OQOVA SUVLARNING IFLOSLANISH DARAJASINI RENTGEN-FLUORESSENT USULI YORDAMIDA TAHLIL QILISH

Yunusov Obidjon
Toshkent davlat texnika universiteti
yunusoff.obidjon@yandex.ru

Shukurov Jo‘rabek Lolayevich
Toshkent davlat texnika universiteti
“Ekologiya va atrof muhit muhofazasi” kafedrasi
tayanch doktoranti
E-mail: jshukurov7777@gmail.com

Omandavlatov Sirojiddin Sodiq o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va
agrotexnologiyalar universiteti assistenti
E-mail: sirojiddinomandavlatov96@gmail.com
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20487923

Annotatsiya. Ushbu ishda tozalash inshootlarining samaradorligini baholash uchun oqova suvlarning rentgenofluoressent (RFA) tahlili natijalari keltirilgan. Geliyli atmosferada Rigaku NEX CG spektrometri yordamida kiruvchi va chiquvchi oqova suvlarning element tarkibini qiyosiy o‘rganish o‘tkazildi. Fundamental parametrlar usuli iz miqdorlaridan foizning o‘ndan bir ulushigacha bo‘lgan oraliqda 15 ta elementning konsentratsiyasini aniqlash imkonini berdi. Natijalar chiqindi suvda oltingugurt (2,99 marta), kremniy (1,76 marta) va kalsiy (1,31 marta) konsentratsiyasining sezilarli darajada oshganligini ko‘rsatdi, bu esa tozalash jarayonida ushbu elementlarning konsentratsiyasi yuqoriligini ko‘rsatadi. Rentgenofluoressent tahlil minimal namuna tayyorlash va past aniqlash chegaralari bilan oqova suvlarni tez ko‘p elementli skrining qilish uchun yuqori samaradorlikni ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: rentgen-fluoressent tahlil, oqova suvlar, ko‘p elementli tahlil, oqova suvlarni tozalash, og‘ir metallar, ifloslanish monitoring

Kirish. Oqova suvlar sifatini monitoring qilish ekologik xavfsizlikni ta’minlash va tabiatni muhofaza qilish me’yorlariga rioya qilish uchun o‘ta muhim vazifadir. Atom-absorbsion spektrometriya va induktiv bog‘langan plazma mass-spektrometriyasi (ISP-MS) kabi an’anaviy tahlil usullari yuqori aniqlikni ta’minlaydi, biroq murakkab namuna tayyorlash, katta vaqt sarfi va xodimlarning yuqori malakasini talab etadi [1]. So‘nggi o‘n yilliklarda rentgenofluoressent tahlil (RFA) suv namunalarini muntazam ko‘p elementli skrining qilish uchun istiqbolli muqobil sifatida o‘zini namoyon etdi.

RFA va uning modifikatsiyasi - to‘liq tashqi aks ettirish usuli (TXRF) oqova suvlarni kuzatish uchun bir qator muhim afzalliklarni taqdim etadi. Bu usullar tahlilning yuqori tezligi, kalibrlashning soddaligi, namuna hajmiga qo‘yiladigan minimal talablar (TXRF uchun 10 mkl gacha) va o‘lchovlarni onlayn rejimda yoki bevosita namuna olish joyida o‘tkazish imkoniyati bilan tavsiflanadi [1], [2], [3]. RFAning muhim afzalligi shundaki, u bir vaqtning o‘zida keng ko‘lamli elementlarni, jumladan sanoat oqova suvlarining ustuvor ifloslantiruvchilarini: xrom, nikel, mis, rux, qo‘rg‘oshin, simob, mishyak va kadmiyni aniqlash imkoniyatiga ega [2], [3], [4].

RFA tahlilida geliyli atmosferani qo‘llash xarakterli nurlanishning havo tomonidan yutilishini kamaytirish hisobiga yengil elementlarni aniqlash sezgirligini sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi. Fundamental parametrlar usuli bir xil matritsali standart namunalardan foydalanmasdan miqdoriy tahlilni ta’minlaydi, bu esa oqova suvlar kabi murakkab ko‘p komponentli tizimlar uchun ayniqsa muhimdir.

Ushbu tadqiqotning maqsadi kiruvchi va chiquvchi oqova suvlarning element tarkibini rentgenofluoressent spektrometriya usuli bilan qiyosiy tahlil qilish orqali tozalash inshootlarining samaradorligini baholashdan iborat. Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat: (1) oqova suv namunalarida asosiy va iz elementlarining konsentratsiyasini aniqlash; (2) tozalash jarayonida element tarkibining o‘zgarishini aniqlash; (3) oqova suvlar sifatini muntazam nazorat qilish uchun RFA usulining yaroqliligini baholash;

MATERIALLAR VA USULLAR.

2.1. Namunalarni olish va tayyorlash

Tadqiqot uchun oqova suvlarning ikkita namunasi olindi: tozalash inshootlariga kirishdan oldingi kiruvchi suv (Kiruvchi) va tozalashning to‘liq siklidan o‘tgandan keyingi chiquvchi suv (Chiquvchi). Natijalarning taqqoslanishini ta’minlash maqsadida namunalar 2026-yil 19-martda 10 daqiqalik interval bilan (mos ravishda 10:20 va 10:30) olindi. Namunalar qo‘shimcha namuna tayyorlashsiz suyuq holatda tahlil qilindi, bu esa suv namunalarini RFA usuli bilan tezkor tahlil qilish bo‘yicha tavsiyalarga mos keladi [1], [2].

2.2. O‘lchash uskunalari va sharoitlari

Rentgenofluoressent tahlil Rigaku NEX CG energiya dispersion spektrometrida amalga oshirildi. Yengil elementlarning xarakterli nurlanishining havo tomonidan yutilishini minimallashtirish va atom raqamlari magniydan kalsiygacha bo‘lgan elementlarni aniqlash sezgirligini oshirish maqsadida geliy atmosferasida o‘lchovlar o‘tkazildi [3]. RFA usuli bilan suyuq namunalarni tahlil qilishda geliy atmosferasidan foydalanish standart amaliyot hisoblanadi, chunki bu ko‘plab elementlar uchun ppb va sub-ppb darajasida aniqlash chegaralariga erishish imkonini beradi [3], [4].

Spektrlar 0 dan 40 keV gacha bo‘lgan energiya oralig‘ida turli intensivlikdagi elementlarning cho‘qqilarini vizuallashtirishni optimallashtirish uchun turli masshtablash koeffitsiyentlari (×80, ×30, ×20, ×3,0) bilan qayd etildi. Spektrlarda magniydan ruxgacha bo‘lgan elementlar uchun xarakterli Kα chiziqlari, og‘ir elementlar (stronsiy, sirkoniy, disproziy) uchun Lα chiziqlari, shuningdek, rentgen trubkasidan molibden chiziqlari aniqlangan.

2.3. Ma’lumotlarni tahlil qilish va qayta ishlash usuli

Miqdoriy tahlil fundamental parametrlar usuli yordamida amalga oshirilgan bo‘lib, u matritsa effektlarini hisobga oladi va elementlarni aniqlashni bir xil matritsali standart namunalardan foydalanmasdan amalga oshirish imkonini beradi. Fundamental parametrlar usuli elementlarning fizik konstantalari, qo‘zg‘atish sharoitlari va o‘lchash geometriyasini hisobga olgan holda fluoressensiya intensivligini nazariy hisoblashga asoslangan.

Har bir element uchun quyidagi tahliliy xususiyatlar aniqlangan:

• Konsentratsiya (mass %) - namunadagi elementning massa ulushi;

• Statistik xatolik (Stat. Err.) - impulslarni hisoblash statistikasi bilan bog‘liq bo‘lgan tasodifiy aniqlash xatoligi;

• Aniqlashning quyi chegarasi (LLD, Lower Limit of Detection) - elementning ishonchli aniqlanishi mumkin bo‘lgan minimal konsentratsiyasi;

• Miqdoriy aniqlashning quyi chegarasi (LLQ, Lower Limit of Quantitation) - elementni maqbul aniqlik va aniqlik bilan miqdoriy aniqlash mumkin bo‘lgan minimal konsentratsiya [2].

Qavs ichiga olingan natijalar LLQ dan past konsentratsiyalarga mos keladi va taxminiy qiymatlar sifatida qaraladi. Suv miqdori (H_2O) 100% gacha bo‘lgan farq bilan hisoblandi.

Natijalar

3.1. Kiruvchi oqova suvlarning element tarkibi

Kiruvchi oqava suv namunasida RFA usuli bilan aniqlashning quyi chegarasidan yuqori konsentratsiyadagi 15 ta element aniqlandi. Miqdoriy tahlil natijalari 1-jadval va 1-rasmda keltirilgan.

Kiruvchi oqova suvlarning element tarkibi (Kiruvchi)

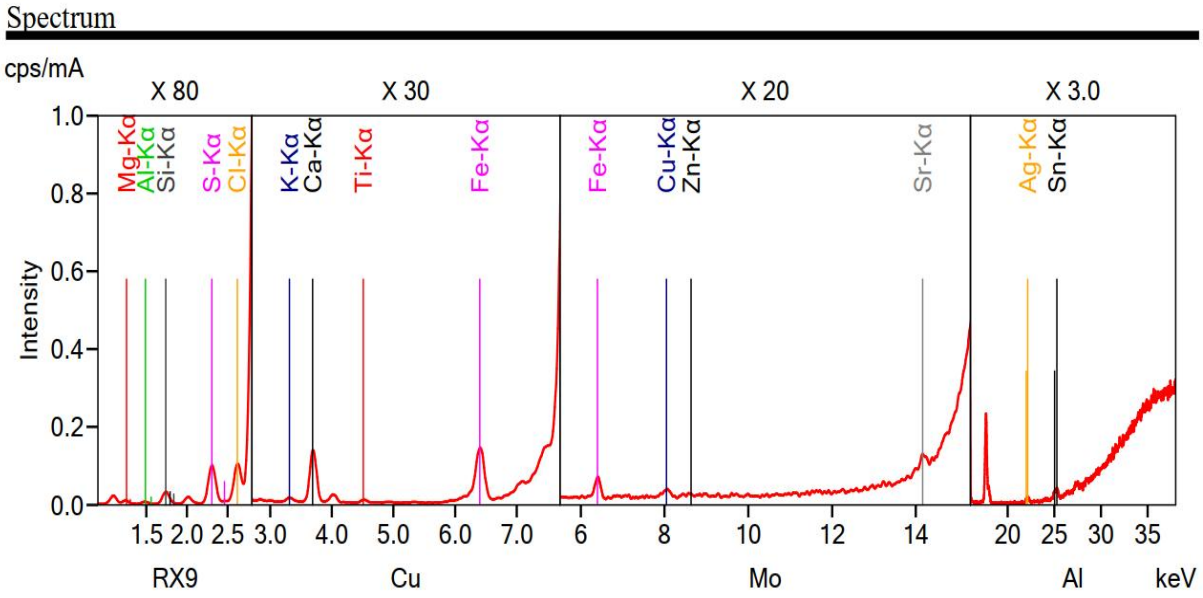
1-jadval

Element	**Konsentratsiya (mass %)**	**Statistik xatolik**	**LLD (mass %)**	**LLQ (mass %)**
Mg	(0,0252)	0,0055	0,0150	0,0451
Al	0,0288	0,0011	0,0014	0,0043
Si	0,0414	0,0007	0,0005	0,0014
S	0,0248	0,0002	<0,0001	0,0002
Cl	0,0121	0,0001	0,0001	0,0003
K	0,0089	0,0005	0,0007	0,0021
Ca	0,0434	0,0007	0,0004	0,0012
Ti	0,0010	<0,0001	0,0001	0,0004
Fe	0,0035	0,0002	0,0002	0,0007
Cu	0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0003
Zn	(0,0002)	<0,0001	<0,0001	0,0002
Sr	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ag	0,0004	<0,0001	<0,0001	0,0002
Sn	0,0013	<0,0001	0,0002	0,0006
Zr	0,0437	0,0003	<0,0001	0,0002
H_2O	99,8	—	—	—

Eslatma: Qavs ichidagi qiymatlar LLQ dan past konsentratsiyalarga mos keladi.

Kiruvchi suvdagi dominant elementlar sirkoniy (0,0437%), kalsiy (0,0434%), kremniy (0,0414%), alyuminiy (0,0288%) va oltingugurt (0,0248%) hisoblanadi. Muayyan elementlarning umumiy konsentratsiyasi 0,2 mass % ni tashkil etadi, qolgani suvga (99,8%) to‘g‘ri keladi. Og‘ir metallardan mis (0,0005%), rux (0,0002%), kumush (0,0004%) va qalay (0,0013%) iz miqdorlarida topilgan.

1-rasm



3.2. Chiqadigan oqova suvlarning element tarkibi

Chiquvchi suv namunasida tozalangandan so‘ng 17 ta element, shu jumladan kiruvchi suvda aniqlanmagan ikkita qo‘shimcha element (vanadiy va nikel) hamda disproziy aniqlandi. Natijalar 2-jadval va 2-rasmda keltirilgan.

Chiquvchi oqava suvlarning element tarkibi

2-jadval

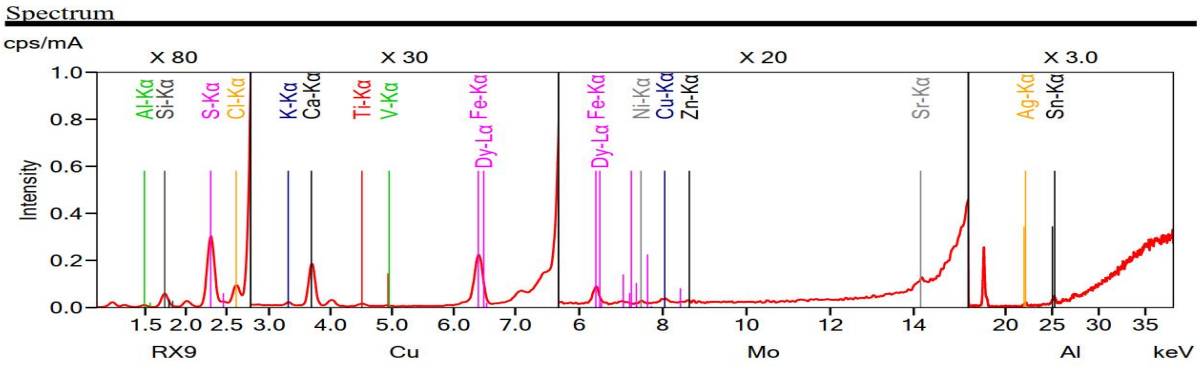
Element	Konsentratsiya (mass %)	Statistik xatolik	LLD (mass %)	LLQ (mass %)
Al	0,0384	0,0013	0,0016	0,0047
Si	0,0727	0,0009	0,0005	0,0015
S	0,0741	0,0004	<0,0001	0,0002
Cl	0,0112	0,0001	0,0001	0,0003
K	0,0101	0,0005	0,0008	0,0023
Ca	0,0567	0,0008	0,0004	0,0013

Element	Konsentratsiya (mass %)	Statistik xatolik	LLD (mass %)	LLQ (mass %)
Ti	0,0014	<0,0001	0,0002	0,0005
V	(0,0001)	<0,0001	0,0001	0,0003
Fe	0,0043	0,0002	0,0003	0,0008
Ni	(0,0002)	<0,0001	0,0001	0,0003
Cu	0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0002
Zn	(0,0002)	<0,0001	<0,0001	0,0002
Sr	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ag	0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0002
Sn	0,0013	<0,0001	0,0002	0,0006
Zr	0,0466	0,0004	<0,0001	0,0002
Dy	(0,0009)	0,0001	0,0004	0,0011
H_2O	99,7	—	—	—

Eslatma: Qavs ichidagi qiymatlar LLQ dan past konsentratsiyalarga mos keladi.

Chiqayotgan suvda oltingugurt (0,0741%), kremniy (0,0727%), kalsiy (0,0567%) va sirkoniy (0,0466%) konsentratsiyalarining sezilarli darajada oshishi kuzatiladi. Aniqlangan elementlarning umumiy konsentratsiyasi 0,3 mass % gacha oshdi, suv miqdori 99,7% ni tashkil etdi.

2-rasm



3.3. Kiruvchi va chiquvchi suvlarning qiyosiy tahlili

Kiruvchi va chiquvchi oqova suvlarning element tarkibini taqqoslash tozalash jarayonida bir qator elementlar konsentratsiyasining sezilarli o‘zgarishini aniqladi. Qiyosiy tahlil natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

Kiruvchi va chiquvchi oqova suvlardagi elementlar konsentratsiyasini taqqoslash

3-jadval

Element	**Kiruvchi suv (mass %)**	**Chiqayotgan suv (mass %)**	**O’zgarishlar (%)**	**O’zgarishlar ning ko’pligi**
Mg	(0,0252)	n.o.	—	—
Al	0,0288	0,0384	+33,3	1,33
Si	0,0414	0,0727	+75,6	1,76
S	0,0248	0,0741	+198,8	2,99
Cl	0,0121	0,0112	−7,4	0,93
K	0,0089	0,0101	+13,5	1,13
Ca	0,0434	0,0567	+30,6	1,31
Ti	0,0010	0,0014	+40,0	1,40
V	n.o.	(0,0001)	—	—
Fe	0,0035	0,0043	+22,9	1,23
Ni	n.o.	(0,0002)	—	—
Cu	0,0005	0,0005	0	1,00
Zn	(0,0002)	(0,0002)	0	1,00
Sr	0,0002	0,0002	0	1,00
Ag	0,0004	0,0005	+25,0	1,25
Sn	0,0013	0,0013	0	1,00
Zr	0,0437	0,0466	+6,6	1,07

Element	Kiruvchi suv (mass %)	Chiqayotgan suv (mass %)	O'zgarishlar (%)	O'zgarishlarning ko'pligi
Dy	n.o.	(0,0009)	—	—

Eslatma: n.o. - aniqlanmadi; qavs ichidagi qiymatlar LLQ dan past.

Eng sezilarli o‘zgarishlar oltingugurt (o‘sish 2,99 marta), kremniy (1,76 marta) va kalsiy (1,31 marta) uchun kuzatiladi. Konsentratsiyalarning o‘rtacha o‘sishi alyuminiy (+33,3%), titan (+40,0%), temir (+22,9%) va kumush (+25,0%) uchun qayd etildi. Xlor konsentratsiyasi biroz kamaydi (−7,4%), mis, rux, stronsiy va qalay konsentratsiyalari esa deyarli o‘zgarishsiz qoldi.

Kiruvchi suvda aniqlanmagan vanadiy, nikel va disproziyning chiquvchi suvda paydo bo‘lishi ham tozalash paytida sodir bo‘ladigan jarayonlar, ham ushbu elementlarni o‘zgartirilgan namuna matritsasida aniqlash sharoitlarining yaxshilanishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

MUHOKAMA

4.1. Elementlar tarkibining o‘zgarishini talqin qilish

Olingan natijalar tozalash jarayonida oqava suvlar element tarkibining murakkab dinamikasini ko‘rsatadi. Chiqadigan suvda oltingugurt, kremniy va kalsiy konsentratsiyasining sezilarli darajada oshishi mumkin bo‘lgan mexanizmlarni batafsil tahlil qilishni talab etadi.

Oltingugurt konsentratsiyasining uch barobar ortishi (0,0248% dan 0,0741%) bir necha omillarga bog‘liq bo‘lishi mumkin. Birinchidan, biologik tozalash jarayonida oltingugurtning organik birikmalari va sulfidlar sulfatlargacha oksidlanib, ular erigan holda qoladi. Ikkinchidan, fizik-kimyoviy tozalash bosqichlarida sulfat saqlovchi reagentlar (koagulyantlar yoki flokulyantlar) dan foydalanish mumkin. Uchinchidan, organik moddalar va muallaq zarrachalarni olib tashlashda erigan anorganik ionlarning, shu jumladan sulfatlarning nisbiy konsentratsiyasi sodir bo‘ladi.

Kremniy konsentratsiyasining 1,76 martaga ortishi (0,0414% dan 0,0727% gacha) ko‘pincha tozalashning ma’lum bosqichlarida hosil bo‘ladigan kremniy tarkibli mineral zarrachalarning ishqoriy sharoitlarda erishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Kremniy, shuningdek, koagulyatsiya va flokulyatsiya uchun ishlatiladigan reagentlardan, masalan, polislikat yoki alyumosilikatlardan ham olinishi mumkin.

Kalsiy konsentratsiyasining 30,6% ga oshishi (0,0434% dan 0,0567% gacha) pH ni tuzatish yoki fosfatlarni cho‘ktirish uchun ohak tarkibli reagentlarni qo‘llash bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Kalsiy biologik tozalash jarayonida organik komplekslarning parchalanishida ham ajralib chiqishi mumkin.

Alyuminiy, titan va temir konsentratsiyalarining o‘rtacha oshishi, ehtimol, alyuminiy va temir tuzlari asosidagi koagulyantlardan foydalanish hamda tarkibida ushbu elementlar bo‘lgan mineral zarrachalarning erishi bilan bog‘liqdir. Og‘ir metallar (Cu, Zn, Sn) konsentratsiyasining barqarorligi tozalash jarayonida ushbu elementlarning samarali yo‘qotilishi yoki bog‘lanishini ko‘rsatadi, bu esa tabiatni muhofaza qilish qonunchiligi talablariga javob beradi [2], [3].

Xlor konsentratsiyasining biroz pasayishi (−7,4%) uning uchuvchan xlororganik birikmalar ko‘rinishida qisman yo‘qotilishi yoki erimaydigan shakllarga bog‘lanishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

4.2. Oqova suvlar monitoringi uchun RFAning afzalliklari

Mazkur tadqiqot natijalari oqova suvlar sifatini monitoring qilish uchun rentgenofluoressent tahlilning yuqori samaradorligini tasdiqlaydi. Usul an'anaviy tahliliy yondashuvlarga nisbatan bir qator muhim afzalliklarni ko'rsatdi.

Birinchidan, RFA minimal namuna tayyorlash bilan tez ko'p elementli tahlilni ta'minlaydi. Ushbu tadqiqotda suyuq namunalar oldindan konsentrlash, minerallashtirish yoki ekstraksiyalashsiz bevosita tahlil qilindi, bu esa tahlil vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi va tahlil namunalarining ifloslanish yoki yo'qolish xavfini kamaytiradi. Adabiyot ma'lumotlari shuni tasdiqlaydiki, TXRF an'anaviy ISP usullariga nisbatan kundalik monitoring uchun tezroq va osonroq usul hisoblanadi [1].

Ikkinchidan, erishilgan aniqlash chegaralari (LLD < 0,0001–0,0150 mass %) va miqdoriy aniqlash (LLQ 0,0002–0,0451 mass %) ko'plab elementlar uchun ISP usullari ko'rsatkichlari bilan taqqoslanadi yoki ulardan ustun turadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, TXRF keng kalibrlash diapazonlari va yuqori asbob aniqligi bilan ISPga qaraganda pastroq aniqlash chegaralarini ta'minlay oladi [2]. Geliy atmosferasidan foydalanish yengil elementlar uchun ppb va sub-ppb darajasidagi sezgirlikka erishish imkonini berdi, bu esa izli ifloslantiruvchi moddalarni aniqlash uchun juda muhimdir [3], [4].

Uchinchidan, fundamental parametrlar usuli bir xil tarkibli standart namunalardan foydalanmasdan, murakkab ko'p komponentli matritsalardagi elementlarni ishonchli miqdoriy aniqlashni ta'minlaydi. Bu, ayniqsa, oqova suvlarni tahlil qilish uchun muhimdir, chunki ularning tarkibi manba va tozalash bosqichiga qarab sezilarli darajada farq qilishi mumkin.

To'rtinchidan, RFA tahlili past ekspluatatsion xarajatlar, qimmatbaho sarf materiallari va reaktivlarga ehtiyoj yo'qligi, shuningdek, o'lchashlarni onlayn rejimda avtomatlashtirish va o'tkazish imkoniyati bilan tavsiflanadi [3], [4], [5]. Bu usul tozalash inshootlarida muntazam monitoring o'tkazish uchun iqtisodiy jihatdan jozibador hisoblanadi.

Olingan natijalar RFAning keng ko'lamli elementlarni, jumladan sanoat oqova suvlarining ustuvor ifloslantiruvchilarini: xrom, nikel, mis, rux, qo'rg'oshin, temir, vanadiy va kumushni ishonchli aniqlash qobiliyatini ko'rsatadi [2], [3], [4]. Bu oqova suvlar sifatining me'yoriy talablarga muvofiqligini baholash uchun usulning yaroqliligini tasdiqlaydi.

4.3. Usulning cheklovlari va tavsiyalar

Yaqqol afzalliklariga qaramay, RFA usuli ma'lum cheklovlarga ega bo'lib, ularni natijalarni talqin qilish va monitoring dasturlarini rejalashtirishda hisobga olish zarur.

Asosiy cheklov matritsa effektlarining ta'siri, ayniqsa yuqori tuzlilik yoki murakkab kimyoviy tarkibga ega namunalarda. Bunday hollarda matritsa ta'sirini kamaytirish uchun oldindan konsentratsiyalash yoki maxsus namuna tayyorlash strategiyalari talab etilishi mumkin [6], [7]. Yuqori tuzli matritsalar uchun oldindan konsentratsiyalash usullarini qo'llash yoki sinxrotron TXRF (SRTXRF) dan foydalanish tavsiya etiladi, bu esa yuqori sezgirlikni va matritsa effektlariga kamroq ta'sirchanlikni ta'minlaydi [3], [6].

Ikkinchi cheklov RFA turli kimyoviy shakllarga (valent holatlar, organik va noorganik birikmalar) ajratmasdan elementlarning umumiy miqdorini aniqlashi bilan bog'liq. Ifloslantiruvchilarning zaharliligi va biosinguvchanligini to'liq baholash uchun ISP-MS bilan birgalikda xromatografiya kabi qo'shimcha spetsifikatsiya usullarini qo'llash talab etilishi mumkin.

Uchinchi cheklov atom raqamlari magniydan past bo'lgan (Z < 12) elementlarga taalluqli bo'lib, ularning xarakteristik nurlanishi kuchli yutilishi tufayli ularni geliy atmosferasida ham detektorlash qiyin. Natriy, fosfor va oltingugurt kabi elementlarni past konsentratsiyalarda aniqlash uchun muqobil usullar talab qilinishi mumkin.

Olingan natijalar va adabiyot ma’lumotlarini tahlil qilish asosida oqova suvlar monitoringi amaliyotiga RFAni joriy etish uchun quyidagi tavsiyalarni shakllantirish mumkin:

1. Usulni validatsiya qilish: aniqlashning aniqligi va aniqligini tasdiqlash uchun sertifikatlangan standart namunalardan foydalangan holda RFA usulini sinchkovlik bilan validatsiya qilish va natijalarni referent usullar (ISP-MS, ISP-AES) bilan taqqoslash zarur [1], [2].

2. Sifat nazorati: tahlillarning to‘g‘riligi, aniqligi va ajratib olish darajasini baholash uchun bo‘sh namunalar, standart namunalar, dublikatlar va qo‘shimchalar qo‘shilgan namunalarni muntazam tahlil qilishni o‘z ichiga olgan sifat nazorati tizimini joriy etish lozim [2], [7].

3. Namuna tayyorlashni optimallashtirish: yuqori loyqalik yoki muallaq zarrachalar miqdoriga ega namunalar uchun takrorlanadigan natijalarni olish uchun dastlabki filtrlash yoki sentrifugalash tavsiya etiladi. Yuqori tuzli namunalarni tahlil qilishda suyultirish yoki oldindan konsentrlash talab etilishi mumkin [6], [7].

4. Metama’lumotlarni hujjatlashtirish: natijalarni kuzatib borishni ta’minlash uchun namuna olish parametrlarini (sarf, manba turi, matritsa sho‘rligi, muallaq zarrachalar mavjudligi), saqlash va tashish sharoitlarini qayd etish zarur.

5. Onlayn monitoring: oqova suvlar sifatini uzluksiz nazorat qilish uchun minimal namuna tayyorlash bilan avtomatik tahlilni ta’minlaydigan va me’yoriy ko‘rsatkichlardan og‘ishlarni tezda aniqlash imkonini beradigan onlayn RFA tizimlarini joriy etish imkoniyatini ko‘rib chiqish tavsiya etiladi [4], [5].

6. Qo‘shimcha usullar: oqova suvlar sifatini to‘liq tavsiflash uchun RFAni organik ifloslantiruvchilarni aniqlash, kislorodning biokimyoviy iste’moli (KBI), kislorodning kimyoviy iste’moli (KKI) va toksikologik testlash kabi boshqa tahliliy usullar bilan birgalikda qo‘llash lozim.

Xulosa. Rentgenoflyuoressent tahlil oqova suvlarning element tarkibini baholash va tozalash inshootlarining samaradorligini monitoring qilish uchun yuqori samaradorlikni ko‘rsatdi. Usul minimal namuna tayyorlash, past aniqlash chegaralari va yuqori aniqlik bilan keng spektrdagi elementlarni bir vaqtning o‘zida tez aniqlashni ta’minlaydi.

Kiruvchi va chiquvchi oqova suvlarning qiyosiy tahlili tozalash jarayonida element tarkibining sezilarli o‘zgarishini aniqladi. Konsentratsiyalarning eng sezilarli o‘sishi oltingugurt (2,99 marta), kremniy (1,76 marta) va kalsiy (1,31 marta) uchun kuzatildi, bu oksidlanish jarayonlari, reagentlardan foydalanish va organik moddalar va muallaq zarrachalarni olib tashlashda erigan komponentlarning nisbiy konsentratsiyasi bilan bog‘liq. Og‘ir metallar (Cu, Zn, Sn) konsentratsiyasining barqarorligi tozalash inshootlarining ustuvor ifloslantiruvchilarni chiqarib tashlash bo‘yicha samarali ishlashidan dalolat beradi.

Geliy atmosferasi va fundamental parametrlar usulidan foydalanish sezilarli darajada kam vaqt va resurs sarflagan holda an’anaviy ISP usullari bilan taqqoslanadigan sezgirlikka erishish imkonini berdi. RFA oqova suvlar sifatini muntazam monitoring qilish, tozalash inshootlarining samaradorligini baholash va tabiatni muhofaza qilish me’yorlariga rioya etilishini nazorat qilish uchun tavsiya etilishi mumkin.

Keyingi tadqiqotlar sertifikatlangan standart namunalardan foydalangan holda usulni validatsiya qilishga, turli xil oqova suvlar uchun standartlashtirilgan namuna tayyorlash protokollarini ishlab chiqishga, shuningdek, real vaqt rejimida uzluksiz monitoring qilish uchun onlayn RFA tizimlarini joriy etishga qaratilishi lozim. RFAni boshqa tahliliy usullar bilan birgalikda kompleks qo‘llash oqova suvlar sifatini va tabiatni muhofaza qilish chora-tadbirlari samaradorligini har tomonlama baholash imkonini beradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Qodirov O., Abdullayev A. Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi asoslari. – Toshkent: Fan, 2020. – 312 b.
2. Rasulov A.R., Ismoilov B.I. Analitik kimyo. – Toshkent: O‘qituvchi, 2019. – 456 b.
3. Mavlonov A., Xolmatov D. Instrumental analiz usullari. – Toshkent: Tafakkur, 2021. – 384 b.
4. Jenkins R. X-Ray Fluorescence Spectrometry. – New York: Wiley-Interscience, 1999. – 232 p.
5. Beckhoff B., Kanngießer B., Langhoff N., Wedell R., Wolff H. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. – Berlin: Springer, 2006. – 863 p.