

Shirinbekova Visola Javlon qizi

Mirzo Ulug'bek nomida O'zbekiston Milliy

Universiteti Jizzax filiali magistranti

visolashirinbekova@gmail.com

Sobirova Muqaddas Botirovna

Mirzo Ulug'bek nomida O'zbekiston Milliy

Universiteti Jizzax filiali, PhD

muqaddassobirova0510@gmail.com.

LEMNA MINOR L. SUV O'TLARI YORDAMIDA OQAVA SUVLARNI TOZALASHNING TEXNOLOGIK SXEMASINI ISHLAB CHIQISH

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot *Lemna minor L.* suv o'tlari yordamida oqava suvlarni tozalashning texnologik sxemasini ishlab chiqishni maqsad qilgan. Dastlab *Lemna minor L.* suv o'tlari laboratoriyaga olib kelindi va yuzaki sterilizatsiya qilindi. Shundan so'ng, *Lemna minor L.* suv o'simligi dastlab Hoagland ozuqa muhitida o'stirildi. Akkumulyator zavodi oqava suvining kimyoviy va fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari tahlil qilindi, suvdagi organik moddalar, ozuqa elementlari va og'ir metall ionlarini kamaytirish maqsadida bosqichma-bosqich tozalash texnologik sxemasi ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari *Lemna minor* yordamida biologik tozalash samaradorligini baholash va oqava suvlarni ekologik xavfsiz darajaga yetkazish bo'yicha ilmiy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: *Lemna minor L.*, oqava suv, fitoremediatsiya, hoagland, BOD₅, COD, og'ir metallar, texnologik sxema, biotexnologik usul, fotoperiod.

Аннотация: Целью данного исследования было разработать технологическую схему очистки сточных вод с использованием водорослей *Lemna minor L.* Первоначально водоросли *Lemna minor L.* были доставлены в лабораторию и подвергнуты поверхностной стерилизации. После этого водное растение *Lemna minor L.* было выращено в питательной среде Хоагланда. Были проанализированы химические и физико-химические параметры сточных вод аккумуляторного завода, и разработана поэтапная

технологическая схема очистки для снижения содержания органических веществ, питательных элементов и ионов тяжелых металлов в воде. Результаты исследования обеспечивают научную основу для оценки эффективности биологической очистки с использованием *Lemna minor* и доведения сточных вод до экологически безопасного уровня.

Ключевые слова: *Lemna minor* L., сточные воды, фиторемедиация, Хоагланд, БПК₅, ХПК, тяжелые металлы, технологическая схема, биотехнологический метод, фотопериод.

Abstract: This study aimed to develop a technological scheme for wastewater treatment using *Lemna minor* L. algae. Initially, *Lemna minor* L. algae were brought to the laboratory and surface sterilized. After that, *Lemna minor* L. aquatic plant was first grown in Hoagland nutrient medium. The chemical and physicochemical parameters of the battery plant wastewater were analyzed, and a step-by-step treatment technological scheme was developed to reduce organic matter, nutrient elements, and heavy metal ions in the water. The results of the study provide a scientific basis for evaluating the effectiveness of biological treatment using *Lemna minor* and bringing wastewater to an environmentally safe level.

Keywords: *Lemna minor* L., wastewater, phytoremediation, hoagland, BOD₅, COD, heavy metals, technological scheme, biotechnological method, photoperiod.

Kirish

So‘nggi yillarda aholi sonining ortishi, urbanizatsiya jarayonining jadallashuvi hamda sanoat korxonalarining kengayishi natijasida atrof-muhitga tushayotgan chiqindilar, xususan, oqava suvlarning miqdori keskin oshib bormoqda. Bu holat nafaqat ekologik tizimlar barqarorligiga, balki inson salomatligiga ham bevosita xavf tug‘diradi. Shu sababli, oqava suvlarni tozalash bo‘yicha turli xil tadqiqotlar olib borilmoqda.

Adabiyotlar tahlili

Oqava suvlarni tozalash jarayonlari, odatda, uch asosiy yoʻnalishda — fizik, kimyoviy va biologik usullar yordamida amalga oshiriladi. Har bir usul oʻziga xos mexanizmlarga ega boʻlib, suv tarkibidagi turli ifloslantiruvchi moddalarni bosqichma-bosqich yoʻqotishga qaratilgan. Anʻanaviy fizik va kimyoviy tozalash usullari koʻp hollarda yuqori xarajat talab qilishi, shuningdek, ikkilamchi chiqindilar hosil qilishi bilan chegaralangan. Biotexnologik usullar doirasida suvni tozalashda *Lemna minor* L. ning ahamiyati katta boʻlib, u yuqori oʻsish tezligi, fotosintez faoliyati va organik hamda mineral moddalarni yutish qobiliyati bilan ajralib turadi. Quyidagi eksperimental tadqiqotlar buning yaqqol dalili hisoblanadi.

Ali H.F. va hammualliflar (2024) tomonidan oʻtkazilgan tadqiqotda *Lemna minor* suv oʻsimligi yordamida oqava suv tarkibidagi ogʻir metall ionlarini biotexnologik usulda tozalash imkoniyatlari eksperimental tarzda oʻrganilgan. Tadqiqot natijalari ushbu oʻsimlikning turli ogʻir metall ionlarini samarali yutish qobiliyatiga ega ekanligini koʻrsatgan. *Lemna minor*ning yuqori biomassa oʻsishi va metabolik faolligi metall ionlarining suv muhitidan tezda kamayishiga hamda oʻsimlik toʻqimalarida toʻplanishiga imkon bergan. Mualliflar ushbu oʻsimlik ekologik xavfsiz va barqaror fitoremediatsiya tizimlarini yaratishda yuqori amaliy ahamiyatga ega ekanligini taʼkidlaydi [1]. Sahi S. va hammualliflarning (2023) oʻtkazgan tadqiqotida esa *Lemna minor* suv oʻsimligining sut sanoati oqava suvlarini fitoremediatsiya qilishdagi imkoniyatlari oʻrganilgan. Tadqiqot natijalari ushbu oʻsimlikning oqava suv tarkibidagi organik va biogen ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish qobiliyatiga ega ekanligini koʻrsatgan. *Lemna minor*ning tozalash samaradorligi suvning ifloslanish darajasi va tarkibiga bogʻliq boʻlib, u ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq fitoremediatsiya vositasi sifatida baholangan [5]. Yuqoridagilar kabi turli tadqiqotlar *Lemna minor* suv oʻsimligining sanoat va xoʻjalik faoliyati natijasida hosil boʻladigan oqava suvlarni fitoremediatsiya qilishda yuqori salohiyatga ega ekanligini koʻrsatadi. Eksperimentlar natijalari mazkur oʻsimlikdan foydalanish energiya talab qilmaydigan, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan maqbul fitoremediatsiya tizimlarini yaratish imkonini berishini tasdiqlaydi.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu tadqiqotda *Lemna minor* L. suv o'tlarining oqava suvlarni tozalashdagi biotexnologik imkoniyatlari o'rganish maqsadida o'simlikning sog'lom va faol biomassa namunalaridan tajriba obyekti sifatida foydalanildi. Tadqiqot *Lemna minor*ning fitoremediatsion salohiyatini baholashga qaratilgan bo'lib, ish quyidagi asosiy bosqichlarda amalga oshirildi:

Tadqiqot obyektini tanlash va tayyorlash. *Lemna minor* namunalarining yuzaki mikrobiologik ifloslanishidan qutulish maqsadida, avval suv manbasidan yig'ilgan o'simliklar distillangan suvda yuvildi. Keyin 0,5–1,0 % natriy gipoxlorit (NaOCl) eritmasida taxminan 60 soniya davomida dezinfeksiya qilindi. Dezinfeksiya jarayonidan so'ng namunalar steril/distillangan suv bilan bir necha bor (3–4 marta) toza bo'lguncha chayildi va tajriba sharoitiga moslashtirildi. Mazkur yuzaki sterilizatsiya protokoli *Lemna minor*ning mikroorganizmlardan xoli holatda eksperimental sharoitlarda ishlatilishini ta'minlaydi, bu usul ko'pgina fitoremediatsiya va laboratoriya tadqiqotlarida standart metod sifatida tavsiya etilgan [3].

Tajriba sharoitini tashkil etish. *Lemna minor* o'simligi uchun o'sish muhitini tanlashda Hoagland (1-jadval) muhitidan foydalanildi, chunki ilmiy tadqiqotlar Hoagland muhitida *Lemna* frondalarining vegetativ o'sishi va biomassa ishlab chiqarishining boshqa standart muhitlarga nisbatan yuqori ekanligini ko'rsatadi [4].

1-jadval

Hoagland oziqa muhitini tayyorlash uchun tuzlar va ularning konsentratsiyalari

№	Ingridentlar	Kimyoviy formulasi	Konsentratsiyasi	Mg/L
1	Kalsiy nitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	4.0 mM	944 mg
2	Kaliy nitrat	KNO_3	6.0 mM	606 mg
3	Magniy sulfat	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.0 mM	493 mg
4	Monokaliy fosfat	KH_2PO_4 1.0 mM	1.0 mM	136 mg
5	Temir (xelatlangan)	Fe-EDTA	0.05 mM	18.6 mg

6	Bor kislotasi	H_3BO_3	0.046 mM	2.86 mg
7	Marganets xlorid	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0.009 mM	1.81 mg
8	Rux sulfat	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.00077 mM	0.22 mg
9	Mis sulfat	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.00032 mM	0.08 mg
10	Molibden kislotasi	$H_2MoO_4 \cdot H_2O$	0.00052 mM	0.09 mg

Oqava suv namunalarini tayyorlash. Tajribalar uchun foydalanilgan suv namunalar Jizzax Akkumulyator zavodi oqava suv oqimining oʻrta qismidan (mid-stream) olindi. Oqava suvdan bir qismi dastlabki tahlil uchun Ekologiya laboratoriyasiga berildi.

Fitoremediatsiya tajribasi. Oqava suv namunalariga *Lemna minor* suv oʻsimligi joylashtirildi va tajriba 30 kun davomida laboratoriya sharoitida kuzatildi. Fitoremediatsiya tajribasi optimizatsiyalangan yorugʻlik va harorat sharoitlarida oʻtkazildi. Tajriba davomida *Lemna minor* namunalari kuniga 14–16 soat yorugʻlik va 8–10 soat qorongʻulik fotoperiodda saqlandi, bu oʻsimlik uchun fotosintez va biomassaning oʻsishini ragʻbatlantiradi. Oʻsimliklar 20–30 °C oraligʻidagi haroratda ushlab turildi, chunki ilmiy tadqiqotlarda bu diapazon *Lemna minor* ning optimal oʻsish va metabolik faollik sharoiti sifatida qayd etilgan [2,6].

Natijalar va ularning tahlillar

Tadqiqotlar davomida olib borilgan tajribalar uchun olingan naʼmunalar Jizzax industrial zonasida joylashgan akkumulyator zavodidan olindi. Akkumulyator zavodidan olingan dastlabki oqava suv namunalarida oʻtkazilgan laboratoriya tahlillari natijasida quyidagi (2-jadval) koʻrsatkichlar aniqlandi.

2-jadval

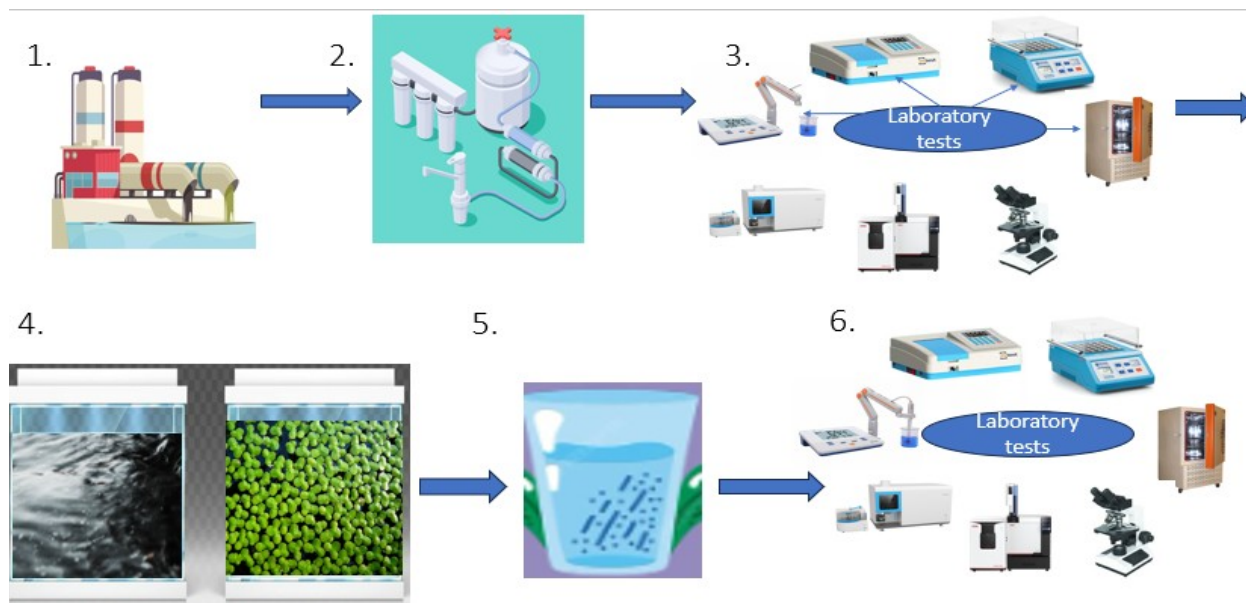
Dastlabki oqava suvning tahlil natijalari

No	Koʻrsatkich	Oʻlchov birligi	Natija	Meʼyor
1	Harorat	°C	24.5	≤ 30
2	pH	—	7.2	6.5–8.5

3	Loyqalilik	NTU	55	≤ 50
4	BOD ₅	mg O ₂ /L	75	≤ 30
5	COD	mg O ₂ /L	180	≤ 80
6	Qo'rg'oshin (Pb ²⁺)	mg/L	0.45	≤ 0.03
7	Kadmiy (Cd ²⁺)	mg/L	0.12	≤ 0.01
8	Mis (Cu ²⁺)	mg/L	0.25	≤ 1.0
9	Rux (Zn ²⁺)	mg/L	0.85	≤ 1.5
10	Sulfatlar (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	≤ 500
11	Fosfatlar (PO ₄ ³⁻)	mg/L	4.2	≤ 3.5
12	Amoniy azoti (NH ₄ ⁺ -N)	mg/L	7.8	≤ 2.0

Dastlabki oqava suvning laboratoriya tahlil natijalariga ko'ra, oqava suvning ba'zi fizik-kimyoviy ko'rsatkichlari me'yor doirasida, ammo organik ifloslanish va og'ir metallar bo'yicha jiddiy oshishlar mavjud. Masalan, oqava suvning pH va harorat ko'rsatkichlari biologik tozalash uchun qulay bo'lsa-da, BOD₅ (2,5 baravar yuqori), COD (2,25 baravar yuqori), qo'rg'oshin (15 baravar yuqori), kadmiy (12 baravar yuqori), fosfatlar (1,2 barobar yuqori) va ammoniy azoti (deyarli 4 baravar yuqori) miqdorlarining me'yordan sezilarli darajada oshishi suvning yuqori darajada ifloslanganligini ko'rsatadi. Tadqiqotlar davomida oqava suvlarni tozalashda bir qancha biotexnologik usullar mavjudligi aniqlandi va shu sababli mazkur oqava suvni tozalashda fitoremediatsiya usullarini, xususan *Lemna minor* o'simligidan foydalanish maqsadga muvofiq deb topildi. Ushbu biotexnologik yondashuvning yechimini bir qancha loyihalar asosida ishlab chiqish mumkin. Shunga asosan tadqiqotlarimizda oqava suvlarni suvo'tlari yordamida tozalashning texnologik sxemasi ishlab chiqildi va kelgusi jarayonlar mazkur sxema bo'yicha davom ettirilishi nazarda tutildi.

Quyidagi texnologik sxema (1-rasm) akkumulyator zavodining oqava suvini tozalash jarayonini bosqichma-bosqich ko'rsatadi va u suvdagi mexanik iflosliklar, kislotali muhit, og'ir metall ionlari hamda ozuqa elementlarini kamaytirish bo'yicha amalga oshiriladigan mexanik, kimyoviy va biologik (fitoremediatsiya) bosqichlarini aks ettiradi.



1-rasm. *Lemna minor L.* suv o'tlari yordamida oqava suvlarni tozalashning texnologik sxemasi.

1.Sanoatlashtirilgan zona oqava suvi; 2.Membranali filtrlar yordamida yirik zarralardan tozalash; 3.Oqava suv tarkibini aniqlash laboratoriya tahlillari (Ph metr, spektrofotometr, COD reaktor., bod incubator, mikroskop, muffle pech, ICP-OES yoki ICP-MS); 4. *Lemna minor L.* suvo'tlarini oqava suvda o'stirish; 5. Mahsulot-tozalangan suv va *lemna minor*; 6.Tozalangan oqava suv tarkibini tahlil qilish(Ph metr, spektrofotometr, COD reaktor., bod incubator, mikroskop, muffle pech, ICP-OES yoki ICP-MS) va dastlabkisi bilan solishtirish.

Ushbu ilmiy ish yuqoridagi texnologik sxema asosida davom ettiriladi va shu davrda *Lemna minor* oqava suvda 30 kunlik o'sish jarayonida joylashtiriladi, bu suvdagi organik va mineral moddalarni, shuningdek og'ir metall ionlarini kamaytirish samaradorligini tahlil qilish imkonini beradi.

Xulosa. *Lemna minor L.* suv o'tlari yordamida oqava suvlarni tozalash yuqori samaradorlikka ega. Hoagland oziqa muhiti *Lemna minor* uchun optimal

muhit hisoblanadi. Akkumulyator zavodi oqava suvi tarkibida tabiatga va insoniyatga zarar keltiruvchi ifloslantiruvchi moddalar miqdori yuqori. Ushbu tadqiqot ishi texnologik sxemaga binoan davom ettiriladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ali H. F., Al-Hassani Z. S., Karim A. M. Phytoremediation of three heavy metals using duckweed (*Lemna minor*) // *International Journal of Health, Safety, and Management*. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 56-64. – DOI: <https://dx.doi.org/10.21070/ijhsm.v3i2.70>
2. de Mooij W.T.M., et al. (2021). *Effects of environmental parameters on Lemna minor growth: An integrated experimental and modelling approach*. *Science of The Total Environment*. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.XXXXXXX>
3. Jason Laurich (2019). *Lemna minor (duckweed) sterilization protocol*. protocols.io. DOI: <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.9gdh3s6>
4. Kittiwongwattana, C., & Vuttipongchaikij, S. (2013). *Effects of nutrient media on vegetative growth of Lemna minor and Landoltia punctata during in vitro and ex vitro cultivation*. Maejo International Journal of Science and Technology, 7(01), 60–69.
5. Sahi, S., Megateli, S. Evaluation of *Lemna minor* phytoremediation performance for the treatment of dairy wastewater // *Global NEST Journal*. — 2023. — Vol. 25, No. 1. — P. 40–46.
6. Shirinbekova V. & Sobirova M.B. *LEMNA MINOR L. suv o'tinining biotexnologik imkoniyatlari* // “Biotexnologiyaning rivojlanish istiqbollari va muammolari” respublika ilmiy anjumani – Jizzax: 2025. – 361–363. – DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15321771>

