Статья поступила в редакцию: 25.09.2026
Статья принята к публикации: 08.10.2026
Статья опубликована: 07.11.2026

УДК 543.421.424+546.817

Разработка оптимальных условий иммобилизации реагента арсеназо III на полимерном волокнистом сорбенте

Имамова Диляйра Абдурахимовна
магистрант
Каршинский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Карши
E-mail: Boboyorovboboyorov8@gmail.com

Шодиев Голиб Чориевич
преподаватель кафедры неорганической химии
Каршинский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Карши

Норматов Бекташ Рамазанович
д-р философии (PhD) по хим. наукам, ст. преп
кафедры неорганической химии, Каршинский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Карши
E-mail: normatov44301@gmail.com

Development of optimal conditions for immobilization of arsenazo III reagent on a polymer fibrous sorbent

Imamova Dilyayra Abdurakhimovna
Master's Student, Karshi State University
Republic of Uzbekistan, Karshi

Shodiev Golib Chorievich
lecturer
Department of Inorganic Chemistry Karshi State University
Republic of Uzbekistan, Karshi

Normatov Bektash Ramazanovich
doctor of Philosophy (PhD)
in Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of Inorganic Chemistry Karshi State University
Republic of Uzbekistan, Karshi

Аннотация

В данной работе предложен сорбционно-спектрофотометрический метод определения ионов свинца(II) с использованием реагента Арсеназо III, иммобилизованного на полимерном волокнистом сорбенте ППМ-1. Целью исследования являлась разработка простого и быстрого метода определения ионов Pb(II), основанного на образовании

Библиографическое описание: Имамова Д.А., Шодиев Г.Ч., Норматов Б.Р. Разработка оптимальных условий иммобилизации реагента арсеназо III на полимерном волокнистом сорбенте // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 11(149). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23537

окрашенного комплекса с иммобилизованным органическим реагентом. ППМ-1 представляет собой полимерный волокнистый сорбент, получаемый путем обработки полиакрилонитрильного волокна полиэтиленполиамином с последующей ковалентной модификацией монохлоруксусной кислотой. В ходе исследования изучены условия иммобилизации реагента Арсеназо III на поверхности ППМ-1, а также установлены оптимальные условия взаимодействия иммобилизованного реагента с ионами Pb(II). Исследованы спектральные характеристики реагента и образующегося комплекса, а также влияние кислотности среды и продолжительности взаимодействия на величину аналитического сигнала. Установлено, что ионы Pb(II) образуют устойчивый окрашенный комплекс с иммобилизованным реагентом Арсеназо III, что позволяет использовать данный подход для сорбционно-спектрофотометрического определения ионов свинца(II). Наличие реагента Арсеназо III на поверхности ППМ-1, а также образование комплекса иммобилизованного реагента с ионами Pb(II) подтверждены методом рентгенофлуоресцентного спектрального анализа. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанного подхода для определения ионов свинца(II) в водных объектах и аналитической практике.

Abstract

This study proposes a sorption-spectrophotometric method for the determination of lead(II) ions using Arsenazo III immobilized on the PPM-1 polymeric fibrous sorbent. The aim of the study was to develop a simple and rapid method for the determination of Pb(II) ions based on the formation of a colored complex with an immobilized organic reagent. PPM-1 is a polymeric fibrous sorbent obtained by treating polyacrylonitrile fiber with polyethylene polyamine, followed by covalent modification with monochloroacetic acid. The conditions for immobilization of Arsenazo III on the surface of PPM-1 were studied, and the optimal conditions for the interaction of the immobilized reagent with Pb(II) ions were established. The spectral characteristics of the reagent and the resulting complex, as well as the effects of medium acidity and interaction time on the analytical signal, were investigated. It was established that Pb(II) ions form a stable colored complex with immobilized Arsenazo III, which enables the use of this approach for the sorption-spectrophotometric determination of lead(II) ions. The presence of Arsenazo III on the PPM-1 surface and the formation of a complex between the immobilized reagent and Pb(II) ions were confirmed by X-ray fluorescence spectroscopic analysis. The results obtained demonstrate the potential of the developed approach for the determination of lead(II) ions in aqueous samples and analytical practice.

Ключевые слова: Арсеназо III, ППМ-1, иммобилизация, ионы свинца(II), сорбционно-спектрофотометрическое определение, комплексообразование, рентгенофлуоресцентный анализ.

Keywords: Arsenazo III, PPM-1, immobilization, lead(II) ions, sorption-spectrophotometric determination, complex formation, X-ray fluorescence analysis.

Введение

Органические волокнистые полимерные сорбенты широко применяются для извлечения и определения ионов тяжёлых металлов в природных и промышленных объектах. Они характеризуются высокой механической и химической устойчивостью, а также позволяют одновременно концентрировать и определять ионы металлов. При комплексообразовании наблюдается изменение окраски сорбента, что обеспечивает визуальный контроль процесса. Важным преимуществом является возможность иммобилизации органических аналитических реагентов в твёрдой фазе [20]. Для концентрирования определяемых ионов применяют различные сорбционные схемы, включающие их сорбцию на носителе с иммобилизованным органическим реагентом и последующее образование окрашенного комплекса. Эффективность сорбционного процесса оценивают по времени установления равновесия, объёму анализируемого раствора и массе сорбента. Важное значение также имеют постоянство температуры и концентрации солевого фона [7]. Изучены условия иммобилизации пиридилазорезорцина на полимерном сорбенте PPD-1 и сорбционно-спектрофотометрического определения Ni(II) при pH 5–6 [10]. Природные и синтетические волокна эффективно применяются в качестве сорбентов для очистки воды от ионов металлов [3]. Карбоксиметилцеллюлоза и карбамидоформальдегидные полимеры перспективны для иммобилизации реагентов и сорбции ионов металлов [2, 9]. Полиакрилонитрильные, PES/PDA, хитозановые и другие полимерные волокнистые сорбенты эффективно применяются для иммобилизации реагентов, сорбции и концентрирования ионов металлов [1, 8, 25, 26]. Химически модифицированные силикатные и дитиокарбаматные сорбенты обеспечивают эффективное извлечение и определение благородных металлов с высокой чувствительностью [16]. Иммобилизация органических реагентов на полимерных сорбентах способствует повышению селективности и чувствительности определения тяжёлых металлов, снижению влияния мешающих компонентов и расширению диапазона кислотности среды [17, 24]. Ионы серебра спектрофотометрически определяли с использованием дитизона, иммобилизованного в полиметакрилатной матрице. Предел обнаружения ионов серебра в твёрдой фазе составил 0,01 мг/л [19].

Функционально активные полимеры благодаря наличию функциональных групп широко применяются для получения материалов с заданными свойствами [14]. На основе модифицированных полиакрилонитрильных волокон были получены сорбенты PPA-1 и PPF-1, на которые иммобилизовали сульфосалициловую кислоту и разработали сорбционно-атомно-абсорбционный метод определения Fe(III) с пределом обнаружения 0,01 мкг/л [18]. Также изучены условия иммобилизации висмутола-2 на полимерных волокнистых сорбентах ПАН, GMDA, PPM-1 и PPA-1 [15]. Разработаны сорбционно-спектрофотометрические методы определения ионов Cd(II), Mn, Al и Bi(III) с использованием органических реагентов, иммобилизованных на полимерных волокнистых сорбентах. Определены оптимальные условия комплексообразования иммобилизованных реагентов с ионами металлов [5, 6, 11, 12, 21–23, 27]. Показана эффективность сульфарсазена для определения Pb(II) и Zn(II), а также нитразина для сорбционно-спектрофотометрического определения Ni(II) [4, 13]. Иммобилизация органических реагентов на полимерных

сорбентах способствует повышению чувствительности, селективности и экспрессности анализа, что подтверждает перспективность их применения для определения ионов тяжёлых металлов.

Материалы и методы

Кислотность среды растворов измеряли с использованием потенциометрического иономера «Mettler-Toledo AG» и иономера «И-130». Абсорбционные спектры регистрировали на спектрофотометрах «EMC-30PC-UV» и «UV-5100 UV-VIS». Инфракрасные спектры реагента, носителя, иммобилизованных соединений и образовавшегося комплекса регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре «Bruker Invenio S-2021». Для измерения спектров отражения света веществ в твердой фазе использовали спектрофотометр «X-Rite Eye-One Pro». Кроме того, для подтверждения образования комплекса иона металла с органическим реагентом в растворе использовали высокоэффективный энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр производства «Applied Rigaku Technologies, Inc.» Были исследованы несколько полимерных волокнистых сорбентов. Для выбранных волокнистых сорбентов определяли статическую и динамическую обменную емкость (СОЕ, мг-экв/г), после чего их использовали в качестве твердофазных волокнистых носителей в дальнейших исследованиях.

Для определения статической обменной емкости 0,2000 г волокнистого носителя взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г и помещали в стакан. Затем добавляли 20 см³ 0,1 М раствора соляной кислоты и оставляли для набухания на 24 ч. После этого раствор отделяли фильтрованием, отбирали 10 мл аликвотной части и титровали 0,1 М раствором NaOH в присутствии метилового оранжевого. Для определения динамической обменной емкости взвешенную навеску сорбента помещали в специальную колонку диаметром 10 мм. Через колонку с определенной скоростью пропускали 1,0 М раствор HCl. После завершения процесса волокнистый сорбент промывали дистиллированной водой до достижения pH 7. Затем отбирали аликвотную часть объемом 25 см³ и титровали 0,1 М раствором щелочи в присутствии метилового оранжевого. Выбор носителя для сорбции является одним из основных этапов исследования, поскольку не все органические реагенты способны эффективно иммобилизоваться на поверхности носителя. Поэтому необходимо правильно подобрать условия и способ иммобилизации. В ходе исследования изучали условия иммобилизации органического реагента Арсеназо III на полимерных волокнистых носителях SMA-1, PPA-1 и PPM-1.

Для этого из каждого полимерного волокнистого носителя брали навеску массой 0,2000 г, помещали в отдельные стаканы объемом 50 мл и выдерживали в 0,1 М растворе HCl в течение 24 ч. По истечении суток волокнистые носители промывали 4–5 раз бидистиллированной водой, после чего проводили процесс иммобилизации органического реагента на активированных волокнистых носителях. Комплексообразование иммобилизованного на волокне Арсеназо III с ионами Pb^{2+} изучали в двух режимах: динамическом и статическом. В динамическом режиме для сорбционного концентрирования растворы металла объемом от 10 до 200 мл пропускали при комнатной температуре через микроколонку, содержащую 0,2 г сорбента, со скоростью 1–10 мл/мин. Перед проведением концентрирования сорбент в микроколонке предварительно уравновешивали раствором при

соответствующих значениях pH, оптимальных для концентрирования ионов металла. Скорость пропускания растворов при проведении концентрирования поддерживали постоянной. Статическую сорбцию проводили в лабораторных условиях в специальных герметично закрывающихся стеклянных емкостях. Для создания необходимой кислотности среды при проведении статической сорбции использовали различные минеральные кислоты, щелочи и буферные растворы. Растворы для проведения сорбционных экспериментов готовили с использованием бидистиллированной воды. Процессы сорбции ионов металлов проводили при комнатной температуре.

Результаты и обсуждение

Оптическую плотность иммобилизованных реагентов измеряли с использованием спектрофотометра «X-Rite Eye-One Pro». Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунках 1–2.

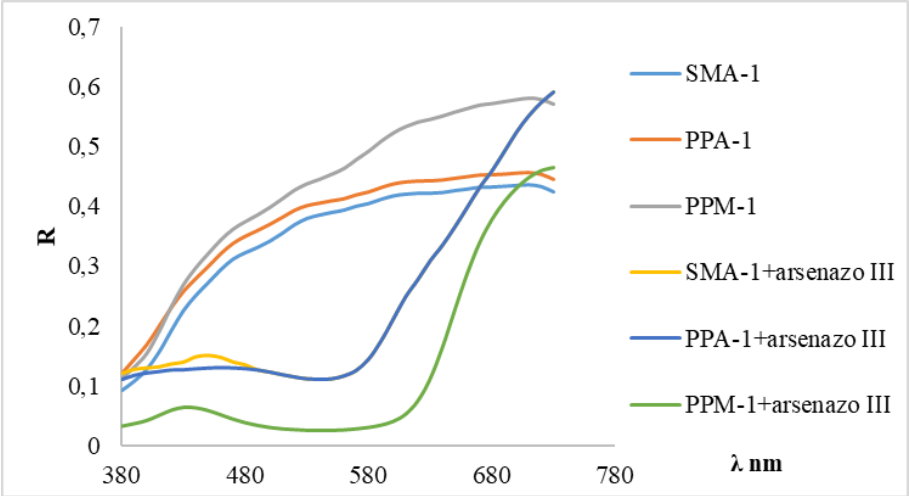


Рисунок 1. Спектры отражения света до и после иммобилизации Арсеназо III на различных сорбентах (SMA-1, PPA-1 и PPM-1)

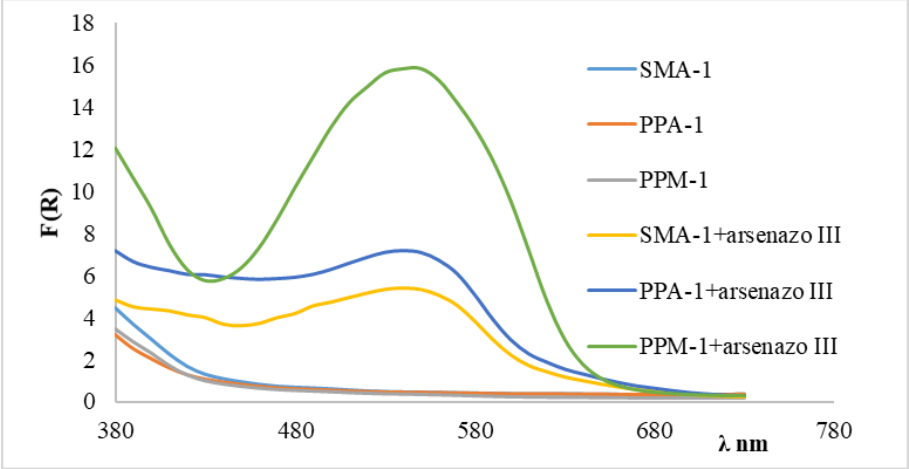


Рисунок 2. Спектры отражения света Арсеназо III, иммобилизованного на различных сорбентах (SMA-1, PPA-1 и PPM-1), в представлении функции Кубелки–Мунка

Таблица 1. Зависимость оптической плотности реагента от природы носителя

№	Тип носителя	F(R) arsenazo-III
1	SMA-1	5,33
2	PPA-1	7,11
3	PPM-1	15,83

Зависимость иммобилизации от времени. Для изучения зависимости иммобилизации Арсеназо III на волокне ППМ-1 от времени волокно выдерживали в растворе реагента с концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ М в течение 1–50 минут, после чего измеряли аналитические сигналы. Полученные результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2. Зависимость иммобилизации Арсеназо III на волокне ППМ-1 от времени

$t_{min.}$	5	7,5	10	15	20	23	30	40	50
F(R) arsenazo III	7,19	10,53	14,62	15,76	15,85	15,89	15,95	16,17	16,05

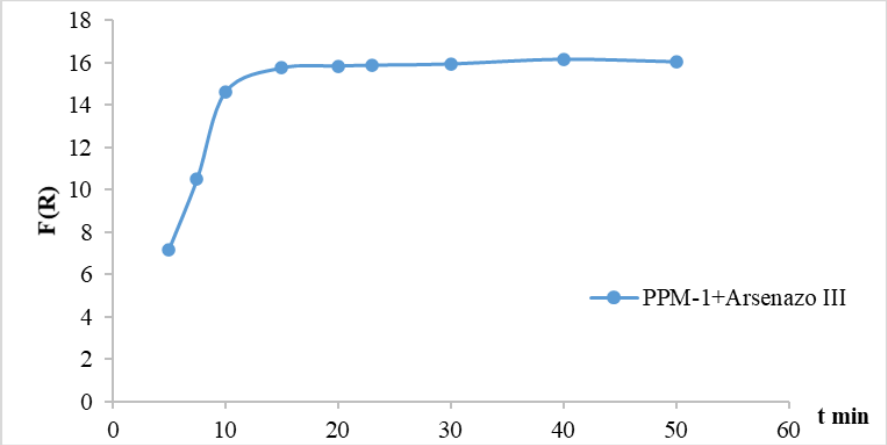


Рисунок 3. Зависимость иммобилизации реагента Арсеназо III на волокне ППМ-1 от времени

Рентгенофлуоресцентный спектр Арсеназо III, иммобилизованного на сорбенте ППМ-1, характеризуется появлением спектральной линии, соответствующей мышьяку, которая отсутствует в спектре исходного сорбента (рис. 4). В рентгенофлуоресцентном спектре комплекса наблюдается характерная спектральная линия свинца, что подтверждает взаимодействие иммобилизованного реагента с ионами свинца (рис. 5).

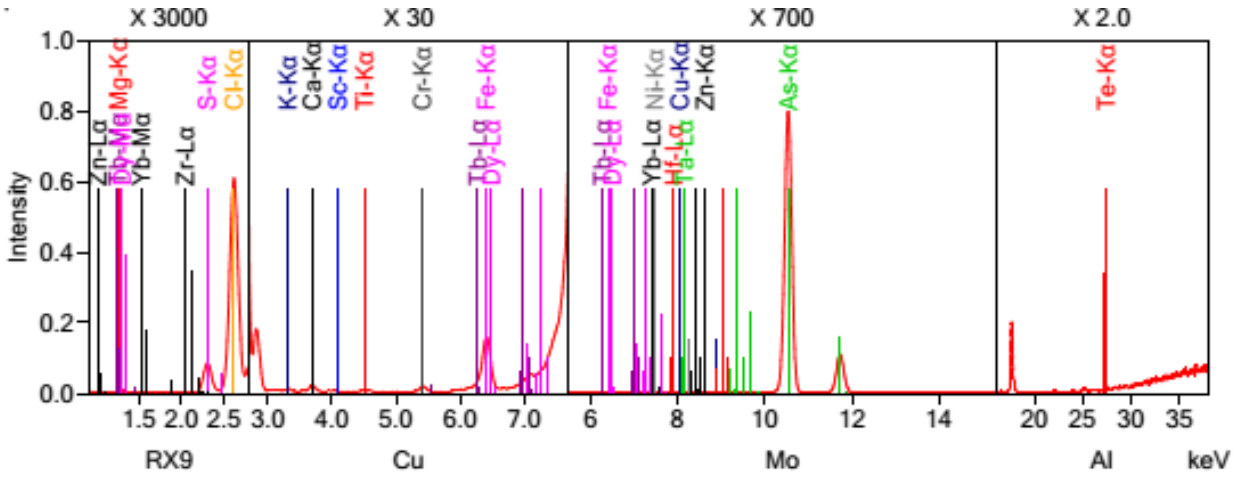


Рисунок 4. Рентгенофлуоресцентный спектр иммобилизованного Арсеназо III

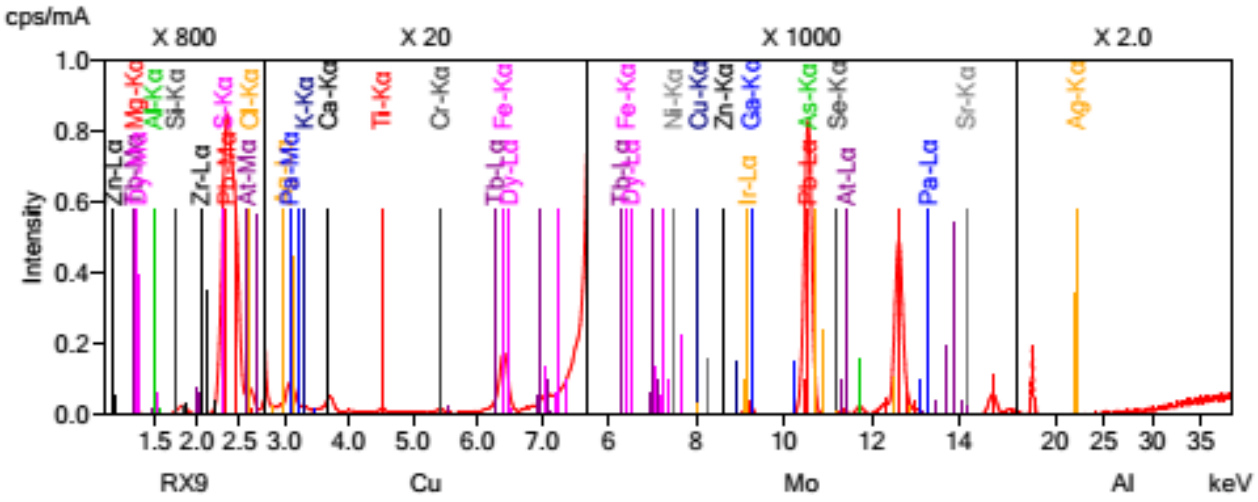


Рисунок 5. Рентгенофлуоресцентный спектр комплексного соединения ионов свинца(II) с иммобилизованным реагентом Арсеназо III

Заключение

На основании результатов, полученных в ходе исследования, сделаны следующие выводы:

1. Для иммобилизации органического реагента был выбран волокнистый носитель ППМ-1 с высокой сорбционной емкостью, а также установлены оптимальные условия иммобилизации реагента Арсеназо III.

2. Получено комплексное соединение ионов свинца(II) с иммобилизованным реагентом Арсеназо III и установлены оптимальные условия его образования.

3. Комплексообразующие свойства исследованы методом спектроскопии диффузного отражения.

4. Для подтверждения образования комплекса и изучения его состава исходные вещества и полученные продукты были исследованы методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Список литературы

1. Abednatanzi S., Abbasi A., Masteri-Farahani M. Post-synthetic modification of nanoporous Cu3(BTC)2 metal-organic framework via immobilization of a molybdenum complex for selective epoxidation // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2015. – T. 399. – P. 10–17.
2. Azmi N.D., Saat M.N., Annuar M.S.M. Kinetic hydrolysis of cellulose biopolymer by carbon nanotubes immobilized cellulase // Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology. – 2023. – T. 30, № 3. – P. 325–333.
3. Candido I.C.M., Pires I.C.B. de Oliveira H.P. Natural and synthetic fiber-based adsorbents for water remediation // CLEAN – Soil, Air, Water. – 2021. – T. 49, № 6. – Art. 2000189.
4. Daminov O.O., Mengboyev O.A. The Determination of Pb(II) Ion with a Novel, Highly Efficient Immobilized Arsenazo III in a Polymer Matrix // Journal of Scientific & Industrial Research. – 2026. – T. 85, № 3. – P. 199–210.
5. Davronova N.F., Smanova Z.A. Development of a sorption-spectroscopic method for detecting cobalt (II) ion in environmental objects using immobilized nitroso R salt reagent // Science and Innovation. – 2024. – T. 3, № 11. – P. 54–59.
6. Davronova N.F., Smanova Z.A. Madatov O‘.A. Immobillangan metil timol ko‘ki temir(III) ioni uchun analitik reagent sifatida // O‘zbekiston Milliy universiteti xabarlari. – 2024. – P. 342–344.
7. Evstratova K.I., Belyaev A.P., Chukhno A.S. Raschetnyy praktikum po fizicheskoy khimii: uchebnoe posobie / pod red. A.P. Belyaeva. 48 s. – SPb.: Izdatelstvo SPKhFA, 2006. – 48 P.
8. Kaleekkal N.J., Purushothaman M., Nandu G. Applications of electrospun membranes immobilized with biosorbents for the removal of contaminants // Biosorption for Wastewater Contaminants. – 2022. – P. 167–184.
9. Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Dzhalilov A.T., Babamuratov B.E., Ishonkulova M.M., Muminova Sh.N. Kislotno-osnovnye svoystva kovalentno immobilizovannogo azot, serosoderzhashchego liganda i koordinatsionnye soedineniya s tsinkom // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. – 2021. – № 5.
10. Khalilova L.M., Smanova Z.A. Sorbtsionno-spektrofotometricheskoe izuchenie reaktsii kompleksoobrazovaniya nikelya azoreagentom PAR-solyu // Science and Innovation. – 2022. – T. 1, № 12. – P. 227–235.
11. Madatov U.A. et al. Sorption spectrophotometric determination of cadmium(II) ions using a sodium salt of 4-nitro-2-arsenobenzene-1,4-diamino-azobenzene-4-sulfonic acid // O‘zbekiston Kimyo Jurnali. – 2024. – № 1.
12. Madatov U., Rakhimov S., Shahidova D., Smanova Z., Lal B., Berdimurodov E. A new, green, highly effective procedure for manganese determination using alizarin-3-methylamino-N,N-diacetic acid immobilised on a polymer matrix // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. – 2024. – T. 104, № 18. – P. 6864–6885.
13. Madatov U. et al. Sorption-Spectrophotometric Determination of Ni(II) Ions in Aqueous Samples Based on the Immobilization of Nitrazine Reagent on a Polymer Fiber. – 2026.

14. Maksumova O.S., Pulatova F.A. Sintez i svoystva chetvertichnykh ammonievykh soedineniy: monografiya. – P. 6–20. – 2021.
15. Mirkhamidovich M.R. et al. Sorbtsion-spectroscopic determination of rhenium ion in industrial waste of “OLMALIK KMK” JSC using organic reagent // Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. – 2023. – T. 11, № 10. – P. 209–211.
16. Parfenova V.V. Kontsentrirovanie i sorbtsionno-spektroskopicheskoe opredelenie blagorodnykh metallov i reniya s ispolzovaniem silikagelya, khimicheski modifitsirovannogo serosoderzhashchimi gruppami: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata khimicheskikh nauk: spetsialnost 02.00.02. – 187p. – 2018.
17. Rakhimov S.B., Inatova M.S., Turambetova A.K., Smanova Z.A., Gafurova D.A. 3-Gidroksi-4-nitrozo-2-naftoy kislotasi yordamida temir(II) ionlarini sorbtsion-fotometrik aniqlash // Kompozitsion materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. – 2019. – № 2. – P. 38–42.
18. Ruzmetov U.U. et al. Sorbtsionno-atomno-absorbtsionnoe opredelenie zheleza v vodakh // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. – 2023. – T. 89, № 12.
19. Ryabchenko K.V., Yanovskaya E.S., Tertykh V.A., Kichkiruk O.Yu. Kompleksoobrazovanie perekhodnykh metallov s 8-oksikhinolinom, khimicheski zakreplennym na poverkhnosti kompozita silikagel–polianilin // Zhurnal neorganicheskoy khimii. – 2013. – T. 58, № 3. – P. 413–419.
20. Smanova Z.A., Inatova M.S., Alimova D. Immobilizovannye reagenty dlya opredeleniya ionov metallov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2016. – № 1–2.
21. Smanova Z., Normatov B., Ahmadjonov U., Rakhimov S., Shodmonov B., Berdimurodov E. B Wan Nik W.M.N., Eliboev I., Ziyayeva G.K., Baigenzhenov O., Hosseini-Bandegharaei A. Sorption-spectrophotometric determination of bismuth ion (III) using immobilised xylenol orange on modified polyacrylonitrile // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. – 2025. – T. 105, № 17. – P. 5859–5879. – DOI: 10.1080/03067319.2024.2405067.
22. Smanova Z. et al. Sorption-spectrophotometric determination of bismuth ion (III) using immobilised xylenol orange on modified polyacrylonitrile // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. – 2025. – T. 105, № 17. – P. 5859–5879.
23. Sorption–spectrophotometric determination of lead and zinc ions in agroecosystem samples using immobilised sulfarsazen // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. – 2025. – P. 112–128.
24. Usmanova Kh.U., Rakhimov S.B., Ermatova O.A., Ziyaev D.A., Smanova Z.A. Opredelenie volframa metodom tverdofaznoy spektroskopii s primeneniem immobilizovannogo morina // O‘zbekiston Kimyo Jurnali. – 2020. – № 3. – P. 45–50.
25. Vincent T., Vincent C., Guibal E. Immobilization of metal hexacyanoferrate ion-exchangers for the synthesis of metal ion sorbents – a mini-review // Molecules. – 2015. – T. 20, № 11. – P. 20582–20613.
26. Wei Z. et al. A high Cr(VI) absorption efficiency and easy recovery adsorbent: electrospun polyethersulfone/polydopamine nanofibers // Journal of Applied Polymer Science. – 2021. – T. 138, № 27. – Art. 50642.

27. Yakhshieva Z.Z. et al. Development of methods for the determination of aluminum in water // Journal of Survey in Fisheries Sciences. – 2023. – T. 10, № 2. – P. 3322–3337.