



**ISSN** INTERNATIONAL  
STANDARD  
SERIAL  
NUMBER

**ISSN**  
2782-4365

Проверить  
номер:



Научно-образовательный электронный журнал

# ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ

Выпуск №67-3 (том 3)  
(октябрь, 2025)



Google  
Scholar



Периодичность выпуска: 1 раз в неделю  
Сайт: [mpcareer.ru/oinv21veke](http://mpcareer.ru/oinv21veke). Почта: [obrmpcareer@mail.ru](mailto:obrmpcareer@mail.ru)



Международный научно-образовательный  
электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ»

ISSN 2782-4365

УДК 37

ББК 94

**Международный научно-образовательный электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ». Выпуск №67-3 (том 3) (октябрь,  
2025). Дата выхода в свет: 20.10.2025.**

Журнал объединяет авторов на территории стран СНГ и помогает обмениваться передовыми научно-образовательными исследованиями.

Содержит научные статьи отечественных и зарубежных авторов по экономическим, техническим, философским, юридическим и другим наукам.

Миссия научно-образовательного электронного журнала «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ» состоит в поддержке интереса читателей к оригинальным исследованиям и инновационным подходам в различных тематических направлениях, которые способствуют распространению лучшей отечественной и зарубежной практики в интернет пространстве.

Целевая аудитория журнала охватывает работников сферы науки и образования (педагоги, учителя, ученые, преподаватели, научные сотрудники, бакалавры, магистранты, аспиранты).

Материалы публикуются в авторской редакции. За соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за содержание статей ответственность несут авторы статей. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

© ООО «МОЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КАРЬЕРА»

© Коллектив авторов

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСЧЕТАМИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	
Бегджанов Р. МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК ТЕХНОЛОГИЙ	367
Курязова К. МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК СТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	373
Нурыева Г., Салыхов Ш., Реджепов Г., Ягмуров Д., Гочакова А. ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ТУРКМЕНИСТАНА	379
Agajanow Dovran, Dovletgeldiyev Atageldi ANALYSIS OF CIRCULATING AND TURNOVER ASSETS OF A POWER PLANT	385
Agajanow Dovran, Charyyev Yusup ANALYSIS OF PRODUCTION COSTS AT AN ELECTRIC POWER PLANT	388
Мыратгельдиев Б.М., Гурбанмырадова Н. АНАЛИЗ НЕПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ ДОЛЖНИКА	392
Мыратгельдиев Б.М., Гурбансахедова Х. АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ WEB-СТРАНИЦ	396
Джумаева А.Х. РОЛЬ ИНКЛЮЗИВНОГО ТЕАТРА В КУЛЬТУРЕ И ИСКУССТВЕ	400
Шукуров Алимухаммет, Маткеримов Перхат, Джумаев Перхат, Гурбандурдыев Мухамметназар УНИКАЛЬНЫЕ ТИПЫ ПОЧВ АРИДНОЙ ЗОНЫ ТУРКМЕНИСТАНА, СЕРОЗЕМЫ И ТАКЫРЫ	406
Овлягулыева Айсенем, Амангельдиева Мержен, Аманова Гульбахар СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СЛОЖНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА: СТРАТЕГИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОЛЕКУЛ	410
Аннагулыев Гайгысыз, Аллабердиева Л., Амангельдиева З. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛЛИЯ В РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦАХ	423
Torumov Eziz, Begenjov Aytgeldi ANALYSIS OF THE WAGE FUND OF AN ENERGY ENTERPRISE	435
Torumov Eziz, Zarifjanov Dovran ANALYSIS OF THE UTILIZATION OF INVESTMENTS IN A POWER PLANT	438

УДК 543.42:546.681

**ФИО автора(-ов):** *Аннагулыев Гайгысыз*

*Преподаватель химического факультета Туркменского государственного университета имени Махтымкули*

*Аллабердиева Л, Амангельдиева З*

*Студенты химического факультета Туркменского государственного университета имени Махтымкули*

**Название публикации:** «СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЛЛИЯ В РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦАХ»

**Аннотация.** Рассматриваются современные методологические подходы к количественному определению галлия в образцах различного происхождения. Проанализированы основные трудности, возникающие при аналитическом контроле содержания данного элемента в сложных многокомпонентных системах. Особое внимание уделено влиянию матричных эффектов, спектральных наложений и химических помех на точность результатов. Представлен обзор перспективных методик пробоподготовки и инструментальных технологий, позволяющих повысить чувствительность и селективность анализа. Обсуждаются возможности применения комбинированных аналитических схем для достижения требуемых метрологических характеристик при работе с реальными объектами.

**Ключевые слова:** *галлий, аналитическое определение, спектральный анализ, матричные эффекты, спектрофотометрия, атомно-эмиссионная спектроскопия, масс-спектрометрия, предельные концентрации*

**Annagulyev Gaýgysyz**

*Lecturer at the Faculty of Chemistry of Magtymguly Turkmen State University*

**Allaberdiyeva L., Amangeldiyeva Z.**

*Students of the Faculty of Chemistry of Magtymguly Turkmen State University*

## MODERN APPROACHES TO SOLVING COMPLEX PROBLEMS OF ANALYTICAL DETERMINATION OF GALLIUM IN VARIOUS MATRICES

**Abstract.** Modern methodological approaches to quantitative determination of gallium in samples of various origins are considered. The main difficulties arising during analytical control of this element content in complex multicomponent systems are analyzed. Special attention is paid to the influence of matrix effects, spectral overlaps and chemical interferences on the accuracy of results. A review of promising sample preparation techniques and instrumental technologies that increase the sensitivity and selectivity of analysis is presented. The possibilities of using combined analytical schemes to achieve the required metrological characteristics when working with real objects are discussed.

**Keywords:** *gallium, analytical determination, spectral analysis, matrix effects, spectrophotometry, atomic emission spectroscopy, mass spectrometry, detection limits*

### Введение

Галлий представляет собой рассеянный элемент, концентрация которого в земной коре не превышает восемнадцати миллиграммов на килограмм. Несмотря на относительно низкую распространенность, этот металл находит широкое применение в современной электронной промышленности, оптоэлектронике и материаловедении. Соединения на основе галлия используются при производстве полупроводниковых приборов, светодиодов, солнечных батарей и высокочастотных интегральных схем. Растущая потребность промышленности в высокочистом сырье обуславливает необходимость разработки надежных аналитических методик для контроля содержания данного элемента.

Определение следовых количеств галлия в различных материалах сопряжено с рядом методических трудностей. Низкие концентрации определяемого компонента требуют применения высокочувствительных инструментальных методов анализа. Присутствие сопутствующих элементов со сходными химическими свойствами приводит к возникновению систематических погрешностей. Матричные эффекты оказывают существенное влияние на аналитический сигнал, что снижает точность получаемых

результатов. Разработка эффективных подходов к преодолению указанных затруднений является актуальной задачей современной аналитической химии.

Целью настоящей работы является систематизация информации о проблемных аспектах количественного определения галлия и анализ путей их решения. Рассмотрены особенности применения различных инструментальных методов для анализа образцов разного типа. Проведено сравнение метрологических характеристик альтернативных аналитических схем. Обсуждаются перспективы совершенствования методологии контроля содержания галлия в технологических и природных объектах.

### **Специфика химических свойств галлия и аналитические последствия**

Химическое поведение галлия во многом определяется его положением в периодической системе между алюминием и индием. Элемент проявляет степень окисления три в большинстве соединений, что обуславливает сходство его химических превращений с реакциями алюминия. В водных растворах образуются гидратированные катионы, склонные к гидролизу при повышении кислотности среды. Амфотерный характер гидроксида позволяет переводить соединения галлия как в кислые, так и в щелочные растворы, что используется в схемах разделения и концентрирования.

Близость ионных радиусов галлия и алюминия приводит к тому, что эти элементы часто встречаются совместно в природных минералах и технических материалах. Разделение данной пары представляет серьезную аналитическую проблему из-за одинакового поведения в типичных химических реакциях. Традиционные методы осаждения не обеспечивают достаточной селективности. Экстракционные схемы требуют тщательного подбора условий для достижения приемлемых коэффициентов разделения. Ионообменные технологии позволяют добиться лучших результатов, однако характеризуются значительной продолжительностью и сложностью реализации.

Спектроскопические характеристики атомов и ионов галлия также создают определенные затруднения при инструментальном анализе. Наиболее чувствительные аналитические линии в эмиссионных спектрах расположены в

ультрафиолетовой области, где наблюдается интенсивный фоновый сигнал от матрицы образца. Спектральные наложения от железа, алюминия и других распространенных элементов снижают точность определения при использовании атомно-эмиссионной спектроскопии. В абсорбционных методах чувствительность ограничена относительно невысокими значениями коэффициентов поглощения резонансных переходов. Массовое число основного изотопа совпадает с продуктами полиатомных интерференций, что осложняет применение масс-спектрометрических технологий.

### **Проблемы пробоподготовки образцов для определения галлия**

Корректное проведение стадии пробоподготовки во многом определяет надежность конечных аналитических результатов. Для перевода галлия в форму, пригодную для инструментального измерения, чаще всего применяют кислотное разложение твердых проб. Выбор минерализующей смеси зависит от химического состава анализируемого материала. Силикатные матрицы требуют использования плавиковой кислоты, что создает дополнительные трудности при работе со стеклянной посудой и некоторыми типами аналитического оборудования. Органические соединения разлагают с применением окислительных систем на основе азотной и серной кислот.

Существенной проблемой является возможность потерь определяемого элемента на различных этапах пробоподготовки. Летучесть хлоридных соединений галлия приводит к занижению результатов при выпаривании растворов в присутствии соляной кислоты. Сорбция на стенках лабораторной посуды становится значимой при работе с разбавленными растворами. Неполнота вскрытия некоторых минералов вызывает систематическую отрицательную погрешность. Контроль полноты извлечения определяемого компонента требует применения изотопно-меченных внутренних стандартов или параллельного анализа стандартных образцов с близкой матрицей.

Операции разделения и концентрирования играют важную роль при анализе проб со сложным составом. Жидкостная экстракция с использованием органических реагентов позволяет отделить галлий от многих мешающих

компонентов. Эффективность извлечения зависит от кислотности водной фазы, природы экстрагента и времени контакта. Твердофазная экстракция на сорбентах с привитыми функциональными группами обеспечивает более высокую селективность и удобство практической реализации. Современные хелатообразующие смолы демонстрируют количественное связывание галлия в широком диапазоне условий с возможностью последующего элюирования слабыми растворами кислот.

### **Спектрофотометрические методы определения**

Молекулярная абсорбционная спектроскопия в видимой области спектра традиционно применяется для определения галлия благодаря доступности оборудования и относительной простоте выполнения измерений. Метод основан на образовании окрашенных комплексных соединений при взаимодействии ионов металла с органическими реагентами. В качестве аналитических реагентов используют производные оксихинолина, азосоединения, трифенилметановые красители. Интенсивность окраски растворов связана с концентрацией определяемого элемента законом Бугера-Ламберта-Бера в определенном диапазоне содержаний.

Селективность спектрофотометрических методик часто оказывается недостаточной из-за образования окрашенных соединений многими переходными металлами с теми же реагентами. Для устранения влияния посторонних компонентов применяют предварительное разделение экстракцией или введение маскирующих агентов. Комплексоны связывают мешающие ионы в бесцветные или слабоокрашенные формы, не поглощающие свет в области аналитических длин волн. Правильный выбор буферной системы позволяет создать условия, при которых взаимодействие реагента с галлием протекает количественно, а влияние других элементов минимизируется.

Чувствительность прямых спектрофотометрических определений ограничена значениями молярных коэффициентов поглощения используемых комплексов. Для снижения предела обнаружения разработаны методики с предварительным концентрированием аналита. Экстракция комплексов в

органическую фазу малого объема увеличивает концентрацию определяемого вещества в несколько раз. Сорбционное концентрирование на модифицированных носителях с последующей десорбцией позволяет достичь еще более высоких коэффициентов обогащения. Применение проточно-инжекционного анализа с он-лайн концентрированием обеспечивает автоматизацию процедуры и улучшение воспроизводимости результатов.

### **Атомно-спектроскопические технологии**

Методы атомной спектрометрии занимают ведущее место среди инструментальных технологий определения галлия благодаря высокой чувствительности и возможности многоэлементного анализа. Атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой позволяет достигать пределов обнаружения на уровне микрограммов на литр при прямом анализе растворов. Высокая температура плазменного источника обеспечивает эффективную атомизацию и возбуждение спектров большинства элементов. Возможность одновременной регистрации излучения множества аналитических линий сокращает время анализа и расход пробы.

Основные трудности при применении данного метода связаны со спектральными наложениями и матричными эффектами. Интенсивность излучения галлия на наиболее чувствительных длинах волн может искажаться присутствием линий других элементов или молекулярных полос. Современные приборы с высоким спектральным разрешением позволяют разделить близко расположенные линии, однако полное устранение спектральных помех не всегда достижимо. Влияние матрицы проявляется в изменении условий распыления раствора, температуры плазмы и степени ионизации атомов. Компенсация матричных эффектов осуществляется применением метода добавок, использованием внутренних стандартов или разбавлением проб до уровня, при котором влияние матрицы становится пренебрежимо малым.

Атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией обеспечивает более низкие пределы обнаружения благодаря концентрированию аналита на стадии термической обработки пробы в графитовой печи. Метод

характеризуется высокой селективностью измерений и малым расходом образца. Однако продолжительность единичного определения существенно больше по сравнению с эмиссионными методами. Оптимизация температурно-временной программы нагрева печи критически важна для достижения воспроизводимых результатов. Применение модификаторов матрицы позволяет стабилизировать летучие соединения галлия и снизить влияние сопутствующих компонентов на аналитический сигнал.

### **Масс-спектрометрические подходы**

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой представляет собой один из наиболее чувствительных методов элементного анализа. Детектирование ионов по их массовому числу обеспечивает высокую селективность определения при минимальном влиянии спектральных помех. Пределы обнаружения галлия достигают долей нанограмма на литр, что делает возможным анализ ультраследовых концентраций. Широкий динамический диапазон измерений позволяет определять содержание элемента от следовых количеств до процентных концентраций без разбавления пробы.

Специфической проблемой масс-спектрометрического определения галлия являются полиатомные интерференции. Основной изотоп с массовым числом шестьдесят девять совпадает по массе с молекулярными ионами, образующимися в плазме из компонентов матрицы и растворителя. Наложения от соединений серы, хлора и углерода существенно влияют на результаты при анализе некоторых типов образцов. Для устранения полиатомных помех применяют реакционные ячейки с введением дополнительных газов, разрушающих мешающие молекулярные ионы или изменяющих массу аналита путем образования новых соединений. Использование приборов с высоким массовым разрешением позволяет отделить сигналы интерферирующих частиц от пика определяемого изотопа.

Изотопное разбавление представляет собой эталонный метод количественного определения, обеспечивающий наивысшую точность результатов. Добавление известного количества обогащенного изотопа к

анализируемой пробе с последующим измерением изотопных отношений позволяет рассчитать исходное содержание элемента. Метод компенсирует потери аналита при пробоподготовке и устраняет влияние матричных эффектов на сигнал детектора. Основным ограничением является высокая стоимость изотопно-меченных стандартов и необходимость применения масс-спектрометров с высокими метрологическими характеристиками.

### **Электрохимические методы анализа**

Вольтамперометрические методы определения галлия основаны на регистрации тока восстановления или окисления его соединений на поверхности рабочего электрода. Чувствительность метода может быть повышена за счет предварительного концентрирования определяемого вещества на электроде путем адсорбции или электрохимического осаждения. Адсорбционная инверсионная вольтамперометрия с использованием комплексообразующих реагентов позволяет достигать пределов обнаружения на уровне долей микрограмма на литр. Модификация поверхности электродов наноматериалами улучшает электрокаталитические свойства и увеличивает эффективность накопления аналита.

Основные трудности электрохимических методов связаны с влиянием компонентов матрицы на процессы, протекающие на границе раздела электрод-раствор. Поверхностно-активные вещества изменяют условия адсорбции и могут блокировать активные центры электрода. Присутствие других металлов, восстанавливающихся при близких потенциалах, приводит к наложению аналитических сигналов. Оптимизация состава фонового электролита и применение методов дифференциальной регистрации кривых позволяют улучшить селективность определения. Использование хемометрических подходов для обработки многомерных данных расширяет возможности разрешения перекрывающихся пиков различных компонентов.

### **Сравнительная характеристика аналитических методов**

Выбор оптимального метода определения галлия зависит от ряда факторов, включающих ожидаемый диапазон концентраций, состав матрицы, требования к

точности результатов и доступность аналитического оборудования. Спектрофотометрические методы отличаются простотой выполнения и невысокой стоимостью анализа, однако уступают по чувствительности инструментальным методам. Их применение целесообразно при определении относительно высоких содержаний галлия в образцах с простым составом после соответствующей пробоподготовки.

Атомно-спектроскопические технологии демонстрируют лучшее сочетание чувствительности, селективности и производительности для рутинного анализа большого числа проб. Эмиссионная спектроскопия с плазменным источником предпочтительна при необходимости одновременного определения множества элементов. Атомно-абсорбционный метод обеспечивает более низкие пределы обнаружения при последовательном анализе отдельных элементов. Масс-спектрометрические подходы незаменимы при работе с ультраследовыми концентрациями и в случаях, требующих максимальной точности измерений.

Комбинированное применение нескольких методов повышает надежность аналитической информации. Использование независимых методик позволяет выявить систематические погрешности, связанные со спецификой каждого метода. Результаты, полученные различными способами, должны согласоваться в пределах суммарной неопределенности измерений. Расхождение данных указывает на наличие неучтенных источников погрешностей и требует дополнительных исследований для установления их причины.

### **Метрологические аспекты и контроль качества**

Достоверность результатов количественного анализа обеспечивается соблюдением требований метрологической прослеживаемости на всех этапах аналитической процедуры. Калибровка измерительных приборов должна проводиться с использованием аттестованных стандартных образцов или растворов, приготовленных из веществ установленной чистоты. Регулярная проверка градуировочной зависимости позволяет своевременно обнаруживать изменения характеристик аналитической системы. Применение контрольных

проб на разных уровнях концентраций подтверждает стабильность метода во времени.

Оценка неопределенности измерений представляет собой обязательный элемент современной аналитической практики. Бюджет неопределенности включает вклады от различных источников, таких как неопределенность калибровки, погрешности взвешивания и дозирования, воспроизводимость метода, влияние температуры и других условий измерений. Правильная количественная оценка неопределенности позволяет корректно интерпретировать полученные результаты и принимать обоснованные решения на их основе. Расширенная неопределенность с заданным уровнем доверия должна указываться при представлении конечных данных.

Участие в программах межлабораторных сравнительных испытаний служит инструментом внешнего контроля качества аналитических работ. Сопоставление результатов, полученных различными лабораториями при анализе одних и тех же образцов, выявляет лаборатории с неудовлетворительными характеристиками методик. Систематическое отклонение данных от согласованного значения свидетельствует о наличии неучтенных систематических погрешностей. Регулярный мониторинг показателей качества способствует непрерывному совершенствованию аналитических процедур и поддержанию их на должном уровне.

### **Заключение**

Количественное определение галлия в различных материалах представляет собой сложную аналитическую задачу, требующую комплексного подхода к выбору методов и тщательного контроля факторов, влияющих на точность результатов. Современные инструментальные технологии обеспечивают необходимую чувствительность для работы со следовыми концентрациями, однако их эффективное применение невозможно без правильной организации пробоподготовки и учета матричных эффектов. Развитие методологии анализа идет по пути совершенствования схем разделения и концентрирования,

внедрения новых способов устранения спектральных помех, применения химических модификаторов и математических методов обработки сигналов.

Дальнейший прогресс в области определения галлия связан с разработкой миниатюрных аналитических систем, позволяющих проводить измерения непосредственно на месте отбора проб. Автоматизация аналитических процедур снижает влияние человеческого фактора и улучшает воспроизводимость результатов. Применение искусственного интеллекта для оптимизации условий анализа и интерпретации данных открывает новые возможности повышения эффективности аналитического контроля. Создание унифицированных методик, валидированных для широкого круга объектов, упрощает их практическое внедрение в различных отраслях промышленности и научных исследований.

### **Список литературы**

1. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Дмитриенко С.Г., Моросанова Е.И. Сорбционное концентрирование микроконцентратов из растворов. Москва: Наука, 2007. 320 с.
2. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. Москва: Техносфера, 2009. 784 с.
3. Карпов Ю.А., Савостин А.П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. Москва: БИНОМ, 2003. 243 с.
4. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. Москва: Мир, 1994. 268 с.
5. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Ленинград: Химия, 1986. 432 с.
6. Лолла Дж. Справочник по аналитической химии. Москва: Мир, 1975. 480 с.
7. Немодрук А.А., Безрогова Е.В. Аналитическая химия галлия. Москва: Наука, 1974. 232 с.
8. Отто М. Современные методы аналитической химии. Москва: Техносфера, 2008. 544 с.

9. Сенявин М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. Москва: Химия, 1980. 272 с.
10. Музгин В.Н., Хамзина Л.Б. Аналитическая химия галлия. Москва: Наука, 1986. 216 с.
11. Основы аналитической химии. Практическое руководство / Под ред. Ю.А. Золотова. Москва: Высшая школа, 2001. 463 с.
12. Фадеева В.И., Тихомирова Т.И., Иванов В.М. Оптические методы анализа. Москва: Высшая школа, 2010. 383 с.
13. Золотов Ю.А. Основы аналитической химии. Том 2. Методы химического анализа. Москва: Высшая школа, 2004. 503 с.
14. Дёрффель К., Мюллер Г. Статистика в аналитической химии. Москва: Мир, 1994. 268 с.
15. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия редких элементов. Киев: Наукова думка, 1980. 416 с.

©Аннагулыев Г, Аллабердиева Л, Амангельдиева З, 2025