

Анализ тенденций развития метода химической цветометрии (Обзор)

А.Н. Чеботарев, Д.В. Снигур, Е.В. Бевзюк, И.С. Ефимова

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082, alexch@ukr.net

Поступила: 10 июня 2013 г / Принята к публикации: 18 декабря 2013 г.

Проведен наукометрический анализ тенденций развития метода химической цветометрии за последние 20 лет. Анализ полученной логистической кривой позволяет прогнозировать устойчивый интерес к подходам метода цветометрии на протяжении ближайших 10 лет. Выделены основные направления применения метода химической цветометрии: материаловедение, химия пищевых продуктов и аналитическая химия. Показан ряд преимуществ цветометрического метода перед классическими физико-химическими методами исследования в практике химического анализа. При изучении кислотно-основных равновесий и определении констант ионизации отсутствует необходимость оперировать равновесными концентрациями ионно-молекулярных форм красителя в растворе. Отмечены возможности использования цветометрических функций при создании сорбционно-цветометрических и экстракционно-цветометрических методик количественного анализа. На сегодняшний день наиболее интенсивно создаются полуквантитативные визуально-цветометрические тест-системы. В последние годы, наблюдается устойчивая тенденция увеличения числа цветометрических методик количественного анализа, связанная с расширением областей применения цветометрии и природы анализируемых объектов.

A.N. CHEBOTARYOV, D.V. SNIGUR, K.V. BEVZIUK, I.S. EFIMOVA THE TRENDS ANALYSIS OF CHEMICAL CHROMATICITY METHOD EVOLUTION (REVIEW). *Scientometric analysis of chemical chromaticity method trends was done for the last 20 years. For the next 10 years a steady interest in approaches chemical chromaticity method can be predicted by analysis of the obtained logistic curve. The basic directions of the chemical chromaticity method were marked. They are materials science, food chemistry and analytical chemistry. The chemical chromaticity method advantages over classical physico-chemical methods of research were shown in the practice of chemical analysis. For the acid-base equilibrium study and ionization constants determination it is not necessary to operate the concentrations dye's ion-molecule forms in the solution. The potentials of chromaticity functions use for creating sorption-chromaticity and extraction-chromaticity methods of quantitative analysis were noted. Nowadays the semi-quantitative visually colorimetric test method are most intensively created. In recent years, there has been a steady increasing in the chromaticity techniques of quantitative analysis related to the area expansion of chemical chromaticity method use and the nature of the analyzed objects.*

Ключевые слова: наукометрия, химическая цветометрия, цветометрические функции, тест-методы, количественный анализ

Keywords: scientometrics, chemical chromaticity method, chromaticity function, test methods, quantitative analysis

Необходимость повышения чувствительности и селективности определения содержания компонентов в образцах различной природы стимулирует не только создание новых методов аналитической химии, но и модернизацию существующих. Развитие информационных и компьютерных технологий способствует внедрению в практику химического анализа подходов метода химической цветометрии (**МХЦ**). Суть МХЦ заключается в количественном описании цвета объектов, т.е. в расчете координат цвета на основе имеющихся спектральных характеристик химических систем и позволяет различать спектрально близкие вещества и получать новые данные о них [1, 2]. Мате-

матическое описание цвета в МХЦ базируется на том, что любой результирующий цвет можно представить в виде суммы определенных количеств трех линейно независимых цветов [3]. Для количественной оценки цвета создавались и совершенствовались цветоизмерительные системы, такие как модель CIEXYZ (является основой построения всех цветовых моделей), RGB (поддерживает работу цифровой техники), CIELAB (обработка изображений, текстильная, пищевая промышленность) и др. [3–5]. Внедрение МХЦ сдерживалось трудностями в аппаратном оформлении и погрешностью определения координат цвета [6, 7].

С использованием основных подходов и положений МХЦ создаются методики количественной и полуколичественной оценки качества коньячных изделий [8], пива [9], молока [10] колбас [11, 12] и рыбы [13]; классификации меда [14] и т.д. В.М. Иванов с сотрудниками показал, что молярные коэффициенты цветиметрических функций могут быть в 1 - 3 раза больше соответствующих молярных коэффициентов поглощения, что указывает на принципиально новые возможности уже исследованных фотометрических реагентов [2, 15]. Авторами [2, 16] показано, что использование цветиметрических функций и математических методов позволяет проводить одновременное определение 2-3 компонентов. Бурно развивается направление аналитической химии - создание тест-систем для экспрессного и вне лабораторного контроля [17]. Особую роль при разработке этих методов играют цветиметрические функции (**ЦФ**) и, прежде всего, функции полного цветового различия [2, 18].

Определение динамики развития научных исследований и их основных направлений является актуальной задачей. Необходимость комплексного охвата и организации системы статистического анализа в различных науках, в том числе и в аналитической химии, бурный рост количества публикаций всех видов, привели к появлению качественно новой формы развития обработки литературных данных, направленной на решение вопросов наиболее рационального выбора информации, методик ее оценки и эффективных путей исследования, т.е. наукометрии [19]. Динамика изменений такого рода показателей позволяет характеризовать одну или несколько существенных черт развития науки. Совокупность их позволяет, хотя и косвенно, но в ряде случаев достаточно объективно судить о темпах и тенденциях развития таких сложных явлений, как наука в целом, так и отдельных ее методов, направлений или подходов [20]. Материалы таких работ публикуются как в обычных научных журналах, так и в специальном журнале

Scintometrics. Следует отметить, что развитие метода химической цветиметрии освещено лишь в двух обзорных статьях семнадцати – [1] и двенадцати летней давности [2]. Исходя из вышеизложенного, цель данной работы заключается в наукометрической оценке тенденций и перспектив развития подходов МХЦ в теории химической науки и практике химического анализа.

Методическая база наукометрического исследования. На основе информации представленной в международной базе данных Sciencedirect и реферативном журнале "Химия" за период с 1991 по 2012 годы нами создана база данных по использованию МХЦ в различных областях химии и, в частности, в аналитической химии. Всего найдено более 2 тыс. рефератов, из которых после тщательного их изучения, было отобрано около 800 публикаций и создана картотека. Для исключения возможности искажения действительного соотношения работ не оценивали работы, касающиеся общих вопросов теории цвета, опубликованных в специализированных научных журналах (например, Journal of color science and color technology). В связи с тем, что целесообразность и полезность использования индексов цитирования ученых, предоставляемых институтом научной информации (Филадельфия, США), являются предметом многочисленных дискуссий в данной работе не применялись [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Публикации. Обработка полученных данных картотеки позволила оценить динамику изменения общего количества публикаций (**КП**) по МХЦ, которая представлена на рис. 1 (1). Как видно из рис. 1 (1) КП стремительно растет, начиная с 2006 года. В период оживления интереса к МХЦ (2006 - 2012 гг.) среднее КП находится в пределах 50-60 публикаций в год. В отдельные годы (2010-2012) наблюдается подъем до 100-130 публикаций.

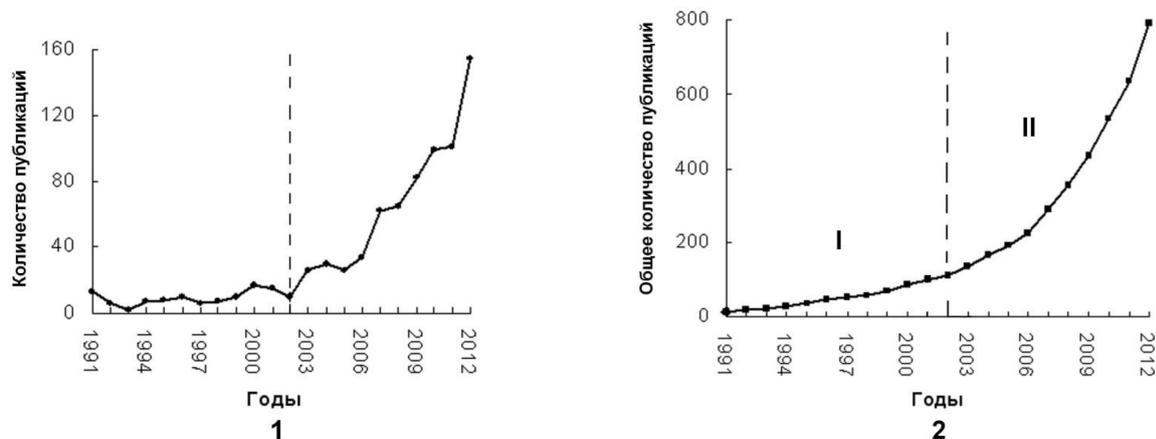


Рис. 1. Изменение количества публикаций по использованию подходов метода химической цветиметрии за последние 20 лет: 1 – абсолютные показатели; 2 – логистическая кривая.

Заметный рост КП после 2006 года можно объяснить актуализацией создания тест-систем на основе чувствительных твердофазных реагентов и необходимостью создания способа объективного количественного описания органолептических показателей и, прежде всего, цвета. Следует отметить, что на кривой (рис. 1(1)) наблюдаются несколько более или менее выраженных максимумов (1996, 2000-2001 и 2004-2006 гг.) – первые два можно связать с оживлением интереса к МХЦ в связи с выходом соответствующих обзорных статей [1, 2], третий – с защитами диссертаций, например [22] и внедрением МХЦ для контроля качества пищевых продуктов [8, 13]. Для дальнейшего изучения тенденций развития МХЦ использована логистическая кривая (рис. 1 (2)), построенная на арифметической шкале и отражающая рост общего числа публикаций от исходного положения до верхнего предела. Такого рода кривые, как правило, имеют S-образную форму и позволяют оценить состояние метода химической цветотрии в целом. На логистической кривой видно образование двух участков: первого, характеризующего начальное развитие и второго – интенсивное развитие. Третий участок – отсутствующий, что свидетельствует о стремительном развитии и повышенном интересе исследователей к МХЦ. Как показывает анализ хода логистической кривой, повышение интереса к МХЦ проявляется в удвоении КП, которое происходит каждые 3-4 года. В течение 11 лет (1991 – 2002 гг.) КП оставалось небольшим, что характерно для начального этапа развития метода. В течение 2002 - 2012 гг. КП возрастало, однако удвоение КП оставалось на прежнем уровне (3-4 года), что свидетельствует о нахождении МХЦ в стадии развернутых исследований и развития. Вид логистической кривой указывает на то, что в ближайшие 10 – 15 лет исследования в области МХЦ будут востребованы и актуальны. На основании проведенной выборки (800 публикаций) нами оценены основные типы публикаций, в которых представлена информация по МХЦ (рис. 2.).

- 1 - Статьи;
- 2 - Тезисы;
- 3 - Сборники научных работ

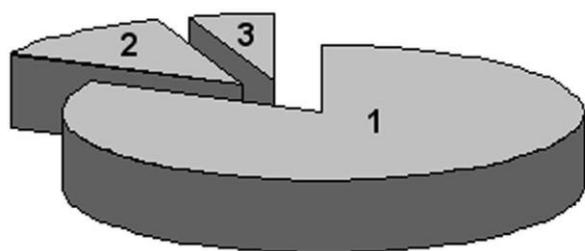


Рис.2. Типы публикаций по использованию метода химической цветотрии.

Согласно представленным данным (рис. 2) большинство научных работ по МХЦ публикуется в виде оригинальных статей. Значительное количество рассмотренных публикаций написано на английском языке (~66%), на русском языке (~30%), а на долю других языков приходится ~4% публикаций. В настоящее время МХЦ остается пока дополнительным инструментом при исследовании явлений, процессов, однако стоит на пути развития и становления в качестве самостоятельного способа получения аналитического сигнала в химическом анализе, о чем свидетельствует структура и содержание ряда диссертационных работ [22 – 24]. Следует отметить, что в течение последних 10 лет на территории СНГ защищено более 40 диссертационных работ по специальности «аналитическая химия», где в той или иной мере используются подходы МХЦ.

Использование цветотрических функций.

Для решения различного рода химико-аналитических задач МХЦ оперирует рядом ЦФ: координаты цвета, показатели белизны и желтизны, чистота цвета, цветовой тон, полное и удельное цветовое различие, светлота и насыщенность цвета. Физический смысл и методы расчета этих характеристик детально рассмотрены в работах [1 – 5]. Результаты исследования по частоте использования ЦФ обобщены в виде столбиковой диаграммы, приведенной на рис. 3.

Анализ полученной диаграммы указывает на то, что в научных исследованиях наиболее часто используются такие функции, как координаты цвета – 19%, показатель желтизны – 16% и функция полного цветового различия – 14%. Большую частоту использования координат цвета легко объяснить тем, что именно их величины являются исходными при расчете других цветотрических функций.

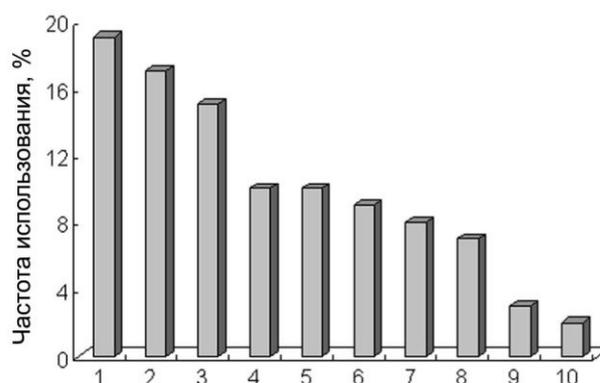


Рис. 3. Частота использования цветотрических функций: 1 – координаты цвета; 2 – показатель желтизны; 3 – полное цветовое различие; 4 – удельное различие цвета; 5 – чистота цвета; 6 – насыщенность цвета; 7 – цветовой тон; 8 – светлота; 9 – показатель белизны; 10 – другие.

- 1 - Тест-методы, 74%;
- 2 - Кислотно-основные равновесия, 11%;
- 3 - Комплексообразование, 8%;
- 4 - Другие, 7%

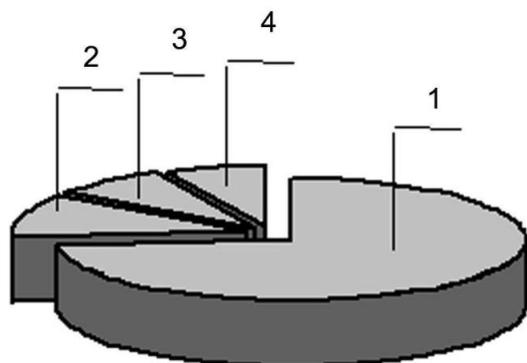


Рис.4. Использование метода химической цветометрии

Применение метода цветометрии. На основании проведенных исследований нами выявлены основные отрасли, для решения задач которых применяются подходы цветометрии. К основным научным направлениям использования цветометрии следует отнести химическое материаловедение, химию продуктов питания, химический анализ (более 33%) и некоторые другие (менее 10%). Полученные результаты свидетельствуют о значительной заинтересованности в использовании МХЦ в сфере аналитической химии, как отечественных, так и зарубежных исследователей. Анализ научных публикаций показал, что МХЦ в практике аналитической химии используют преимущественно в разработке новых и совершенствовании существующих тест-методов анализа (рис. 4). Также наблюдается тенденция повышения интереса для применения МХЦ при исследовании комплексообразования в растворе и на поверхности твердой фазы, а также при изучении протолитических свойств красителей.

Исследование протолитических равновесий и комплексообразования.

В текстильной, пищевой, фармацевтической и лакокрасочной промышленности в настоящее время широко используются различные красители. Целью исследования красителей, как химических реагентов, является установление их физико-химических и кислотно-основных характеристик, пространственной структуры ионно-молекулярных форм, которые реализуются в растворах с изменением кислотности среды в широком диапазоне или природы растворителей, в условиях различного рода воздействия внешних физических факторов. Особенно важно определение показателей констант ионизации (**pK**) функционально-аналитических групп красителей, поскольку величина соответствующей константы определяет протекание кислотно-основных реакций в данной среде, их направление и интенсив-

ность, характер электростатических взаимодействий, а также влияет на все транспортные свойства вещества в живых организмах.

Определение **pK**, как правило, было задачей классических физико-химических методов, таких как спектрофотометрия (**СФМ**), кондуктометрия, потенциометрия, их модификаций и др. [25]. Модернизация существующих методов остается важной задачей, однако не менее актуальным является поиск новых способов изучения протолитических равновесий в растворах. Перспективностью МХЦ при изучении кислотно-основных свойств и установлении соответствующих величин **pK** красителей заключается в использовании координат цвета равноконтрастной системы CIELAB, которые несут информацию об интегральном распределении светопоглощения химической системы в широком диапазоне длин волн при различной кислотности и природы среды, а также, что очень существенно, в отходе от оперирования исходными и равновесными концентрациями ионно-молекулярных форм красителя. Учет различных составных частей цвета позволяет проследить тонкие различия близких по спектральным свойствам атомных группировок красителей при определении **pK** и позволяет избежать погрешности, связанной с неправильным выбором измеряемых участков спектра поглощения органического реагента [26 – 32]. К тому же, в зависимости от сложности и полноты цветовой гаммы изучаемого красителя возможен выбор ЦФ в зависимости от ее вклада в результирующий цвет исследуемой системы. На рис. 5 представлены ЦФ, которые использовались разными авторами при исследовании кислотно-основных свойств красителей в растворах.

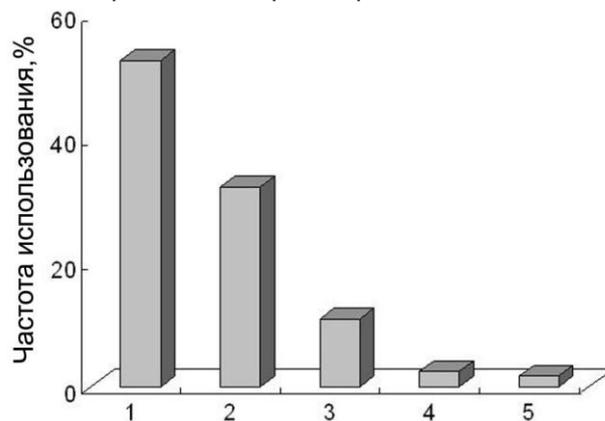


Рис.5. Использование цветометрических функций при исследовании кислотно-основных равновесий в растворах красителей: 1 – координаты цвета, 2 – насыщенность, 3 – удельное различие цвета; 4 – чистота цвета; 5 – другие.

Из рис. 5 видно, что для изучения протолитических равновесий в растворах красителей наиболее часто используются координаты цвета – 53%, насыщенность – 32% и удельное различие цвета – 11%. Стоит отметить, что функции показателя желтизны и полного цветового различия,

наиболее цитируемые в большинстве публикаций, не используются при исследовании кислотно-основных равновесий. Нами в ряде работ показана принципиальная возможность использования ряда ЦФ (удельного и полного цветового различия, показателя желтизны) для изучения протолитических свойств красителей в водных растворах [27, 33, 34]. С использованием указанных ЦФ изучены кислотно-основные свойства и определены рК (таблица) некоторых красителей, как синтетического (ксиленоловый оранжевый, КО), так и природного происхождения (пеларгонидин; цианидин).

Как видно из таблицы, значения рК, рассчитанные с использованием ЦФ SCD, Y_1 и ΔE_{76} коррелируют между собой, что указывает на принципиальную возможность использования данных ЦФ для исследования протолитических равнове-

сий в растворах красителей. Следует отметить, что для определения рК функциональных групп КО ранее использовались комбинации нескольких физико-химических методов (в основном спектрофотометрии и потенциометрии), а МХЦ позволяет количественно описать все протолитические равновесия в водных растворах КО не прибегая к сложным математическим расчетам [27, 34].

При исследовании комплексообразования наиболее используемыми являются функции полного цветового различия и удельного различия цвета. Применение указанных ЦФ в варианте метода изомолярных серий, позволяет установить состав образованного комплекса [35 – 38]. Ряд работ посвящен определению констант устойчивости комплексных соединений в растворах [1, 39].

Таблица. Константы ионизации некоторых красителей (n=3, P=0.95)

ЦФ	рК ₁	рК ₂	рК ₃	рК ₄	рК ₅	рК ₆	рК ₇
Ксиленоловый оранжевый							
SCD	0.70±0.05	1.12±0.05	2.53±0.05	3.05±0.13	6.31±0.03	10.45±0.03	12.38±0.02
ΔE	0.75±0.05	1.25±0.10	2.50±0.05	3.00±0.13	6.50±0.03	10.50±0.03	12.50±0.02
Y_1	0.75±0.05	1.25±0.10	2.50±0.05	3.10±0.13	6.41±0.03	10.42±0.03	12.35±0.02
Пеларгонидин							
SCD	4.00±0.14	6.00±0.13	8.00±0.12	12.00±0.11	-	-	-
ΔE	3.85±0.12	6.10±0.14	7.95±0.15	11.90±0.13	-	-	-
Y_1	3.80±0.13	6.15±0.13	7.90±0.14	11.95±0.13	-	-	-
Цианидин							
SCD	3.05±0.12	6.100±0.14	7.50±0.14	10.20±0.10	12.70±0.11	-	-
ΔE	3.00±0.12	5.90±0.14	7.60±0.15	10.15±0.13	12.80±0.12	-	-
Y_1	2.80±0.13	6.10±0.13	7.50±0.14	10.15±0.13	12.80±0.12	-	-

Цветометрия в создании методик количественного и тест-определения веществ. Цветометрические функции применяют при создании методик количественного определения микрокомпонентов, как в растворе, так и фазе сорбента. Авторы [40, 41] предлагают характеризовать аналитическую форму не только молярным коэффициентом светопоглощения, а еще молярными коэффициентами ЦФ. В качестве аналитического сигнала среди всех возможных функций используют в основном координаты цвета в системе RGB, что можно связать с типом используемого прибора (фотокамера или планшетный сканер с RGB-интерфейсом). Аналитическим сигналом для растворов является собственная величина координат RGB, а для твердой фазы - модифицированная функция Гуревича-Кубелки-Мунка:

$$F(R) = \frac{(255 - X)^2}{2X},$$

где X - координата цвета R, G или B.

Так, используя описанные подходы разработаны методики определения молибдена [42], железа и кобальта при совместном присутствии [16], осмия в сплавах и концентратах [43], кремния [44] и др. Предложены цветометрические методики определения марганца, кобальта и никеля в природных и сточных водах [45, 46]. Описаны методики определения индия [47] и алюминия [48] методом химической цветометрии на поверхности сорбентов. Метод химической цветометрии использован для создания методик определения лизина после его электрофоретического отделения от сопутствующих α -аминокислот [49]. Разработана методика экстракционно-цветометрического определения ванилинов [50]. Необходимо отметить, что МХЦ позволяет проводить совместное определение ионов металлов за счет возможности измерения нескольких, зависящих от концентрации цветометрических функций и опираясь на закон векторного сложения аналитических сигналов считать содержание индивидуальных компонен-

тов в образце. Снижение нижнего предела определения, вероятно, происходит за счет того, что ЦФ определяются в более широком диапазоне собственных значений, чем оптическая плотность или коэффициент диффузного отражения, а молярные коэффициенты ЦФ на несколько порядков превосходят соответствующие молярные коэффициенты поглощения.

Как уже было отмечено, подходы МХЦ широко используют при создании тест-методов анализа, чему способствует интенсивное развитие портативных устройств получения цветных изображений и программного обеспечения для их анализа. Опубликовано ряд работ посвященных применению программных пакетов обработки изображений, получаемых с помощью планшетных сканеров и фотоаппаратов [51, 52], а также метрологическим характеристикам таких методик. Создаются портативные устройства определения координат цвета в полевых условиях [53 – 55] и различные шкалы для визуально-тестового определения [18, 56, 57]. В работе [58] авторами показаны преимущества ряда Фибоначчи перед классическими вариантами (алгебраической и геометрической прогрессии) изменения концентрации при построении цветометрических шкал. Так, созданы методики определения ртути [59, 60], хрома (в варианте индикаторных трубок) [61 – 63], а также меди [64], мышьяка и фосфора [65], силикатов [66].

В целом следует отметить, что в ближайшее время одним из простых в исполнении современных методов контроля качественных и количественных характеристик окрашенных образцов, основанных на достижениях цифровых технологий, станет цветометрия.

В качестве аналитического сигнала, связанного с концентрацией определяемого компонента, используются различные цветометрические функции. С момента появления цифровой фотографии, планшетных сканеров и компьютерных программ обработки изображения появился быстрый, объективный и автоматизированный способ оценки цветных характеристик окрашенных образцов.

Полученный в результате цифровой файл изображения, может быть автоматически проанализирован с помощью как стандартных, так и специальных программ, прилагаемых к цифровой камере или сканеру, как по характеристикам цветности, так и по светлоте. Стадии подготовки образцов к анализу в цветометрических методиках не отличаются от действий, проводимых для измерения величины оптической плотности или коэффициента диффузного отражения, различие заключается только в типе прибора, используемого для получения аналитического сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prasad K., Raheem S., Vijayalekshmi P., Sastri C. Basic aspects and application of tristimulus colorimetry. *Talanta*. 1996, 43(8), 1187-1206.
2. Ivanov V.M., Kuznetsova O.V. Chemical chromaticity: potential of the method, application areas and future prospects. *Russ. Chem. Rev.* 2001, 70 (5), 357 – 373.
3. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. Санкт-Петербург: Питер, 2009. С. 224.
4. Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения. Москва: Энергоиздат, 1990. С. 240.
5. Кириллов Е.А. Цветоведение. Москва: Легпромбытиздат, 1987. С. 128.
6. Лагутин В.И. Оценка погрешности определения координат цветности объектов. *Измерительная техника*. 1987, 2, 27-29.
7. Балашов А.В., Каргин В.П., Кузьмичева Н.А., Лагутин В.И., Никитина А.М. Методика оценки погрешностей измерений координат цветности источников излучения на спектральной установке. *Измерительная техника*. 1989, 7, 27-29.
8. Вахлевский С.В., Канев А.В., Сагалаков С.А., Смирнова А.С. Цветометрия в анализе коньячных изделий. *Вестн. Краснояр. Гос. Ун-та*. 2006, 2, 27 – 32.
9. Байдичева О.В., Рудаков О.Б., Хрипушин В.В. Цифровой метод определения цвета пива. *Пиво и напитки*. 2008, 6, 44 – 45.
10. Кучменко Т.А., Погребная Д.А., Хрипушин В.В. Новые инструментальные методы оценки органолептических показателей молока. *Аналитика и контроль*. 2012, 16 (3), 289 – 298.
11. Байдичева О.В. Определение биологически активных веществ и контроль качества продукции методами, основанными на цифровом видеосигнале: Автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.02, ВГУ. Воронеж, 2009.
12. Chasco J., Lizaso G., Berian M. Cured color development during sausage processing. *Meat Science*. 1996, 44(3), 203-211.
13. Otoniel C., Nelson B., Jea'n M. Color change kinetics of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 2006, 75 (1), 21 – 26.
14. Mateo R., Bosch-Reig F. Classification of Spanish unifloral honeys by discriminant analysis of electrical conductivity, color, water content, sugars, and pH. *J. Agric. Food Chem.* 1998, 46(2), 393 – 400.
15. Иванов В.М., Самарина Т.О., Фигуровская В.Н. Оптические и цветометрические характеристики комплекса меди(II) с 1-нитрозо-2-нафтол-3,6-дисульфокислотой. *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия*. 2010, 51 (4), 302 – 306.
16. Химченко С.В., Экспериандова Л.П., Лемишко Е.Н. Раздельное RGB-определение Fe(III)

и Co(II) в их смеси на пенополиуретане *Методы и объекты хим. анализа.* 2012, 7(3), 153 – 157.

17. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. Москва: Едиториал УРСС, 2002. С. 304.

18. Решетняк Е.А., Холин Ю.В., Шевченко В.Н. Построение цветowych шкал для визуальной колориметрии. Представление результатов анализа. *Методы и объекты хим. анализа.* 2011, 6(4), 188 – 197.

19. Налимов В.В., Мульченко З.М. Наукометрия: изучение развития науки как информационного процесса. Москва: Наука, 1969. С. 192.

20. Брусиловский Б.Я. Математические модели в прогнозировании и организации науки. Киев: Наукова думка, 1975. С. 315.

21. Золотов Ю. А. Наукометрические исследования. *Журн. аналит. химии.* 2003, 58(10), 1013 – 1014.

22. Мамедова А.М. Аналитические аспекты использования цветометрических характеристик пирогаллолового красного и бромпирогаллолового красного и их комплексов с ионами металлов *Автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.02, МГУ им. М.В. Ломоносова.* Москва, 2005.

23. Ефимова И.С. 4-сульфо-2(4'-сульфонафталин-1'-азо)нафтол-1 – редокс-реагент для фотометрического определения ряда ионов металлов в высших степенях окисления: *Автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.02, ФХИ им. А.В. Богатского НАНУ.* Одесса, 2009.

24. Химченко С.В. Определение перхлоратов в природной воде рентгенофлуоресцентным или визуально-тестовым методом после их сорбционного концентрирования: *Автореф. дис. канд. хим. наук: 02.00.02, ФХИ им. А.В. Богатского НАНУ.* Одесса, 2009.

25. Мчедлов-Петросян Н.О. Современные методы экспериментального определения констант диссоциации органических кислот в растворе. *Журн. общ. хим.* 2009, 79(9), 1505 – 1531.

26. Иванов В.М., Мамедова А.М. Цветометрические и кислотно-основные характеристики пирогаллолового красного и бромпирогаллолового красного. *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия.* 2002, 43 (3), 167 – 171.

27. Чеботарев О.М., Ефимова И.С., Борисюк Н.А., Снігур Д.В. Метод кольориметрії в дослідженні кислотно-основних характеристик барвників рослинного походження. *Методы и объекты хим. анализа.* 2011, 6 (4), 207-213.

28. Иванов В.М., Цепков М.Г., Фигуровская В.Н. Оптические, цветометрические и кислотно-основные характеристики метилового оранжевого. *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия.* 2010, 51 (6), 445 – 449.

29. Чеботарев А.Н., Ефимова И.С. Кислотно-основные свойства функционально-аналитических групп 4-сульфо-2(4'-сульфонафталин-1'-азо)нафтола-1 в водном и

водно-органических растворах. *Методы и объекты хим. анализа.* 2009, 4 (1), 11 – 17.

30. Reilley C., Flaschka H., Laurent S., Laurent B. Characterization of the colour quality of indicator transition. *Anal. Chem.* 1960, 32(10), 1218 – 1232.

31. Иванов В.М., Адамова Е.М., Фигуровская В.Н. Кислотно-основные, спектрофотометрические и цветометрические характеристики 1,2-диоксиантрахинон-3-сульфоикислоты (ализаринового красного С). *Журн. аналит. химии.* 2010, 65(5), 488 – 496.

32. Barbosa J., Bosch C. Acid-base indicators in N,N-dimethylformamide: chromatic parameters of transition ranges. *Talanta.* 1991, 38(11), 1297 – 1302.

33. Чеботарев А.Н., Снігур Д.В., Гузенко Е.М., Ефимова И.С., Щербаклова Т.М. Метод химической цветометрии в исследовании протолитических свойств цианидина. *Вісн. Од. Ун-ту. Сер.: Хімія.* 2012, 16(4), 28-33.

34. Чеботарев А.Н., Снігур Д.В., Ефимова И.С., Бевзюк Е.В. Исследование протолитических равновесий в растворах красителей с использованием функции полного цветового различия. *Укр. хим. журн.* 2013, 79(1), 18 – 21.

35. Prasad K., Raheem S. Evaluation of colour changes of indicators in the titration of cadmium with EDTA. *Anal. Chim. Acta.* 1992, 264(1), 137 – 140.

36. Prasad K., Raheem S. Specification of colour changes of metallochromic indicators in the titration of bismuth with EDTA. *Talanta.* 1991, 38(7), 793 – 799.

37. Raheem S., Prasad K. Evaluation of colour quality of complexometric indicators in the titration of nickel(II) with EDTA by tristimulus colorimetry. *Talanta.* 1993, 40(12), 1809 – 1814.

38. Prasad K., Raheem S. Evaluation of the quality of colour changes of complexometric indicators in the titration of copper(II) with EDTA by tristimulus colorimetry. *Microchim. Acta.* 1993, 112, 63 – 69.

39. Reilley C., Smith E. Chemical applications of complimentary tristimulus colorimetry. *Anal. Chem.* 1960, 32(10), 1233 – 1240.

40. Иванов В.М., Фигуровская В.Н., Ершова Н.И., Мамедова А.М., Чинь Тхи Туэт Май. Оптические и цветометрические характеристики 1-нитрозо-2-нафтол-3,6-дисульфоноват кобальта. *Журн. аналит. химии.* 2007, 62 (4), 364 – 368.

41. Иванов В.М., Мамедова А.М., Фигуровская В.Н. Цветометрические характеристики двух- и трехкомпонентных 4-(2-пиридилазо)резорцинатов ванадия(IV, V). *Журн. аналит. химии.* 2007, 62 (12), 1254 – 1258.

42. Куліченко С.А., Щербіна М.Г. Кольориметричне визначення молібдену в міцелярних екстрактах катіонної ПАВ. *Методы и объекты хим. анализа.* 2012, (7), 39 – 44.

43. Чмиленко Ф.А., Худякова С.Н. Сорбционно-цветометрическое и тест-определение осмия

в сплавах и концентратах. *Журн. аналит. химии*. 2010, 65 (9), 928 – 933.

44. Селиванова Т.В., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Ионные ассоциаты $\text{SiMo}_{12}\text{O}_{40}^{4-}$ с трифенилметановыми красителями в сорбционно-цветометрическом и визуально-тестовом определении кремния. *Методы и объекты хим. анализа*. 2009, 4 (1), 18–22.

45. Басаргин Н.Н., Оскотская Э.Р., Грибанов Е.Н., Кузнецов Е.В. Цветометрическое определение марганца(II) в природных и сточных водах после предварительного концентрирования полимерным сорбентом. *Журн. аналит. химии*. 2012, 67 (1), 38–43.

46. Бохан Ю.В., Чмиленко Т.С., Сергеева Т.Ю., Чмиленко Ф.О. Визначення кобальту та ніколу у природних водоймах методом кольориметрії з використанням дії НВЧ-випромінювання. *Вопросы химии и хим. технологии*. 2009, 4, 144–148.

47. Ershova N.I., Ivanov V.M. Diffuse reflection spectroscopy of indium sorbates with immobilized heterocyclic azo compounds. *Anal. Chim. Acta*. 1998, 364, 235 – 241.

48. Ershova N.I., Ivanov V.M. Application of chromaticity characteristics for direct determination of trace aluminium with eriochromecyanine R by diffuse reflection spectroscopy. *Anal. Chim. Acta*. 2000, 408, 145 – 151.

49. Селифонова Е.И., Косырева И.В., Чернова Р.К. Цветометрическое определение лизина после его электрофоретического отделения от смеси α -аминокислот. *Известия Саратов. Ун-та. Сер. Химия, биология, экология*. 2011, 11, 33 – 38.

50. Маслова Н.В., Коренман Я.И., Суханов П.Т., Хрипушин В.В. Экстракционно-цветометрическое определение ванилинов в водных средах. *Аналитика и контроль*. 2011, 15(2), 233 – 237.

51. Шишкин Ю.Л., Дмитриенко С.Г., Медведева О.М., Баданова С.А., Пяткова Л.Н. Применение сканера и компьютерных программ цифровой обработки изображений для количественного определения сорбированных веществ. *Журн. аналит. химии*. 2004, 59 (2), 119 – 124.

52. Чеботарев А.Н., Гузенко Е.М., Ефимова И.С., Щербакова Т.М. Использование программного обеспечения при определении концентрации веществ методом цветиметрии. *Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і сталій розвиток. Київ: НТУУ "КПІ"*, 2010, С. 32 – 34.

53. Экспериандова Л.П. Нетрадиционные приемы в анализе функциональных материалов и объектов окружающей среды. – Харьков: ИСМА, 2011. С. 252.

54. Решетняк Е.А., Никитина Н.А., Снежко Д.В., Житняковская Я.А., Бондаренко Я.А., Островская В.М. О применении портативного фотометра для регистрации цвета сорбентов в хими-

ческом анализе *Вісник Харк. Нац. Ун-ту. Сер. Хімія*. 2010. 19 (42), 208–215.

55. Муравьев С.В., Гавриленко Н.А., Силушкин С.В., Овчинников П.Г. Мобильный цветометрический комплекс для измерения состава веществ на основе полимерных оптодов. *Известия Томск. Политехн. Ун-та*. 2011, 318 (4), 68 – 73.

56. Никитина Н.А., Решетняк Е.А., Христенко И.В., Холин Ю.В., Бондаренко Я.А., Шевченко В.Н., Хулап В.В. Твердофазные аналитические реагенты на основе дифенилкарбазона. *Вісник Харк. Нац. Ун-ту. Сер. Хімія*. 2012, 21(44), 200–211.

57. Запорожець О.А., Качан І.А., Зінько Л.С., Євлаш Ю.П., Левченко С.І. Твердофазні аналітичні реагенти на основі іммобілізованих на кремнеземах гетерополікіслот та їх іонних асоціатів. *Вісник Харк. Нац. Ун-ту. Сер. Хімія*. 2007, 15 (38), 155–162.

58. Экспериандова Л.П., Химченко С.В. Ряд Фибоначчи в тест-анализе и граница зрительного восприятия. *Методы и объекты хим. анализа*. 2008, 3 (1), 113 – 116.

59. Пат. України на корисну модель, G01N21/78. Спосіб експресного визначення концентрації меркурію(II) у воді. Чеботарев О.М., Ефимова І.С. № 45307. Бюл. №21. Опубл. 10.11.09 р.

60. Иванов В.М., Кочелаева Г.А. Сорбционно-цветометрическое и тест-определение ртути. *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия*. 2001, 42 (1), 17 – 19.

61. Пат. України на корисну модель, G01N21/78. Спосіб визначення концентрації сполук хрому(VI) у воді / Чеботарев О.М., Гузенко О.М., Щербакова Т.М. - № 21698. Бюл. № 3. Опубл. 15.03.2007 р.

62. Пат. України на корисну модель, G01N21/78. Спосіб визначення концентрації хрому(VI) у воді. Чеботарев О.М., Гузенко О.М., Щербакова Т.М. - № 16313. Бюл. № 7. Опубл. 17.07.2006 р.

63. Пат. України на корисну модель, G01N21/77. Спосіб комп'ютерної побудови колірної шкали для визначення концентрації хрому(VI) у воді. Чеботарев О.М., Гузенко О.М., Щербакова Т.М. № 21397, Бюл. № 3. Опубл. 15.03.2007 р.

64. Иванов В.М., Кочелаева Г.А. Сорбционно-цветометрическое и тест-определение меди в водах. *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия*. 2001, 42 (2), 103 – 105.

65. Старова Т.В., Цыганок Л.П., Вишник А.Б. Хімічні тест-методи аналізу арсену(V) та фосфору(V). *Вісник Дніпр. Ун-ту. Сер. Хімія*. 2011, 17, 147 – 154.

66. Zaporozhets O., Bas J., Kachan I., Zinko L., Davydov V. Solid-phase spectrophotometric and test determination of silicate in natural water. *Talanta*. 2012, 90, 85 – 90.