



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 34–41

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 34–41

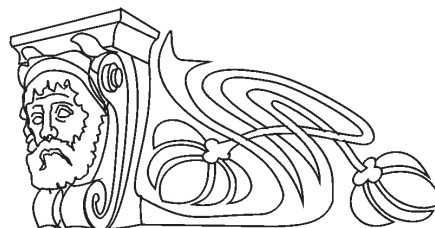
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-34-41>, EDN: GVFCAR

Научная статья

УДК 543.068.8:543.426:543.062:577.182.99

Неразрушающий контроль таблетированных форм цефуроксима методами ближней ИК-спектроскопии и цифровой цветометрии



В. Г. Амелин , О. Э. Емельянов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, 600000,
г. Владимир, ул. Горького, д. 87

Амелин Василий Григорьевич, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры химии Института биологии и экологии,
amelinv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7477-7398>

Емельянов Олег Эдуардович, аспирант кафедры химии Института биологии и экологии, mail_e_oleg@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8945-8028>

Аннотация. Предложен неразрушающий контроль цефуроксима в таблетированных лекарственных средствах без вскрытия блистерной упаковки по измерению интенсивности диффузного отражения ИК-излучения. Применяли методы ближней ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье и цифровой цветометрии с использованием смартфона и напечатанного на 3D-принтере устройства. Обработку массива данных проводили методами главных компонент, иерархического кластерного анализа и частичной регрессии наименьших квадратов. Рассмотрено применение хемометрических алгоритмов для определения концентрации действующего вещества цефуроксима в лекарственном препарате Зиннат. Методы ИК-спектроскопии и цветометрии показали сравнимые по точности результаты по установлению концентрации действующего вещества в таблетках без вскрытия блистерной упаковки.

Ключевые слова: цефуроксим, неразрушающий контроль, цифровая цветометрия, ИК-спектроскопия, смартфон

Для цитирования: Амелин В. Г., Емельянов О. Э. Неразрушающий контроль таблетированных форм цефуроксима методами ближней ИК-спектроскопии и цифровой цветометрии // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 34–41. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-34-41>, EDN: GVFCAR

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Non-destructive control of tablet forms of cefuroxime by near-infrared spectroscopy and digital colorimetry methods

V. G. Amelin , O. E. Emelyanov

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, 87 Gor'kogo St., Vladimir 600000, Russia

Vasily G. Amelin, amelinv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7477-7398>

Oleg E. Emelyanov, mail_e_oleg@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8945-8028>

Abstract. Non-destructive control of cefuroxime in tablet medicines without opening the blister pack by measuring the intensity of diffuse reflectance of infrared radiation has been proposed. Near-infrared Fourier transform spectroscopy and digital color spectroscopy using a smartphone and a 3D-printed device have been applied. The data set has been processed by principal component methods, hierarchical cluster analysis and partial least squares regression. The application of chemometric algorithms to determine the concentration of the active ingredient cefuroxime in the drug Zinnat has been considered. The methods of infrared spectroscopy and colorimetry have showed comparable results in terms of accuracy in determining the concentration of active ingredient in tablets without opening the blister pack.

Keywords: cefuroxime, nondestructive testing, digital colorimetry, infrared spectroscopy, smartphone

For citation: Amelin V. G., Emelyanov O. E. Non-destructive control of tablet forms of cefuroxime by near-infrared spectroscopy and digital colorimetry methods. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 34–41 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-34-41>, EDN: GVFCAR

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



Введение

Метод ИК-спектроскопии ближней области (БИК) – простой, экспрессный и сравнительно недорогой способ контроля качества лекарственных средств [1–4]. Спектры в ближней ИК ($4000\text{--}12500\text{ см}^{-1}$) обусловлены колебаниями C–H-, O–H- и N–H- групп органических соединений и, в отличие от средней области ($600\text{--}4000\text{ см}^{-1}$), не проявляют характеристических частот поглощения (диффузного отражения). Однако БИК-спектр формирует суммарный «облик» лекарственных средств (включая все вспомогательные вещества, а также блистерную упаковку) и только в сочетании с хемометрической обработкой спектров возможен их анализ. С этой целью для обработки БИК-спектров применяют хемометрические алгоритмы – метод главных компонент (PCA), искусственные нейронные сети, частичную регрессии наименьших квадратов (PLS), линейный дискриминантный анализ, иерархический кластерный анализ (HCA), формальное независимое моделирование аналогий классов (SIMCA) и др. [5, 6].

В литературе описаны приемы неразрушающего анализа таблетированных форм лекарственных средств без упаковки. Так, в работе [7] проведено исследование таблеток ацетилсалициловой кислоты разных производителей методом ближней ИК-спектроскопии. С помощью хемометрических методов PCA и SIMCA построены модели по ИК-спектрам таблеток ацетилсалициловой кислоты, которые позволяют проводить идентификацию препарата по производителю и могут быть использованы для выявления его фальсификата.

Показана возможность применения БИК-спектроскопии для подтверждения подлинности сульфалена [8], омепразола [9], фамотидина [10], противомикробного препарата (олеандомицин, тетрациклин) [11] в субстанциях и таблетках. С помощью дискриминантного анализа выявлены различия в БИК-спектрах между субстанциями и лекарственными формами разных производителей препаратов.

Ранее нами опубликован ряд работ по применению неразрушающего цветометрического и БИК-анализа фторхинолонов, тетрациклинов, нестероидных противовоспалительных

средств (НПВС) в блистерной упаковке с использованием устройства для анализа [12–15]. Применяли специальное цветометрическое устройство с целью получения флуоресценции фторхинолонов, тетрациклинов и измерения ее интенсивности с помощью смартфона при облучении таблеток в блистерной упаковке УФ-светом 390 нм. Для нефлуоресцирующих НПВС с помощью смартфона измеряли интенсивность диффузного отражения ИК-излучения (850, 880 и 940 нм). Во всех случаях использование хемометрических алгоритмов PCA, HCA, PLS позволило установить производителя лекарственного средства и определить содержание действующих веществ. Получены равнозначные результаты с применением цветометрии и ИК-фурье-спектроскопии ближней области спектра.

Цель данной работы состояла в изучении способа оценки качества таблетированных форм цефуроксима без извлечения таблеток из блистерной упаковки с использованием смартфона цветометрическим методом и ИК-спектроскопии ближней области.

Материалы и методы

В работе использовали бокс-устройство ($9\times 12\times 9\text{ см}$), напечатанное на 3D-принтере, с установленной ИК-светодиодной матрицей SHL0020IR (850 нм) и блоком питания на 4,5 В (три элемента питания AA) (рис. 1). Для регистрации аналитического сигнала (диффузное отражение излучения от образца) применяли смартфон OnePlus 10 Pro (модель NE2213, Китай), iPhone 14 (модель A2884, США) с приложениями PhotoMetrix PRO[®] (версия 1.1.3), ColorGrab (версия 3.9.2) и RGBer (версия 2.6). Перед началом исследований в мобильном приложении PhotoMetrix PRO[®] [17–19] были выставлены следующие параметры: область захвата изображения (ROI) – 16×16 пикселей, баланс белого (White-Balance) – auto.

Использовали ИК-фурье-спектрометр Frontier фирмы PerkinElmer (США) с приставкой NIRA, работающий в диапазоне ближнего ИК-излучения ($4000\text{--}10000\text{ см}^{-1}$). Для обработки полученных ИК-спектров применяли специализированные программы, использующие хемометрические алгоритмы для анализа большого массива данных:

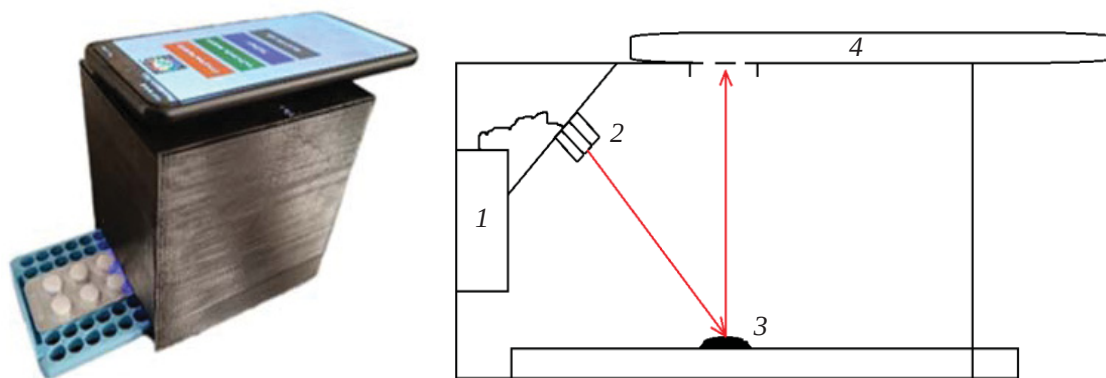


Рис. 1. Устройство для цветиметрического анализа: 1 – блок питания, 2 – светодиодная матрица, 3 – анализируемый образец, 4 – смартфон

Fig. 1. Device for colorimetric analysis: 1 – power supply unit, 2 – LED matrix, 3 – analyzed sample, 4 – smartphone

TQ Analyst (версия 9.7.179) Thermo Fisher Scientific Inc. и The Unscrambler X (версия 10.4) CAMO Software (США).

Анализ. При цветиметрическом анализе лекарственные средства в блистерной упаковке с разной концентрацией действующего вещества поочередно вводили на середину смотрового окна, прикладывали камеру смартфона к окну с захватом середины таблетки в области (ROI) 16×16 пикселей и проводили фотографирование с переменным фокусированием (infinity), автоматическим балансом белого (white balance auto) и разрешением камеры (resolution) 640×480. Для получения инфракрасных спектров лекарственные средства, находящиеся в блистерной упаковке,

поочередно помещали на сапфировое окно интегрирующей сферы для образцов и сканировали заданную область спектра. Измерение для каждой пробы проводили трижды. Для обработки результатов применяли весь массив полученной информации об анализируемых образцах. Для построения хеометрических моделей в случае использования ИК-фурье-спектроскопии была задействована матрица из 6 образцов и 3001 волнового числа, а при цветиметрическом анализе размерность данных составила 6×3 единиц данных.

Лекарственные препараты для анализа приобретали в аптеках г. Владимира. Состав и производители анализируемых проб представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Состав лекарственных препаратов и их производитель
Composition of medicines and their manufacturer

Лекарственный препарат (действующее вещество, мг в таблетке) / Medicinal product (active substance, mg per tablet)	Вспомогательные вещества / Auxiliary substances	Производитель / Manufacturer
Зиннат (цефуроксим 125, 250 мг) / Zinnat (cefuroxime 125, 250 mg)	Целлюлоза микрокристаллическая, кроскармеллоза натрия, лаурилсульфат натрия, масло растительное гидрогенизированное, кремния диоксид коллоидный Оболочка: гипромеллоза, пропиленгликоль, метилпарагидроксибензоат, гидромеллоза, диоксид титана, бензоат натрия / Microcrystalline cellulose, croscarmellose sodium, sodium laurilsulfate, hydrogenated vegetable oil, colloidal silicon dioxide. Shell: hypromellose, propylene glycol, methyl parahydroxybenzoate, hydromellose, titanium dioxide, sodium benzoate	«Глаксо Оперэйшнс Лимитед», Великобритания / «Glaxo Operations Limited», United Kingdom



Результаты и их обсуждение

Отличительной особенностью таблеток Зиннат является непрозрачная блистерная упаковка (рис. 2), в отличие от ранее исследуемых нами таблетированных форм лекарственных препаратов в прозрачной блистерной упаковке [12–15].



Рис. 2. Фото таблеток Зиннат фарм-предприятия SANDOZ

Fig. 2. Photo of SANDOZ pharmaceutical company Zinnat tablets

Однако нами показано, что такая упаковка не является препятствием для прохождения ИК-излучения. Установление влияния

блистерной упаковки и оболочки таблетки на полученные результаты проводили путем сравнительного анализа измерений аналитического сигнала лекарственных препаратов, находящихся в упаковке, без упаковки и на расколе таблетки. Выявлено, что измеряемый сигнал коррелирует с концентрацией действующего вещества вне зависимости от способа измерения цветометрических каналов RGB (рис. 3 для канала В).

ИК-спектроскопия. На рис. 4 представлены ИК-спектры таблетированных форм Зиннат в блистерной упаковке с содержанием цефуроксима 125 и 250 мг. Обработка спектров диффузного отражения хемометрическими методами позволяет дифференцировать анализируемые препараты по содержанию цефуроксима (рис. 5, а). Исследуемые образцы в зависимости от массы действующего вещества в таблетке располагаются в различных квадрантах графика и образуют отдельные кластеры на дендрограмме.

Цифровая цветометрия. Для обработки цветометрических данных (интенсивности цветометрических каналов R, G, B и др.) использовали алгоритмы статистического анализа: метод главных компонент (РСА), иерархический кластерный анализ (НСА) и частичную регрессию метода наименьших

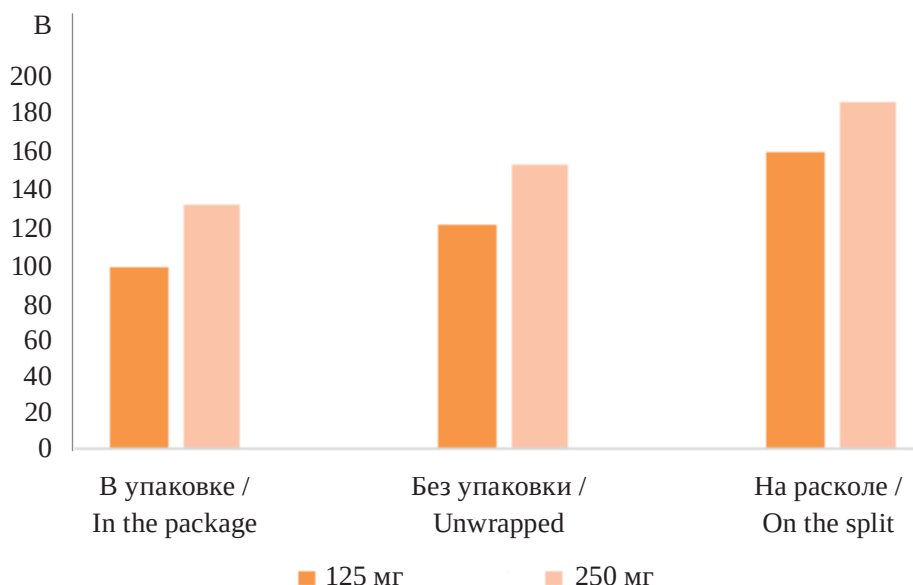


Рис. 3. Влияние условий измерения цветометрических параметров (канал В) таблеток Зиннат в блистерной упаковке, без упаковки и на расколе таблетки (цвет онлайн)

Fig. 3. Influence of measurement conditions of colorimetric parameters (channel B) of Zinnat tablets in blister pack, without packaging and on tablet split (color online)

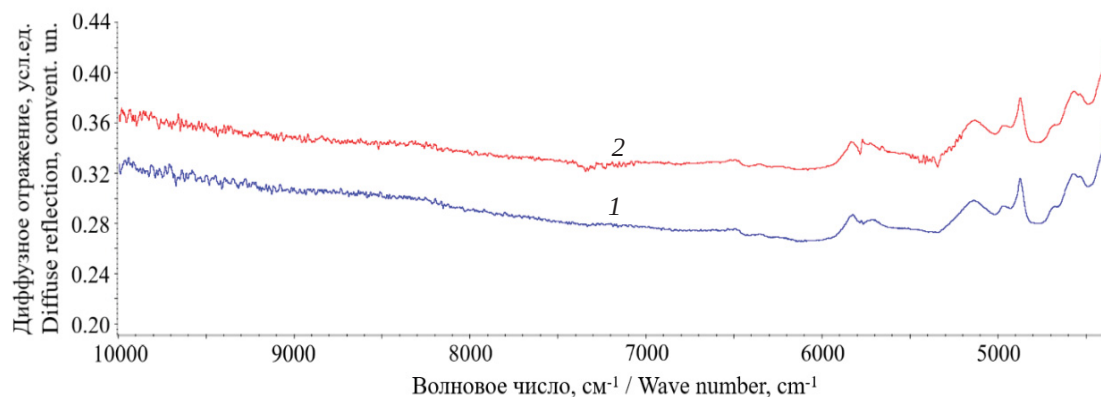


Рис. 4. ИК-спектры таблеток Зиннат в блистерной упаковке с содержанием цефуроксима, мг: 1 – 125; 2 – 250
Fig. 4. IR spectra of Zinnat tablets in blister packs containing cefuroxime, mg: 1 – 125; 2 – 250

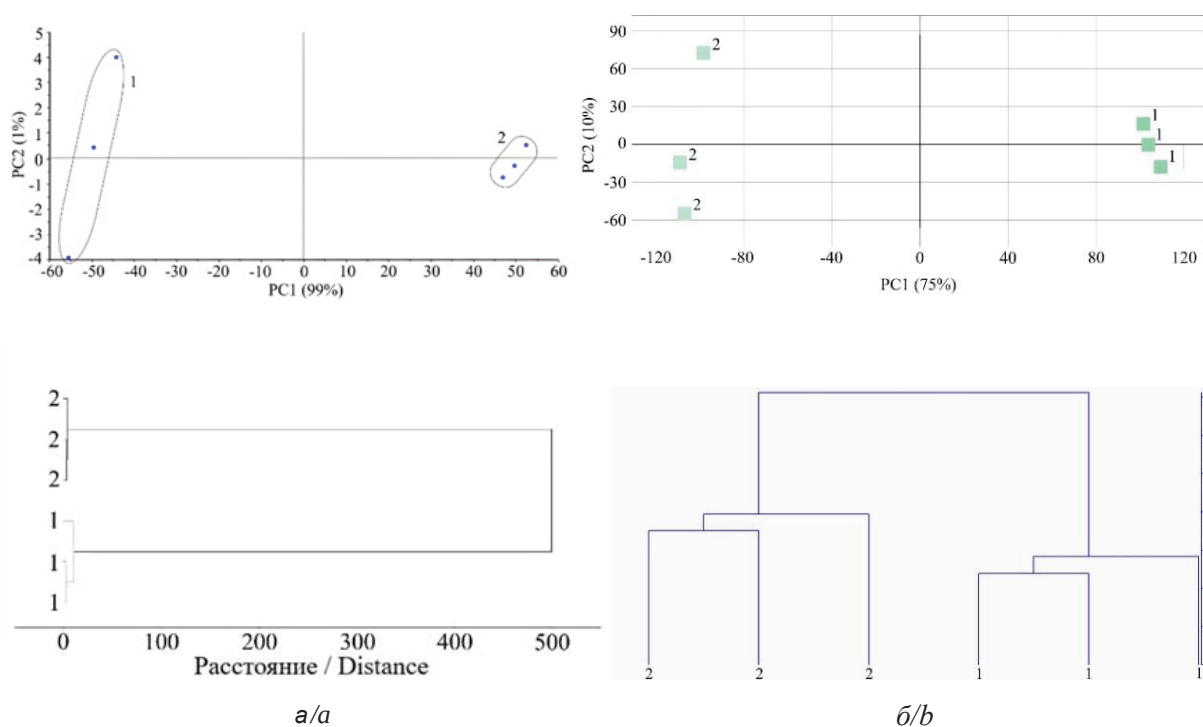


Рис. 5. Графики PCA и HCA таблеток Зиннат с цефуроксимом, мг: 1 – 125; 2 – 250. ИК-фурье-спектроскопия (а), цифровая цветометрия (б)

Fig. 5. PCA and HCA plots of Zinnat tablets with cefuroxime, mg: 1 – 125; 2 – 250. FTIR spectroscopy (a), digital colorimetry (b)

квадратов (PLS) для определения концентрации действующего вещества. На рис. 5, б представлены графики PCA и HCA, полученные цветометрическим методом. Видно, что, как и в методе ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье, возможно определить концентрацию действующего вещества в исследуемых препаратах по тому, в какой кластер-содержание попадет анализируемый объект. Для определения концентрации действующего вещества

в анализируемых таблетках использовали алгоритм PLS. В приложении PhotoMetrix PRO® задавали массу действующего вещества, согласно инструкции к препарату, после чего получали предсказанное значение массы. Точность и прогнозные свойства построенной модели характеризовали с помощью величин среднеквадратических остатков калибровки RMSEC (root-mean square error of calibration) и прогноза RMSEP (root-mean square error of



prediction) [5, 6], которые вычисляются автоматически после построения градуировочной зависимости и получения рассчитанных значений масс. Валидацию калибровочных моделей проводили по таблеткам тех же производителей, но другой серии.

В табл. 2 приведены результаты количественного анализа исследуемых таблетированных форм Зиннат. Применение в работе алгоритма многомерной калибровки данных PLS позволило получить сравнимые по точности результаты в ходе анализа таблеток

в блистерной упаковке по диффузному отражению ИК-излучения в методах ИК-спектроскопии и цветометрии. Как видно из таблицы, значения RMSEC и RMSEP не превышали 6,75 и 16,4 мг в методе ИК-спектроскопии и 1,36 и 3,29 мг в цветометрическом методе соответственно. Относительная погрешность полученных результатов не превышала рекомендуемые при приготовлении лекарственных средств согласно приказу Министерства здравоохранения РФ от 26 октября 2015 г. № 751н.

Таблица 2 / Table 2

Результаты определения цефуроксима в таблетированных формах Зиннат ($n = 3$, $P = 0,95$)

Results of determination of cefuroxime in tablet dosage forms of Zinnat ($n = 3$, $P = 0,95$)

Наименование лекарственного препарата (действующее вещество/ допустимые отклонения ¹) / Name of the medicinal product (active substance/ allowable deviations ¹)	Уравнение зависимостей «измерено-предсказано» / Measured-predicted relationship equation	RMSEC, мг	Найдено, мг в таблетке / Found, mg per tablet	RMSEP, мг	S_r	Относительное отклонение, % / Relative deviation, %
Зиннат (цефуроксим, 125, 250 мг / ± 10 , ± 8 %) / Zinnat (cefuroxime, 125, 250 mg / ± 10 , ± 8 %)	$y = 0,997x + 2,557^a$ $y = 1,000x + 0,089^b$	6,75 ^a 1,36 ^b	121 \pm 41 ^a	16,4 ^a	0,14 ^a	-3,2 ^a
			253 \pm 8 ^a	3,74 ^a	0,01 ^a	+1,2 ^a
			128 \pm 2 ^b	3,29 ^b	0,01 ^b	+2,4 ^b
			247 \pm 4 ^b	2,78 ^b	0,01 ^b	-1,2 ^b

Примечание. ¹Приказ Министерства здравоохранения РФ от 26 октября 2015 г. № 751н; ^aИК-спектроскопия, ^bцветометрия (светодиод с длиной волны 850 нм).

Note. ¹The order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated October 26, 2015 no. 751n; ^aIR spectroscopy, ^bcolorimetry (LED with a wavelength of 850 nm).

Заключение

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность применения напечатанного на 3D-принтере цветометрического устройства и ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье для контроля качества таблеток Зиннат с действующим веществом «цефуроксим». Применение в работе алгоритма частичной регрессии наименьших квадратов способствовало получению сравнимых по точности результатов при анализе таблетированных форм в блистерной упаковке по диффузному отражению ИК-излучения в методах ИК-спектроскопии и цифровой цветометрии. Цветометрический метод может быть использован для анализа лекарственных средств в качестве альтернативы более дорогому ИК-спектроскопическому исследованию.

Список литературы

1. Косенко В. В., Трапкова А. А., Тарасова С. А. Организация государственного контроля качества лекарственных средств на базе федеральных лабораторных комплексов // Вестник Росздравнадзора. 2012. № 6. С. 17–27.
2. Кузьмина Н. Е., Моисеев С. В., Романов Б. К. Проблемы использования метода БИК-спектрометрии для установления подлинности действующего вещества в лекарственных препаратах // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2021. Т. 11, № 1. С. 49–54. <https://doi.org/0.30895/1991-2919-2021-11-1-49-54>
3. Арзамасцев А. П., Садчикова Н. П., Титова А. В. Метод ближней ИК-спектроскопии в системе контроля качества лекарственных средств (обзор) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2010. № 1. С. 16–20.
4. Арзамасцев А. П., Садчикова Н. П., Титова А. В. Современное состояние проблемы применения



- ИК-спектроскопии в фармацевтическом анализе лекарственных средств // Хим.-фарм. журн. 2008. Т. 42, № 8. С. 26–30.
5. Родионова О. Е., Померанцев А. Л. Хемомерика: достижения и перспективы // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 4. С. 302–321. <https://doi.org/10.1070/rc2006v075n04abeh003599>
6. Сливкин А. И., Карлов П. М. Хемомерика и фармацевтический анализ : учеб.-метод. пособие. Воронеж : ВГУ, 2020. 91 с.
7. Балыклова К. С., Титова А. В., Садчикова Н. П., Родионова О. Е., Шишова Е. Ю., Скударева Е. Г., Горпинченко Н. В. Анализ таблеток ацетилсалициловой кислоты методом ИК-спектроскопии в ближней области // Вестник Росздравнадзора. 2013. № 2. С. 62–65.
8. Балыклова К. С., Садчикова Н. П., Арзамасцев А. П., Титова А. В. Использование метода ближней инфракрасной спектроскопии в анализе субстанций и таблеток сульфалена // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2009. № 1. С. 97–100.
9. Азимова И. Д., Арзамасцев А. П., Титова А. В. Анализ омепразола методом ближней инфракрасной спектроскопии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2009. № 2. С. 152–156.
10. Степанова Е. В., Арзамасцев А. П., Титова А. В. Изучение возможности применения метода спектроскопии в ближней инфракрасной области в анализе субстанций и таблетированных препаратов, содержащих фамотидин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2009. № 2. С. 181–184.
11. Верескун Д. А., Родионова О. Е., Титова А. В. Изучение возможности использования БИК-спектроскопии в анализе таблеток комбинированного противомикробного препарата // Вестник Росздравнадзора. 2016. № 2. С. 62–66.
12. Емельянов О. Э., Амелин В. Г., Третьяков А. В. Неразрушающий контроль нестероидных противовоспалительных средств методом ИК-спектроскопии в ближней области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 135–143. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-135-143>, EDN: LIZBKL
13. Амелин В. Г., Емельянов О. Э. Неразрушающий контроль лекарственных средств цветометрическим методом с использованием смартфона и приложения PhotoMetrix PRO® // Аналитика и контроль. 2023. Т. 27, № 3. С. 150–158. <https://doi.org/10.15826/analitika.2023.27.3.003>
14. Amelin V. G., Emelyanov O. E., Tretyakov A. V. Manufacturer identification and active ingredient determination of medicinal products by smartphone-based near-ir colorimetry // J. Analyt. Chem. 2024. Vol. 79, № 5. P. 601–613. <https://doi.org/10.1134/S1061934824050034>
15. Амелин В. Г., Бесчастнова Г. М., Шаока З. А. Ч., Третьяков А. В., Киш Л. К. Недеструктивный анализ лекарственных препаратов тетрациклинового ряда методом цифровой цветометрии с использованием смартфона и программного обеспечения PhotoMetrix PRO® // Вестник Московского университета. Сер. 2. Химия. 2024. Т. 65, № 5. С. 397–407. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2024-65-5-397-407>
16. Shogah Z. A. C., Bolshakov D. S., Amelin V. G. Using smartphones in chemical analysis // J. Analyt. Chem. 2023. Vol. 78, № 4. P. 426–449. <https://doi.org/10.1134/S1061934823030139>
17. Böck F. C., Helfer G. A., da Costa A. B., Dessuy M. B., Ferrao M. F. PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones // J. Chemometrics. 2020. Vol. 34. Article 12. <https://doi.org/10.1002/cem.3251>
18. Helfer G. A., Magnus V. S., Böck F. C., Teichmann A., Ferrão M. F., da Costa A. B. PhotoMetrix: An application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices // J. Braz. Chem. Soc. 2017. Vol. 28, № 2. P. 328–335. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160182>
19. Rateni G., Dario P., Cavallo F. Smartphone-based food diagnostic technologies: A review // Sensors. 2017. Vol. 17, № 6. Article 1453. <https://doi.org/10.3390/s17061453>

References

1. Kosenko V. V., Trapkova A. A., Tarasova S. A. Organization of state quality control of medicines on the basis of federal laboratory complexes. *Bulletin of Roszdravnadzor*, 2012, no. 6, pp. 17–27 (in Russian).
2. Kuz'mina N. E., Moiseev S. V., Romanov B. K. Limitations of NIR spectrometry as an identification test for active ingredients in medical products. *The Bulletin of the Scientific Center for Expert Evolution of Medicinal Products*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2021-11-1-49-54>
3. Arzamastsev A. P., Sadchikova N. P., Titova A. V. Near-infrared spectroscopy in drug quality control system (review). *Issues in Biological, Medicinal and Pharmaceutical Chemistry*, 2010, no. 1, pp. 16–20 (in Russian).
4. Arzamastsev A. P., Sadchikova N. P., Titova A. V. Current state of the problem of IR spectroscopy application in pharmaceutical analysis of medicines. *Pharm. Chem. J.*, 2008, vol. 42, no. 8, pp. 26–30 (in Russian).
5. Rodionova O. E., Pomerantsev A. L. Chemometrics: Achievements and prospects. *Advances in Chemistry*, 2006, vol. 75, no. 4, pp. 302–321 (in Russian). <https://doi.org/10.1070/rc2006v075n04abeh003599>
6. Slivkin A. I., Karlov P. M. *Khemometrika i farmatsevticheskiy analiz: ucheb.-metod. posobie* [Chemometrics and pharmaceutical analysis. Training manual]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 2020. 91 p. (in Russian).



7. Balyklova K. S., Titova A. V., Sadchikova N. P., Rodionova O. E., Shishova E. Iu., Skudareva E. G., Gorpichenko N. V. Analysis of acetylsalicylic acid tablets by near-infrared spectroscopy. *Bulletin of Roszdravnadzor*, 2013, no. 2, pp. 62–65 (in Russian).
8. Balyklova K. S., Sadchikova N. P., Arzamastsev A. P., Titova A. V. Use of near-infrared spectroscopy in the analysis of sulfalene substances and tablets. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2009, no. 1, pp. 97–100 (in Russian).
9. Azimova I. D., Arzamastsev A. P., Titova A. V. Analysis of omeprazole by near-infrared spectroscopy. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2009, no. 2, pp. 152–156 (in Russian).
10. Stepanova E. V., Arzamastsev A. P., Titova A. V. Study of the possibility of application of near-infrared spectroscopy in the analysis of substances and tablet preparations containing famotidine. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2009, no. 2, pp. 181–184 (in Russian).
11. Vereskun D. A., Rodionova O. E., Titova A. V. Study of the possibility of using NIR spectroscopy in the analysis of combined antimicrobial drug tablets. *Bulletin of Roszdravnadzor*, 2016, no. 2, pp. 62–66 (in Russian).
12. Emelyanov O. E., Amelin V. G., Tretyakov A. V. Non-destructive testing of non-steroidal anti-inflammatory drugs using near-field infrared spectroscopy method. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 135–143 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-135-143>, EDN: LIZBKL
13. Amelin V. G., Emel'ianov O. E. Non-destructive control of medicines by colorimetric method using a smartphone and PhotoMetrix PRO® application. *Analytics and Control*, 2023, vol. 27, no. 3, pp. 150–158 (in Russian). <https://doi.org/10.15826/analitika.2023.27.3.003>
14. Amelin V. G., Emelyanov O. E., Tretyakov A. V. Manufacturer identification and active ingredient determination of medicinal products by smartphone-based near-ir colorimetry. *J. Analyt. Chem.*, 2024, vol. 79, no. 5, pp. 601–613. <https://doi.org/10.1134/S1061934824050034>
15. Amelin V. G., Beschastnova G. M., Shaoka Z. A. Ch., Tret'iakov A. V., Kish L. K. Non-destructive analysis of tetracycline drugs by digital colorometry using smartphone and Photometrix PRO® software. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 2: Khimiya*, 2024, vol. 65, no. 5, pp. 397–407 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2024-65-5-397-407>
16. Shogah Z. A. C., Bolshakov D. S., Amelin V. G. Using smartphones in chemical analysis. *J. Analyt. Chem.*, 2023, vol. 78, no. 4, pp. 426–449. <https://doi.org/10.1134/S1061934823030139>
17. Böck F. C., Helfer G. A., da Costa A. B., Dessuy M. B., Ferrao M. F. PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones. *J. Chemometrics*, 2020, vol. 34, article 12. <https://doi.org/10.1002/cem.3251>
18. Helfer G. A., Magnus V. S., Böck F. C., Teichmann A., Ferrão M. F., da Costa A. B. PhotoMetrix: An application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2017, vol. 28, no. 2, pp. 328–335. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160182>
19. Rateni G., Dario P., Cavallo F. Smartphone-based food diagnostic technologies: A review. *Sensors*, 2017, vol. 17, no. 6, article 1453. <https://doi.org/10.3390/s17061453>

Поступила в редакцию 22.09.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024;

принята к публикации 15.11.2024; опубликована 31.03.2025

The article was submitted 22.09.2024; approved after reviewing 11.11.2024;

accepted for publication 15.11.2024; published 31.03.2025