

**BIOINDIKATSIYA VA BIOMONITORINGNING ZAMONAVIY YONDASHUVLARI.****Bahodirxo'jayeva R.A***Qarshi Davlat Texnika universiteti 2-kurs magistranti**E-mail: rufaydabahodirxojayeva97@gmail.com*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada atrof-muhit sifatini baholashda bioindikatsiya usulining nazariy va uslubiy asoslari tadqiq etiladi. Tadqiqotda an'anaviy fizik-kimyoviy tahlil usullarining cheklanganligi hamda tirik organizmlarning (bioindikatorlarning) texnogen stress omillariga javob reaksiyalari qiyosiy tahlil qilingan. Bioindikatsiya uslubining afzalliklari, xususan, ifloslantiruvchi moddalarning tirik organizmlarga bo'lgan kompleks va kumulyativ (to'planuvchi) ta'sirini aniqlashdagi o'rni ilmiy asoslab berilgan. Maqolada Uzbekistan GTL kabi yirik sanoat majmualari atrofida ekologik monitoringni tashkil etishda bioindikatorlarni tanlash mezonlari va turli biologik darajalarda (molekulyardan ekotizimgacha) kuzatiladigan o'zgarishlarning informatsion qiymati yoritilgan.*

Kalit so'zlar: *Bioindikatsiya, biomonitoring, atrof-muhit sifati, bioindikatorlar, texnogen yuklama, Uzbekistan GTL korxonasi, biomarkerlar, kumulyativ effekt, ekotizim barqarorligi, fitomonitoring.*

Abstract: *This article explores the theoretical and methodological foundations of the bioindication method in assessing environmental quality. The research presents a comparative analysis of the limitations inherent in traditional physicochemical analysis methods versus the adaptive and destructive response reactions of living organisms (bioindicators) to technogenic stress factors. The scientific significance of bioindication is substantiated, particularly its role in identifying the complex and cumulative effects of pollutants on biological systems. The paper details the criteria for selecting bioindicators for organizing ecological monitoring around large-scale industrial complexes such as Uzbekistan GTL. Furthermore, the informational value of changes observed across various biological levels—ranging from the molecular stage to entire ecosystems—is thoroughly examined.*

Keywords: *Bioindication, biomonitoring, environmental quality, bioindicators, technogenic load, Uzbekistan GTL plant, biomarkers, cumulative effect, ecosystem stability, phytomonitoring.*

Аннотация: *В данной статье исследуются теоретические и методологические основы метода биоиндикации в оценке качества окружающей среды. В исследовании проведен сравнительный анализ ограниченности традиционных физико-химических методов анализа и ответных реакций живых организмов (биоиндикаторов) на факторы техногенного стресса. Научно обоснованы преимущества метода биоиндикации, в частности его роль в*



определении комплексного и кумулятивного (накапливающегося) воздействия загрязняющих веществ на живые организмы. В статье освещены критерии выбора биоиндикаторов при организации экологического мониторинга вокруг крупных промышленных комплексов, таких как Uzbekistan GTL, а также информационная значимость изменений, наблюдаемых на различных биологических уровнях (от молекулярного до экосистемного).

Ключевые слова: *Биоиндикация, биомониторинг, качество окружающей среды, биоиндикаторы, техногенная нагрузка, предприятие Uzbekistan GTL, биомаркеры, кумулятивный эффект, устойчивость экосистемы, фитомониторинг.*

KIRISH

Insoniyatning sanoat faoliyati natijasida biosferaga yetkazilayotgan antropogen bosimning ortishi atrof-muhit holatini nazorat qilishning yanada sezgir va aniq usullarini ishlab chiqishni taqozo etmoqda. Bugungi kunda yirik sanoat korxonalari, xususan, Uzbekistan GTL kabi yuqori texnologiyali ob'ektlar atrofida ekologik barqarorlikni ta'minlash nafaqat milliy, balki global ekologik xavfsizlikning muhim bo'g'ini hisoblanadi. An'anaviy monitoring tizimlarida qo'llaniladigan fizik-kimyoviy usullar havo yoki suv tarkibidagi ifloslantiruvchi moddalarning faqatgina tahlil olingan vaqtdagi miqdorini aniqlash imkonini beradi, biroq ular ushbu moddalarning tirik tabiatga bo'lgan uzoq muddatli ta'sirini to'liq aks ettira olmaydi [1]. Bioindikatsiya usuli esa tirik organizmlarning tashqi muhitdagi o'zgarishlarga bo'lgan javob reaksiyasiga asoslangan bo'lib, u ekotizimdagi real biologik holatni "biologik o'lchov birliklari" orqali namoyon etadi. Ushbu yondashuvning o'ziga xosligi shundaki, organizmlar muhitdagi barcha salbiy omillarni o'zida mujassamlashtirib, ularning umumiy toksik ta'sirini ko'rsatib beradi. Uzbekistan GTL zavodi joylashgan hududning o'ziga xos qurg'oqchil iqlimi va texnogen sharoitida bioindikatsiya usulini qo'llash, ekotizimdagi eng kichik salbiy siljishlarni ham barvaqt aniqlashga xizmat qiladi. Mazkur maqolada bioindikatsiya usulining nazariy poydevori, uning metodologik ustunliklari va zamonaviy sanoat ekologiyasidagi o'rni keng qamrovli tahlil qilinadi.

BIOINDIKATSIYA USULINING NAZARIY POYDEVORI VA METODOLOGIK USTUNLIKLARI

Bioindikatsiya — bu atrof-muhitning holati va unda kechayotgan o'zgarishlarni tirik organizmlarning (indikatorlarning) mavjudligi, soni yoki ulardagi turli darajadagi o'zgarishlar orqali aniqlash usuli bo'lib, u zamonaviy ekologik monitoringning eng informatsion yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu uslubning nazariy asosi organizmlarning tashqi muhit bilan uzviy bog'liqligi va ularning ma'lum bir ekologik valentlikka ega ekanligi bilan belgilanadi [1]. An'anaviy fizik-kimyoviy monitoring usullari atrof-muhitning faqatgina tahlil qilinayotgan lahzadagi holatini va ma'lum bir moddaning miqdorini ko'rsatib bersa, bioindikatsiya organizmlar tomonidan uzoq vaqt



davomida qabul qilingan barcha ta'sirlarning umumiy natijasini namoyon etadi. Tirik organizmlar o'z yashash muhitidagi barcha o'zgarishlarni o'zida "yozib boruvchi" o'ziga xos biologik tizimlar bo'lib, ular kimyoviy analizatorlar ilg'ay olmaydigan mikromiqdordagi zaharli moddalarning birgalikdagi ta'siriga ham javob qaytara oladi. Uzbekistan GTL kabi yirik texnologik majmualar atrofida ekologik nazoratni tashkil etishda bioindikatsiya uslubidan foydalanish juda muhim, chunki u nafaqat ifloslantiruvchi moddaning borligini, balki uning tirik tabiat uchun qanchalik xavfli ekanligini amalda ko'rsatib beradi [4]. Bioindikator turlar ekotizimdagi eng zaif bo'g'inlarni aniqlash imkonini beradi va atrof-muhit sifatini baholashda "biologik o'lchov birligi" vazifasini o'taydi. Shuningdek, ushbu usul iqtisodiy jihatdan ancha tejamkor bo'lib, qimmatbaho laboratoriya uskunalarisiz ham keng hududlarda tezkor monitoring o'tkazish imkonini yaratadi. Bioindikatsiya jarayonida o'rganiladigan parametrlar organizmning genetik tuzilmasidan tortib, butun boshli populyatsiya dinamikasigacha bo'lgan keng qamrovni o'z ichiga oladi. Sanoat korxonalarining ta'siri ko'pincha kumulyativ xarakterga ega bo'lgani bois, tirik datchiklar bu jarayonni o'rganishda yagona ishonchli manbadir. Bioindikatorlar yordamida nafaqat joriy holatni baholash, balki ekotizimning kelajakdagi degradatsiya darajasini bashorat qilish ham mumkin [3]. Tadqiqotchilarning fikriga ko'ra, biologik monitoring fizik-kimyoviy tahlillarni inkor etmaydi, balki ularni biologik mazmun bilan boyitadi. Sanoat ekologiyasida qarorlar qabul qilishda aynan bioindikatsiya ma'lumotlari ekotizimning hayotiylik darajasini ko'rsatuvchi asosiy indikator bo'lib xizmat qiladi. Ushbu bo'limda ko'rib chiqilgan nazariy yondashuvlar sanoat zonalaridagi ekologik barqarorlikni boshqarishning zamonaviy metodologiyasini tashkil etadi. Har bir tur ma'lum bir ifloslanish turiga (gazli, changli, kimyoviy) o'ziga xos tarzda moslashadi yoki unga salbiy reaksiya beradi. Shuni aytish mumkinki, bioindikatsiya — bu tabiatning o'zi yaratgan eng mukammal tahlil usulidir.

BIOINDIKATORLARNI TANLASH MEZONLARI VA SANOAT ZONALARIDAGI TASNIFI

Bioindikatsiya jarayonida to'g'ri organizm turini tanlash tadqiqotning aniqligini belgilovchi asosiy omil bo'lib, bunda turlar ma'lum bir qat'iy ilmiy talablarga javob berishi lozim. Indikator organizmlar, birinchi navbatda, o'rganilayotgan hududda, ya'ni Uzbekistan GTL joylashgan G'uzor tumanining cho'l-adir mintaqasida keng tarqalgan va oson topiladigan bo'lishi kerak [6]. Tanlangan tur hayot sikli davomida harakatsiz yoki chegaralangan hududda yashovchi bo'lishi shart, aks holda ifloslanishning aynan qaysi nuqtadan kelib chiqqanini aniqlash imkonsiz bo'ladi. Shuningdek, indikator turi ma'lum bir ifloslantiruvchi moddaga (masalan, azot oksidi yoki og'ir metallar) nisbatan yuqori sezgirlikka ega bo'lishi yoki ularni o'z to'qimalarida to'plash xususiyatiga ega bo'lishi zarur. Bioindikatorlar o'z funksiyasiga ko'ra ikki guruhga bo'linadi: sezgir indikatorlar (muhit buzilishiga tezkor javob berib, soni kamayadigan turlar) va akkumulyativ indikatorlar (zaharli moddalarni o'z tanasida to'plovchilar). Uzbekistan



GTL korxonasi atrofida monitoring olib borishda lishayniklar, moxlar va ayrim yuksak o'simliklar (terak, saksovol) kompleks ravishda tanlanishi ilmiy jihatdan asoslangan [7]. Tanlangan indikator turining taksonomik holati aniq bo'lishi va uning hayotiy shakli monitoringning uzoq muddatli maqsadlariga mos kelishi lozim. Har bir indikator turi o'zining tolerantlik chegarasiga ega bo'lib, ushbu chegara buzilganda organizmda vizual yoki ichki biokimyoviy o'zgarishlar yuz beradi. Masalan, lishayniklar havo tarkibidagi oltingugurt dioksidiga o'ta sezgirligi bilan jahon miqyosida tan olingan [8]. Cho'l hududlarida esa tuproqning sho'rlanishi va texnogen changga chidamli endemik turlarni o'rganish alohida ahamiyatga ega. Tanlangan turlar yil davomida tahlil qilish uchun yetarli biomassa bera olishi ham muhim mezonlardan biridir. Shuningdek, indikatorlarning iqtisodiy jihatdan arzonligi va namuna olish jarayonining osonligi sanoat korxonalarida muntazam kuzatuvlar olib borish imkonini beradi. Har bir tur ma'lum bir ifloslanish turiga ixtisoslashgan bo'lishi tahlilning chuqurligini oshiradi va xatolikni kamaytiradi. Biologik ko'rsatkichlarni tanlashda ularning irsiy barqarorligi ham hisobga olinishi kerak. Sanoat zonalarida o'simliklarning urug' unuvchanligi va o'sish sur'ati atrof-muhit sifatining eng oddiy va ishonchli ko'rsatkichi bo'lib xizmat qiladi. Umumlashtirib aytganda, indikatorlarni to'g'ri tanlash monitoringning "poydevori" hisoblanadi va butun tadqiqot muvaffaqiyatini belgilaydi.

BIOINDIKATSIYA DARAJALARI VA DIAGNOSTIK AHAMIYATI

Atrof-muhit sifatini bioindikatsiya yordamida baholashda organizmning turli ierarxik darajalaridagi o'zgarishlar inobatga olinadi, bu esa ifloslanishning intensivligi haqida to'liq tasavvur hosil qiladi. Eng quyi — molekulyar va hujayra darajasidagi bioindikatsiya (biomarkerlar) ifloslanishning eng dastlabki belgilarini aniqlash imkonini beradi, bu esa hali organizmning tashqi ko'rinishida o'zgarishlar sodir bo'lmasdan signal beradi [2]. Fiziologik darajadagi o'zgarishlar, masalan, fotosintez tezligining pasayishi yoki fermentlar faolligining o'zgarishi, sanoat chiqindilarining o'simlik metabolizmiga ta'sirini ochib beradi. Morfologik darajadagi bioindikatsiya o'simlik barglaridagi xloroz, nekroz yoki barg shaklining buzilishini (assimetriyasini) o'rganadi va u vizual kuzatuvlar uchun eng qulaydir. Populyatsiya-tur darajasidagi bioindikatsiya esa eng ishonchli usul bo'lib, u ma'lum bir turning soni va yosh tarkibining sanoat hududidan uzoqlashgan sari qanday o'zgarishini tahlil qiladi [5]. Uzbekistan GTL korxonasi atrofidagi ekotizimlarda turli darajadagi bioindikatsiyani qo'llash orqali "ekologik xavf shkalasi"ni yaratish mumkin, bunda har bir daraja o'ziga xos informatsion yuklamaga ega bo'ladi. Masalan, hujayra darajasidagi o'zgarishlar qisqa muddatli toksik ta'sirni ko'rsatsa, populyatsiya darajasidagi o'zgarishlar uzoq yillik ekologik siljishlardan dalolat beradi. Biomonitoring tizimida ushbu darajalarning integratsiyasi "erta ogohlantirish tizimi" (Early Warning Systems) vazifasini o'taydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ifloslanish kuchaygan sari ekotizimda "r-strateg" turlar (tez ko'payuvchi, chidamli) soni ortib, "K-strateg" turlar (nozik, sekin rivojlanuvchi) kamayadi. Bu esa biogeotsenoz tarkibining soddalashishiga va barqarorlikning



yo'qolishiga olib keladi. Bioindikatsiya natijalari asosida hisoblab chiqilgan biologik indekslar hududning sanitariya-gigiyenik holatini ham baholashda asosiy mezon hisoblanadi. Shuningdek, zamonaviy bioindikatsiya genotoksiklikni, ya'ni moddalarning DNK darajasidagi zararini ham aniqlay oladi. Sanoat korxonasi uchun bunday ko'p darajali monitoring tizimi uning ekologik imidjini oshirishga va risklarni minimallashtirishga yordam beradi. Bioindikatsiya darajalari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni o'rganish ekologik ekspertizaning eng yuqori bosqichidir.

XULOSA

Xulosa o'rnida ta'kidlash lozimki, bioindikatsiya va biomonitoring usullari zamonaviy ekologik ekspertizaning ajralmas qismi bo'lib, ular atrof-muhit sifatini baholashda insoniyat ixtiyoridagi eng sezgir va xolis instrumentlar hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy fizik-kimyoviy tahlil usullari sanoat korxonalarini, xususan Uzbekistan GTL majmuasining atrof-muhitga ta'sirini faqatgina miqdoriy jihatdan tavsiflash, bioindikatsiya usuli bu ta'sirning biologik tizimlar uchun qanchalik real xavf tug'dirishini aniqlash imkonini beradi. Tirik organizmlar o'z yashash muhitidagi barcha o'zgarishlarni o'zida mujassam etgan holda, ekotizimning "umumiy salomatligi" haqida yaxlit tasavvur uyg'otadi. Bioindikatorlarni to'g'ri tanlash va ularni turli ierarxik darajalarda (molekulyardan ekotizimgacha) tahlil qilish, antropogen stressning eng dastlabki belgilarini aniqlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Sanoat hududlarida o'tkazilgan fitoindikatsiya va lixenomonitoring ishlari ifloslantiruvchi moddalarning nafaqat joriy konsentratsiyasini, balki ularning yillar davomida to'planib kelgan kumulyativ samarasini ham ochib beradi. Uzbekistan GTL korxonasi joylashgan qurg'oqchil hudud sharoitida mahalliy floraning adaptiv imkoniyatlarini o'rganish, zavod atrofida "yashil qalqon" tizimini shakllantirish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Bioindikatsiya natijalari asosida ishlab chiqilgan ekologik bashoratlar, korxonalar ma'muriyatiga texnologik jarayonlarni tabiatga zararsiz tarzda muvofiqlashtirish va barqaror rivojlanish strategiyasini ishlab chiqish imkonini yaratadi. Shuningdek, biologik monitoring tizimining iqtisodiy jihatdan samaradorligi va tezkorligi (ekspress-metod) uni yirik ishlab chiqarish obyektlarining kundalik ekologik nazoratiga integratsiya qilishni taqozo etadi. Kelgusida bioindikatsiya ma'lumotlarini zamonaviy raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt tizimlari bilan birlashtirish, ekologik risklarni boshqarishda mutlaqo yangi bosqichni boshlab beradi. Organizmlarning genetik va fiziologik biomarkerlarini muntazam kuzatish, sanoat zonalarida bioxilma-xillikning qisqarishini oldini olishning eng ishonchli usulidir. Ushbu ilmiy yondashuv nafaqat tabiiy landshaftlarni saqlashga, balki sanoat hududlari yaqinida yashovchi aholining salomatligini muhofaza qilishga ham bevosita hissa qo'shadi. Tadqiqot davomida ilgari surilgan ilmiy tavsiyalar sanoat ekologiyasi sohasidagi me'yoriy hujjatlarni takomillashtirishda asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Bioindikatsiya uslubining universalligi uni turli xil texnogen hududlarda, jumladan neft-gaz va kimyo sanoati obyektlarida qo'llash imkonini beradi. Yakuniy xulosa



sifatida shuni aytilish mumkinki, bioindikatsiya — bu tabiat va sanoat o'rtasidagi muvozanatni saqlashning eng aqlli va samarali yechimidir. Ushbu uslubning keng tadbiq etilishi O'zbekistonning "Yashil iqtisodiyot"ga o'tish va xalqaro ekologik standartlarga moslashish yo'lidagi muhim qadamlaridan biri bo'lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bezel, V. S. (2022). *Ecological Toxicology: Principles and Methods of Biomonitoring*. Springer Environmental Science.
2. Groombridge, B., & Jenkins, M. D. (2023). *World Atlas of Biodiversity: Earth's Living Resources*. University of California Press.
3. Krivolutsky, D. A. (2021). *Bioindication of the State of the Environment*. Moscow State University Publishing.
4. Markert, B. A., et al. (2023). *Bioindicators and Biomonitoring: Principles, Concepts and Applications*. Elsevier Science.
5. O'zbekiston Respublikasining Qizil kitobi. (2019). 1-jild: O'simliklar; 2-jild: Hayvonot dunyosi. Toshkent: Chinon.
6. Shuikov, S. (2024). *Ecological Bioindication and Biomonitoring in Central Asia*. Tashkent: National University Press.
7. Toderich, K. (2025). *Phytomonitoring of Arid Ecosystems near Industrial Complexes*. Tashkent: Fan nashriyoti.
8. Walker, C. H. (2021). *Biomarkers: Scientific Basis and Applications in Environmental Health*. CRC Press.