RYASKA VA AZOLLA SUV O‘TLARINING SUVNI TOZALASH TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH

Ergashev Samandar Ulug‘bek o‘g‘li
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.22916608

Annotatsiya. Ushbu tezisda ryaska (Lemna spp.) va Azolla spp. asosida oqova va ifloslangan suvlarni fitoremediatsiya usulida tozalash imkoniyatlari tahlil qilindi. Adabiyot ma’lumotlari Lemna turlarining azot va fosforni faol o‘zlashtirishi, Azollaning esa oziqa moddalari bilan bir qatorda ayrim metall ionlari va farmatsevtik qoldiqlarni ham bioakkumulyatsiya qilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Texnologiyani takomillashtirish uchun dastlabki tindirishdan so‘ng Azolla va Lemna uchun alohida ketma-ket hovuzlar, biomassani muntazam yig‘ib olish va yakuniy silliqlash bosqichidan iborat sxema taklif etiladi. Bunday yondashuv o‘simliklararo raqobatni kamaytiradi, har bir bosqichni alohida boshqarish imkonini beradi va tozalash jarayonida ajratib olingan azot, fosfor hamda boshqa moddalarning biomassa orqali tizimdan chiqarilishini kuchaytiradi.

Kalit so‘zlar: ryaska, Lemna minor, Azolla, fitoremediatsiya, oqova suv, azot, fosfor, bioakkumulyatsiya, biomassa.

Аннотация. В тезисе рассмотрены возможности очистки сточных и загрязнённых вод методом фиторемедиации с использованием ряски (Lemna spp.) и Azolla spp. Литературные данные показывают высокую способность Lemna поглощать соединения азота и фосфора, тогда как Azolla наряду с биогенными элементами способна аккумулировать отдельные ионы металлов и некоторые фармацевтические загрязнители. Для совершенствования технологии предложена последовательная схема: предварительное отстаивание, отдельная ступень Azolla, отдельная ступень Lemna, регулярный сбор биомассы и завершающая доочистка. Разделение культур по ступеням уменьшает межвидовую конкуренцию и позволяет оптимизировать условия работы каждого фитореактора.

Ключевые слова: ряска, Lemna minor, Azolla, фиторемедиация, сточные воды, азот, фосфор, биоаккумуляция, биомасса.

Abstract. This thesis reviews the potential of duckweed (Lemna spp.) and Azolla spp. for phytoremediation of wastewater and polluted water. Published studies demonstrate that Lemna can efficiently assimilate nitrogen and phosphorus, while Azolla may additionally accumulate selected metal ions and some pharmaceutical contaminants. An improved treatment train is proposed consisting of preliminary sedimentation, a separate Azolla stage, a separate Lemna stage, regular biomass harvesting, and final polishing. Keeping the macrophytes in sequential units can reduce interspecific competition, facilitate independent process control, and enhance the permanent removal of pollutants from the water through harvested biomass.

Keywords: duckweed, Lemna minor, Azolla, phytoremediation, wastewater, nitrogen, phosphorus, bioaccumulation, biomass.

© 2026 Worldly Knowledge.

Mualliflik huquqi egasi tomonidan ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

KIRISH

Suv resurslarining azot, fosfor, organik moddalar, og‘ir metallar va boshqa mikrozarrachalar bilan ifloslanishi suv havzalarida eutrofikatsiya, kislorod tanqisligi va sanitariya xavflarini kuchaytiradi. An’anaviy mexanik-kimyoviy tozalash usullari yuqori samaradorlikka ega bo‘lsa-da, ular energiya sarfi, reagentlar va hosil bo‘ladigan loyqani boshqarish xarajatlari bilan bog‘liq. Shu sababli suv makrofitlariga asoslangan fitoremediatsiya arzon, biologik va resurs tejamkor qo‘shimcha bosqich sifatida katta qiziqish uyg‘otmoqda (1,2,3).

Ryaska — Lemnaceae oilasiga mansub, suv yuzasida tez ko‘payadigan mayda o‘simliklar guruhi bo‘lib, Lemna minor va Lemna gibba turlari oqova suvdagi ammoniy, nitrat va fosfatlarni biomassa tarkibiga o‘tkaza oladi. Azolla esa suv yuzasida suzuvchi paporotnik bo‘lib, azot fiksatsiyalovchi simbiont mikroorganizmlar bilan birga yashaydi; u ozuqa moddalari, ayrim metallar va organik ifloslantiruvchilarni ushlash xususiyatiga ega (2,7,10). Mazkur ishning maqsadi Lemna va Azolla asosidagi suv tozalash yondashuvlarini umumlashtirish hamda ularni ketma-ket fitoreaktorlar ko‘rinishida takomillashtirish tamoyillarini asoslashdan iborat.

ASOSIY QISM

Lemna asosidagi tizimlarda suvdan ifloslantiruvchilarni chiqarish ikki yo‘l bilan kechadi: birinchidan, o‘simlik azot va fosforni to‘g‘ridan-to‘g‘ri biomassa tarkibiga oladi; ikkinchidan, uning ildizi va barglariga yopishgan mikroorganizmlar nitrifikatsiya-denitrifikatsiya, sorbsiya va organik moddalarning parchalanish jarayonlarini jadallashtiradi. Körner va Vermaat tajribalarida Lemna gibba bilan qoplangan tizimlarda uch kun ichida boshlang‘ich Kjeldal azotining 73–97 foizi va umumiy fosforning 63–99 foizi kamaygan; mualliflar bu yo‘qotishning katta qismini ryaska qoplami va unga bog‘liq mikrobiologik jarayonlar bilan izohlagan (4).

Maishiy oqova suvni Lemna gibba bilan tozalash bo‘yicha boshqa laboratoriya ishida ryaska bosqichida BOD ning 60%, COD ning 54%, umumiy azotning 63%, umumiy fosforning 65% hamda fekal koliformlarning 96% gacha kamayishi qayd etilgan (5). Lemna minor bilan sintetik akvakultura oqova suvida olib borilgan tadqiqotda esa 80% sirt qoplanishida NH4-N, NO3-N va PO4-P uchun mos ravishda 158, 206 va 32 mg·m−2·sut−1 gacha bo‘lgan maksimal maydoniy chiqarish tezliklari aniqlangan (9). Bu ma’lumotlar ryaska uchun sirt qoplanishi va biomassani o‘z vaqtida yig‘ib olish texnologik boshqaruvning muhim omili ekanini ko‘rsatadi.

Azolla tizimlari ham ozuqa moddalarini chiqarish bilan birga ayrim murakkab ifloslantiruvchilarni ushlashda istiqbolli. Sut sanoati oqova suvini Azolla pinnata bilan 14 kunlik fitoremediatsiya qilishda 75% suyultirilgan muhitda umumiy Kjeldal azoti 73,25%, umumiy fosfor 65,37% va umumiy erigan moddalar 71,56% gacha kamaygan (8). Azolla filiculoides va Lemna minuta ishtirokidagi uchlamchi tozalash tadqiqotida esa Azolla temirni 92% gacha, Lemna 60% gacha, har ikkala o‘simlik alyuminiyni 95% dan ortiq, levofloksatsinni esa mos ravishda 60% va 51% atrofida kamaytirgan (7). Shu bilan birga, Azollaning azot fiksatsiyasi kam azotli muhitda faollashishi mumkinligi sababli, uni oziqa moddalari juda kam bo‘lgan yakuniy bosqichda yagona azot chiqaruvchi vosita sifatida qo‘llash ehtiyotkorlik bilan boshqarilishi kerak (1,10).

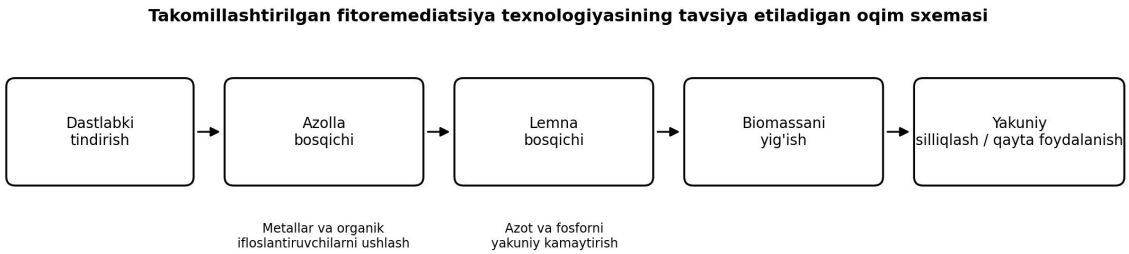
1-jadval. Lemna va Azolla asosidagi fitoremediatsiya bo‘yicha ayrim adabiyot natijalari

O‘simlik	Suv turi	Asosiy natija	Manba
Lemna gibba	Maishiy oqova suv	BOD 60%, COD 54%, TN 63%, TP 65%, fekal koliform 96% gacha kamaygan.	Al-Hashimi va Joda, 2010 (5)

© 2026 Worldly Knowledge.

Mualliflik huquqi egasi tomonidan ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Lemna minor	Sintetik akvakultura oqova suvi	80% sirt qoplanishida NH4-N 158, NO3-N 206 va PO4-P 32 mg·m−2·sut−1 gacha chiqarilgan.	Paolacci va boshq., 2021 (9)
Azolla pinnata	Sut sanoati oqova suvi	14 kunda TKN 73,25%, TP 65,37%, TDS 71,56% gacha kamaygan.	Goala va boshq., 2021 (8)
Azolla filiculoides / Lemna minuta	Tozalangan oqova suv	Fe: 92% / 60%; Al: >95% / >95%; levofloksatsin: 60% / 51%.	Bianchi va boshq., 2020 (7)



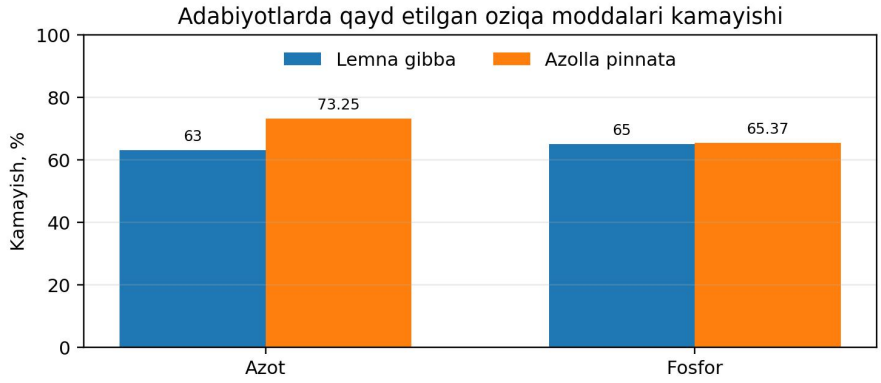
1-rasm. Taklif etilayotgan ketma-ket Azolla–Lemna texnologik sxemasi.

Takomillashtirilgan sxemaning asosiy farqi Azolla va Lemnani bitta havzada aralashtirmasdan, ikki alohida ketma-ket fitoreaktorda ishlatishdir. Dastlabki tindirish yirik suspenziyalar va o‘simlik yuzasini tez qoplaydigan qattiq moddalar yukini kamaytiradi. Birinchi biologik bosqichda Azolla metallar va ayrim organik mikrozarrachalarni ushlashga yo‘naltiriladi; ikkinchi bosqichda Lemna ammoniy, nitrat va fosfatni yakuniy kamaytirish uchun ishlatiladi. Alohida hovuzlar suv chuqurligi, sirt qoplanishi, gidravlik ushlab turish va biomassani yig‘ish rejimini har bir o‘simlik uchun mustaqil boshqarishga imkon beradi. Pilot qurilmalarda Lemna uchun 4,26 kun atrofidagi gidravlik ushlab turish va doimiy biomassani olib tashlash ishlatilganligi ko‘rsatilgan (6), Azolla tajribalarida esa 12–14 kunlik kontakt davrlari samarali bo‘lgan (8,10). Shuning uchun sanoat yoki kommunal obyektda aniq vaqtlar oqova suv tarkibi va mahalliy haroratga qarab tajriba yo‘li bilan tanlanishi lozim.

Biomassani muntazam yig‘ib olish takomillashtirishning eng muhim elementi hisoblanadi. Agar o‘simlik massasi o‘z vaqtida tizimdan chiqarilmasa, qarigan va parchalangan to‘qimalardan azot hamda fosforning suvga qayta ajralishi mumkin. Yig‘ilgan biomassa ifloslantiruvchi tarkibiga qarab xavfsiz yo‘naltiriladi: faqat ozuqa moddalari to‘plangan biomassa kompost, bioo‘g‘it yoki anaerob parchalanish uchun ko‘rib chiqilishi mumkin; og‘ir metall yoki farmatsevtik qoldiqlar to‘plangan biomassa esa oziq-ovqat va yem zanjiriga kiritilmasligi, tegishli chiqindi boshqaruvi asosida utilizatsiya qilinishi kerak (1,2,7).

© 2026 Worldly Knowledge.

Mualliflik huquqi egasi tomonidan ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.



2-rasm. Turli tadqiqotlarda qayd etilgan azot va fosfor kamayishi. Eslatma: oqova suv turlari va tajriba sharoitlari turlicha bo‘lgani uchun diagramma bevosita turlararo sinov emas, adabiyot ko‘rsatkichlarining tasviriy taqqoslanishidir (5,8).

XULOSA

Ryaska (Lemna spp.) va Azolla spp. suvni ekologik usulda tozalash uchun bir-birini to‘ldiruvchi makrofitlar hisoblanadi. Lemna oziqa moddalari, ayniqsa azot va fosforni tez o‘zlashtirishi bilan, Azolla esa ozuqa moddalari bilan bir qatorda ayrim metall ionlari va farmatsevtik qoldiqlarni ushlash salohiyati bilan ajralib turadi. Texnologiyani takomillashtirish uchun dastlabki tindirish – Azolla fitoreaktori – Lemna fitoreaktori – muntazam biomassa yig‘imi – yakuniy silliqlash ketma-ketligi maqsadga muvofiq. Bunday modul yondashuv har bir bosqichni alohida boshqarish, o‘simliklararo raqobatni kamaytirish va ifloslantiruvchilarni biomassa bilan tizimdan barqaror chiqarib tashlash imkonini beradi. Keyingi amaliy bosqichda mahalliy oqova suv uchun optimal sirt qoplanishi, gidravlik ushlab turish va biomassani yig‘ish intervali pilot tajribalar orqali aniqlanishi zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Goala M., Bachheti A., Kumar V. A comprehensive review of recent advances in phytoremediation of wastewaters using Azolla species. 3 Biotech. 2025;15:238. doi:10.1007/s13205-025-04399-y.
2. Taghilou S., Peyda M., Mehrasbi M. A review on the significance of Azolla for water and wastewater treatment. Desalination and Water Treatment. 2023;293:138–149. doi:10.5004/dwt.2023.29528.
3. Ekperusi A.O., Sikoki F.D., Nwachukwu E.O. Application of common duckweed (Lemna minor) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. Chemosphere. 2019;223:285–309. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.02.025.
4. Körner S., Vermaat J.E. The relative importance of Lemna gibba L., bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater. Water Research. 1998;32(12):3651–3661. doi:10.1016/S0043-1354(98)00166-3.
5. Al-Hashimi M.A., Joda R.A. Treatment of Domestic Wastewater Using Duckweed Plant. Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 2010;22(1):11–18. doi:10.1016/S1018-3639(18)30505-1.
6. Ran N., Agami M., Oron G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (Lemna gibba L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. Water Research. 2004;38(9):2241–2248. doi:10.1016/j.watres.2004.01.043.
7. Bianchi E., Biancalani A., Berardi C., et al. Improving the efficiency of wastewater treatment plants: Bio-removal of heavy-metals and pharmaceuticals by Azolla filiculoides and Lemna

© 2026 Worldly Knowledge.

Mualliflik huquqi egasi tomonidan ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

minuta. Science of the Total Environment. 2020;746:141219. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141219.
8. Goala M., Yadav K.K., Alam J., et al. Phytoremediation of dairy wastewater using Azolla pinnata: Application of image processing technique for leaflet growth simulation. Journal of Water Process Engineering. 2021;42:102152. doi:10.1016/j.jwpe.2021.102152.
9. Paolacci S., Stejskal V., Jansen M.A.K. Estimation of the potential of Lemna minor for effluent remediation in integrated multi-trophic aquaculture using newly developed synthetic aquaculture wastewater. Aquaculture International. 2021;29:2101–2118. doi:10.1007/s10499-021-00736-z.
10. Forni C., Chen J., Tancioni L., Grilli Caiola M. Evaluation of the fern Azolla for growth, nitrogen and phosphorus removal from wastewater. Water Research. 2001;35(6):1592–1598. doi:10.1016/S0043-1354(00)00396-1.

© 2026 Worldly Knowledge.

Mualliflik huquqi egasi tomonidan ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.