

Bunyod BOBOJONOV,
O'zMPU Kimyo kafedrasida dotsenti v.b., PhD
E-mail:bobojonovbunyod.1988@gmail.com
Sevara G'ANIYEVA,
O'zMPU talabasi

O'zMU dotsenti, PhD S.Raximov taqrizi asosida

ЗНАЧЕНИЕ ИОНА МОЛИБДЕНА (VI) И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Аннотация

В статье проанализированы экологическое и биологическое значение иона молибдена (VI), а также современные аналитические методы его определения. Проведена сравнительная оценка спектрофотометрических, сорбционных, ионообменных, мицеллярно-экстракционных и методов на основе наноконструкций. Установлено, что хромогенные реагенты обеспечивают высокую чувствительность, тогда как анионообменные и волокнистые сорбенты способствуют селективному разделению и предконцентрированию. Полученные результаты подтверждают, что комплексный подход является наиболее эффективным при определении Mo(VI) в низких концентрациях.

Ключевые слова: молибден (VI), спектрофотометрия, хромогенный реагент, сорбция, ионный обмен, мицеллярная экстракция, Triton X-114, наноконструктив, предконцентрирование, экологический мониторинг.

IMPORTANCE OF THE MOLYBDENUM(VI) ION AND METHODS OF ITS DETERMINATION

Annotation

The article analyzes the ecological and biological significance of molybdenum (VI) ions and reviews modern analytical methods for their determination. A comparative evaluation of spectrophotometric, sorption, ion-exchange, micellar extraction, and nanocomposite-based methods was carried out. Chromogenic reagents were found to provide high sensitivity, while anion exchangers and fibrous sorbents ensure selective separation and preconcentration. The results confirm that an integrated approach is the most effective for determining Mo(VI) at low concentrations.

Keywords: molybdenum (VI), spectrophotometry, chromogenic reagent, sorption, ion exchange, micellar extraction, Triton X-114, nanocomposite, preconcentration, environmental monitoring.

MOLIBDEN (VI) IONINI AHMIYATI VA ANIQLASH USULLAR

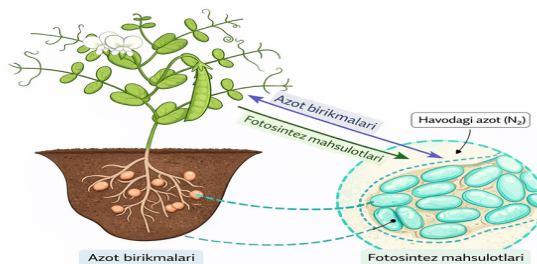
Аннотация

Maqolada molibden (VI) ionining ekologik va biologik ahamiyati hamda uni aniqlashning zamonaviy analitik usullari tahlil qilindi. Spektrofotometriya, sorbsion ajratish, ion-almashinuv, mitsellyar ekstraktsiya va nanokompozit asosidagi usullar qiyosiy baholandi. Xromogen reagentlar yuqori sezgirlikni, anion almashinuvchi va tolali sorbentlar esa selektiv ajratish hamda prekonsentratsiyani ta'minlashi aniqlandi. Natijalar Mo(VI) ni past miqdordalarda aniqlashda kompleks yondashuv samarali ekanini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar. Molibden (VI), spektrofotometriya, xromogen reagent, sorbsiya, ion-almashinuv, mitsellyar ekstraktsiya, Triton X-114, nanokompozit, prekonsentratsiya, ekologik monitoring.

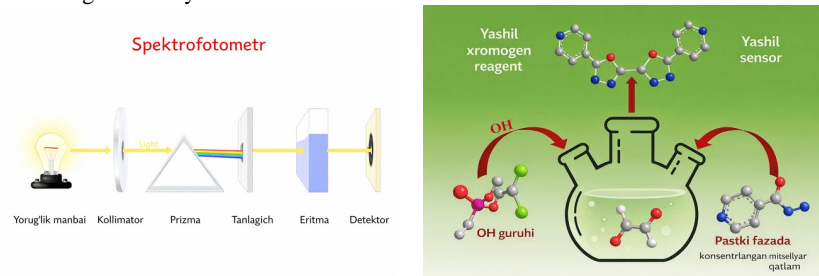
Kirish. Molibden zamonaviy sanoat, ekologiya, biologiya va analitik kimyo kesishgan nuqtadagi eng muhim mikroelementlardan biridir. So'nggi tadqiqotlar molibdenning global zaxiralari yaqin 50–100 yil ichida kamayib ketishi mumkinligini ko'rsatmoqda, bu esa uni qayta ishlash darajasini 20 % dan 80 % gacha oshirish zarurligini taqozo etadi [1]. Shu bilan birga, molibdenning biologik tizimlardagi roli, ayniqsa fermentativ jarayonlardagi ishtiroki, uni ekologik va tibbiy jihatdan ham muhim elementga aylantiradi [2]. Molibden o'simliklar, hayvonlar va inson organizmida fermentlar tarkibida ishtirok etib, azot fiksatsiyasi, redoks reaksiyalar, metabolizm jarayonlarini boshqaradi [3]. Biroq yuqori konsentratsiyalarda u toksik ta'sir ko'rsatishi ham aniqlangan [4]. Shu sababli molibdenning ekologik ta'siri, biologik ahamiyati hamda analitik aniqlash usullarini mukammallashtirish dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi.

Molibdenning biologik tizimlardagi roli azot aylanishi bilan bevosita bog'liq bo'lib, u nitrogenaza fermentining Mo-Fe kofaktori tarkibiga kiradi. Shu sababli Mo ning tabiatdagi aylanishi, o'simliklar oziqlanishi va tuproq unumdorligiga ta'siri mavjud [5,6].



1-rasm. Molibden ishtirokidagi azot fiksatsiyasi jarayoni

Ushbu sxemada Mo-Fe kofaktorli nitrogenaza fermenti orqali atmosfera azotining (N_2) qaytarilib ammiak (NH_3) ga aylanish bosqichlari ko'rsatilgan. Elektronlar Fe-S klaster orqali Mo markazga uzatiladi. ATP energiyasi hisobiga protonlar birikib, azot molekulasini parchalanadi. Bu mexanizm molibdenning biologik ahamiyatini tushuntirib beradi va nima sababdan Mo ning ekologik monitoringi muhimligini asoslaydi.

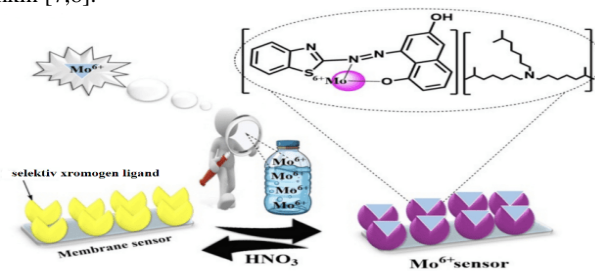


2-rasm. Spektrofotometrik aniqlash prinsipi

Bu sxema Mo(VI) ionining xromogen reagent bilan rangli kompleks hosil qilib, kuvetkada yorug'likni yutishiga asoslangan. Jarayon Buger–Lambert–Ber qonuni bilan ifodalanadi:

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot C$$

bu yerda yutilish intensivligi to'g'ridan-to'g'ri konsentratsiyaga bog'liq. Shu sababli Mo(VI) ni juda past konsentratsiyalarda aniqlash mumkin [7,8].



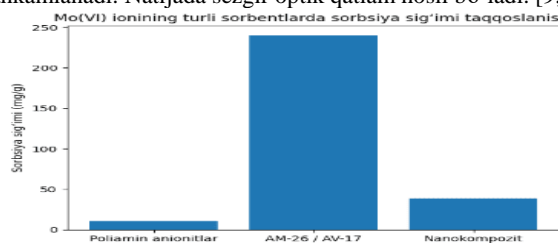
3-rasm. Tolali sorbentga reagent immobillanish mexanizmi

Mo(VI) suvli eritmalarida asosan MoO_4^{2-} oksianion ko'rinishida mavjud bo'lgani uchun u anion almashinuv, kompleks hosil qilish va sorbsion prekonsentratsiya usullari orqali juda samarali ajratiladi va aniqlanadi. Keltirilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, Mo(VI) sorbsiyasi oddiy ion almashinuv emas, balki elektrostatik tortilish + koordinatsion komplekslanish + g'ovak tuzilishdagi diffuziya jarayonlarining birgalikdagi natijasidir.

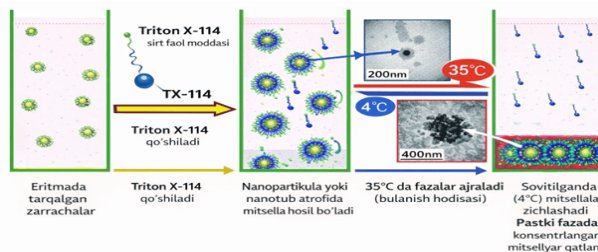
Klassik poliamin anionitlardan tortib, kuchli asosli AM-26/AV-17 anionitlar, tolali immobillangan reagentlar, modifikatsiyalangan sopolimerlar va nanokompozitlarga bo'lgan evolyutsiya shuni isbotlaydiki, sorbentning samaradorligi uning kimyoviy nomidan ko'ra, fazoviy tuzilishi, funksional guruhlarining joylashuvi va ichki g'ovak arxitekturasi bilan belgilanadi.

Natijada Mo(VI) ni past konsentratsiyali eritmalar, shaxta suvlari va sanoat oqavalaridan ajratish va aniqlashda eng samarali yondashuv — anion almashinuvchan, amin/fenilendiamin tipidagi kompleks hosil qiluvchi, g'ovak va regeneratsiyalanadigan sorbentlarni spektrofotometrik aniqlash bilan uyg'un qo'llash ekanligi aniqlandi.

PAN asosidagi tolalarda $-OH$, $-NH_2$, $-SO_3H$ funksional guruhlar mavjud. Xromogen reagentlar shu guruhlar bilan vodorod bog'i va ion-almashinuv orqali mahkamlanadi. Natijada sezgir optik qatlam hosil bo'ladi. [9, 10].

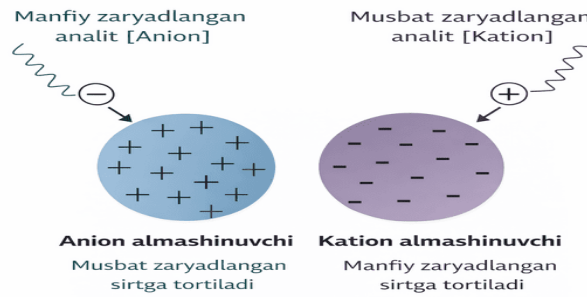


Taqqoslash shuni ko'rsatadiki, Mo(VI) ionini sorbsiyalashda AM-26/AV-17 kabi kuchli anion almashinuvchilar eng yuqori sig'imni beradi va selektiv ajratish uchun eng samarali hisoblanadi. Nanokompozitlar sig'imi o'rtacha bo'lsa-da, tez sorbsiya kinetikasi bilan ajralib turadi. Poliamin anionitlar esa almashinuv xususiyatiga ega, biroq sorbsiya sig'imi nisbatan past.



4-rasm. Triton X-114 bilan mitsellyar ekstraksiya

Triton X-114 kritik haroratda ikki fazaga ajraladi. Mo(VI) ning xromogen kompleksi mitsellaning gidrofob qismiga o'tadi va prekonsentratsiya yuz beradi. Bu usul LOD ni $\mu\text{g/l}$ darajagacha tushiradi [11,12].



5-rasm. Ion-almashinuv asosida Mo(VI) ni ajratib olish

MoO_4^{2-} anioni anion almashinuvchi qatlamda Cl^- bilan almashadi. Sorbent sig'imi 240 mg/g gacha yetadi (AM-26). Bu jarayon selektiv ajratish va konsentrlash imkonini beradi [13, 10].

Fe_3O_4 , Al_2O_3 nanopartikullar ultratovush yordamida dispersiyalanib, Mo(VI) ni tez sorbsiyalaydi va mikroekstraksiya beradi. Elektrokimyoviy usullarda esa perokso-kompleks hosil bo'lishi Nernst qonuniga bo'ysunadi [14–16].

Muhokama. Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, molibdenning ekologik va biologik ahamiyati uning analitik nazoratini ilmiy asosda tashkil etishni talab qiladi. Molibden bir tomondan azot fiksatsiyasi, fermentativ redoks jarayonlar va o'simliklar oziqlanishida muhim mikroelement bo'lsa, ikkinchi tomondan ortiqcha miqdorda tirik organizmlar uchun toksik ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli Mo(VI) ionini aniqlashda nafaqat sezgir, balki selektiv va tezkor usullarni qo'llash zarur. Tadqiqotlarda ko'rib chiqilgan spektrofotometrik usullar xromogen reagentlar bilan rangli komplekslar hosil qilishga asoslanib, juda past konsentratsiyalardagi molibdenni aniqlash imkonini beradi. Buger–Lambert–Ber qonuniga bo'ysinishi bu usulning miqdoriy tahlilda yuqori aniqlik berishini ta'minlaydi. Ayniqsa, 4-nitrokatekol, tetrazoliy tuzlari, p-karboksifenilfluron va p-DAFF kabi reagentlar molyar yutilish koeffitsientining yuqoriligi bilan ajralib turadi va bu Mo(VI) ni ng/ml va hatto undan past darajalarda aniqlash imkonini yaratadi [7, 17, 8, 18]. Sorbsion va tolali sorbentlar asosidagi usullar esa ekologik monitoring uchun alohida ahamiyatga ega. PAN asosidagi tolalarda reagentlarning immobillanishi natijasida sezgir optik qatlam hosil bo'lib, bu qatlam ko'p marotaba foydalanish, tezkor tahlil va dala sharoitida qo'llash imkonini beradi [9, 10]. Bunday yondashuv an'anaviy eritma fazasidagi tahlillarga nisbatan soddarroq va iqtisodiy jihatdan tejamkor hisoblanadi. Triton X-114 yordamidagi mitsellyar ekstraksiya va nanokompozit mikroekstraksiya usullari prekonsentratsiya bosqichini samarali amalga oshiradi. Bu esa Mo(VI) ionini juda past konsentratsiyalarda ham aniqlash, ionlar ta'sirini kamaytirish va tahlil aniqligini oshirishga xizmat qiladi [11, 16, 12]. Ion-almashinuv usullari MoO_4^{2-} anionining selektiv almashinish xossasiga asoslanib, murakkab tarkibli eritmalaridan molibdenni ajratib olish imkonini beradi. Yuqori almashinish sig'imiga ega sorbentlar (AM-26, AV-17 va boshqalar) yordamida molibdenni konsentrlash va keyingi aniqlash bosqichini soddallashtirish mumkin [13, 10]. Elektrokimyoviy va ionometrik usullar esa tezkorligi, yuqori selektivligi va avtomatlashtirish imkoniyati bilan ajralib turadi. Perokso-kompleks hosil bo'lishiga asoslangan ionometriya Nernst qonuniga bo'ysunib, Mo(VI) ni aniq miqdoriy baholash imkonini beradi [14], [15].

Umuman olganda, keltirilgan usullar bir-birini to'ldiradi va kompleks qo'llanilganda molibden monitoringini yuqori aniqlik darajasida tashkil etish imkonini beradi.

Xulosa. Molibden (VI) ionini aniqlashning zamonaviy usullari uning ekologik, biologik va sanoat ahamiyatini hisobga olgan holda takomillashib bormoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, xromogen reagentlarga asoslangan spektrofotometrik usullar eng yuqori sezgirlikni ta'minlaydi, sorbsion va tolali sorbentlar esa dala sharoitida tezkor va qulay tahlil qilish imkonini beradi. Mitsellyar va nanokompozit ekstraksiya usullari prekonsentratsiya orqali aniqlash chegarasini sezilarli kamaytiradi. Ion-almashinuv va elektrokimyoviy usullar esa selektivlik va tezkorlik jihatidan ustunlikka ega.

Shu bois, Mo(VI) ionini aniqlashda bitta usuldan emas, balki spektrofotometrik, sorbsion, ion-almashinuv va elektrokimyoviy yondashuvlarni uyg'un holda qo'llash eng samarali natijani beradi. Bu yondashuv ekologik monitoring, ichimlik suvlari nazorati, qishloq xo'jaligi tahlillari va sanoat eritmalarini tekshirishda yuqori ishonchlikni ta'minlaydi.

Natijada, molibdenni aniqlashning yuqori sezgir va selektiv usullarini joriy etish atrof-muhitni muhofaza qilish, biologik tizimlarni nazorat qilish va sanoat xavfsizligini ta'minlashda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Henckens L.C.M., Driessen P.P.J. Molybdenum resources: Their depletion and safeguarding for future generations// Resources. Conservation & Recycling journal homepage. –2018. –P 127-128.
2. Sergio Sanudo-Wilhelmy. Redox chemistry of molybdenum in natural waters and its involvement in biological evolution// Frontiers in Microbiology. –2012. –V 3. –P 427.
3. Kaiser B. N., Gridley K. L., Brady J. N., Thomas P., Stephen D. T. The role of molybdenum in agricultural plant production// Annals of Botany. –2005. –№ 5. –V 96. –P 745-754.
4. Anke M., Seifert M., Holzinger S., Muller R., Schafer U. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. Part 2: Molybdenum in animals and man// Acta Biologica Hungarica. –2007. –№ 3. –V 58. –P 325-333.
5. Anke M., Seifert M. The biological and toxicological importance of molybdenum in the environment and in the nutrition of plants, animals and man. Part 1: Molybdenum in plants// Acta Biologica Hungarica. –2007. –V 58. –P 311-324.
6. Kaiser B.N., Gridley K.L., Brady J.N., Thomas P., Stephen D.T. Effect of foliar feeding on nitrogen assimilation in alfalfa plants at insufficient molybdenum supply// Acta Biologica Hungarica. –2009. –№ 2. –V 60. –P 211-219.
7. Divarova V., Antoaneta D. Toncheva S.G., Milchev N. Spectrophotometric Determination of Molybdenum (VI) as a Ternary Complex with 4-Nitrocatechol and Benzalkonium Chloride// Transition Metal. –2022. –№ 4. –V 27. –P 12-17.

8. Li Zaijun., Pan Jiaomai., Jian Tang. Determination of trace molybdenum in vegetable and food samples by spectrophotometry with p-carboxyphenylflurone// *Analytical and bioanalytical chemistry*. –2002. –Т 374. –№ 6. –С 1125-1131.
9. Shvoeva O.P., Dedkova V.P., Savvin S.B. Method of Two Reagents on a Solid Phase for the Determination of Simultaneously Present Vanadium (V) and Molybdenum (VI)// *Journal of Analytical Chemist.* –2000. –V 55. –№ 6. –P 545-548.
10. Дедкова В. П., Швоева О. П., Саввин С. Б. Последовательная сорбция молибдена (VI) и хрома (VI) из одной пробы на волоконистом материале, наполненном анионообменником и определение на твердой фазе фенилфлуороном и дифенилкарбазидом// *Журнал аналитической химии*. –2013. –Т 68. –№ 7. –С 640–645.
11. Gambarov D.G., Khalilova F.G., Nagiev Kh.D. Spectrophotometric determination of molybdenum(VI) with Bromopyrogallol red in the presence of Triton X-114// *Journal of Analytical Chemistry*. –2006. –V 61. –P 638–640.
12. Hayati Filik 1, Tayfun Cengel, Reşat Apak. Selective cloud point extraction and graphite furnace atomic absorption spectrometric determination of molybdenum (VI) ion in seawater samples// *Hazard Mater.*–2009.–№ 1-3.–V 169. –P 766-771.
13. Акимовна Г.З. Интенсификация процессов сорбционного извлечения ионов молибдена и вольфрама из водных растворов сложного состава. // *Владикавказ*. –2010. –С 54-55.
14. Русяева Ю.И., Шабарин А.А., Лазарева О.П. Ионметрическое определение Молибдена (VI)// *Химия и химическая технология*.–2010.–Т 53.–№ 12. –С 68-69.
15. Бакахонов А.А., Яхшиева З.З. Применение азосоединений для амперометрического титрования молибдена (VI)// *Journal of Natural Science* –2021. –№ 4. –С 18-23. <http://natscience.jspi.uz>
16. Luthando N., Joseph M., Philiswa N. N. Nanoparticles consisting of magnetite and Al₂O₃ for ligandless ultrasound-assisted dispersive solid phase microextraction of Sb, Mo and V prior to their determination by ICP-OES// *Microchimica Acta*. –2016. –V 183. –P 1289–1297.
17. Dimitrov A.N., Lekova V.D., Gavazov K.B., Boyanov B.S. Ternary complex of molybdenum (VI) with 4-nitrocatechol and tetrazolium blue chloride and its application to extraction- spectrophotometric analysis of ferrous metallurgy products// *Zhurnal analiticheskoi khimii*. –2007. –Т 62. –№ 2. –С 138-141.
18. Саламов А.Х., Алакаева Л.А. Спектрофотометрический метод определения молибдена в присутствии вольфрама в промышленных объектах// *Аналитическая химия. Россия*. –С 143-144.