qabul qilish jarayonlarini qo‘llab-quvvatlovchi texnologiya sifatida ko‘rilishi maqsadga muvofiq.

Sintetik biologiyaning rivojlanishi. Tahlillar sintetik biologiya biotexnologiyaning mahsulot yaratishga yo‘naltirilgan yangi modelini shakllantirayotganini ko‘rsatdi. An’anaviy biotexnologiyada mavjud biologik jarayonlardan foydalanish ustuvor bo‘lgan bo‘lsa, sintetik biologiyada biologik tizimlarni muhandislik tamoyillari asosida loyihalash va optimallashtirishga katta e’tibor qaratiladi [5]. Sintetik biologiya yordamida farmatsevtik moddalar, fermentlar, biomateriallar, bioyoqilg‘i va boshqa biologik mahsulotlarni olish jarayonlarini takomillashtirish imkoniyatlari mavjud. Shu sababli mazkur yo‘nalish sanoat biotexnologiyasi va bioiqtisodiyotning rivojlanishida muhim omillardan biri sifatida namoyon

bo‘lmoqda. Biroq sintetik biologiyaning rivojlanishi bilan biologik xavfsizlik va texnologiyalarni tartibga solish masalalari ham dolzarb bo‘ladi. Shu jihatdan texnologik innovatsiyalarni rivojlantirish bilan bir qatorda ularning xavfsiz qo‘llanilishini ta’minlaydigan ilmiy va institutsional mexanizmlarni takomillashtirish talab etiladi.

Tibbiyot va farmatsevtikadagi amaliy natijalar. Tadqiqot natijalari biotexnologiyaning tibbiyot va farmatsevtikadagi amaliy ahamiyati bir necha asosiy yo‘nalishlarda namoyon bo‘lishini ko‘rsatdi. Bular qatoriga molekulyar diagnostika, rekombinant biologik preparatlar, vaksinalar, monoklonal antitanalar, gen terapiyasi va hujayra terapiyasi kiradi. Biotexnologik usullar kasalliklarning molekulyar mexanizmlarini aniqlash va muayyan biologik nishonlarga yo‘naltirilgan terapevtik yondashuvlarni ishlab chiqish imkoniyatlarini kengaytirmoqda [6]. Genomika esa ayrim kasalliklar bilan bog‘liq genetik omillarni aniqlash va klinik tadqiqotlarda biologik markerlardan foydalanish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Shu bilan birga, biotibbiyotdagi biotexnologik innovatsiyalarni keng joriy etishda mahsulotlarning xavfsizligi, klinik samaradorligi, ishlab chiqarish xarajatlari va aholining ulardan foydalanish imkoniyati kabi omillarni hisobga olish muhimdir.

Ekologik va sanoat biotexnologiyasining istiqbollari. Tadqiqot natijalari biotexnologiyaning ekologik muammolarni hal qilishdagi imkoniyatlari ham kengayib borayotganini ko‘rsatdi. Mikroorganizmlar va biologik jarayonlardan foydalanish orqali ayrim ifloslantiruvchi moddalarni parchalash, oqova suvlarni biologik tozalash, organik chiqindilarni qayta ishlash va bioenergiya olish mumkin. Mazkur yo‘nalishning muhim jihati shundaki, biotexnologik jarayonlar ishlab chiqarishning resurs samaradorligini oshirish va ayrim holatlarda chiqindilar miqdorini kamaytirishga xizmat qilishi mumkin. Bu esa biotexnologiyaning aylanma iqtisodiyot va barqaror rivojlanish tamoyillari bilan uyg‘unlashish imkoniyatini ko‘rsatadi [7].

Olingan natijalarni umumlashtirish shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy biotexnologiyaning asosiy rivojlanish tendensiyasi alohida texnologiyalarning mustaqil rivojlanishidan ularning o‘zaro integratsiyasiga o‘tish bilan tavsiflanadi. Masalan, genomika biologik ma’lumotlarni shakllantirsa, bioinformatika ularni qayta ishlaydi, sun’iy intellekt murakkab bog‘liqliklarni aniqlashga yordam beradi, sintetik biologiya esa olingan bilimlardan yangi biologik tizim yoki mahsulot yaratishda foydalanadi. Shu nuqtayi nazardan, zamonaviy biotexnologiyaning amaliy samaradorligini faqat bitta texnologiyaning imkoniyati orqali emas, balki “biologik ma’lumot → raqamli tahlil → biologik loyihalash → eksperimental tekshiruv → amaliy mahsulot” ketma-ketligi orqali baholash mumkin. Ushbu yondashuv biotexnologik tadqiqotlarni fundamental fandan amaliy innovatsiyaga olib boruvchi mexanizmni tushuntirish imkonini beradi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqot natijalari biotexnologiya zamonaviy fan va texnologiyalarning eng jadal rivojlanayotgan fanlararo yo‘nalishlaridan biriga aylanayotganini ko‘rsatdi. Uning rivojlanishi genomika, gen muhandisligi, CRISPR/Cas texnologiyasi, sintetik biologiya, bioinformatika, sun’iy intellekt va avtomatlashtirish kabi yo‘nalishlarning o‘zaro integratsiyasi bilan tavsiflanmoqda. Mazkur texnologik uyg‘unlashuv biologik jarayonlarni molekulyar darajada o‘rganish, boshqarish va ulardan amaliy maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirmoqda. Tadqiqot davomida genomika va gen tahrirlash texnologiyalari tibbiyot, farmatsevtika va qishloq

xo‘jaligida yangi ilmiy-amaliy imkoniyatlarni shakllantirayotgani aniqlandi. Ayniqsa, CRISPR/Cas texnologiyasi genetik materialni maqsadli o‘zgartirish bo‘yicha tadqiqotlarning rivojlanishiga katta ta’sir ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalardan foydalanishda bioxavfsizlik, bioetika va uzoq muddatli biologik oqibatlarni hisobga olish zarur. Tadqiqot natijalari sun’iy intellekt va biotexnologiyaning integratsiyasi kelajakdagi ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri ekanligini ko‘rsatdi. Sun’iy intellekt va bioinformatika biologik ma’lumotlarning katta hajmini qayta ishlash, biologik jarayonlarni modellashtirish, dori vositalarini izlash va ilmiy gipotezalarni shakllantirish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Biroq AI asosidagi natijalarning ishonchliligi ma’lumotlar sifati, algoritmlarning to‘g‘ri tanlanishi va eksperimental tekshiruvlar bilan chambarchas bog‘liq. Umuman olganda, zamonaviy biotexnologiyaning istiqboldagi rivojlanishi nafaqat yangi texnologiyalarni yaratish, balki ilmiy infratuzilmani takomillashtirish, malakali mutaxassislar tayyorlash, bioxavfsizlikni ta’minlash, ilmiy natijalarni ishlab chiqarishga transfer qilish va fanlararo hamkorlikni kuchaytirishni talab qiladi. Shu sababli biotexnologiyaning rivojlanishini biologiya, tibbiyot, informatika, muhandislik, qishloq xo‘jaligi va ekologiya fanlarining o‘zaro integratsiyasi asosida tashkil etish uning ilmiy va amaliy samaradorligini oshirishning muhim sharti hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Alberts B., Johnson A., Lewis J., Morgan D., Raff M., Roberts K., Walter P. Molecular Biology of the Cell. 7th ed. New York: W.W. Norton & Company, 2022.
2. World Health Organization. Human Genomics. Geneva: WHO.
3. Doudna J.A., Charpentier E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. Science. 2014. Vol. 346, No. 6213.
4. Katz L., Chen Y.Y., Gonzalez R., et al. Synthetic biology advances and applications in the biotechnology industry: a perspective. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology. 2018. Vol. 45.
5. OECD. Synthetic Biology in Focus: Policy Issues and Opportunities in Engineering Life. Paris: OECD Publishing, 2025.
6. OECD. Synthetic Biology, AI and Automation: Convergence and Emerging Policy Considerations. Paris: OECD Publishing, 2025.
7. OECD. The Evolution of the Biotechnology Sector: Innovation, Investment and Emerging Technologies. Paris: OECD Publishing, 2026.
8. World Health Organization. Synthetic Biology Technologies and Their Applications. Geneva: WHO.
9. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Biodefense in the Age of Synthetic Biology. Washington, DC: The National Academies Press, 2018.
10. OECD. Accelerating Innovation to Meet Global Challenges: The Role of Engineering Biology. Paris: OECD Publishing, 2021.
11. World Health Organization. Genetically Modified Foods: Questions and Answers. Geneva: WHO.
12. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Safeguarding the Bioeconomy: Opportunities and Challenges. Washington, DC: The National Academies Press.