



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗА СОДЕРЖАНИЕМ ТОКСИЧНЫХ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЦЕЛЯХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

<sup>1</sup>Усманова Х.У.,

<sup>2</sup>Сманова З.А.

<sup>1</sup>Университет общественной безопасности

Республики Узбекистан, профессор кафедры

Общей тактики и оперативного искусства, д.х.н., доцент,

<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана имени

Мирзо Улугбека, заведующая кафедрой

Аналитической химии, д.х.н., профессор.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7402641>

### ARTICLE INFO

Received: 20<sup>th</sup> November 2022

Accepted: 28<sup>th</sup> November 2022

Online: 30<sup>th</sup> November 2022

### KEY WORDS

Экологический мониторинг, объекты окружающей среды, иммобилизация, токсичные металлы, чувствительные слои, органический реагент.

### ABSTRACT

В Республике Узбекистан установлена эффективная система в целях обеспечения непрерывного и автоматизированного обмена информацией о риске возникновения чрезвычайных ситуаций и их последствиях, а также предотвращения и снижения их последствий, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и экологического характера. Современные задачи мониторинга окружающей среды, источников ее загрязнения, а также проблемы экологической аналитической химии малых концентраций тяжелых и токсичных элементов определяют развитие и совершенствование методов физико-химического анализа. Разработаны высокочувствительные методики сорбционно-люминесцентного определения токсичных элементов в объектах окружающей среды. Предлагаемые иммобилизованные реагенты могут быть использованы в качестве чувствительных слоев оптических сенсоров на содержание токсичных элементов в объектах окружающей среды.

За годы независимости в Республике Узбекистан проведены системные реформы в сфере защиты населения и территорий республики от чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и экологического характера. В этом направлении

определенны задачи по созданию своевременного выявления потенциальных источников опасности, приводящих к чрезвычайным ситуациям природного, техногенного и экологического характера, организации и осуществления систематического



наблюдения и контроля за ними, прогнозирование вероятности их развития, динамики и степени активизации, возникновения чрезвычайных ситуаций. Установлена эффективная система в целях обеспечения непрерывного и автоматизированного обмена информацией о риске возникновения чрезвычайных ситуаций и их последствиях, а также предотвращения и снижения их последствий, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 27 октября 1998 г. № 455 «О классификации чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и экологического характера» загрязнение почвы и недр токсикантами промышленного происхождения, наличие тяжелых металлов, нефтепродуктов, а также пестицидов и других ядохимикатов, применяемых в сельскохозяйственном производстве в концентрациях, представляющих угрозу для здоровья людей, классифицируется как чрезвычайные ситуации экологического характера [1]. Согласно приложению №1 «Перечень мониторинговой и прогнозной информации о состоянии и возможной активизации источников чрезвычайных ситуаций, предоставляемой участниками единой системы мониторинга, обмена информацией и прогнозирования чрезвычайных ситуаций» Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан «О создании единой системы мониторинга, обмена информацией и прогнозирования чрезвычайных

ситуаций природного, техногенного и экологического характера» от 28.12.2017 г. № 1027 токсичные элементы подлежат постоянному мониторингу в объектах окружающей среды [2]. В Республике Узбекистан уделяется особое внимание созданию новых методов контроля за содержанием тяжелых и токсичных металлов, в том числе свинца, отвечающих современным требованиям. На основе реализуемых программных мероприятий в этом направлении достигнут значительный прогресс, в частности, ведется большая работа по контролю сточных вод, руд, отходов и пищевых продуктов.

Наличие основных проблем в области использования и охраны природных ресурсов отражены в выступлениях Президента Республики Узбекистан Шавката Мирамоновича Мирзиёева, в ряде нормативных актов Республики Узбекистан а также, многочисленных публикациях ученых и специалистов. Среди главных проблем, особое место занимает проблема обеспечения экологической безопасности страны. Обеспечение экологической безопасности становится важнейшим компонентом национальной безопасности, оказывая все большее влияние на благополучие и здоровье населения, а также на экономическое развитие всех отраслей народного хозяйства.

Сегодня одним из основных факторов неблагоприятного антропогенного воздействия человека на окружающую среду является химическое загрязнение, способное вызывать глобальные геохимические изменения. Среди многих последствий деятельности



человеческого общества особое значение имеет процесс прогрессирующего накопления тяжелых и токсичных металлов (ТТМ) в окружающей среде, вовлечение их в биогеохимический кругооборот. Химические загрязнители могут вызывать острые отравления, а также оказывать канцерогенное и мутагенное действие. Например, тяжелые металлы способны накапливаться в растительных и животных тканях, оказывая токсическое действие. В таблице №1 приведены основные биогеохимические характеристики некоторых токсикантов [3].

Ряд публикаций последних лет [4-9] посвящен проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга. В работах изучены различные аспекты,

связанные с поступлением тяжелых и токсичных металлов в окружающую среду, а также воздействия этих веществ на организм человека.

Тяжёлые металлы (ТМ) занимают второе место по степени опасности, уступая пестицидам и значительно опережая такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы, в прогнозе же они должны стать самыми опасными, более опасными, чем отходы АЭС и твердые отходы [10]. Загрязнение тяжёлыми и токсичными металлами связано с их широким использованием в промышленном производстве вкупе со слабыми системами очистки, в результате чего эти металлы попадают в окружающую среду, в том числе и в водную среду, загрязняя и отравляя её.

Таблица 1.

## Основные биогеохимические характеристики токсикантов

Свойство	Cd	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Биохимическая активность	В	В	В	В	В	В	В
Токсичность	В	У	У	В	У	В	У
Канцерогенность	–	В	–	–	В	–	–
Обогащение аэрозолей	В	Н	В	В	Н	В	В
Минеральная форма распространения	В	В	Н	В	Н	В	Н
Органическая форма распространения	В	В	В	В	В	В	В
Подвижность	В	Н	У	В	Н	В	У
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	В	В	В	У
Эффективность накопления	В	У	В	В	У	В	В
Комплексообразующая способность	У	Н	В	У	Н	Н	В
Склонность к гидролизу	У	Н	В	У	У	У	В
Растворимость соединений	В	Н	В	В	Н	В	В
Время жизни	В	В	В	Н	В	Н	В

**B – высокая, У – умеренная, Н – низкая**

Анализ литературы позволяет выделить два наиболее значимых природных источника тяжелых и токсичных металлов в биосфере и шесть антропогенных (см. рисунок 1.) [5].



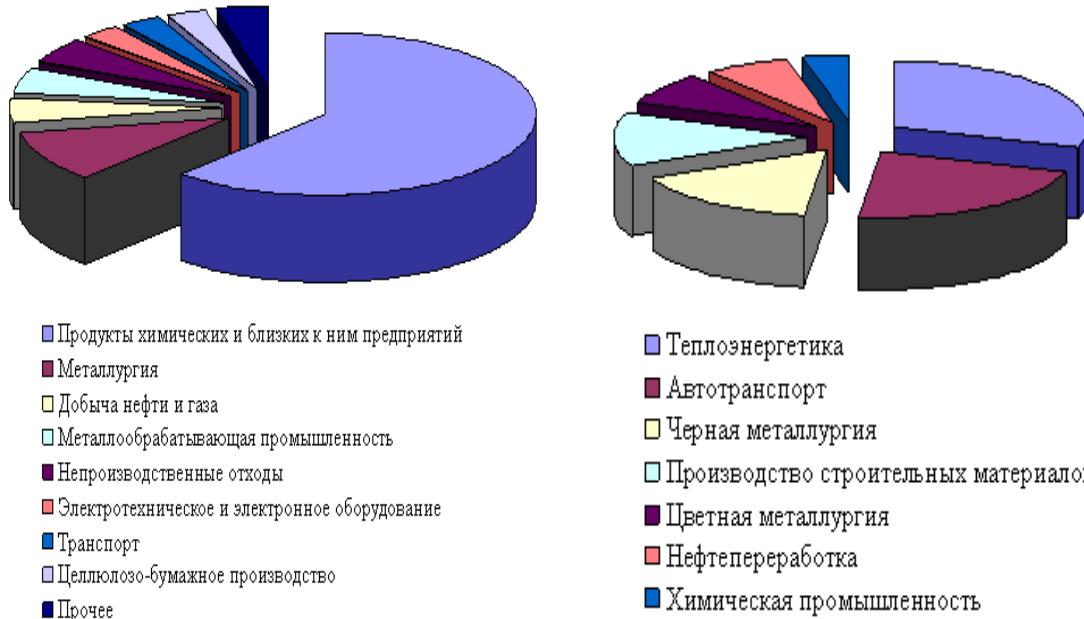
**Рис. 1.1. Источники поступления тяжелых и токсичных металлов в биосферу.**

Основными источниками антропогенного поступления ТМ в окружающую среду являются тепловые электростанции, металлургические предприятия, карьеры и шахты по добыче полиметаллических руд, транспорт, химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей, сжигание нефти и различных отходов, производство стекла, удобрений, цемента и пр. Наиболее мощные ореолы ТМ возникают вокруг предприятий черной и особенно цветной металлургии в результате атмосферных выбросов.

Действие загрязняющих веществ распространяется на десятки километров от источника поступления элементов в атмосферу. Так, металлы в количестве от 10 до 30 % от общего выброса в атмосферу распространяются на расстояние 10 км и более от промышленного предприятия. При этом наблюдается комбинированное загрязнение растений, слагающееся из непосредственного оседания аэрозолей и пыли на поверхность листьев и корневого усвоения ТМ, накопившихся в почве в течение продолжительного времени поступления загрязнений из атмосферы. Наибольшее количество

загрязняющих атмосферу веществ выбрасывается с выхлопными газами

автомобилей.



*Рис.2. Загрязнение окружающей среды: 1 – различными областями промышленности; 2 – различными отходами*

Кроме того, отходы и места их складирования и захоронения представляют токсикологическую и эпидемиологическую опасность (см. рисунок 2). Химическое и биологическое загрязнение твердых отходов представляет угрозу его проникновения в почву, атмосферный воздух, подземные и поверхностные водные объекты, растительность и может прямо или опосредованно вызывать отклонения в состоянии здоровья населения. Так, по литературным данным средние концентрации тяжелых металлов (цинк, марганец, хром, свинец, медь, ртуть и др.) в твердых бытовых отходах за последние 40 лет увеличились в 1,6-3 раза.

Летучая зола мусоросжигательных заводов обогащена хлоридами тяжелых металлов, в том числе токсичных свинца, кадмия и цинка [9]. Установлено, что металлы быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее удаляются. Первый период полуудаления ТТМ значительно варьирует для разных металлов, и занимает весьма продолжительный период времени. Так, для цинка первый период полуудаления составляет от 70 до 510 лет, для свинца от 770 до 5900 лет [5].

Чрезвычайно широкий спектр токсического воздействия ТТМ на человека, а также низкие значения их ПДК требуют надежного контроля состояния окружающей среды для



получения достоверной информации об их содержании.

Для оценки степени негативных изменений в окружающей среде осуществляют экологический мониторинг - систему наблюдений и контроля за изменениями в составе и функциях различных экологических систем. экологического мониторинг может осуществляться в глобальном, национальном и региональном масштабах. Изучение и контроль состояния окружающей среды включают исследования таких природных ресурсов, как атмосферный воздух, воды, почвы, с целью определения в них загрязняющих химических веществ, нарушающих экологическое равновесие в природе. В экологическом мониторинге активно используются различные химические и физико-химические методы анализа [11]. К химическим методам относятся гравиметрия и титриметрия. Физико-химические методы основаны на зависимости физического свойства от химического состава анализируемой среды. Их разделяют на оптические, электрохимические и хроматографические методы.

Современные задачи мониторинга окружающей среды, источников ее загрязнения, а также проблемы экологической аналитической химии малых концентраций тяжелых и токсичных элементов определяют развитие и совершенствование методов физико-химического анализа. Наиболее используемыми методами экологического мониторинга считаются спектрофотометрический и флуориметрический методы рентгеноспектральный, атомно-

абсорбционный и атомноэмиссионный анализ, а также инфракрасная спектрометрия.

Известен ряд спектрофотометрических, фотометрических и флуоресцентных методов для определения токсичных и тяжелых металлов органическими реагентами, относящимися к различным классам органических соединений – полиоксифлавоны, азосоединения, гидроксиантрахилоны, оксиазометины и др. [39-44].

Люминесцентные методы занимают особое место – по пределу обнаружения они достойно конкурируют с наиболее часто используемыми при определении органических и неорганических веществ хроматографическим и масс-спектрометрическими методами.

Преимущества методов люминесцентного анализа заключаются в минимальной пробоподготовке, они превосходят по чувствительности, избирательности и информативности ряд других методов, в том числе и фотометрические. Кроме того, возможен анализ в потоке. Люминесцентный анализ позволяет применять методологию скрининга и может быть использован как тест-метод. Перечисленные преимущества значительно сокращают длительность анализа и снижают стоимость аналитического контроля. Универсальность методов люминесцентного анализа обеспечивает возможность их использования для определения не только веществ, обладающих собственной люминесценцией, но и образующих люминесцирующие продукты различных химических реакций.



Библиография по применению люминесцентных реагентов в аналитической химии исследуемых металлов насчитывает большое количество работ. Однако, хотя ассортимент люминесцентных органических реагентов и возрастает, проблема чувствительного и избирательного определения токсичных металлов еще остается актуальной. Большинство органических реагентов не обладает метрологическими характеристиками, позволяющими применить методы к анализу сложных объектов.

В связи с этим поиск высокочувствительных и селективных люминесцентных реагентов для определения исследуемых реагентов, обеспечивающих экономичность, экспрессность, воспроизводимость является очевидным.

Одно из перспективных направлений – использование иммобилизации органических реагентов в люминесцентном анализе. Метод имеет ряд достоинств, важнейшее из которых сочетание разделения и концентрирования с одновременным определением непосредственно с поверхности иммобилизованного реагента, что упрощает анализ и повышает его экспрессность.

Данное направление получило прочный фундамент лишь в последние десятилетия. Но иммобилизованные органические реагенты уже нашли широкое применение в анализе [12-16]. Сейчас уже сформулированы принципы иммобилизации и четко представляются тенденции развития этого направления. В литературе рассматриваются теоретические и

методические аспекты иммобилизации [17-18].

Интенсивность люминесценции или коэффициент диффузного отражения измеряется непосредственно с твердой поверхности иммобилизованного реагента или его комплексного соединения с ионами металлов. Такие системы перспективны за счет возможности создания и автоматизации компактных анализаторов - оптических сенсоров [18-19].

Особенностью гибридных методов, основанных на одновременном концентрировании и определении элементов в полимерном слое является возможность визуальной и цветометрической индикации аналитического сигнала, находящая в настоящее время широкое применение в тест-методах.

Решению одной из основных задач современной науки, связанной со скринингом ионов тяжелых металлов в природных объектах посвящены работы [20-21]. В работе [20] приведена характеристика разработанной тест-системы на основе наноструктурированного силиката. С помощью золь-гель технологии была получена основа для тест-системы в виде гибридного органо-неорганического силикатного материала. В рамках выполнения экспериментальной части были определены метрологические характеристики полученной тест-системы и доказано, что она может быть использована для определения ионов цинка в пределах от 0,309 мг/л до 8,971 мг/л.

Авторами [21] получены новые тест-средства из модифицированных NaOH



нановолокон на основе полиакрилонитрила для предварительного хемосорбционного концентрирования некоторых ионов тяжелых металлов и последующего цветометрического определения их суммы. Изучена кинетика сорбции ионов ТМ, получены соответствующие изотермы сорбции. Значения сорбционных емкостей нановолоконных сорбентов для  $Mn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  составили соответственно 52, 87, 126, 153 и 162 мг/г. Рассчитаны коэффициенты распределения и концентрирования ионов ТМ. Показано, что разработанная цветовая шкала позволяет выявить превышение ПДК суммы ионов ТМ в природной воде ( $>20$  мкг/л), что подтверждено результатами определения методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

Применение химических сенсоров, использующих иммобилизованные органические реагенты в качестве чувствительного слоя, является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей аналитической химии.

Химические сенсоры составляют отдельную группу среди экспресс-методов аналитической химии, обеспечивающих быстрое определение веществ с минимальной подготовкой проб, автоматизацию процессов контроля, достаточно точное и воспроизводимое измерение в различных условиях проведения анализа [22]. Применение химических сенсоров, использующих иммобилизованные органические реагенты в качестве чувствительного слоя, является одной из наиболее

интенсивно развивающихся областей аналитической химии. Следует подчеркнуть, что интерес к химическим сенсорам стимулирован необходимостью располагать быстрой и точной информацией о составе препаратов, используемых в клинических и медико-биологических нуждах, а также в целях персональной безопасности, мониторинга окружающей среды, для совершенствования технологических, аналитических и других процессов, особенно интенсивно развивающихся в последние годы. Успех в создании таких сенсоров базируется на последних достижениях оптоэлектроники, волоконной оптики, оптической спектроскопии, синтеза органических реагентов, а также теории их действия и аналитического применения. Дальнейшее развитие этой области аналитического анализа неразрывно связано с нахождением новых возможностей улучшения чувствительности и избирательности органических реагентов с широким их использованием в практике химического анализа [22]. Оптические сенсоры обладают рядом преимуществ по сравнению с наиболее распространенными электрохимическими сенсорами. Они просты в изготовлении, дешевы, не подвергаются воздействию электрических помех, миниатюрны и возможно использование их для дистанционного контроля определяемых компонентов различных веществ. Кроме того, существует принципиальная возможность создания сенсора на различное по природе определяемое вещество, для которого



известна реакция, сопровождающаяся оптическим эффектом.

Авторами разработаны сорбционно-люминесцентные методы определения алюминия иммобилизованными кальконкарбоновой и кармновой кислотами, эриохром серым SGL, эриохром синим SE; ионов бериллия кальконкарбоновой кислотой, эриохром красным В, кармновой кислотой; ионов свинца эриохром красным В, эриохром сине-черным R; ионов цинка эриохром красным В, эриохром сине-черным В, ионов вольфрама и тория морином применены нами для анализа ряда объектов окружающей среды –

природных и сточных вод, растений [23] (Таблица №2).

Предложены высокочувствительные и селективные сорбционно-люминесцентные методы для обнаружения ионов алюминия, бериллия, свинца, цинка, вольфрама и тория в объектах окружающей среды и пищевых продуктах. Предел обнаружения при применении иммобилизованных органических реагентов снижен для бериллия в 5-13 раз; для алюминия в 10-50 раз; для свинца в 8-10 раз; для цинка в 16-41 раз; для тория в 4 раза; для вольфрама в 80 раз по сравнению с определением в растворе.

**Таблица 2.**

**Результаты определения бериллия в образцах природных и сточных вод промышленных зон иммобилизованными реагентами**

**n = 5 P = 0,95 Vобщ = 100 см<sup>3</sup>**

Анализируемый образец	Реагент-металл	Найдено бериллия (x+Δx), г/л по градуировочному графику	Sr	Найдено металла контрольным методом ** x, г/л
Минеральная вода проба № 1	Be-R* <sub>1</sub>	(2,33+0,11) ×10 <sup>-7</sup>	0,04	2,15×10 <sup>-7</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(2,36+0,16) ×10 <sup>-7</sup>	0,06	
	Be-R* <sub>1</sub>	(0,87+0,20) ×10 <sup>-7</sup>	0,12	0,79×10 <sup>-7</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(0,84+0,08) ×10 <sup>-7</sup>	0,03	
Сточная вода Алмалыкский пром. р-н проба № 1	Be-R* <sub>1</sub>	(1,98+0,05) ×10 <sup>-6</sup>	0,02	2,07×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(0,45+0,14) ×10 <sup>-6</sup>	0,05	0,39×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>1</sub>	(1,76+0,20) ×10 <sup>-6</sup>	0,07	1,68×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(0,38+0,11) ×10 <sup>-6</sup>	0,04	0,47×10 <sup>-6</sup>
Зарафшанский пром. р-н проба № 1	Be-R* <sub>1</sub>	(1,98+0,05) ×10 <sup>-6</sup>	0,02	2,07×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(0,45+0,14) ×10 <sup>-6</sup>	0,05	0,39×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>1</sub>	(1,76+0,20) ×10 <sup>-6</sup>	0,07	1,68×10 <sup>-6</sup>
	Be-R* <sub>2</sub>	(0,38+0,11) ×10 <sup>-6</sup>	0,04	0,47×10 <sup>-6</sup>

**R\* - иммобилизованный реагент**

**\*\* - люминесцентный метод с морином**



Разработанные сорбционно-люминесцентные методы с использованием иммобилизованных реагентов отличаются от аналогичных люминесцентных более низким пределом обнаружения, а также более высокой избирательностью по отношению к сопутствующим элементам в исследуемых образцах,

минеральном сырье, объектах окружающей среды. Предлагаемые иммобилизованные реагенты могут быть использованы в качестве чувствительных слоев оптических сенсоров на содержание токсичных элементов в объектах окружающей среды.

### References:

1. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 27 октября 1998 г. № 455 «О классификации чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и экологического характера». Источник: <https://lex.uz>.
2. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан «О создании единой системы мониторинга, обмена информацией и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и экологического характера» от 28.12.2017 г. № 1027. Источник: <https://lex.uz>.
3. Шачнева Е.Ю. Воздействие тяжелых токсичных металлов на окружающую среду // Научный потенциал регионов на службу модернизации. -2012. -№ 2 (3). -С. 127-134.
4. Филов В.А. Химические загрязнители окружающей среды, токсикология и вопросы информации // Рос. хим. журнал. -2004. -Т. 48. -№ 2. -С. 4-8.
5. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды // Астраханский вестник экологического образования. -2013. -№ 1 (23). -С.182-192.
6. Леванчук А.В. Загрязнение объектов окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса // Гигиена и санитария. -2014. -№ 6. -С. 17-20.
7. Привалова Л.И., Кацнельсон Б.А., Гурвич В.Б., Малых О.Л., Воронин С.А., Маршалкин А.П., Кошелева А.А., Поровицна А.В. Свинец в среде обитания как фактор риска для здоровья населения // Рос. хим. журнал. -2004. -Т. 48. -№ 2. -С. 87-94.
8. Онищенко Г.Г. О санитарно-эпидемиологическом состоянии окружающей среды // Гигиена и санитария. -2013. -№ 2. -С. 4-10.
9. Черняева Т.К. Актуальные проблемы влияния отходов производства и потребления на объекты окружающей среды и состояние здоровья населения (обзор) // Гигиена и санитария. -2013. -№ 3. -С. 32-35.
10. Конотопчик Е.Е. Тяжелые металлы в пищевой продукции, реализуемой на территории Хабаровского края // Ученые заметки ТОГУ. -2013. -Т. 4. - № 2. С. 50-56.
11. Аналитические методы экологического мониторинга: учебное пособие /Е.В.Сотникова, Н.Ю.Калпина, Е.В.Ряховская, СмиринБ.В. - М.: МГТУ «МАМИ», 2011.- 120 с.
12. Гуськов В.Ю., Сухарева Д.А., Салихова Г.Р., Карпов С.И., Кудашева Ф.Х., Roessner F., Бородина Е.В. Термодинамические характеристики адсорбции органических молекул



на модифицированных адсорбентах MCM-41 // Журн. физ. химии. -2017. -Т. 91. -№ 7. -С. 1218-1222.

13. Yildiz D., Kula I., Şahin N. Preconcentration and Determination of Cd, Zn and Ni by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry by Using Microorganism *Streptomyces Albus* Immobilized on Sepiolite // Eurasian J Anal Chem. -2013. -V. 8. -№ 3. -P. 112-122.
14. Sabrina Heng Christopher A. McDevitt Roman Kostecki. Microstructured Optical Fiber-based Biosensors: Reversible and Nanoliter-Scale Measurement of Zinc Ions // ACS Appl. Mater. Interfaces. -2016. -V. 20. -№ 8. -P. 12727-12732.
15. Yildiz D., Kula I., Şahin N. Preconcentration and Determination of Cd, Zn and Ni by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry by Using Microorganism *Streptomyces Albus* Immobilized on Sepiolite // Eurasian J Anal Chem. -2013. -V. 8. -№ 3. -P. 112-122.
16. Sabrina Heng Christopher A. McDevitt Roman Kostecki. Microstructured Optical Fiber-based Biosensors: Reversible and Nanoliter-Scale Measurement of Zinc Ions // ACS Appl. Mater. Interfaces. -2016. -V. 20. -№ 8. -P. 12727-12732. DOI.org/10.1021/acsami.6b03565.
17. Запорожец О.А., Гавер О.М., Сухан В.В.. Иммобилизация аналитических реагентов на поверхности носителей. // Усп. хим. -1997. -Т. 66. -№ 7. -С. 702-712.
18. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, -2002. -304 с.
19. Химические сенсоры. Под ред. Власова Ю.Г. М.: Наука, -2011. -398 с.
20. Фарус О.А. Разработка тест-систем для определения ионов цинка в объектах окружающей среды на основе наноструктурированного силиката // Международный научно-исследовательский журнал. -2016. -№ 4 (46).-Часть 6. -С.156-160.
21. Доронин С.Ю., Данчук А.И., Грунова Ю.В., Габидулина М.К. Концентрирование и тест-определение ионов тяжелых металлов с применением модифицированного нановолокна на основе полиакрилонитрила // Журн. аналит. химии. -2020. -Т. 75. -№ 7. -С. 597-605.
22. Саввин С.Б., Кузнецов В.В., Шереметьев С.В., Михайлова А.В. Оптические химические сенсоры (микро-и нано системы) для анализа жидкостей // Рос. хим. журнал. -2008. -Т. 52. -№ 2. -С. 7-16.
23. Сманова З.А., Усманова Х.У. Иммобилизация оксиазосоединений для улучшения метрологических параметров сорбционно-спектроскопического определения некоторых металлов. // Узбекский химический журнал. -2018. -№ 3. -С.89-95.