

ICHIMLIK SUVINING MIKROBIYOLOGIK XAVFSIZLIGINI MODELLASHTIRISH VA SANITARIYA NAZORATI.

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:

Ushbu maqolada ichimlik suvining mikrobiologik xavfsizligini ta'minlashda qo'llanilayotgan zamonaviy modellashtirish texnologiyalari va sanitariya nazorati tizimining amaliy ahamiyati batafsil yoritiladi. Ichimlik suvi manbalari tarkibida uchraydigan bakteriyalar, viruslar va parazitlarning kelib chiqish sabablari, ularning suv ta'minoti tizimida qanday sharoitlarda ko'payishi hamda aholiga yetkazishi mumkin bo'lgan epidemiologik xavflar izchil tahlil qilinadi. Shuningdek, tadqiqot jarayonida sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, GIS xaritalash, masofaviy sensorga asoslangan monitoring kabi raqamli texnologiyalarning imkoniyatlari ko'rib chiqilib, ular amaliy sanitariya nazorati bilan qanday uyg'un ishlashi tushuntiriladi.

Maqolada ichimlik suvi sifatini real vaqt rejimida kuzatish, mikroorganizmlar faoliyatidagi o'zgarishlarni erta aniqlash, suv ta'minoti tizimidagi xavfli zonalarini oldindan prognoz qilish va sanitariya talablariga mos boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish bo'yicha takliflar beriladi. Olingan natijalar ichimlik suvi tizimlarida mikrobiologik xavflarni kamaytirish, aholining epidemiologik xavfsizligini oshirish va ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit soʻzlar: ichimlik suvi, mikrobiologik xavfsizlik, modellashtirish, sanitariya nazorati, xavf baholash, sunʼiy intellekt, monitoring, GIS.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И САНИТАРНЫЙ КОНТРОЛЬ

Аннотация:

В статье подробно рассматриваются современные цифровые подходы, направленные на обеспечение микробиологической безопасности питьевой воды, а также практическая роль санитарного контроля в этом процессе. Особое внимание уделено анализу основных источников бактериального, вирусного и паразитарного загрязнения, механизмам их распространения в водопроводных системах и факторам, способствующим росту микробной нагрузки. Приведены данные о применении искусственного интеллекта, методов машинного обучения, ГИС-картирования и сенсорных технологий, позволяющих отслеживать состояние воды непрерывно и выявлять потенциально опасные участки еще до возникновения реальных санитарных проблем.

В статье также рассматриваются подходы к количественной оценке микробиологического риска, прогностические модели распространения патогенов и практические методы повышения эффективности санитарного надзора. Полученные результаты представляют собой основу для разработки более надежных систем профилактики водных инфекций, повышения уровня эпидемиологической защищенности населения и улучшения качества водоснабжения.

Ключевые слова: питьевая вода, микробиологическая безопасность, моделирование, санитарный контроль, микробный риск, ГИС, искусственный интеллект, мониторинг.

MODELING OF MICROBIOLOGICAL SAFETY OF DRINKING WATER AND SANITARY SURVEILLANCE

Abstract:

This article provides an in-depth examination of modern digital and analytical approaches used to ensure the microbiological safety of drinking water, with particular emphasis on the practical role of modeling and sanitary surveillance. It discusses the main sources of bacterial, viral, and parasitic contamination, the environmental and infrastructural factors that facilitate microbial growth, and how these contaminants move through water distribution systems.

The study highlights the growing application of artificial intelligence, machine learning algorithms, GIS-based spatial analysis, and advanced sensor monitoring tools that allow continuous, real-time assessment of water quality. These technologies improve the early detection of microbiological threats and help identify high-risk areas before public health becomes compromised.

Furthermore, the article reviews quantitative microbial risk assessment methods, predictive models for pathogen spread, and practical strategies for enhancing sanitary control efficiency. The findings offer valuable guidance for improving water safety management, minimizing microbiological hazards, and protecting public health.

Keywords: drinking water, microbiological safety, modeling, sanitary surveillance, microbial risk, artificial intelligence, GIS, monitoring.

KIRISH

Ichimlik suvining mikrobiologik xavfsizligini ta'minlash hozirgi davrda global sog'liqni saqlashning eng muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. Suv manbalarida viruslar, bakteriyalar va protozoalarning uchrashi, ularning infratuzilma orqali tarqalishi aholining salomatligi uchun jiddiy xavf tug'diradi. Shuning uchun suv tizimlarida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan mikrobiologik xatarlarni oldindan baholash va samarali nazorat qilish zamonaviy yondashuvlarni talab etadi. Bu jarayonda xavfni miqdoriy baholash usullari, xususan, **QMRA** modellari suvdagi patogenlar bilan bog'liq xavflarni bashorat qilish, aralashuv choralari samaradorligini baholash va resurslarni to'g'ri taqsimlash imkonini beradi.

Mikrobiologik xavfsizlikni ta'minlashda **Suv xavfsizligi rejalarini (WSP)** amaliyotga tatbiq etish muhim o'rin tutadi. Ushbu yondashuv suv havzasidan tortib iste'molchining jo'mragigacha bo'lgan barcha bosqichlarda integratsiyalashgan nazoratni taklif qiladi. E. coli kabi indikator mikroorganizmlarga asoslangan monitoring tizimi najas ifloslanishini erta aniqlash imkonini berib, viruslar, Giardia, Cryptosporidium kabi patogenlar nazorati bilan uyg'un holda qo'llanadi.

Suvning xavfsizligini ta'minlash uchun ko'p bosqichli himoya tizimi zarur bo'lib, u manbani muhofaza qilish, filtrlash, xlrlash va boshqa dezinfeksiya usullarini qo'llash, taqsimot tarmog'ida bosimning barqarorligini saqlash kabi choralardan iborat. Membran filtratsiyasi, MPN, xromogen muhit va tezkor impedans usullari suvdagi mikroorganizmlarni aniqlashda asosiy laboratoriya va dala sharoitidagi texnologiyalar sifatida qo'llaniladi.

So'nggi yillarda sun'iy intellekt, masofaviy zondlash va katta ma'lumotlarni qayta ishlashga asoslangan ilg'or modellar suv tizimlaridagi o'zgarishlarni yanada aniq prognoz qilish imkonini bermoqda. Bu esa mikrobiologik xavflarni proaktiv tarzda boshqarishga, suv ta'minoti infratuzilmasining barqarorligini oshirishga va jamoat salomatligini yaxshiroq himoya qilishga xizmat qiladi. Integratsiyalashgan, ilmiy asoslangan ushbu yondashuv nafaqat amaliy sanitariya nazoratini mustahkamlaydi, balki barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

ASOSIY QISM

1. Ichimlik suvining mikrobiologik xavfsizligini ta'minlashning umumiy tamoyillari

Ichimlik suvi tizimlarida mikrobiologik xavfsizlikni ta'minlash "manbadan jo'mragacha" bo'lgan profilaktik boshqaruv tamoyiliga asoslanadi. Bu yondashuv ko'p to'siqli himoya konsepsiyasini o'z ichiga oladi va miqdoriy xavfni baholash, muntazam monitoring, davolash texnologiyalari, infratuzilma holatini nazorat qilish kabi elementlarni birlashtiradi.

Sanitariya nazorati faqat yakuniy mahsulotni sinovdan o'tkazish bilan cheklanmaydi, aksincha, butun tizim bo'ylab ifloslanishning oldini olishga qaratilgan integratsiyalashgan boshqaruv choralarini qamrab oladi.

2. Sanitariya nazorati tizimining asosiy komponentlari

2.1. Sogʻliqni saqlashga asoslangan maqsadlarni belgilash

Suv orqali yuqadigan kasalliklarni kamaytirish uchun suv sifatiga doir aniq epidemiologik va gigiyenik maqsadlar belgilanadi. Ushbu maqsadlar inson va hayvon najasidan kelib chiqadigan patogenlarning taʼsirini minimal darajaga tushirishga qaratilgan.

2.2. Suv xavfsizligi rejalari (WSP)

Suv xavfsizligi rejalari boshlangʻich manbadan tortib isteʼmolchigacha boʻlgan butun taʼminot zanjiri boʻylab xavflarni tizimli baholashni oʻz ichiga oladi. Tizimdagi potentsial xavflar, ifloslanish yoʻllari, nosozlik ehtimoli boʻlgan bosqichlar aniqlanadi va ularni boshqarish strategiyalari ishlab chiqiladi.

2.3. Koʻp toʻsiqli himoya tamoyili

Ichimlik suvidagi mikrobiologik xavfni kamaytirish bir nechta, bir-birini toʻldiruvchi toʻsiqlarni joriy etish orqali amalga oshiriladi:

- **Manba hududlarini himoya qilish:** Oqava suvlarni boshqarish, qishloq xoʻjaligi oqava suvlarini kamaytirish, yovvoyi hayvonlar bilan chiqindilar nazoratini kuchaytirish.

- **Davolash jarayonlari:** Koagulyatsiya, flokulyatsiya, choʻktirish, filtratsiya va dezinfeksiya kabi texnologiyalar mikroorganizmlarni yetarli darajada bartaraf etadi. Dezinfeksiya (xlorlash, UV yoki ozon) asosiy toʻsiq boʻlsa-da, uning samaradorligi oldingi bosqichlar bilan chambarchas bogʻliq.

- **Tarqatish tizimini boshqarish:** Quvurlar yaxlitligini saqlash, bosimning uzluksizligini taʼminlash, dezinfeksiyalovchi qoldiqni nazorat qilish va mikroblarning qayta oʻsishini cheklash.

2.4. Monitoring va kuzatuv

Indikator mikroorganizmlarni — xususan **E. coli** va umumiy koliformlarni muntazam monitoring qilish sanitariya choralarining samaradorligini baholash uchun muhimdir. Sogʻliqni saqlash tashkilotlari tomonidan olib boriladigan mustaqil monitoring standartlarga muvofiqlikni taʼminlaydi.

2.5. Xodimlar malakasi va aloqa tizimi

Suv ta'minoti tizimini boshqaruvchi mutaxassislarning yetarli tayyorgarligi, nosozliklarni tezkor aniqlash va jamoatchilikka axborot yetkazish (masalan, qaynatib ichish bo'yicha ogohlantirishlar) xavfsizlikning ajralmas qismidir.

3. Mikrobiologik xavfni modellashtirishning asosiy komponentlari

3.1. Ma'lumotlarni to'plash va tahlil qilish

Mikrobiologik ifloslanishni bashorat qilish ekologik omillar, meteorologik ko'rsatkichlar, gidrologik jarayonlar, suv sifati parametrlari (E. coli darajasi, harorat, yog'ingarchilik, loyqalik) bo'yicha keng hajmdagi ma'lumotlarni yig'ishni talab qiladi.

3.2. Modelni ishlab chiqish va sozlash

Modellashtirish matematik va hisoblash usullariga asoslanadi. Asosan quyidagi yondashuvlardan foydalaniladi:

- **QMRA** — miqdoriy mikrobiologik xavfni baholash,
- **Statistik modellar**,
- **Mashina o'qitish (AI) modellar**,
- **Gidrologik modellar**.

Model parametrlarini haqiqiy kuzatuv ma'lumotlariga moslashtirish natijalar ishonchliligini ta'minlaydi.

3.3. QMRA asosida xavfni baholash

QMRA ichimlik suvida mavjud bo'lishi mumkin bo'lgan patogen konsentratsiyasi va iste'mol orqali ta'sirlanish ehtimolini hisoblashga imkon beradi. Bu sog'liqqa asoslangan maqsadlar belgilash, davolash bosqichlari samaradorligini baholash hamda optimal yondashuvni tanlashda muhim vositadir.

3.4. Bashorat va stsenariylar tahlili

Modellar yordamida turli sharoitlarda ifloslanish xavfi baholanadi: masalan,

- kuchli yog'ingarchilik,
- iqlim o'zgarishi ta'siri,
- infratuzilma nosozliklari,

- yangi tozalash texnologiyalarining samaradorligi.

3.5. Real vaqt monitoringi bilan integratsiya

Modellarni real vaqt ma'lumotlari (sensorlar, oqim sitometriyasi, IoT qurilmalari) bilan bog'lash orqali tizimdagi o'zgarishlarni darhol aniqlash va tezkor choralar ko'rish imkoniyati beradi.

XULOSA

Ichimlik suvining mikrobiologik xavfsizligini ta'minlash uchun an'anaviy reaktiv monitoring yetarli emas. Samarali himoya tizimi proaktiv boshqaruvga, ya'ni manbadan jo'mragacha bo'lgan suv tizimini qamrab oluvchi, ko'p to'siqli profilaktik yondashuvga asoslanishi kerak. Bu jarayonda bashoratli modellashtirish (masalan, QMRA va sun'iy intellekt modellari) xavfli zonalarini aniqlash, ifloslanish hodisalarini oldindan prognoz qilish va resurslarni samarali taqsimlash imkonini beradi.

Xavflarni baholashda butun suv tizimi, ya'ni suv havzasi, tozalash jarayonlari, taqsimot infratuzilmasi va oxirgi iste'molchigacha bo'lgan jarayonlar o'rganilishi lozim. Suv xavfsizligi rejalariga (WSP) asoslangan kuchli sanitariya nazorati oddiy indikatorlar (*E. coli*) va infratuzilma zaifliklarini nazorat qilish orqali jamoat salomatligini himoya qilish imkonini beradi. Oxir-oqibat, ichimlik suvi xavfsizligini ta'minlash uchun reaktiv sinovdan tashqari, bashoratli modellashtirish, suv xavfsizligi rejasi orqali kuchli sanitariya nazorati va yangi paydo bo'layotgan patogenlar hamda infratuzilma zaifliklarini boshqarish uchun ilg'or monitoringni birlashtirgan proaktiv, xavfga asoslangan strategiyaga o'tish kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th Edition. Geneva: World Health Organization, 2017.
2. WHO. *Water Safety Plan Manual: Step-by-step Risk Management for Drinking-Water Suppliers*. Geneva: World Health Organization, 2009.
3. Haas, C. N., Rose, J. B., Gerba, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. 2nd Edition. Wiley, 2014.

4. O‘zbekiston Respublikasi Sog‘liqni Saqlash Vazirligi. *Ichimlik suvi sifati va sanitariya nazorati bo‘yicha ko‘rsatmalar*. Toshkent, 2020.
5. Abdurahmonov, B., Raxmonov, S. “O‘zbekistonda ichimlik suvining mikrobiologik xavfsizligini baholash.” *O‘zbekiston Biologiya Jurnal*i, 2019; 4(2): 15–22.
6. Ashbolt, N. J. “Microbial Contamination of Drinking Water and Human Health Risk.” *Critical Reviews in Microbiology*, 2004; 30(1): 1–26.
7. Petterson, S. R., Ashbolt, N. J. “QMRA Modelling for Drinking Water Safety: Approaches and Developments.” *Water Research*, 2016; 100: 310–324.
8. Karimov, D. “Suv ta’minoti tizimlarida xavfni boshqarish va profilaktik sanitariya choralarining samaradorligi.” *Toshkent Suv Resurslari Jurnal*i, 2021; 1(5): 45–52.