



УДК: 546.3: 504.06: 504.75 543.422.3

Жамолiddин ТОДЖИЕВ,
PhD, доцент химического факультета НУУз
Нурмухаммат ТУРАБОВ,
К.х.н., профессор химического факультета НУУз
Хайит ТУРАЕВ,
Д.х.н., профессор химического факультета ТермГУ
Гулзода ТУРАЕВА,
Соискатель химического факультета НУУз
Судоба РАУПОВА,
Магистрантка химического факультета НУУз
Зулфия ТАШПУЛАТОВА,
Магистрантка химического факультета НУУз
E-mail: todjiyev88@mail.ru

На основе рецензии профессора НУУз, д.х.н А.Абдушукурова

МОНИТОРИНГ МИКРОКОЛИЧЕСТВ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА(III) И МЕДИ(II) В КАЧЕСТВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА И РАЗРАБОТКА СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ

Аннотация

В данной статье проведены научные источники, посвященные аналитическим методам определения содержания ионов тяжелых и токсичных металлов в биологических объектах и достижениям методов спектрофотометрического анализа при определении тяжелых и токсичных металлов (ТТМ), особенно ионов железа(III) и меди(II) с использованием органических аналитических реагентов в мониторинге окружающей среды. ТТМ обнаружены во всех природных средах, в том числе: в пищевых продуктах, атмосфере, почве, воде, растениях и животных. Следовательно, необходима разработка новых спектрофотометрических методов простого и быстрого определения ионов железа(III) и меди(II) в биологических объектах.

Ключевые слова: железа(III), медь(II), спектрофотометрия, экологический мониторинг, окружающая среда, зеленая химия, токсичность, природные объекты, ионы тяжелых и токсичных металлов.

MONITORING OF MICROQUANTITIES OF IRON (III) AND COPPER (II) IONS AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR AND DEVELOPMENT OF SPECTROPHOTOMETRIC METHODS FOR THEIR DETECTION

Annotation

In this article presents a review of scientific sources devoted to analytical methods for determining the content ions of heavy and toxic metal in biological environments and the achievements of spectrophotometric analysis methods in determining heavy and toxic metals (HTM), especially iron(III) and copper(II) ions using organic reagents in environmental monitoring. HTM are found in all natural objects of environments, such as: food products, atmosphere, soil, water, plants, animals. Therefore, it is necessary to develop new spectrophotometric methods for the simple and rapid determination of iron(III) and copper(II) ions in biological objects.

Key words: iron(III), copper(II), spectrophotometry, environmental monitoring, environment, green chemistry, toxicity, natural objects, ions of heavy and toxic metals.

EKOLOGIK FAKTOR SIFATIDA TEMIR(III) VA MIS(II) IONLARINING MIKROMIQDORINI MONITORING QILISH VA ULARNI ANIQLASHNING SPEKTROFOTOMETRIK USULLARINI ISHLAB CHIQUISH

Аннотация

Ushbu maqolada biologik ob'ektlardagi og'ir va zaharli metall ionlarining tarkibini aniqlashning analitik usullari bo'yicha ilmiy manbalar ko'rib chiqildi va atrof-muhit monitoringida organik reagentlar yordamida og'ir va zaharli metallarni (OZM), ayniqsa, temir(III) va mis(II) ionlarini aniqlash uchun spektrofotometrik tahlil usullarining yutuqlari keltirilgan. OZM lar barcha tabiiy muhitlarda uchraydi, jumladan: oziq-ovqat mahsulotlari, atmosfera, tuproq, suv, o'simliklar va hayvonlarda. Shuning uchun yangi spektrofotometrik usullarni ishlab chiqish va biologik ob'ektlarda temir(III) va mis(II) ionlarini oddiy va tezkor aniqlash zarur hisoblanadi.

Kalit so'zlar: temir(III) mis(II), spektrofotometriya, ekologik monitoring, atrof-muhit, yashil kimyo, zaharlilik, tabiiy ob'ektlar, og'ir va zaharli metall ionlari.

Введение. Одной из самых важных проблем человечества является проблема сохранения окружающей среды и переход общества к устойчивому развитию. Охрана окружающей среды – сложная, многогранная проблема, требующая для своего решения как глобальных, так и локальных усилий стран и регионов. Понятие «мониторинг окружающей среды» впервые было введено профессором Р. Манном на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. и в настоящее время получило международное распространение и признание [1]. При этом экологический мониторинг стал неотъемлемым компонентом глобальных целей в области устойчивого развития, особенно в контексте научного понимания нарушений экологических циклов, что позволяет разрабатывать концепцию и стратегию по смягчению последствий потенциальных бедствий. Этот фактор является одним из составляющих принципов «зеленой химии», который предусматривает развитие аналитических методов, позволяющих проводить экспресс-анализ в реальном времени и на месте отбора проб, что в свою очередь дает возможность оперативной оценки характера загрязнений и их источников.

Такая оперативность позволяет выработать план ликвидации чрезвычайной ситуации и предотвратить ее в дальнейшем [2]. Инновационные «зеленые» технологии наиболее уместны для применения при разработке и использовании химических продуктов в производстве и тем более при использовании в технологическом процессе синтеза или использовании опасных реагентов. Хорошо известно, что ТТМ относятся к числу приоритетных загрязнителей, мониторинг которых является наиболее актуальным. Немаловажную роль в классификации тяжелых элементов играет их высокая токсичность [3]. Максимально допустимый уровень этих элементов [4] в воде составляет одну часть на миллиард. Эта норма принята в подавляющем числе стран Европы, США, России. Особенно опасны ионы таких ТТМ [5], которые способны оказывать токсикологическое действие на выбранную группу ферментов, влияющих на синтез гема и митохондриальную энергетику, вызывая нарушение окислительного фосфорилирования и модификацию митохондриального транспорта ионов. Именно по этой причине первоначальные усилия химиков-аналитиков были направлены на разработку методов анализа

ТТМ. С этой точки зрения оптические методы анализа и в частности спектрофотометрические обладают неоспоримым преимуществом: высокими чувствительностью и селективностью, простотой и компактностью аналитического оборудования, бюджетной доступностью для небольших аналитических лабораторий.

Цель настоящей работы заключается в обобщении литературного материала и собственного опыта авторов по мониторингу ионов железа(III) и меди(II) с использованием спектрофотометрического анализа.

Материалы и методы. Проведен литературный анализ научных работ за последние 10 лет в соответствии с приведенными выше ключевыми словами. При изучении вредного воздействия ионов ТТМ на здоровье человека и окружающую среду основное внимание было уделено изучению токсикологических эффектов металлов, особенно ионов железа(III) и меди(II). Проанализировано около 30 международных журналов, содержащих экспериментальную базу данных, необходимую для данного исследования.

Свойства ионов железа (III) и меди (II) и их влияние на организм человека. Известно [6], что ряд металлов, таких как Fe, Co, Zn, Cu, Ca, Mg, являются наиболее важными элементами для растений и организма человека. Многие биохимические процессы происходят в организме с их участием. Многие биологически активные вещества, выделенные из растений, практически не активируются без ионов металлов, и большинство белков и ферментов активны в сочетании с определенными ионами металлов.

Железо. Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и сельскохозяйственными стоками. Содержание железа в воде выше 1-2 мг/дм³ значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус и делает ее малопригодной для использования в технических целях. ПДК железа в воде равно 0,3 мг/дм³, ПДК_{гр} для железа - 0.1 мг/дм³. Суточная потребность человека в железе в среднем составляет 10 мг. Доза в 200 мг уже является токсической, поскольку начинает тормозить антиокислительные процессы в организме и способствует старению клеток и организма в целом. Являясь биологически активным элементом железо в определенной степени влияет на интенсивность [7] развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоемах.

Медь - участвует в процессе фотосинтеза и влияет на усвоение азота растениями. Вместе с тем [8, 9], избыточные концентрации меди оказывают токсическое воздействие на растительные и животные организмы. Недостаточное содержание меди в почвах отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов и способствует бесплодию растительных организмов. Содержание меди в природных пресных водах колеблется от 2 до 30 мкг/дм³, в морских водах - от 0.5 до 3.5 мкг/дм³. Повышенные концентрации меди (до нескольких граммов в литре) характерны для кислых рудничных вод. ПДК меди в воде водоемов санитарно-бытового водопользования составляет 0.1 мг/дм³ (общее-санитарный), в воде рыбохозяйственных водоемов - 0.001 мг/дм³ [10].

Поименение экологически чистых органических аналитических реагентов в анализе. Авторами в работах [11 и 12] синтезирован новый аналитический реагент [4-амино-5-гидрокси-6-[(5-метил-2-пиридил)азо]-3-сульфо-1-нафтил]-сульфонатрий (HR) и разработан спектрофотометрический метод мониторинга микроколичеств ионов меди(II) в составе объектов окружающей среды с его использованием. Исследованы ИК-спектры и определены молярный коэффициент светопоглощения ($\epsilon=3306$), константа диссоциации ($K_{дис}=2,95 \cdot 10^{-8}$ ($pK=7,53$)) и выполнены квантово-химические расчеты реагента HR. Изучены качественные реакции HR с ионами металлов: Hg(II), Cd(II), Zn(II), Tl(III), Co(II), Cu(II) и его комплексообразование с ионами меди(II) в водных растворах спектрофотометрическим методом и установлено образование комплексных соединений с ионами меди(II) состава HR:Cu²⁺=2:1. Определены молярный коэффициент светопоглощения, константа равновесия комплекса и чувствительность методики определения ионов меди(II) ($pH_{Cu^{2+}}=4,02$; $\lambda=595$ нм; Cu²⁺:HR=1:2; $\epsilon=20000$ дм³/моль·см, $\Gamma\Gamma=0,5-6,5$ мкг/25см³; $PO=0,234$ мкг/дм³; $St=0,043$). Изучена избирательность HR к ионам цинка(II). Предложенный спектрофотометрический метод определения был применен в анализе природных и сточных вод и полученные результаты оценены метрологическими характеристиками.

Повышенное количество ионов железа (III) и меди (II) оказывает серьезное влияние на здоровье человека. Это требует разработки эффективных методов количественного контроля ионов железа (III) и меди (II), их обнаружения, определения, а также выделения. В таблице рассмотрены данные исследований, проведенные на сегодняшний день методом спектрофотометрического определения ионов железа (III) и меди (II).

Таблица

Применение органических реагентов в спектрофотометрическом определении ионов железа (III) и меди (II)*

№	Реагент	Оптимальные условия	Чувствительность	Мешающие ионы	Образец [Ссылка]
Спектрофотометрическое определение ионов Fe ³⁺ некоторыми органическими реагентами					
1	1-фенил-2-[2-гидроксифенилазо]-бутадиионом-1,3	pH=5,0 $\lambda=425$ нм Fe ³⁺ :HR=1:2	$\epsilon=17860$; $\Gamma\Gamma=0,11-2,74$ мкг/дм ³	Zn ²⁺ , Ti ⁴⁺ , Mo ⁶⁺ , W ⁶⁺ , Nb ⁵⁺ , Ta ⁵⁺	Трех сортах яблок (Сибирянка, Цыганка и Голден Делишес) [13; С.42-50]
2	1-нитрозо-2-нафтол-3,6-дисульфонатрия	pH=4,0; $\lambda=710$ нм Fe ³⁺ :R=1:2 R ² =0,986	$\epsilon=4,86 \cdot 10^5$; S _r =±1,3706 %; ПО=1,7·10 ⁻³ мг/дм ³ $\Gamma\Gamma=50-5000$ мг/дм ³	Hg ²⁺ Zn ²⁺ (1:10) и Pb ²⁺	Биологические образцы и проб окружающей среды [14; С.971-978]
3	дифенилкарбазид и ортофенантролин	pH=3,5 $\lambda=670$ нм (R ² =0,9998)	$\epsilon=2,45 \cdot 10^4$, S _r =11 % Ч _{сенд.} = 8 нг/см ² $\Gamma\Gamma=0,02-4$ мг/дм ³ ПО=5 мкг/дм ³	Cu ²⁺ (1:1), Ni ²⁺ (1:1)	Природные и сточные воды [15; С.155-160]
4	(Е)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензиден)-(амино)-бензолсульфо-кислота	pH=4 $\lambda=353$ нм Fe ³⁺ :R=1:2	$\epsilon=10000$; Ч _{сенд.} =0,0025 мкг/см ² $\Gamma\Gamma=0,448-2,24$ мкг/см ³	Co ²⁺ (1:1) Zn ²⁺ (1:1) Cu ²⁺ (1:1),	Хлебе, пшеничные отруби, фасоль, грибы и шиповник [5; С.48-54]
5	Диэтилентриамин-пентауксусной кислотой	pH=3,7-6,0 $\lambda=350$ нм	$\Gamma\Gamma=(0,1-4,0) \cdot 10^{-4}$ моль/дм ³ ; Yi=0,001+1320Xi	Ni ²⁺ , Cu ²⁺ Co ³⁺ , Cd ²⁺	В объектах окружающей среды [17;С.54-57]
6	3-((Е)-2-гидроксибен-	pH=5,0 $\lambda=331$ нм Fe ³⁺ :R=1:2	$\epsilon=12500$; $\Gamma\Gamma=0,448-1,792$ мкг/см ³	Zn ²⁺ , Hg ²⁺ , Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , и Co ²⁺ ,	Бананы, горох и гречка [18; С.81-90]

	зилиденгидразоно)-индолин-2-он				
7	Бензоил-ацетона-3-(4'-фторфенил-имин)-1-фенилбутанона-1	$pH_{\text{опт}}=4,5-5,0$ $\lambda_{\text{опт}}=418$ $\beta_k=9,63\pm 0,04$	$\varepsilon=10,00\pm 0,12$; $\Gamma\Gamma=0,22-11,20$; $Fe^{3+}:R=1:2$	As^{5+} , Ni^{2+} Cd^{2+}	Красный и Говсанский лук [19; С.343-350]
8	2,21-этиленбис-(нитрилметилден)-дифенол	$pH_{\text{опт}}=4,0$ $\lambda_{\text{опт}}=383$ нм $Fe^{3+}:R=1:2$	$\varepsilon=1,84\cdot 10^4$; $\Gamma\Gamma=0,5-18,0$ мкг/см ³	Co^{2+} , Mn^{2+} Ti^{4+}	Водопродная вода и синтетические пробы [20; С.135-139]
9	2,4,6-три-(2'-пиридил)-1,3,5-триазин	$pH=4,5$ $\lambda=670$ нм; $R^2=0,9998$;	$\Gamma\Gamma = 5,0-140,0$; мкг/дм ³ ; $S_f = 1,5\%$ $ПО=0,2$ мкг/дм ³ ,	Cd^{2+} , Co^{2+} , Pd^{2+} , V^{3+} Fe^{2+} , Zr^{4+} ,	Пробы воды [21; С.1059-1068]
10	1-фенил-2,3-диметилпиразолон-5-азопирирогаллолом	$pH=4,5-5,0$ $\lambda=428$ нм	$\Gamma\Gamma=0,22-6,72$ мкг/см ³ $Ig\beta_{Fe-R}=7,86\pm 0,20$	Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ga^{3+} ,	Клубнике, белой и красной черешне [22; С.107-111]
Спектрофотометрическое определение ионов Cu^{2+} некоторыми органическими реагентами					
11	4-амино-3-меркапто-6-[2-(2-тиенилвинил)-1,2,4-триазин-5(4Н)-оном	$pH=4-6$ $\lambda=434$ нм $Cu^{2+}:HR=1:1$ $R^2=0,992$	$\varepsilon=1,90\cdot 10^4$ $tg\alpha=0,18$; $\chi_{\text{Сенд.}}=0,003$ мкг/см ² $\Gamma\Gamma=0,7-25$ мкг/см ³	Mn^{2+} и Al^{3+}	Морская и водопродная воды [23; С.342-348]
12	Индиго	$pH=6,5$ ($\Delta\lambda=160$ нм) $Cu^{2+}:HR=1:2$	$\varepsilon=41666$; $K_{\text{равн}}=1,1\cdot 10^{12}$; $R^2=0,999$	Fe^{3+} , Pb^{2+} , Tl^{4+} , Mn^{2+}	Природные и технологические воды [24; С.23-29]
13	3-метокси-4-гидроксибензальдегид-4-бромфенилгидразон	$pH=4,0$ $\lambda=462$ нм; $R^2=0,9998$;	$\varepsilon=2,052$ 10^4 ; $\chi_{\text{Сенд.}}=0,254$ мг/см ² $\Gamma\Gamma=0,2-4,0$ мг/см ³ $ПО=0,027$ мг/см ³	Pb^{2+} , Cd^{2+} Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+}	Различные образцы воды и сплавы [25; С.131-138]
14	2-ацетилпиридин-4-фенил-3-тиосемикарбазона	$pH=3,0-5,5$. $\lambda=440$ нм $Cu^{2+}:HR=1:2$ $R^2=0,96$	$\chi_{\text{Сенд.}}=2,94\cdot 10^{-3}$ мкг/см ² ; $\Gamma\Gamma=0,338$ мкг/см ³ ; $ПО=0,0065$ мкг/см ³	Al^{3+} , Cr^{3+} , Ag^+ и Sb^{2+}	Листовые овощи [26; С.70-83]
15	2-(5-бром-2-оксоиндолин-3-илиден)-гидразин-карботиоамидом	$pH 4,0-6,0$ $Cu^{2+}:HR=1:2$ $\lambda_{\text{max}}=510$ нм	$\varepsilon=2538$; $\chi_{\text{Сенд.}}=25,0$ нг/см ² $\Gamma\Gamma=1,0-8,0$ мкг/см ³	Cu^{2+} , Li^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Ba^{2+} , Sr^{2+}	Речная и питьевая вода [27; С.392-396].
16	4 ¹ -нитробензилиден-имино)-3-метил-5-меркапто-1,2,4-триазол	$pH=6,2$ $\lambda=470$ нм $Cu^{2+}:HR=1:2$	$\varepsilon=2,825\cdot 10^3$; $\chi_{\text{Сенд.}}=0,0224$ мкг/см ² , $\Gamma\Gamma=4,75-16,13$ мкг/см ³	Cd^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ,	Фармацевтические образцы и сплавы [28; С. 3425-3434].
17	1-(2-метоксифенил-амин)-3-метокси-пропантиол-2	$pH=5,4-6,8$ $\lambda=605$ нм $Cu^{2+}:HR=1:2$	$\varepsilon=43200$; $\chi_{\text{Сенд.}}=1,48$ нг/см ² $\Gamma\Gamma=1,0-16,0$	Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , V^{5+} , W^{6+} , Mo^{6+} , Ti^{4+} , Mn^{2+} .	Пищевые и растительные образцы [29; С.97-102]
18	Тиосемикарбазоном-2-гидрокси-3-метоксибензальдегид	$pH=4,5-5,0$ $\lambda=395$ нм $Cu^{2+}:HR=1:1$ $\beta_k=12,306\cdot 10^5$	$\varepsilon=6000$; $\Gamma\Gamma=0,254-2,542$ мкг/см ³ $\chi_{\text{Сенд.}}=0,011$ мкг/см ²	Ca^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cr^{3+}	Питьевая вода и реальные пробы [30; С. 63-67]
19	1-фенил-2-(2-гидрокси-4-нитрофенилгидразо)-бутадиином-1,3	$pH=2,0-3,0$ $\lambda=467$ нм	$\varepsilon=15000$; $\Gamma\Gamma=0,13-5,12$ мкг/см ³	Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} , Ga^{3+} , In^{3+} , Bi^{3+} , Sn^{4+} , Ti^{4+} ,	Бананы, Грибы и горох [31; С.23-28]
20	4-Amino-5-hydroxy-6-[(5-methyl-2-pyridyl)-azo]-3-sulfo-1-naphthyl)sulfonyloxysodium	$pH=3,5-4,5$ $\lambda=595$ нм $Cu^{2+}:HR=1:2$	$\varepsilon=20000$ дм ³ /моль·см $\Gamma\Gamma=0,5-6,5$ мкг/25см ³ $ПО=0,234$ мкг/дм ³ $Sr=0,043$	Ni^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{2+} и Tl^{3+}	Родниковая вода Омонхона и сплавы [12; С. 388-403]

*Примечание: ε – молярный коэффициент светопоглощения; λ , нм – длина волны; HR – органический реагент; $\Gamma\Gamma$ – градуировочный график; PKO – предел количественного определения; $ПО$ – предел обнаружения или предел определения (C_{min}); pH – среда раствора; $\chi_{\text{Сенд.}}$ – чувствительность по Сенделлу.

Результаты, приведенные в таблице, показывают успешность применения органических реагентов в определении ионов железа(III) и меди(II) с большой точностью и достижением весьма низких пределов обнаружения.

Закключение. На основании проведенного обзора литературы и собственных экспериментов авторов показано, что исследования последних десятилетий были направлены на разработку более чувствительных аналитических методов для определения и обнаружения токсичных поллютантов, таких как ионы ТТМ, особенно ионов железа(III) и меди(II). Доступ к надежным, чувствительным, селективным, недорогим и экологически чистым органическим аналитическим реагентам становится важным фактором в проведении мониторинга окружающей среды, выключая определение традиционно опасных ТТМ органическими аналитическими реагентами. Широкое применение органических аналитических реагентов в аналитической практике может благоприятно сказываться на оперативном принятии решений по контролю и улучшению качества окружающей среды и охраны здоровья населения. Это требует проведения дальнейшей исследовательской работы по методам более эффективного обнаружения и извлечения этих ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якунина И.В. Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учебное пособие /– Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.

2. Clark J.H., Macquarie D.J. Handbook of green chemistry and technology. USA: Wiley-Blackwell. –2002. –564 p.
3. Халилова Л.М., Сманова З.А. Влияние тяжелых металлов на антропогенную деятельность // Экология хабарномаси. -2022. -№4(4). -С.49-57.
4. Якунина И.В., Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: Учебное пособие. – Тамбов: -2009. - 188 с.
5. Sanchez M.L. Causes and effects of heavy metal pollution. Nova Science Publisher. - USA: – 2013. P.392 .
6. Абдурахманова У.К., Аскарова М.Р. Аналитические свойства госсиполуксусной кислоты//Universum: химия и биология.-2020.-№12-С. 30-35.
7. Избыток железа в воде - способы и устранения некоторых проблем. <https://www.bwt.ru/useful-info/izbytok-zheleza-v-vode-spo> - Статья. -2020. -С.9-10.
8. Ермаков В.В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы//Геохимия.-2015.-№3.-С.203.
9. Сульдина Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм//Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. –2016. – № 1. – С. 136-140.
10. Медь. <https://studfile.net/preview/6333617/page:3//> – Статья. – 2016. С. 3-5.
11. Турабов Н.Т., Тоджиев Ж.Н. 5МПААНС,S-2,4нинг аналитик кимёда кўлланилиши // Композиционные материалы. -Ташкент. -2020. -№1. -С. 22-28.
12. Todjiyev J.N. and etc.// Chem.Rev.Let.-2024. -V.7. -Iss.3.-P. 388-403.
13. Алиева Р.А. и др. Спектрофотометрический метод определения Fe(III) в разных сортах яблок//Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. –2018. –Т. 8. –№ 1 (24). –С. 42-50.
14. Sharma A. and etc. Surfactant-assisted nanodrop spectrophotometer determination of iron(III) in a single drop of food, biological, and environmental samples//Журнал прикладной спектроскопии. –2015. –Т. 82. –№ 6. –С. 971-978.
15. Ларионова Е.В., Заболотская Е.В., Булыгина К.А. Способ совместного фотометрического определения хрома(VI) и железа(III) с применением метода подгонки кривых//Вестник науки Сибири. –2015. –№ S1 (15). –С. 155-160.
16. Мамедова Ч.А. и др. Исследование комплексообразования железа (III) с (е)-2-гидрокси-3-(2-гидроксибензильден)-(амино)-бензолсульфокислотой //Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. –2018.–С. 48-54.
17. Попова Т.В., Щеглова Н.В., Софьяна С.Ю. Катионы железа(III) в реакциях конкурирующего разнолигандного комплексообразования// Вестник Технологического университета. –2016. –Т. 19.– № 15. –С. 54-57.
18. Мамедова Ч.А. и др. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. –2017. –№ 2. –С. 81-90.
19. Auvazova A.V. and etc.//Kimya Problemleri.-2020.-Т.18.-№ 3.-P.343-350.
20. Nworie F. and etc. Extractive-spectrophotometric determination of Fe(II), Fe(III), Mn(II) and Cr(III) // Biochar Modification Efficiency. – 2015. –P 135-139.
21. Bazmandegan A. and etc. Spectrophotometric determination of iron species using ionic liquid ultrasound assisted dispersive liquid–liquid microextraction // Turkish Journal of Chemistry. – 2015. – Vol. 30. – P. 1059-1068.
22. Нагиев Х.Д. и др. Определение микроколичеств железа в фруктах // Аналитика и контроль. –2013. –Т. 17. – № 1. –С. 107-111.
23. Alharthi S., Al-S.H // Journal of Applied Sciences.-2020. -№ 2. -P. 342-348.
24. Эшчанова А.К. и др. Цветометрическое определение ионов меди природным красителем индиго//Universum: Химия и биология:-2020.-№7.-С.23.
25. Сулейманова Э.И., Гурбанова Ф.С. //Вестник Башкирского государственного педагогического университета. -2022. -№ 3 (64). -С. 131-138.
26. Nagarjuna R., Reddy V. Development of an extractive Spectrophotometric method for the determination of copper(II) in leafy vegetable and pharmaceutical samples using 2-acetylpyridine-4-phenyl-3-thiosemicarbazone (APT) // Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS). – 2012. –Vol. 4, –№ 2. – P. 70-83.
27. Umesh P. and etc.//European J.Biom.Pharm.Sc.-2016.-Vol. 3,-№ 4. -P. 392.
28. Shaikh A., Barache U., Anuse M. // South African Journal of Chemistry. –2016. –Vol.69. –P. 3425-3434.
29. Zalov A.Z. and etc.//Open Access J. of Science. -2017. -Vol.1, -№4. -P.97
30. Sreevani I., Swetha M. Non-extractive spectrophotometric determination of Cu(II) using 2-hydroxy-3-methoxy benzaldehyde thiosemicarbazone // Journal of Applied Chemistry. –2016. –Vol. 9, –№ 9. –P. 63-67.
31. Auvazova A., and etc. Spectrophotometric method for determination of copper(II) microquantities in a banana, mushrooms and pea // New Materials, Compounds and Applications. –2019. –Vol. 3, – № 1. –P. 23-28.