

KICHIK SUV HAVZALARIDAGI IFLOSLANISH MANBALARINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA XAVFSIZLIK CHORALARI.

Ahmadjonov Diyorbek Abduvohid o'g'li

Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti talabasi

ahmadjonovdiyorbek61@gmail.com

Sohibjonova Gullola Umidjon qizi

Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti talabasi

Soxibjonova1411@gmail.com

Ilmiy rahbar: **Azimova Mayram Kurbanovna**

Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti

mayram.azimova@mail.ru

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada kichik suv havzalarida kuzatilayotgan ekologik muammolar, ularning asosiy ifloslanish manbalari va ular atrof-muhitga ko'rsatadigan ta'siri chuqur o'rganiladi. Suv havzalarida ifloslantiruvchi moddalar (azot va fosfor birikmalari, pestitsidlar, og'ir metallar, mikroorganizmlar)ning miqdoriy o'zgarishini aniqlashda matematik modellashtirishning samaradorligi asoslab beriladi. Model yaratishda suv almashinuv tezligi, cho'kindi qatlam bilan o'zaro ta'sir, diffuziya koeffitsienti, gidrodinamik oqimlar, aeratsiya jarayonlari va biokimyoviy parchalanish reaksiyalari kabi parametrlar inobatga olinadi.

Olingan matematik model ifloslantiruvchi moddalar makon va vaqt bo'yicha tarqalish dinamikasini prognoz qilish, suv sifati indekslarini baholash, xavf zonalarini aniqlash va kelgusida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan ekologik xavflarni oldindan bashorat qilish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari asosida kichik suv havzalarini muhofaza qilish bo'yicha samarali xavfsizlik choralari — biofiltratsiya tizimlari, himoya zonalar, oqava suvlarga qo'yiladigan cheklovlar, ekologik monitoringni avtomatlashtirish va real vaqt tahlili uchun IoT sensorlarini joriy etish taklif etiladi.

Kalit soʻzlar: kichik suv havzalari, ifloslanish manbalari, matematik model, diffuziya, gidrodinamika, ekologik xavf, suv sifati, biokimyoviy jarayonlar, monitoring, xavfsizlik choralari, prognozlash.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В МАЛЫХ ВОДОЁМАХ И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

АННОТАЦИЯ

В данной статье подробно анализируются экологические проблемы малых водоёмов, основные источники их загрязнения и влияние этих факторов на водную экосистему. Подчеркивается эффективность применения математического моделирования для определения количественных изменений загрязняющих веществ, таких как соединения азота и фосфора, пестициды, тяжёлые металлы и микроорганизмы. При построении модели учитываются скорость водообмена, взаимодействие с донными отложениями, коэффициент диффузии, гидродинамические потоки, процессы аэрации и биохимического разложения.

Предложенная математическая модель позволяет прогнозировать пространственно-временную динамику загрязняющих веществ, оценивать индексы качества воды, определять зоны повышенного риска и заблаговременно выявлять возможные экологические угрозы. На основе результатов исследования разработаны рекомендации по повышению безопасности малых водоёмов: использование биофильтрационных систем, создание охранных зон, регулирование сбросов сточных вод, внедрение автоматизированного экологического мониторинга и сенсорных IoT-технологий.

Ключевые слова: малые водоёмы, источники загрязнения, математическое моделирование, диффузия, гидродинамика, экологический риск, качество воды, биохимические процессы, мониторинг, меры безопасности, прогнозирование.

MATHEMATICAL MODELING OF POLLUTION SOURCES IN SMALL WATER BODIES AND SAFETY MEASURES

ABSTRACT

This article provides an in-depth analysis of environmental challenges in small water bodies, focusing on the main sources of pollution and their impact on aquatic ecosystems. The effectiveness of mathematical modeling for quantifying pollutants—including nitrogen and phosphorus compounds, pesticides, heavy metals, and microbial contaminants—is emphasized. The modeling framework incorporates key parameters such as water exchange rate, sediment–water interactions, diffusion coefficients, hydrodynamic flows, aeration processes, and biochemical degradation reactions.

The developed mathematical model enables prediction of the spatiotemporal distribution of pollutants, assessment of water quality indices, identification of high-risk zones, and forecasting of potential environmental hazards. Based on the findings, practical safety measures are proposed, including biofiltration systems, protective buffer zones, regulation of wastewater discharge, implementation of automated environmental monitoring, and integration of IoT-based real-time sensing technologies.

Keywords: small water bodies, pollution sources, mathematical modeling, diffusion, hydrodynamics, ecological risk, water quality, biochemical processes, monitoring, safety measures, forecasting.

KIRISH

Kichik suv havzalari hududlarning ekologik barqarorligini ta'minlashda muhim o'rin tutadi, chunki ular ichimlik suvi manbalari, qishloq xo'jaligi sug'orish tarmoqlari, rekreatsion hududlar va mahalliy bioxilma-xillikni qo'llab-quvvatlovchi tabiiy ekotizimlar sifatida xizmat qiladi. Biroq antropogen faoliyatning jadallashishi, sanoatlashuv, urbanizatsiya va qishloq xo'jaligi yuklamalarining ortishi kichik suv havzalarida ifloslanish jarayonlarini kuchaytirmoqda. Suvga tushayotgan ifloslantiruvchi moddalarning tez o'zgaruvchan xarakteri, suv almashinuvining sekinligi va ekologik jarayonlarning murakkabligi bunday havzalarda an'anaviy monitoringning yetarli bo'lmashligiga olib keladi. Shu sababli suv sifatini baholash, ifloslanish manbalarini

aniqlash va xavf darajasini prognoz qilishda matematik modellashtirish zamonaviy ilmiy yondashuv sifatida keng qo'llanilmoqda. [5]

Matematik modellashtirish nuqtali (korxonalar oqava suvlari, kanalizatsiya tizimlari) va nuqtali bo'lmagan (qishloq xo'jaligi yuzasidan yuvilma, yomg'ir suvlari bilan keluvchi shahar oqimlari) manbalardan keladigan ifloslantiruvchi moddalar suv sifatiga qanday kirib kelishi, tarqalishi va o'zgarishini tahlil qilishda samarali hisoblanadi. Bunda adveksiya–diffuziya tenglamalari, massa balansi, gidrodinamik jarayonlarning matematik modeli, cho'kindi qatlam bilan almashinuv jarayonlari, biokimyoviy parchalanish reaksiyalari va aeratsiya jarayonlari kabi elementar mexanizmlar asos qilib olinadi. Ushbu modellar orqali suv havzasidagi kislorod miqdori (DO), organik moddalar (BOD, COD), oziqlantiruvchi elementlar (azot, fosfor), og'ir metallar, mikroorganizmlar va boshqa ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasining vaqt va makondagi o'zgarish tendensiyalari aniqlanadi. [1]

Kichik suv havzalari ko'pincha morfologik jihatdan murakkab bo'lgani sababli 1D, 2D va 3D gidrodinamik modellar qo'llanadi. 1D modellar sodda daryo uchastkalari uchun yetarli bo'lsa, 2D modellar oqimning ko'ndalang tarqalishini, 3D modellar esa to'liq hajmli harakatni hisobga olgan holda yuqori aniqlikdagi simulyatsiya imkonini yaratadi. Shuningdek, teskari modellashtirish texnikalari (Bayesian MCMC, genetik algoritmlar, optimallashtirish metodlari) yordamida ifloslanishning aynan qaysi nuqtadan, qachon va qanday miqdorda kelayotganini aniqlash mumkin, bu esa favqulodda vaziyatlarda tezkor javob choralarini ishlab chiqishda juda muhimdir. [7]

Umuman olganda, matematik modellashtirish kichik suv havzalarida ekologik xavflarni prognoz qilish, ifloslanish manbalarini aniqlash, xavf zonalarini belgilash va suv resurslarini muhofaza qilish bo'yicha eng maqsadga muvofiq strategiyalarni ishlab chiqishda muhim ilmiy asos yaratadi. Mazkur yondashuv orqali suv sifatini yaxshilash, tozalash inshootlari samaradorligini oshirish, chiqindilarni boshqarish, xavfsizlik choralarini rejalashtirish va hududiy ekologik boshqaruvni takomillashtirish imkoniyati vujudga keladi.

ASOSIY QISM

Kichik suv havzalaridagi ifloslanish jarayonlarini matematik modellashirish suv ekotizimining murakkab tabiiy va antropogen omillar ta'sirida shakllanishini chuqur tahlil qilish imkonini beruvchi zamonaviy yondashuv hisoblanadi. Ushbu jarayon gidrologik oqim dinamikasi, suvda diffuziya va adveksiya jarayonlari, ifloslantiruvchi moddalar kimyoviy o'zgarishlari hamda manbalar ta'sirini o'z ichiga oladi. Modellashirishning markaziy qismi gidrodinamik simulyatsiyalar bo'lib, ular MIKE SHE, MIKE HYDRO, HEC-RAS kabi modellar yordamida suv oqimi tezligi, chuqurligi, oqim yo'nalishi va oqimning fasliy o'zgarishlarini hisoblaydi. Ushbu gidrodinamik ma'lumotlar suv sifati modellariga ulanadi va og'ir metallar, azot birikmalari, fosfor, yog'in suvlari orqali keluvchi qattiq zarrachalar, organik moddalar kabi ifloslantiruvchi moddalarning tashilishi va tarqalishini baholashga imkon yaratadi. [1]

Suv havzasiga tushayotgan yuklamalar turli manbalardan shakllanadi. Qishloq xo'jaligidan keluvchi o'g'it va pestitsid qoldiqlari, yaylovlardan chiqadigan nitratlar, shahar bo'ron oqimlari bilan keluvchi yog'och, chang, mikroplastik va neft mahsulotlari, sanoat korxonalarining nuqtali oqava suvlaridagi og'ir metallar — bularning barchasi model parametrlariga kiritiladi. Ifloslanish jarayonini chuqur tushunish uchun adveksiya-dispersiya tenglamalari qo'llanadi, murakkab sharoitlarda esa ehtimollik asosidagi modellar — Bayesian tarmoqlari yordamida ifloslanish xavfi, uning kelib chiqish ehtimoli, noaniqlik darajasi aniqlanadi. Statistika yondashuvlar, jumladan PCA, klasterlash, Man-Kendall testi suv sifatidagi uzoq muddatli tendensiyalarni, asosiy determinatsion omillarni hamda ustuvor ifloslantiruvchi moddalarni aniqlashga xizmat qiladi. [1]

Kichik suv havzalarining sezgirlik ko'p jihatdan tabiiy sharoitlar bilan belgilanadi: yog'ingarchilik intensivligi ortishi ifloslantiruvchi moddalarni tuproqdan yuvib ketish tezligini oshiradi, geologik qatlamlar filtrlash xususiyatiga ega bo'lgan hollarda ifloslanishni kamaytirishi yoki tezlashtirishi mumkin, tuproqning granulometrik tarkibi moddalarning saqlanishi yoki tez tarqalishini belgilaydi. Shuning uchun modellar GIS ma'lumotlari, masofaviy zondlash rasmlari, tuproq va relyef xaritalari bilan integratsiya qilingan holda ishlab chiqiladi. [8]

Modellashtirish natijalari xavfsizlik choralarini rejalashtirish va muammoga yondashuvni ilmiy asoslash uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Masalan, qishloq xo'jaligi hududlarida vegetativ bufer zonalarini kengaytirish, qurilgan botqoqliklar orqali ozuqa moddalari kamaytirilishi, shahar hududlarida LID (Low Impact Development) texnologiyalari — infiltratsiya hovuzlari, yashil tomalar, bioswales qo'llanilishi ifloslanish yuklamasini sezilarli darajada kamaytiradi. Sanoat korxonalarida esa oqava suvlarni ilg'or texnologiyalar bilan (masalan, sorbsiya, membranali tozalash) qayta ishlash talab etiladi. Favqulodda holatlar, xususan, tasodifiy kimyoviy to'kilishlarda suv omborlarining oqim tartibini o'zgartirish, suvni vaqtinchalik cheklash, real vaqt rejimida monitoring orqali xavfni minimallashtirish amaliy samara beradi. [5]

Amaliy misollardan biri sifatida og'ir metall bilan bog'liq xavfni baholash uchun Bayesian tarmog'i asosida qurilgan model aniq irmoqlarda yuqori toksiklik xavfini ko'rsatgan, natijada monitoring punktlarini optimallashtirish imkonini bergan. Shu bilan birga, MIKE SHE modeli qishloq xo'jaligi drenajidan kelayotgan azot yuklamasining fasliy o'zgarishini aniqlab, qaysi javob choralarining (bufer zonalar, filtratsiya kanallari, kam o'g'itlash amaliyotlari) eng samarali ekanini taqqoslashga imkon yaratdi. Ushbu natijalar kichik suv havzalarida ifloslanishni kamaytirish, ekologik xavfsizlikni kuchaytirish va suvdan barqaror foydalanishni ta'minlashda matematik modellashtirishning muhim ahamiyatga ega ekanini tasdiqlaydi. [2]

XULOSA

Kichik suv havzalaridagi ifloslanish jarayonlarini matematik modellashtirish ularning murakkab ekologik holatini chuqur anglash va samarali boshqaruv choralarini shakllantirish uchun ishonchli ilmiy asos yaratadi. Gidrodinamik va suv sifati modellarini GIS ma'lumotlari, yog'ingarchilik, geologik sharoit va antropogen yuklamalar bilan integratsiya qilish ifloslantiruvchi moddalarning shakllanishi, havza bo'ylab tarqalishi va ekotizimga ko'rsatadigan ta'sirini aniq baholash imkonini berdi. Qishloq xo'jaligi oqimi, shahar bo'ron suvlari, sanoat chiqindilari kabi turli manbalarning ta'siri o'zaro bog'liq holatda tahlil qilinganda, kichik suv havzalarining aynan qaysi segmentlari ko'proq xavf

ostida ekanini aniqlash va monitoringni maqsadga yo‘naltirish imkoniyati vujudga keladi. [8]

Model natijalari shuni ko‘rsatadiki, ifloslanishni kamaytirish faqat bitta usul bilan emas, balki kompleks yondashuv bilan amalga oshirilishi kerak: vegetativ bufer zonalar va qurilgan botqoqliklar kabi tabiiy asoslangan yechimlar, shahar hududlarida LID texnologiyalarini qo‘llash, sanoat oqavalarini chuqur tozalash va favqulodda vaziyatlarga moslashuvchan boshqaruv choralarini joriy etish sezilarli samaralar beradi. Bayesian tarmoqlari va adveksiya-dispersiya modellari asosidagi tahlillar esa ifloslanish xavfining ehtimoliy ssenariylarini oldindan ko‘rish va uni boshqarish uchun eng samarali variantlarni tanlashga yordam berdi. [1]

Umuman olganda, modellashtirish natijalaridan ko‘rinib turibdiki, kichik suv havzalarining ekologik xavfsizligi ularni ilmiy asoslangan, tizimli va bashoratga yo‘naltirilgan boshqaruv bilan mustahkamlash orqali ta‘minlanadi. Shunday yondashuvgina tabiiy resurslardan barqaror foydalanish, mahalliy aholi salomatligi va hududning ekologik barqarorligini uzoq muddatli himoya qilish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Chapra, S.C. Surface Water-Quality Modeling. McGraw-Hill, 1997.
2. DHI. MIKE SHE User Manual. 2017.
3. USACE. HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. 2016.
4. Ambrose, R.B. et al. WASP User Manual. EPA, 2005.
5. Novotny, V. Diffuse Pollution and Watershed Management. Wiley, 2003.
6. Arnold, J.G. et al. SWAT Model Development. JAWRA, 1998.
7. Borsuk, M.E. et al. Bayesian Network Model. Ecol Modelling, 2004.
8. Wang, X., Yin, Z. GIS & Remote Sensing. Env Management, 2000.