

SUN'IY FOTOSINTEZ JARAYONINI AMALGA  
OSHIRUVCHI FOTOKATALIZATORLAR:  
EKOLOGIK TEXNOLOGIYALAR YANGI DAVR

PHOTOCATALYSTS THAT PERFORM THE PROCESS  
OF ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS: A NEW ERA OF  
ECOLOGICAL TECHNOLOGIES  
ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС  
ИСКУССТВЕННОГО ФОТОСИНТЕЗА: НОВАЯ ЭРА  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Norquvatova Ma'mura Bo'ron qizi*

*Termiz Davlat Universiteti*

*Fizika ta'lim yo'nalishi 2-kurs talabasi*

*Norquvatova Ma'mura Boron qizi*

*Termez State University*

*2nd year student of Physics Education*

*Норкватова Мамура Борон кызы*

*Термезский государственный университет*

*студентка 2 курса физического образования*



**Annotatsiya:** Ushbu maqolada sun'iy fotosintez jarayonini amalga oshirishda fotokatalizatorlar va maxsus LED yoritgichlardan foydalanishning ahamiyati yoritilgan. Karbonat angidridni qayta ishlash orqali kislorod va energiya manbalarini hosil qilish texnologiyasini ekologik muammolarni hal qilishda istiqbolli yechim sifatida ko'riladi. Tadqiqotda fotokatalizatorlarning xususiyatlari, texnologik yondashuvlar va tizim samaradorligini oshirish yo'llari muhokama qilingan.

**Kalit so'zlar:** Sun'iy fotosintez, fotokatalizator, karbonat angidrid, LED yoritgich, quyosh panellari, ekologik texnologiya, kislorod ishlab chiqarish.

**Abstract:** This article highlights the importance of using photocatalysts and special LED lamps in the implementation of the artificial photosynthesis process. The technology of generating oxygen and energy sources through the processing of carbon dioxide is considered a promising solution to solving environmental problems. The study discusses the properties of photocatalysts, technological approaches, and ways to improve system efficiency.

**Keywords:** Artificial photosynthesis, photocatalyst, carbon dioxide, LED lighting, solar panels, environmental technology, oxygen production.

**Аннотация:** В данной статье подчеркивается важность использования фотокатализаторов и специальных светодиодных ламп при реализации процесса искусственного фотосинтеза. Технология получения кислорода и источников

энергии путем переработки углекислого газа рассматривается как перспективное решение экологических проблем. В исследовании обсуждаются свойства фотокатализаторов, технологические подходы и способы повышения эффективности системы.

**Ключевые слова:** Искусственный фотосинтез, фотокатализатор, углекислый газ, светодиодное освещение, солнечные панели, экологические технологии, производство кислорода.

Hozirgi kunda dunyo miqyosida energiya resurslariga bo'lgan talabning ortib borishi, qazib olinadigan yoqilg'i zaxiralarining kamayishi hamda ekologik muammolarning keskinlashuvi qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish bo'yicha yangi texnologiyalarni ishlab chiqishni taqozo etmoqda. Ayniqsa, atmosferada karbonat angidrid ( $CO_2$ ) miqdorining ortib borishi global iqlim o'zgarishi, havo ifloslanishi va issiqxona effekti kabi muammolarning kuchayishiga sabab bo'lmoqda. Shu bois olimlar tomonidan quyosh energiyasidan foydalanishning yangi va samarali usullarini yaratishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Sun'iy fotosintez texnologiyasi ana shunday istiqbolli ilmiy yo'nalishlardan biri bo'lib, u tabiatdagi fotosintez jarayonini sun'iy ravishda takrorlashga asoslanadi. Tabiiy fotosintez jarayonida o'simliklar Quyosh nuri energiyasidan foydalanib suv va karbonat angidridan organik moddalar hosil qiladi hamda atmosferaga kislorod ajratadi. Sun'iy fotosintezda esa maxsus fotokatalizatorlar yordamida yorug'lik energiyasi kimyoviy energiyaga aylantiriladi va suv hamda karbonat angidridan vodorod, metanol, metan kabi foydali mahsulotlar sintez qilinadi. Ushbu texnologiyaning asosiy afzalligi ekologik toza yoqilg'ilar ishlab chiqarish va atmosferadagi  $CO_2$  miqdorini kamaytirish imkoniyatiga ega ekanligidadir.

Sun'iy fotosintez jarayonida titan dioksidi ( $TiO_2$ ), rux oksidi ( $ZnO$ ), volfram oksidi ( $WO_3$ ), grafen asosidagi nanokompozitlar va boshqa yarimo'tkazgich materiallardan tayyorlangan fotokatalizatorlar qo'llaniladi. Ushbu materiallar yorug'lik energiyasini yutib, elektron va kovaklar hosil qiladi hamda kimyoviy reaksiyalarning borishini tezlashtiradi. Natijada suvning fotolizi orqali vodorod olish yoki karbonat angidridni qayta ishlash kabi jarayonlar amalga oshiriladi.

Bu maqolada sun'iy fotosintez jarayonini amalga oshiruvchi fotokatalizatorlarning fizik-kimyoviy asoslari, ularning ishlash mexanizmi, LED yorug'lik manbalarining fotokatalitik tizimlardagi o'rni hamda ushbu texnologiyalarning ekologik va energetik istiqbollari tahlil qilinadi. Shuningdek, sun'iy fotosintezning kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlari va ekologik texnologiyalar taraqqiyotidagi ahamiyati yoritib beriladi.

Global ekologik inqiroz sharoitida atmosferadagi karbonat angidrid ( $CO_2$ ) miqdorini kamaytirish va kislorod ishlab chiqarish muhim masalaga aylandi. Tabiiy

fotosintez jarayoni sayyoramizning hayot manbai bo‘lib, uglerod tsiklini muvozanatda saqlaydi. Ammo, sanoatlashtirish va aholining ko‘payishi bilan tabiiy jarayonlarning rivojlanishi kamaymoqda. Shu sababli, sun‘iy fotosintez jarayoni ekologik muammolarga qarshi kurashda muhim yechim sifatida ko‘rilmoqda.

“Oltin fotosintez” (inglizchada “gold photosynthesis”) bu quyosh energiyasidan foydalanib, suv va karbonat angidridni ( $CO_2$ ) yoqilg‘iga aylantirish samaradorligini oshirish uchun oltin nanozarrachalaridan foydalanadigan sun‘iy texnologiya hisoblanadi.

Bu jarayonning asosiy jihatlari quyidagilardan iborat:

- Plazmon effekti: Oltin nanozarrachalari quyosh nuri ta‘sirida o‘ziga xos tarzda tebranadi (bu hodisa yuzaki plazmon rezonansi deyiladi). Bu tebranish yorug‘lik energiyasini juda kuchli to‘plashga va uni kimyoviy reaksiyaga yo‘naltirishga yordam beradi.

- Katalizator vazifasi: Oltin zarrachalari oddiy o‘simliklardagi xlorofill kabi ishlaydi, lekin u ancha chidamli va samaraliroqdir. U  $CO_2$  ni parchalab, undan metan, metanol yoki vodorod kabi foydali energiya manbalarini olishda katalizator bo‘lib xizmat qiladi.

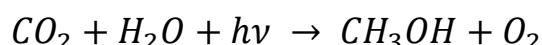
- Sun‘iy fotosintez: Tabiiy fotosintezda o‘simliklar glyukoza hosil qilsa, “oltin fotosintez” orqali olimlar atmosferadagi zararli karbonat angidridni kamaytirib, uni tayyor yoqilg‘iga aylantirishni maqsad qilishgan.

Qisqacha qib aytganda, bu - quyosh nuri + oltin nanozarrachalari +  $CO_2$  = toza energiya formulasidir. Bu texnologiya kelajakda ekologik toza energiya olishning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Sun‘iy fotosintez – bu quyosh energiyasi, karbonat angidrid va suvdan foydalanib, kislorod va yoqilg‘i (masalan, vodorod yoki metanol) olish jarayonidir. Ushbu jarayon quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

1. Yorug‘lik yutish: Fotokatalizatorlar materiallari quyosh spektrining energiyasini yutib, elektrondan hosil bo‘lgan zaryadlarni yaratadi.

2. Kimyoviy reaksiyalar: Fotokatalizatorlar yordamida suv ( $H_2O$ ) parchalanib kislorod ( $O_2$ ), karbonat angidrid esa qayta ishlanib energiya manbalari ( $H_2$  yoki  $CH_3OH$ ) hosil qiladi:



3. Energiya saqlash: Fotokimyoviy jarayon orqali hosil bo‘lgan yoqilg‘i yoki elektr energiyasi maxsus akumlyatorlarda to‘planadi.

Sun‘iy fotosintez jarayonini amalga oshirishda asosiy rol fotokatalizatorlarga tegishli. Ularning asosiy vazifasi quyosh energiyasini kimyoviy energiyaga aylantirishdir. Eng keng qo‘llaniladigan fotokatalizatorlar:

Titaniy dioksid ( $TiO_2$ ): Arzon, ekologik toza, ammo faqat ultrabinafsha (UV)

nurlanish bilan ishlaydi.

Perovskitlar: Quyosh spektrining keng diapazonida ishlaydi va yuqori samaradorlikka ega.

Nanostrukturalar: Masalan, karbon nanonaylar yoki oltin nanopartikullar.

---

## QUYOSH ENERGIYASI VA LED LAMPALAR ASOSIDA SUN'İY FOTOSINTEZ TIZIMINING ISHLASH PRINSIPI

Sun'iy fotosintez tizimlarining samaradorligini oshirishda barqaror va energiya tejamkor yorug'lik manbalaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Shu maqsadda zamonaviy fotokatalitik qurilmalarda quyosh energiyasi bilan ishlovchi LED lampalar keng qo'llanilmoqda. Ushbu yondashuv qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish bilan birga, sun'iy fotosintez jarayonining uzluksiz davom etishini ham ta'minlaydi.

Tizimning ishlash prinsipi quyidagicha amalga oshiriladi: kunduzi quyosh panellari Quyoshdan kelayotgan elektromagnit nurlanish energiyasini fotoelektrik effekt asosida elektr energiyasiga aylantiradi. Hosil bo'lgan elektr energiyasi maxsus zaryad nazoratchilari orqali akkumulyator batareyalarida saqlanadi. Quyosh radiatsiyasi yetarli bo'lmagan paytlarda yoki tun vaqtida ushbu saqlangan energiya LED lampalarni quvvatlantirish uchun ishlatiladi. Natijada fotokatalizatorlar sutkaning 24 soati davomida zarur yorug'lik energiyasi bilan ta'minlanadi.

LED lampalarning sun'iy fotosintez tizimlarida qo'llanilishining asosiy afzalliklaridan biri ularning yuqori energiya samaradorligidir. Zamonaviy LED lampalar elektr energiyasining 80–90 foizgacha bo'lgan qismini yorug'lik energiyasiga aylantira oladi. Bundan tashqari, ular kam issiqlik ajratgani sababli fotokatalizatorlarning qizib ketishi va reaksiya muhitining harorati ortib ketishining oldini oladi. Bu esa fotokatalitik jarayonlarning barqarorligini saqlashga yordam beradi.

Sun'iy fotosintez tajribalarida LED lampalarning yana bir muhim jihati ularning ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'likni hosil qila olishidir. Fotokatalizatorlarning aksariyati ma'lum spektral diapazondagi yorug'likka nisbatan yuqori sezgirlikka ega bo'ladi. Masalan, titan dioksidi asosidagi fotokatalizatorlar asosan ultrabinafsha nurlanish ta'sirida faol ishlasa, grafen yoki modifikatsiyalangan yarimo'tkazgichlar ko'rinadigan yorug'lik diapazonida ham samarali faoliyat ko'rsatishi mumkin. Shu sababli ko'k, qizil, oq yoki ultrabinafsha LED lampalar yordamida fotokatalizatorning maksimal samaradorligi ta'minlanadi.

Quyosh panellari, akkumulyatorlar va LED lampalardan tashkil topgan integrallashgan tizim energiya sarfini kamaytiradi hamda tashqi elektr tarmoqlariga bo'lgan ehtiyojni sezilarli darajada qisqartiradi. Bunday qurilmalar ekologik jihatdan mutlaqo xavfsiz bo'lib, atmosferaga zararli gazlar chiqarmaydi. Shuningdek, ular uzoq

muddat xizmat qilishi, ekspluatatsiya xarajatlarining kamligi va qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslanganligi bilan ajralib turadi.

Sun'iy fotosintez tizimlarida quyosh energiyasi yordamida quvvatlanadigan LED lampalardan foydalanish fotokatalizatorlarning yorug'lik bilan ta'minlanish darajasini oshiradi, reaksiyalar tezligini jadallashtiradi va vodorod hamda boshqa foydali mahsulotlar hosil bo'lish unumdorligini ko'paytiradi. Shu bois bunday tizimlar kelajakda ekologik toza energiya ishlab chiqarish, karbonat angidridni qayta ishlash va barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda muhim texnologik yechimlardan biri sifatida qaralmoqda.

LED lampalar qo'llanilishining afzalliklari:

Sun'iy fotosintez va fotokatalitik tizimlarda LED (Light Emitting Diode) lampalardan foydalanish so'nggi yillarda keng ommalashib bormoqda. Buning asosiy sababi LED texnologiyasining yuqori energiya samaradorligi, uzoq xizmat muddati va yorug'lik parametrlarini aniq boshqarish imkoniyatiga ega ekanligidir. Ushbu xususiyatlar fotokatalitik jarayonlarning samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

LED lampalarning eng muhim afzalliklaridan biri ularning energiya tejankorligidir. An'anaviy cho'g'lanma lampalarga nisbatan LED lampalar bir xil yorug'lik oqimini hosil qilish uchun 70–90 % kam elektr energiyasi sarflaydi. Bu esa sun'iy fotosintez qurilmalarining umumiy energiya xarajatlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Ayniqsa, uzoq muddatli laboratoriya tajribalari va sanoat qurilmalarida energiya tejankorlik iqtisodiy samaradorlikni oshiradi.

LED lampalarning yana bir muhim jihati ularning uzoq xizmat qilish muddatidir. Zamonaviy LED manbalarining ishlash muddati odatda 25 000–50 000 soatni tashkil etadi, ayrim yuqori sifatli qurilmalarda esa bu ko'rsatkich 100 000 soatgacha yetishi mumkin. Natijada lampalarni tez-tez almashtirish zarurati kamayadi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari qisqaradi.

Fotokatalitik jarayonlarda LED lampalarning spektral tarkibini boshqarish imkoniyati alohida ahamiyatga ega. Fotokatalizatorlar ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'likka sezgir bo'lgani sababli, LED lampalar yordamida aynan kerakli spektr diapazonidagi nurlanish hosil qilinadi. Masalan, ko'k LED lampalar 450–495 nm, qizil LED lampalar 620–750 nm, ultrabinafsha LED lampalar esa 100–400 nm diapazonidagi nurlarni hosil qiladi. Bu esa fotokatalizatorning maksimal faollik bilan ishlashini ta'minlaydi va yorug'lik energiyasidan foydalanish samaradorligini oshiradi.

LED lampalar ishlash jarayonida juda kam issiqlik ajratadi. Cho'g'lanma lampalarda energiyaning katta qismi issiqlikka aylansa, LED lampalarda energiyaning asosiy qismi yorug'lik hosil qilishga sarflanadi. Kam issiqlik ajralishi fotokatalitik muhit haroratining ortib ketishini oldini oladi, reaksiya sharoitlarini barqaror saqlaydi va fotokatalizatorlarning termik yemirilish xavfini kamaytiradi.

Ekologik nuqtai nazardan ham LED lampalar katta afzalliklarga ega. Ular tarkibida simob va boshqa zaharli moddalarni saqlamaydi, foydalanish davomida zararli gazlar chiqarmaydi hamda atrof-muhitga salbiy ta'siri minimal darajada bo'ladi. Shu sababli LED texnologiyasi "yashil energetika" va ekologik texnologiyalar rivojlanishining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Sun'iy fotosintez tizimlarida LED lampalardan foydalanish fotokatalizatorlarning yorug'lik bilan ta'minlanishini yaxshilaydi, reaksiyalar tezligini oshiradi va energiya sarfini kamaytiradi. Shu sababli LED yorug'lik manbalari zamonaviy fotokatalitik qurilmalar va sun'iy fotosintez texnologiyalarining ajralmas elementi sifatida qaralmoqda hamda kelajakdagi ekologik toza energiya tizimlarini yaratishda muhim rol o'ynaydi.

Atmosferadagi karbonat angidridni qayta ishlash sun'iy fotosintezning asosiy maqsadi hisoblanadi. Bu  $CO_2$  ni kislorod va energiya manbalariga aylantirish orqali amalga oshadi.

Qisman atmosferani tozalaydi.

Vodorod yoki metanol yoqilg'ilarini hosil qiladi. Shu sababli ekologik muvozanat saqlashi mumkin.

Hozirgi texnologiyalarda sun'iy fotosintezning samaradorligi 1 – 5% atrofidadir. Tizimning samaradorligi (FIK) quyosh panellari, fotokatalizatorlar va energiya saqlash texnologiyalarning rivojlanshiga bog'liq. Energiyani tejash uchun LED lampalar va akkumulyatorlarning energiya sarfini optimallashtirish talab qilinadi. Katta hajmda ishlab chiqarish uchun arzon materiallar qo'llash zarur bo'ladi.

Ushbu maqolada sun'iy fotosintez jarayonini amalga oshiruvchi fotokatalizatorlarning ilmiy asoslari, ishlash mexanizmlari, zamonaviy turlari hamda ekologik texnologiyalar rivojidadagi o'rni tahlil qilindi. Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, sun'iy fotosintez tabiiy fotosintez jarayonining muqobili sifatida Quyosh energiyasini to'g'ridan-to'g'ri kimyoviy energiyaga aylantirish imkonini beradigan istiqbolli texnologiyalardan biridir. Ushbu texnologiya yordamida suv va karbonat angidrid kabi oddiy moddalardan vodorod, metan, metanol va boshqa energiya tashuvchilarni sintez qilish mumkin bo'lib, bu esa kelajak energetikasining barqaror rivojlanishiga xizmat qiladi.

Tadqiqotlar natijasida fotokatalizatorlarning sun'iy fotosintez jarayonidagi hal qiluvchi ahamiyati aniqlandi. Xususan, titan dioksidi ( $TiO_2$ ), rux oksidi ( $ZnO$ ), volfram oksidi ( $WO_3$ ), kadmiy sulfidi ( $CdS$ ), grafen va uglerod nanonaychalari asosidagi kompozit materiallar yorug'lik energiyasini yutish va elektron-kovak juftlarini hosil qilish orqali kimyoviy reaksiyalarni jadallashtirishi isbotlangan. Ayniqsa, nanostrukturali va gibril fotokatalizatorlarning yaratilishi yorug'likdan foydalanish samaradorligini oshirishga, zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasini kamaytirishga hamda reaksiyalar tezligini sezilarli darajada yaxshilashga imkon bermoqda.

Maqolada keltirilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, sun'iy fotosintez texnologiyasi global ekologik muammolarni bartaraf etishda muhim vositalardan biri hisoblanadi. Atmosferada karbonat angidrid miqdorining ortishi iqlim o'zgarishining asosiy sabablaridan biri bo'lib, fotokatalitik tizimlar ushbu gazni foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirish orqali uglerod aylanishining sun'iy boshqariladigan mexanizmini yaratadi. Natijada issiqxona effekti ta'sirini kamaytirish, havo sifatini yaxshilash va ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkoniyatlari kengayadi.

Shuningdek, sun'iy fotosintez texnologiyasi vodorod energetikasini rivojlantirish uchun muhim ilmiy asos yaratadi. Vodorod yonish jarayonida zararli gazlar ajratmaydigan, yuqori energiya sig'imiga ega bo'lgan ekologik toza yoqilg'ini hisoblanadi. Fotokatalitik suv parchalanishi orqali vodorod olish usullarining takomillashuvi kelajakda qazib olinadigan yoqilg'ilarga qaramlikni kamaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Biroq sun'iy fotosintez texnologiyalarini sanoat miqyosida keng joriy etish uchun hali bir qator ilmiy va texnologik muammolar mavjud. Jumladan, fotokatalizatorlarning kvant samaradorligini oshirish, ularning uzoq muddatli barqarorligini ta'minlash, arzon va ekologik xavfsiz materiallarni ishlab chiqish hamda ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish dolzarb masalalar bo'lib qolmoqda. Ushbu muammolarni hal etish materialshunoslik, nanotexnologiya, kimyo, fizika va energetika sohalari o'rtasidagi integratsiyalashgan tadqiqotlarni talab etadi.

Xulosa qilib aytganda, sun'iy fotosintez jarayonini amalga oshiruvchi fotokatalizatorlar ekologik texnologiyalarning yangi davrini boshlab berayotgan innovatsion ilmiy yo'nalish hisoblanadi. Ular quyosh energiyasidan samarali foydalanish, karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish, ekologik toza yoqilg'ilar ishlab chiqarish va barqaror energetik tizimlarni shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Kelajakda yuqori samarali va iqtisodiy jihatdan maqbul fotokatalizatorlarning yaratilishi sun'iy fotosintezni amaliyotga keng joriy etish imkonini beradi hamda insoniyatning energiya va ekologiya bilan bog'liq global muammolarini hal etishda muhim ilmiy-amaliy yechimlardan biriga aylanishi kutiladi.

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI**

1. Fujishima A., Honda K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature*, 1972. – Vol. 238. – P. 37–38.
2. Lewis N.S., Nocera D.G. Powering the Planet: Chemical Challenges in Solar Energy Utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006. – Vol. 103(43). – P. 15729–15735.
3. Barber J. Photosynthetic Energy Conversion: Natural and Artificial. *Chemical Society Reviews*, 2009. – Vol. 38. – P. 185–196.
4. Kudo A., Miseki Y. Heterogeneous Photocatalyst Materials for Water Splitting. *Chemical Society Reviews*, 2009. – Vol. 38. – P. 253–278.
5. Wang Q., Domen K. Particulate Photocatalysts for Light-Driven Water Splitting: Mechanisms, Challenges and Design Strategies. *Chemical Reviews*, 2020. – Vol. 120. – P. 919–985.
6. Grätzel M. Artificial Photosynthesis: Water Cleavage into Hydrogen and Oxygen by Visible Light. *Accounts of Chemical Research*, 1981. – Vol. 14. – P. 376–384.
7. Tachibana Y., Vayssieres L., Durrant J.R. Artificial Photosynthesis for Solar Water Splitting. *Nature Photonics*, 2012. – Vol. 6. – P. 511–518.
8. Hoffmann M.R., Martin S.T., Choi W., Bahnemann D.W. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chemical Reviews*, 1995. – Vol. 95. – P. 69–96.
9. Chen X., Shen S., Guo L., Mao S.S. Semiconductor-Based Photocatalytic Hydrogen Generation. *Chemical Reviews*, 2010. – Vol. 110. – P. 6503–6570.
10. Osterloh F.E. Inorganic Materials as Catalysts for Photochemical Splitting of Water. *Chemistry of Materials*, 2008. – Vol. 20. – P. 35–54.
11. Bolton J.R., Hall D.O. The Maximum Efficiency of Photosynthesis. *Photochemistry and Photobiology*, 1991. – Vol. 53. – P. 545–548.
12. Blankenship R.E. *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*. 3rd Edition. – Oxford: Wiley Blackwell, 2021. – 432 p.
13. Nelson N., Yocum C.F. Structure and Function of Photosystems I and II. *Annual Review of Plant Biology*, 2006. – Vol. 57. – P. 521–565.
14. Scholes G.D., Fleming G.R. Lessons from Nature About Solar Light Harvesting. *Nature Chemistry*, 2011. – Vol. 3. – P. 763–774.
15. Ponce F.A., Bour D.P. Nitride-Based Semiconductors for Blue and Green Light-Emitting Devices. *Nature*, 1997. – Vol. 386. – P. 351–359.
16. Schubert E.F. *Light-Emitting Diodes*. 3rd Edition. – Cambridge University Press, 2018. – 422 p.
17. Pimputkar S., Speck J.S., DenBaars S.P., Nakamura S. Prospects for LED Lighting. *Nature Photonics*, 2009. – Vol. 3. – P. 180–182.

18. Nakamura S., Pearton S., Fasol G. The Blue Laser Diode: The Complete Story. Berlin: Springer, 2000. – 343 p.
19. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. – Toshkent: O‘zbekiston, 2021. – 464 b.
20. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish va energiya samaradorligini oshirishga oid qarorlari hamda normativ-huquqiy hujjatlari. – Toshkent, 2020–2025.
21. ScienceDirect
22. Springer Nature
23. MDPI Sustainability Journal
24. Nature Portfolio
25. Google Scholar