



ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ/FOOD SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.3>

EDN: WTXRGV

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА (II) И ЖЕЛЕЗА (III) В ВИНМАТЕРИАЛАХ

Научная статья

Шахабудинов А.Ш.¹, Исаев А.Б.^{2,*}, Бабуев М.А.³, Абакаров Г.М.⁴² ORCID : 0000-0002-1659-0661;^{1, 2, 3} Дагестанский государственный университет, Махачкала, Российская Федерация⁴ Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (abdul-77[at]yandex.ru)

Предложена: 03.03.2026; Принята: 29.06.2026; Опубликовано: 20.07.2026

Аннотация

Статья посвящена разработке и валидации методики спектрофотометрического определения ионов железа (II) и (III) в виноматериалах с использованием нитрозо-R-соли в качестве комплексообразующего реагента. Целью исследования являлось установление оптимальных условий комплексообразования Fe(II) с нитрозо-R-солью и разработка простой, чувствительной и доступной методики определения железа (II) и железа (III) в виноматериалах. Необходимостью строгого контроля содержания железа в винах связана с тем, что его избыток (более 5 мг/л) приводит к образованию мути («дымка»), ухудшению органолептических свойств и может представлять опасность для здоровья потребителей. Изучено влияние pH среды на спектры поглощения реагента и комплекса. Установлено, что оптимальное значение pH для образования зеленого комплекса Fe(II) с нитрозо-R-солью составляет 5–6. При этом наблюдается значительный батохромный сдвиг (340 нм), что позволяет проводить измерения при длине волны 710 нм и использовать дистиллированную воду в качестве раствора сравнения. Методика апробирована на образцах красных и белых вин производства Республики Дагестан. Для разрушения органической матрицы красных вин применялось сухое озонирование, а в белых винах определение проводили непосредственно. Общее содержание железа определяли после предварительного восстановления Fe(III) до Fe(II) аскорбиновой кислотой. Показано, что градуировочный график линейен в широком диапазоне концентраций, рассчитан коэффициент факторизации ($5,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л). Все проанализированные образцы виноматериалов соответствуют требованиям ГОСТ по содержанию железа и предложенный способ с использованием нитрозо-R-соли отличается простотой, чувствительностью и позволяет надежно определять обе формы железа в винах.

Ключевые слова: виноматериалы, железо, спектрофотометрический анализ, нитрозо-R-соль, комплексообразование.

SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF IRON (II) AND IRON (III) IN WINE MATERIALS

Research article

Shakhabudinov A.S.¹, Isaev A.B.^{2,*}, Babuev M.A.³, Abakarov G.M.⁴² ORCID : 0000-0002-1659-0661;^{1, 2, 3} Dagestan State University, Makhachkala, Russian Federation⁴ Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

* Corresponding author (abdul-77[at]yandex.ru)

Suggested: 03.03.2026; Accepted: 29.06.2026; Published: 20.07.2026

Abstract

The article is devoted to the development and validation of a spectrophotometric method for the determination of iron (II) and (III) ions in wine materials using a nitroso-R salt as a complexing agent. The aim of the study was to establish the optimal conditions for the complexation of Fe(II) with nitroso-R-salt and to develop a simple, sensitive and accessible method for the determination of iron (II) and iron (III) in wine materials. The need for strict control of iron content in wines is due to the fact that an excess of iron (more than 5 mg/l) leads to the formation of haze ("smoke"), a deterioration in organoleptic properties, and may pose a health risk to consumers. The effect of the pH of the medium on the absorption spectra of the reagent and the complex was examined. It was established that the optimum pH value for the formation of the green Fe(II) complex with a nitroso-R-salt is 5–6. A significant bathochromic shift (340 nm) is observed at this pH, which allows measurements to be carried out at a wavelength of 710 nm and distilled water to be used as the reference solution. The method was tested on samples of red and white wines produced in the Republic of Dagestan. Dry ozonation was used to break down the organic matrix in red wines, and the analysis was carried out directly on white wines. The total iron content was determined following preliminary reduction of Fe(III) to Fe(II) using ascorbic acid. It has been shown that the calibration curve is linear over a wide range of concentrations, and the factorisation coefficient has been calculated ($5,3 \cdot 10^{-5}$ mol/l). All the wine material samples analysed comply with GOST requirements for iron content, and the suggested method using nitroso-R salt is simple and sensitive, and makes it possible to reliably determine both forms of iron in wines.

Keywords: wine materials, iron, spectrophotometric analysis, nitroso-R-salt, complex formation.

Введение

Содержание железа в винах является одним из важных параметров контроля их качества и стабильности. Общая концентрация железа, по данным [1], не должна превышать 5 мг/л для соответствия российским стандартам качества. Железо является естественным компонентом виноматериалов и при низких концентрациях участвует в процессах метаболизма за счет ферментов. Однако, повышенное содержание железа приводит к формированию мутности, так называемого «дымка», в винах и ухудшению их органолептических свойств за счет процессов непрерывного окисления. В большинстве случаев осадки образуются за счет комплексов железа (III) с различными компонентами вин [2], [3]. Избыток железа может привести к риску развития раковых, сердечных и других заболеваний, таких как эндокринные проблемы, артрит, диабет и заболевания печени [4], [5], [6].

Исходя из этого, разработка чувствительных методов количественной оценки небольших количеств железа в пищевых продуктах является актуальной проблемой.

Текущий контроль содержания железа осуществляется весь период производства вина. Для определения железа в винах в настоящее время используются разные физико-химические методы и, исходя из содержания железа, используются различные технологии обработки вин для предотвращения образования осадков и ухудшения органолептических показателей. Однако эффективность используемых технологий обработки вин зависит не только от информации об общем содержании железа, но и определения, количественной оценки ионов железа (II) и железа (III).

Для определения железа (II) и железа (III) в виноматериалах используются различные методы, в частности методы жидкостной экстракции ионов железа [7], инверсионной вольтамперометрии [8], сорбции [9], ионообменной хроматографии [10], [11], [12]. Большинство из этих методов являются относительно длительными и состоят из нескольких последовательных операций. При этом, также требуется специальное аналитическое оборудование и реактивы, что делает их малоприменимыми для рутинного лабораторного контроля качества и анализа вин.

Нитрозо-R-соль используется как фотометрический реагент на ионы кобальта [13]. Исходя из этого, в настоящей работе исследовано фотометрическое определение железа (II) и железа (III) в виноматериалах с использованием в качестве реагента нитрозо-R-соли.

Целью настоящего исследования являлось установление оптимальных условий комплексообразования Fe(II) с нитрозо-R-солью, исследование аналитических характеристик образующегося комплекса и разработка спектрофотометрической методики определения железа (II) и железа (III) в виноматериалах для рутинного лабораторного контроля.

Методы и принципы исследования

Приготовление растворов. Все растворы готовили на бидистиллированной воде. Стандартный раствор железа (II) готовили из соли Мора. Для этого 0,0175 г соли Мора переносили в мерную колбу емкостью 250,0 мл и растворяли в бидистиллированной воде с добавлением серной кислоты. Раствор имеет $T(\text{Fe}^{2+})=0,01$ мг/мл. В качестве комплексообразователя использовали 0,1% раствор нитрозо-R-соли.

Установление оптимальной среды и выбор максимума светопоглощения. Определенный объем стандартного раствора железа (II) и нитрозо-R-соли помещали в мерные колбы на 50,0 мл и создавали значения pH в диапазоне 3–9, используя аммонийно-ацетатный буферный раствор. В качестве раствора сравнения применяли раствор нитрозо-R-соли, содержащий все компоненты кроме стандартного раствора железа (II). Снимали спектры поглощения на спектрофотометре Spescord 210 plus в диапазоне 210–900 нм, в кювете с толщиной поглощающего слоя 10 мм, шаг сканирования 5 нм, скорость сканирования 50 нм/с.

Построение градуировочного графика. Готовили ряд растворов комплекса железа (II) с нитрозо-R-солью при выбранных оптимальных условиях с известными концентрациями железа (II). Измеряли оптические плотности всех растворов, начиная от раствора с меньшей концентрацией. Раствором сравнения служил раствор, содержащий все компоненты кроме железа (II). При достижении линейности графика оптической плотности всех растворов от концентрации рассчитывали коэффициент факторизации (F). Для чего снимали значения концентрации железа (II) для средней части градуировочного графика и соответствующую этой концентрации оптическую плотность D(A).

Подготовка вин к анализу. В качестве объектов исследования использовали красные и белые виноматериалы промышленного производства Республики Дагестан. Исследованы сухие красные и белые вина различных производителей, отличающиеся по сортовому составу и технологии производства. Выбор образцов обусловлен необходимостью оценки применимости предлагаемой методики для анализа виноматериалов различного состава и степени окрашенности. При подготовке к анализу для красных вин применяли метод сухого озоления, а в белых винах железо определяли непосредственно. Для сухого озоления несколько образцов вин помещали в фарфоровую чашку и предварительно высушивали при температуре 105°C до сухого остатка. Затем озолляли в муфельной печи при температуре 500–600°C. В тех случаях, когда оставались обуглившиеся частицы, трудно поддающиеся полной минерализации, чашку охлаждали, добавляли 0,5–1,0 мл дистиллированной воды подсушивали на водяной бане и вновь подвергали сжиганию. После полной минерализации чашку охлаждали, золу растворяли в 20 мл 1М HCl. Раствор с промывными водами переносили количественно в мерную колбу емкостью 25 мл и доводили объем до метки.

Проведение анализа испытуемых вытяжек вин. В мерные колбы вместимостью 25,0 мл отмеривали по 5 мл вытяжек вин, прибавляли 1 мл 1%-го раствора аскорбиновой кислоты, 1 мл 0,1%-го раствора нитрозо-R-соли, 5 мл ацетатного буфера и доводили объем до метки водой. После тщательного перемешивания этих растворов по истечении 3 минут измеряли оптическую плотность при выбранных оптимальных условиях на фоне раствора сравнения, включающего все компоненты кроме определяемого железа. По найденному значению оптической плотности определяли концентрацию железа в винах по градуировочному графику.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного пакета OriginPro 8. Для обработки результатов использовали методы описательной статистики, линейную регрессию и расчет

коэффициента корреляции. Все измерения выполняли в трех параллельных исследованиях, результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты и обсуждение

Для определения оптимальных условий образования зеленого комплекса железа (II) с нитрозо-R-солью нами было исследовано влияние pH раствора на спектры поглощения как исходного раствора нитрозо-R-соли, так и ее комплексов.

Как видно из рисунка 1 при значении pH от 1 до 6 максимум светопоглощения раствора нитрозо-R-соли находится при длине волны 369 нм (раствор желтого цвета).

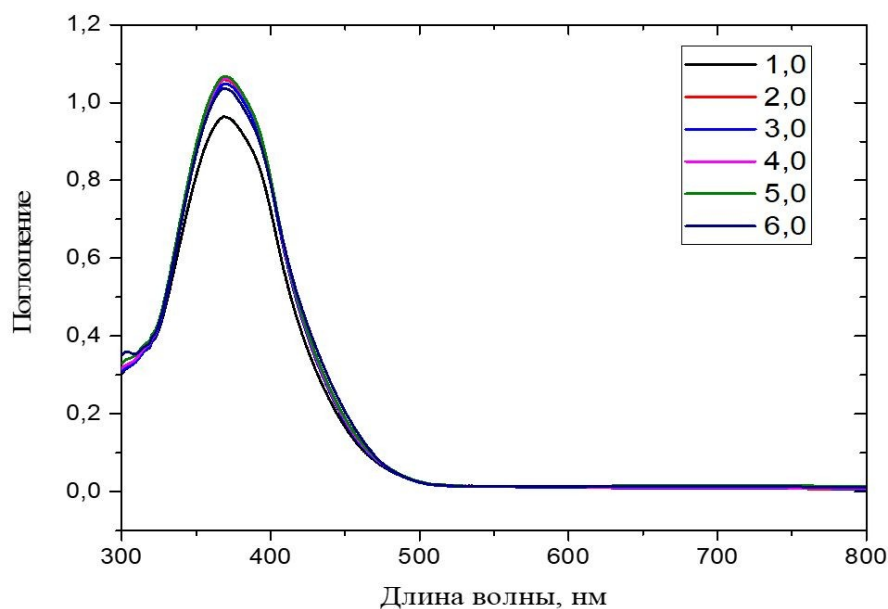


Рисунок 1 - Спектры поглощения нитрозо-R-соли при различных значениях pH

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.3.1>

Спектры поглощения комплексного соединения железа (II) с нитрозо-R-солью при различных значениях pH имеют два максимума (рис. 2). В видимой области спектра пик поглощения при 450 нм соответствует поглощению нейтральным реагентом, затем оптическая плотность снижается при 540 нм практически до нуля. Оптимальным значением pH, при котором наблюдается максимальный пик поглощения зеленого комплексного соединения железа (II) с нитрозо-R-солью, является pH 5-6.

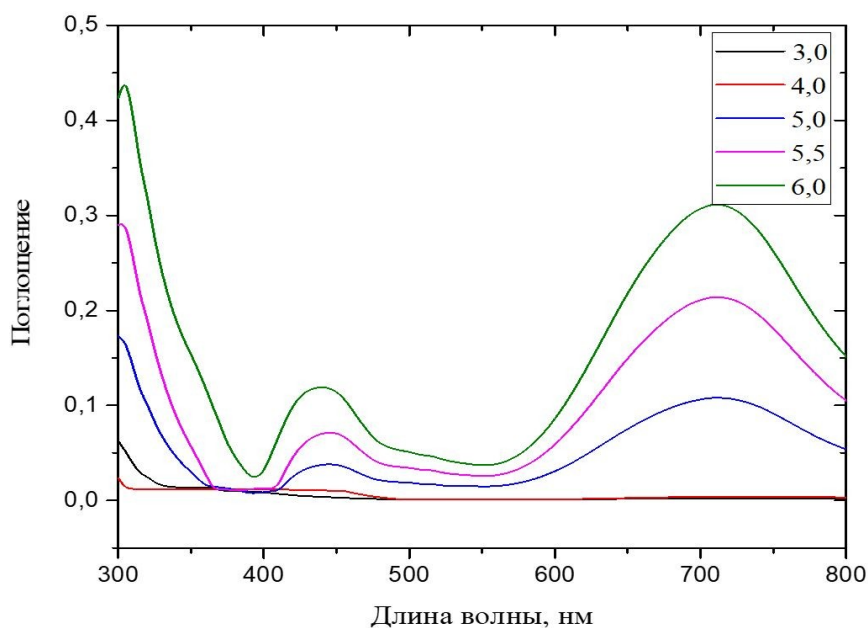


Рисунок 2 - Спектры поглощения комплексного соединения железа (II) с нитрозо-R-солью при различных значениях pH

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.3.2>

Как видно из рисунка 2 наблюдается значительный батхромный эффект в процессе комплексообразования в указанной среде, равный 340 нм. Такое значение разницы в светопоглощениях комплекса и реагента делает данную реакцию привлекательной не только для фотометрического определения железа (II), но и для распознавания железа (II) в растворе (в качественном анализе). При этом высокое значение батхромного эффекта позволяет при фотометрических определениях Fe^{2+} использовать дистиллированную воду в качестве раствора сравнения. Таким образом, оптимальными условиями для определения железа (II) можно считать pH=6 и длину волны 710 нм.

Для проверки зависимости оптической плотности изучаемого комплекса от концентрации железа готовили ряд растворов комплекса железа (II) с нитрозо-R-солью при выбранных оптимальных условиях с известными концентрациями железа (II). Раствором сравнения служил раствор, содержащий все компоненты кроме железа (II). Впоследствии раствор сравнения был заменен на дистиллированную воду. Линейность графика оптической плотности всех растворов от концентрации позволяет рассчитать коэффициент факторизации (F). Для чего снимали значения концентрации железа (II) для средней части градуировочного графика и соответствующую этой концентрации оптическую плотность $D(A)$. Коэффициент факторизации рассчитывали по формуле (1):

$$F = C / (D(A)) \quad (1)$$

Полученные экспериментальные данные в виде градуировочного графика в зависимости от концентрации ионов Fe^{2+} приведены на рисунке 3.

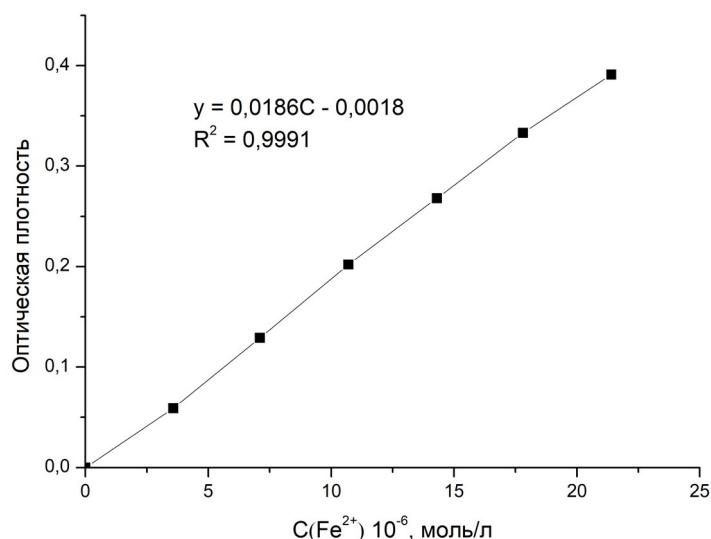


Рисунок 3 - Градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации Fe(II) при pH = 6 и $\lambda = 710$ нм

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.3.3>

Как видно из рисунка 3, линейная зависимость между концентрацией железа (II) и оптической плотностью соблюдается в достаточно широких пределах концентрации железа (II). Рассчитанный коэффициент факторизации для ионово железа (II) равен $5,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Величина коэффициента факторизации позволяет определять концентрацию в железосодержащих растворах по значению величины оптической плотности (D_x), используя формулу

$$C_x(Fe(II)) = F \cdot D_x$$

Разработанная методика была испытана на винах различных заводов Республики Дагестан. Для определения общего железа в виноматериалах железо (III) предварительно переводили в железо (II) путем добавления аскорбиновой кислоты. Для определения железа (II) в интенсивно окрашенных винах пробу предварительно подвергали озоленю с последующим определением с помощью нитрозо-R-соли. Результаты определения железа в виноматериалах со статистической обработкой, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты определения общего железа в винах

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.3.4>

Виноматериал	Содержание железа стандартным методом, мг/л	Среднее значение (X), мг/л	Стандартное отклонение (S)	Относительное стандартное отклонение (Sr)	Доверительный интервал ($X \pm \Delta X$)
Красное вино № 1	20,82	20,9	0,078	0,004	$20,9 \pm 0,09$
Красное вино № 2	21,3	21,6	0,043	0,002	$21,6 \pm 0,05$
Белое вино № 3	23,8	23,6	0,071	0,003	$23,6 \pm 0,08$
Белое вино № 4	13,2	12,8	0,051	0,003	$12,8 \pm 0,06$

Для оценки достоверности разработанной методики результаты определения железа были сопоставлены с результатами, полученными стандартным фотометрическим методом. Полученные значения хорошо согласуются между собой, что подтверждает правильность и применимость предлагаемого метода для анализа виноматериалов. Реакция железа (II) с нитрозо-R-солью позволяет определить как железо (II) так и общее железо, следовательно, и железо (III). При этом отпадает необходимость приготовления раствора сравнения, включающий целый ряд реагентов, что делает метод более простым и экономным.

Заключение

Сравнение результатов, полученных предлагаемым методом и стандартной фотометрической методикой, показало, что использование нитрозо-R-соли обеспечивает высокую чувствительность и воспроизводимость определения железа в виноматериалах. Для определения оптимальных условий образования зеленого комплекса железа (II) с нитрозо-R-



солью было исследовано влияние pH раствора на спектры поглощения растворов. Оптимальным значением pH, при котором наблюдается максимальный пик поглощения зеленого комплексного соединения железа (II) с нитрозо-R-солью является pH 5–6. Реакция комплексообразования Fe(II) с нитрозо-R-солью характеризуется высокой селективностью и контрастностью благодаря значительному bathochromному сдвигу ($\Delta\lambda = 340$ нм). Это выгодно отличает предлагаемый реагент от традиционно используемых (роданид, феррицианид калия), так как позволяет проводить измерения в области спектра, свободной от поглощения посторонних компонентов вина, и упрощает процедуру анализа за счет возможности использования воды в качестве раствора сравнения. Коэффициент факторизации ($5,3 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и линейность градуировочного графика обеспечивают надежное определение концентраций железа в диапазоне, регламентированном стандартами качества. Результаты апробации на реальных образцах вин дагестанских производителей подтвердили, что все исследованные виноматериалы находятся в пределах допустимых концентраций железа, регламентируемых нормативной документацией для винодельческой продукции. Низкие значения относительного стандартного отклонения ($Sr = 0,002–0,004$) свидетельствуют о высокой воспроизводимости и правильности разработанного метода, что позволяет рекомендовать его для использования в лабораториях винодельческих предприятий для оперативного контроля качества и прогнозирования стабильности вин при хранении.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. ГОСТ 13195-73. Вина, виноматериалы, коньяки и коньячные спирты. Соки плодово-ягодные спиртованные. Метод определения железа. — Введ. 1975-01-01. — Москва : Издательство стандартов, 2003. — URL: https://allgosts.ru/67/160/gost_13195-73 (дата обращения: 25.05.2026).
2. Zanella S. Red Wine Colloids: Advances in Characterization and Strategies for Colloidal Stability / S. Zanella, A. Curioni, M. Marangon // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2026. — Vol. 74. — № 18. — P. 14219–14233.
3. Fabjanowicz M. Metals and metal-binding ligands in wine: Analytical challenges in identification / M. Fabjanowicz, J. Plotka-Wasyłka // Trends in Food Science & Technology. — 2021. — Vol. 112. — P. 382–390.
4. Barbalho S.M. Dysmetabolic Iron Overload Syndrome: Going beyond the Traditional Risk Factors Associated with Metabolic Syndrome / S.M. Barbalho, L.F. Laurindo, R.J. Tofano [et al.] // Endocrines. — 2023. — Vol. 4. — № 1. — P. 18–37.
5. Chen W.J. Role of Iron in Aging Related Diseases / W.J. Chen, G.P. Kung, J.P. Gnana-Prakasam // Antioxidants. — 2022. — Vol. 11. — № 5. — 13 p.
6. Charlebois E. Nutritional Aspects of Iron in Health and Disease / E. Charlebois, K. Pantopoulos // Nutrients. — 2023. — Vol. 15. — № 11. — 15 p.
7. Kontoudakis N. Analytical strategies for the measurement of different forms of Cu and Fe in wine: Comparison between approaches in relation to wine composition / N. Kontoudakis, L.M. Schmidtke, M.Z. Bekker, [et al.] // Food Chemistry. — 2019. — Vol. 274. — P. 89–99.
8. Segura R. Determination of iron in water samples by adsorptive stripping voltammetry with a bismuth film electrode in the presence of 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol / R. Segura, M.I. Toral, V. Arancibia // Talanta. — 2008. — Vol. 75. — № 4. — P. 973–977.
9. Mitreva M. Iron(II) ion imprinted polymer for Fe(II)/Fe(III) speciation in wine / M. Mitreva, I. Dakova, I. Karadjova // Microchemical Journal. — 2017. — Vol. 132. — P. 238–244.
10. Kaasalainen H. Determination of Fe(II), Fe(III) and Fe_{total} in thermal water by ion chromatography spectrophotometry (IC-Vis) / H. Kaasalainen, A. Stefánsson, G.K. Druschel // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. — 2016. — Vol. 96. — № 11. — P. 1074–1090.
11. Ling W. Clarification and quality control for cooking wine by ion-exchange resin / W. Ling, Ya. Jia, P. Ma [et al.] // Journal of Food Measurement and Characterization. — 2024. — Vol. 18. — № 5. — P. 3839–3850.
12. Andreu C. Automated Spectrophotometric Multi-Pumping Flow System for the Determination of Total Iron in Wine / C. Andreu, K. Danchana, V. Cerdà // Analytical Letters. — 2020. — Vol. 53. — № 17. — P. 2775–2783.
13. Kholboyeva M.B. Determination of Fe(III) ion with a novel, highly efficient immobilized nitroso R-salt in a polymer matrix / M.B. Kholboyeva, Z.A. Smanova, U.A. Madatov [et al.] // Chemical Review and Letters. — 2025. — Vol. 8. — № 3. — P. 448–459.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 13195-73. Vina, vinomaterialy, kon'yaki i kon'yachnye spirity. Soki plodovo-yagodnye spirtovannyye. Metod opredeleniya zheleza [Wines, wine materials, cognacs and cognac spirits. Method for determination of iron]. — Introd. 1975-01-01. — Moscow : Publishing House of Standards, 2003. — URL: https://allgosts.ru/67/160/gost_13195-73 (accessed: 25.05.2026). [in Russian]



2. Zanella S. Red Wine Colloids: Advances in Characterization and Strategies for Colloidal Stability / S. Zanella, A. Curioni, M. Marangon // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. — 2026. — Vol. 74. — № 18. — P. 14219–14233.
3. Fabjanowicz M. Metals and metal-binding ligands in wine: Analytical challenges in identification / M. Fabjanowicz, J. Płotka-Wasyłka // *Trends in Food Science & Technology*. — 2021. — Vol. 112. — P. 382–390.
4. Barbalho S.M. Dysmetabolic Iron Overload Syndrome: Going beyond the Traditional Risk Factors Associated with Metabolic Syndrome / S.M. Barbalho, L.F. Laurindo, R.J. Tofano [et al.] // *Endocrines*. — 2023. — Vol. 4. — № 1. — P. 18–37.
5. Chen W.J. Role of Iron in Aging Related Diseases / W.J. Chen, G.P. Kung, J.P. Gnana-Prakasam // *Antioxidants*. — 2022. — Vol. 11. — № 5. — 13 p.
6. Charlebois E. Nutritional Aspects of Iron in Health and Disease / E. Charlebois, K. Pantopoulos // *Nutrients*. — 2023. — Vol. 15. — № 11. — 15 p.
7. Kontoudakis N. Analytical strategies for the measurement of different forms of Cu and Fe in wine: Comparison between approaches in relation to wine composition / N. Kontoudakis, L.M. Schmidtke, M.Z. Bekker, [et al.] // *Food Chemistry*. — 2019. — Vol. 274. — P. 89–99.
8. Segura R. Determination of iron in water samples by adsorptive stripping voltammetry with a bismuth film electrode in the presence of 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol / R. Segura, M.I. Toral, V. Arancibia // *Talanta*. — 2008. — Vol. 75. — № 4. — P. 973–977.
9. Mitreva M. Iron(II) ion imprinted polymer for Fe(II)/Fe(III) speciation in wine / M. Mitreva, I. Dakova, I. Karadjova // *Microchemical Journal*. — 2017. — Vol. 132. — P. 238–244.
10. Kaasalainen H. Determination of Fe(II), Fe(III) and Fe_{total} in thermal water by ion chromatography spectrophotometry (IC-Vis) / H. Kaasalainen, A. Stefánsson, G.K. Druschel // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. — 2016. — Vol. 96. — № 11. — P. 1074–1090.
11. Ling W. Clarification and quality control for cooking wine by ion-exchange resin / W. Ling, Ya. Jia, P. Ma [et al.] // *Journal of Food Measurement and Characterization*. — 2024. — Vol. 18. — № 5. — P. 3839–3850.
12. Andreu C. Automated Spectrophotometric Multi-Pumping Flow System for the Determination of Total Iron in Wine / C. Andreu, K. Danchana, V. Cerdà // *Analytical Letters*. — 2020. — Vol. 53. — № 17. — P. 2775–2783.
13. Kholboyeva M.B. Determination of Fe(III) ion with a novel, highly efficient immobilized nitrosa R-salt in a polymer matrix / M.B. Kholboyeva, Z.A. Smanova, U.A. Madatov [et al.] // *Chemical Review and Letters*. — 2025. — Vol. 8. — № 3. — P. 448–459.