

УДК: 543.4

Д.В. Снигур, Е.В. Бевзюк, Л.Д. Школьник

**ХИМИЧЕСКАЯ ЦВЕТОМЕТРИЯ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ,
ВОЗМОЖНОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА**

Научный руководитель: зав. кафедрой аналитической химии ОНУ имени

И.И. Мечникова, к.х.н., доц., А.Н. Чеботарёв

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

65082, Одесса, ул. Дворянская, 2, alexch@ukr.net

D.V. Snigur, K.V. Bevziuk, L.D. Shkolnik. Chemical chromaticy: general method's aspects, opportunities and use. - The results about basic concepts, opportunities and use of chemical cromaticy method in different fields of science and industry were generalized. The method's opportunities were shown and its future prospects were discussed.

Keywords: chemical cromaticy, color features, acid-base equilibrium, determination of elements.

Введение

За годы существования науки о цвете, давались многочисленные оценки феномена цвета и цветного видения. Однако все их можно свести к одному определению: цвет есть совокупность психофизиологических реакций человека на световое излучение, исходящее от различных самосветящихся объектов (источников излучения) либо отраженное от поверхности несамосветящихся предметов, а также (в случае прозрачных сред) прошедшее сквозь них. Таким образом, человек имеет возможность видеть окружающие его предметы и воспринимать их цветными за

счет света (электромагнитное излучение, испускаемое нагретым или находящимся в возбуждённом состоянии веществом, воспринимаемое человеческим глазом)— понятия физического мира, но сам цвет уже не является физическим понятием, поскольку это субъективное ощущение, которое рождается в нашем сознании под действием света. Проблемами систематизации, классификации, измерения и практического применения цвета занимается ряд направлений, таких как цветоведение, колористика и цветометрия. Метод химической цветометрии – это научное направление о способах измерения цвета и его количественного выражения [1].

1.1. **Источники излучения и их характеристики**

Поскольку излучение большинства самосветящихся источников подчиняется одним и тем же законам, в качестве характеристики цветности излучения было предложено использовать температуру. Так как для разных тел, в зависимости от их химического состава и физических свойств, нагревание до заданной температуры дает несколько различный спектр излучения, в качестве эталона цветовой температуры используется гипотетическое **абсолютно черное тело**. Оно представляет собой полый излучатель, излучение которого зависит только от его температуры, а не от каких-либо других его свойств. Среди многообразия световых излучений, которые в состоянии воспринимать человеческий глаз, особо выделяют собственные излучения тех или иных самосветящихся объектов — источников света, таких как солнце, лампа накаливания, фотографическая лампа-вспышка и т.д. Искусственные источники света могут подразделяться на несколько типов: по роду используемой энергии на химические, электрические, радиоактивные и др., по назначению на осветительные, сигнальные и т.п. Каждый из типов, в свою очередь, может классифицироваться по различным дополнительным признакам, например по конструктивно-технологическим, эксплуатационным и другим. Поскольку источники света играют очень важную роль при определении цвета предметов и материалов, их подробно изучили и разработали специальную систему классификации, в основу которой положено понятие **цветовой температуры**. **Цветовая температура** — характеристика хода интенсивности излучения источника света как функция длины волны в оптическом диапазоне. Согласно формуле Планка цветовая температура определяется как температура абсолютно чёрного тела, при которой оно испускает излучение с той же хроматичностью (цветностью), что и рассматриваемое излучение. Однако, несмотря на существующее разнообразие различных источников света, большинство используемых в промышленности и технологии источников света могут быть стандартизованы. Международная комиссия по освещению (**МКО**) предложила несколько так называемых *стандартных колориметрических*

излучений, которые были обозначены латинскими буквами **A, B, C, D, E** и **F** (табл. 1.). В отличие от реальных источников света, стандартные излучения МКО описывают классы источников света, основываясь на усредненных значениях их спектральных распределений. Подобная стандартизация показала достаточную эффективность, поскольку, несмотря на имеющиеся различия, излучения большинства реальных источников света могут быть довольно точно сопоставлены с соответствующими стандартными излучениями МКО [2, 3].

Таблица 1

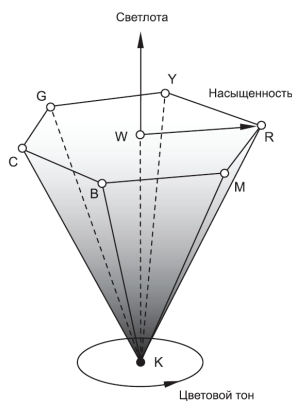
Стандартные колориметрические излучатели МКО

Обозначение	Характеристика излучения и его спектр
A	Под этим источником МКО обозначила полный световой излучатель (идеальное черное тело) при температуре 2856 К. Для его воспроизведения используется лампа накаливания с вольфрамовой нитью с коррелированной цветовой температурой 2856 К, а для более точного воспроизведения всего спектра источника A рекомендуется использовать лампы с колбой из плавленого кварца.
B, C	Воспроизводят дневной солнечный свет: B — прямой солнечный свет с коррелированной цветовой температурой 4870К, C — рассеянный солнечный свет с коррелированной цветовой температурой 6770 К. При расчете этих излучателей был допущен целый ряд неточностей и потому в колориметрических расчетах они практически не используются.
D	Является одним из наиболее часто используемых стандартных источников света, под который калибруется большинство оборудования ввода/вывода изображения. Воспроизводит различные фазы среднедневного света в диапазоне коррелированных цветковых температур от 4000 К до 7500 К. Для различных целей было определено несколько спектральных распределений источника D с различными значениями цветовой температуры: D50, D55, D60, D65, D70, D75 с коррелированными цветковыми температурами соответственно 5000К, 5500 К, 6000 К, 6500 К, 7000 К, 7500 К, соответствующих определенным фазам дневного света.
E	Воображаемый источник излучения, имеющий равноэнергетический (не меняющийся с изменением длины волны) спектр с цветовой температурой 5460 К. Реально не существует в природе и используется в колориметрии только в расчетных целях.
F	Стандартный излучатель, описывающий спектральное распределение излучения различных люминесцентных ламп.

1.2. Классификация цветов

Человеческий глаз воспринимает излучение цветным в зависимости от его длины волны. Характеристика, определяющая цвет, называется

цветовым тоном. Цветовой тон – это совокупность цветовых оттенков, сходных с одним и тем же цветом спектра. Любой хроматический цвет может быть отнесён к какому-либо определённомu спектральному цвету.



Помимо чистых спектральных и чистых пурпурных цветов также существует ряд цветов, которые называются **ахроматическими** или нейтральными цветами. **Ахроматическими** называют цвета, не имеющие цветового тона и отличающиеся друг от друга только по **светлоте**. К ним относят черный, белый и лежащие между ними различные оттенки серого цвета.

Рис. 1. Геометрическая модель расположения цветов в соответствии с цветовым тоном, насыщенностью и светлотой.

Если смешивать любой спектральный цвет с белым или серым, то цвет начнет терять свою чистоту и постепенно переходить в белый или серый цвет. В этой связи для характеристики цвета, помимо цветового тона, используют также характеристики, называемые **насыщенностью** и **чистотой цвета**. **Чистота цвета** - характеристика цветового ощущения, позволяющая оценить долю чистой хроматической составляющей в общем цветовом ощущении. **Насыщенность** — характеристика зрительного ощущения, служащая для оценки отличия данного цвета от ахроматического цвета той же светлоты. Два цвета одинакового цветового тона могут отличаться друг от друга не только насыщенностью, но и яркостью (силой) их излучений, что при характеристике свойств несамосветящихся объектов принято характеризовать понятием **светлоты цвета**. **Светлота** — характеристика ощущения, согласно которой предмет кажется пропускающим или диффузно отражающим более или менее значительную долю падающего света. При увеличении светлоты любой цвет переходит в белый. Цвет в пространстве часто представляют в соответствии с тремя рассмотренными характеристиками. Вдоль вертикальной оси располагаются цвета от черного до белого. Это меняется светлота. Насыщенность изменяется по радиусу, по мере удаления цвета от центра графика насыщенность возрастает. Цветовой тон характеризуется угловой координатой, как это показано на рис. 1. Теоретически такая модель должна представлять собой цилиндр, но ее чаще располагают в виде перевернутого конуса, вершина которого соответствует точке черного, а основание — максимальному значению светлоты. Характеристики

цветового тона, насыщенности и светлоты являются наиболее часто используемыми *субъективными* характеристиками цвета. Средством определения цвета могут также служить *атласы цветов*, в которых приводятся образцы цвета, воспроизведенные в различных материалах и сгруппированные по определенному признаку. Такие атласы широко используются в полиграфии, текстильной промышленности и архитектуре [1, 3].

2. Основы метода химической цветометрии

Метод цветометрии, заключающийся в расчете цветовых характеристик анализируемого объекта на основе имеющихся спектральных параметров, позволяет, как различить спектрально близкие вещества, так и получить дополнительные сведения о них. Для количественной оценки интенсивности излучения создавались и совершенствовались цветоизмерительные системы. Некоторое время их практическое применение сдерживалось трудностями аппаратного оформления. Толчком к развитию метода цветометрии послужила потребность в определении состава сложных смесей красителей, используемых в текстильной промышленности. Решение этой задачи позволило не только разработать компактные цветоизмерительные приборы, но и создать математический аппарат для расчета концентрационных зависимостей по изменению параметров цвета анализируемых проб.

Существуют два основных способа измерения цвета, различающихся по методике расчета: по спектральному составу излучения или по числу отдельных цветов в смеси, дающей определяемый цвет. Согласно этой классификации, все цветоизмерительные приборы и методики расчета координат цвета можно условно разделить в зависимости от измеряемой величины на два типа.

1. Координаты цвета рассчитывают по известному спектральному составу излучения анализируемого соединения (спектру поглощения, отражения и т.д.). Этот метод считается наиболее точным [4].

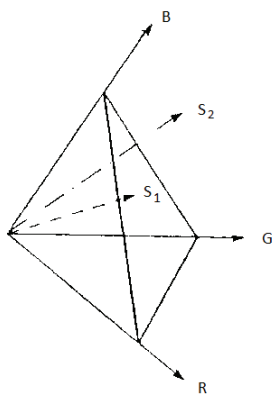
2. На основании измеренной общей функции сложения цветов (нередко соответствующей чувствительности фотоэлементов) сразу получают координаты цвета определяемого компонента. Развитие метода сдерживается из-за трудности в изготовлении фотоэлементов с требуемой спектральной чувствительностью.

В зависимости от принципа, лежащего в основе цветоизмерительного прибора, прогнозируют погрешность его измерений [5, 6].

2.1. Основные характеристики в цветометрии и связь между ними.

Спектроскопические методы анализа, в сущности, сводятся к регистрации параметров оптического излучения исследуемого объекта.

Измерение аналитического сигнала (среднее из измерений физической величины на заключительной стадии анализа, функционально связанной с содержанием определяемого компонента.) основывается на изменении этих параметров при взаимодействии оптического излучения с анализируемым объектом (поглощение, отражение, рассеяние света), а также на изменении характеристик самого анализируемого объекта под действием света в результате фотохромизма, электрооптических эффектов, люминесценции и других явлений. Основными информативными параметрами объектов оптического контроля в аналитической химии служат амплитудные характеристики, такие как оптическая плотность (A), коэффициент диффузного отражения (R), интенсивность люминесценции ($I_{\text{люм}}$) и т.д. Спектроскопический анализ не позволяет непосредственно определить химический состав вещества, а дает косвенную информацию через подходящую измеряемую физическую величину. Для описания спектра (упорядоченная по длинам совокупность монохроматических волн, на которую разлагается свет или иное электромагнитное излучение) помимо этой величины вводят другой независимый параметр, например длину волны или частоту. При создании методик химического анализа оперируют, как правило, амплитудными характеристиками и значениями этих независимо измеряемых параметров. Аналогичный подход используют при измерении характеристик цвета [9]. Переход от спектрофотометрии к химической цветометрии базируется на том, что, как установлено экспериментально,



любой цвет можно представить в виде смеси (суммы) определенных количеств трех, линейно независимых, цветов. И в качестве основных цветов используют красный (R), зелёный (G) и синий (B), т.е. три монохроматических излучения с длинами волн (λ) 700, 546,1 и 435,8 нм соответственно.

График цветового охвата в данной системе приведен на рис. 2.

Рис. 2. Трёхкоординатное цветовое пространство RGB.

На представленном цветовом охвате (рис. 2) точка S_1 отвечает цвету входящему в это цветовое пространство, а S_2 – цвету выходящему за его пределы. Такое представление удобнее проиллюстрировать геометрически. Три основных цвета в ортогональной системе координат являются осями, а каждый цвет, задается тремя основными цветовыми координатами:

$$\mathbf{S} = R\mathbf{R} + G\mathbf{G} + B\mathbf{B}$$

где R, G, B - координаты красного, зеленого и синего цветов соответственно; $\mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}$ — единичные векторы этих смешиваемых цветов. Соединив точки единичных основных цветов ($R=1, G=1, B=1$) друг с другом, получим треугольник, лежащий в единичной плоскости.

Чтобы установить положение точки S на единичной плоскости, вводят координаты цветности r, g, b , которые связаны с координатами цвета R, G, B следующим образом:

$$r = \frac{R}{R+G+B}; \quad g = \frac{G}{R+G+B}; \quad b = \frac{B}{R+G+B}.$$

Из соотношений (2) следует, что $r + g + b = 1$, т.е. для однозначного определения положения точки достаточно двух координат цветности. Для цветов, входящих в цветовой охват системы RGB, функции сложения имеют положительные значения. Однако если цвет выходит за пределы этого охвата, то функции сложения принимают отрицательные значения, что создает неудобства при расчетах. В связи с этим МКО обобщила известные свойства цвета и формулы для расчета изменения цветов и предложила неортогональную трехцветную систему XYZ, описывающую спектральные свойства анализируемого объекта в виде трехмерных векторных координат и позволяющую преодолеть указанный недостаток [10]. Интегральное разделение интенсивности светового излучения на три составляющие удобно для соотнесения с человеческим зрением (из-за наличия в сетчатке глаза красно-, зелено- и синечувствительных волокон).

Основу предложенной системы координат XYZ составляют следующие условия:

1. Для всех реальных цветов координаты цвета XYZ имеют только положительные значения;
2. Координата Y определяет яркость цвета;
3. Координаты цветности белого равноэнергетического излучения находятся в центре тяжести треугольника, лежащего на единичной плоскости.

Для перехода из системы RGB в систему XYZ используют следующие соотношения:

$$\begin{aligned} X &= X_R \mathbf{R} + X_G \mathbf{G} + X_B \mathbf{B} \\ Y &= Y_R \mathbf{R} + Y_G \mathbf{G} + Y_B \mathbf{B} \\ Z &= Z_R \mathbf{R} + Z_G \mathbf{G} + Z_B \mathbf{B} \end{aligned}$$

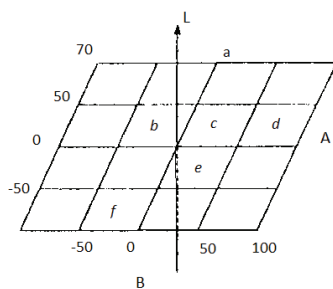
Где $X_R, X_G, X_B, Y_R, Y_G, Y_B, Z_R, Z_G$ и Z_B - координаты основных цветов в трёхкоординатном пространстве RGB. Эти величины также

стандартизованы. Координаты цветности в новом пространстве будут иметь вид:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \quad x+y+z=1.$$

Единица плоскость представляет собой прямоугольный треугольник, называемый графиком цветности, вершинами которого являются точки пересечения с векторами основных цветов. Векторы спектральных цветов пересекают единичную плоскость по линии чистых спектральных цветов, которая ограничивает область существования реальных цветов. Помимо координат X , Y , Z часто используют такие характеристики, как цветовой тон ($T(\lambda)$) и чистота цвета (P), однозначно определяющие цветность излучения. Очевидно, что любой реальный цвет может быть получен аддитивным смешением белого и соответствующего монохроматического излучения. Цветовой тон определяется точкой пересечения прямой, проходящей через координаты цветности данного и белого цветов, с линией чистых спектральных цветов. Чистота цвета показывает, в каких соотношениях смешаны монохроматический и белый цвета; при этом чистота монохроматического излучения равна единице, а белого — нулю. Следует отметить, что использование цветового графика в системе XYZ (МКО, 1931г.) сопряжено с некоторыми трудностями. Так, отдельные расстояния между двумя точками на диаграмме не соотносятся с визуальным восприятием человека, поскольку шкала диаграммы неравномерна. Кроме того, она не дает информации о светлоте цвета.

Рассмотренные выше системы позволяют производить лишь количественную оценку цвета, однако визуально оценить с их помощью разницу между двумя цветами нельзя, так как расстояние между точками в цветовом пространстве не соответствует надежно ощущаемому глазом различию. Было предпринято довольно много попыток создания



такого равноконтрастного пространства, в котором расстояние между двумя точками коррелировало бы с визуальным воспринимаемым изменением цвета.

Рис. 3 Трехкоординатное пространство LAB. Область белого (a), зеленого (b), серого (c), желтого (d), пурпурного (e) и синего (f) цветов.

Однако пока этого сделать не удалось. Международной комиссией по освещению предложено несколько таких квазиравноконтрастных систем,

самой распространенной из которых является CIELAB (1976г.). Координаты L, A, B в этой системе связаны с координатами X, Y, Z соотношениями:

$$\begin{aligned} L &= 116(Y/Y_w)^{1/3} \\ A &= 500(X/X_w)^{1/3} - (Y/Y_w) \\ B &= 200(Y/Y_w)^{1/3} - (Z/Z_w) \end{aligned}$$

где L - светлота; A, B координаты цвета (A - красно-зеленая ось, B- желто-синяя ось); X_w, Y_w, Z_w - координаты белого цвета в системе XYZ, оси A и B располагаются в плоскости, перпендикулярной оси L (рис. 3).

Расстояние между двумя точками в трехкоординатном цветном пространстве LAB характеризует полное цветовое различие (ΔE), которое вычисляют по формуле:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta A)^2 + (\Delta B)^2}$$

Цветовой тон (T) и насыщенность цвета (S) определяются следующими соотношениями:

$$S^2 = A^2 + B^2 \quad T = \arctg \frac{A}{B}.$$

Для выражения желтизны (G) и белизны (W) используют уравнения:

$$G = \frac{100(1,28X - 1,06Z)}{Y}, \quad W = 100 - \Delta E$$

Цветовое пространство CIELAB наиболее приемлемо для расчетов, так как равные расстояния между точками, соответствующими разным цветам, в любых частях этой системы координат соотносятся со зрительным восприятием, что позволяет ввести удобную меру для количественного определения цветовых различий. Практически координаты цвета в системах XYZ и CIELAB и цветовые характеристики анализируемых объектов получают, например, из спектра диффузного отражения следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) \Delta \lambda \\ Y &= k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) \Delta \lambda \\ Z &= k \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) \Delta \lambda \end{aligned}$$

Где k - нормирующий коэффициент; $S(\lambda)$ - спектральная плотность потока излучения одного из стандартных источников света А, С или D_{65}

в относительных единицах; x , y , z - функции сложения цветов; $R(\lambda)$ - измеряемый коэффициент диффузного отражения.

3. Применение метода химической цветометрии

Цветометрию успешно применяют в спектрофотометрическом титровании [7], а также для характеристики форм существования индикаторов [8]. Еще более перспективно использование цветометрических измерений при химическом анализе в отсутствие приборного обеспечения или с минимальным его применением. В связи с развитием экспресс - методов с визуальным детектированием возникнет задача определения содержания вещества по суммарному изменению цвета тест-образца (так называемые тест-методы), и её позволяют решить только цветометрические системы, максимально приближенные по своим характеристикам к человеческому зрению. Методы объективного измерения цвета с использованием компьютерной обработки данных находят широкое применение во многих отраслях промышленности, например в полиграфической и лакокрасочной, текстильной, стекольной и фармацевтической. Кроме того, цвет является важнейшим показателем качества пищевой продукции. Областей применения цветометрических методов настолько много, что их невозможно перечислить.

3.1. Исследование состояния органических реагентов в растворе

Исследование свойств органических реагентов важно для расширения аналитических возможностей метода цветометрии. При изучении оптических и цветометрических характеристик красителей в растворе, измеряют цветометрические функции (ЦФ), а именно: координаты цветности x , y , z в системе XYZ, координаты цвета a , b в системе CIELAB, насыщенность цвета (S), желтизна (G), цветовой тон (T), а также цветные различия по насыщенности (ΔS), светлоте (ΔL) и тону (ΔT). Для окрашенных веществ, одновременно поглощающих и отражающих свет, функции R , L , W , X , Y , Z должны иметь меньшие значения, а ΔE - большее, и эти различия тем сильнее, чем интенсивнее окраска веществ. Среди ЦФ наибольшую информацию о цвете дает желтизна. Для абсолютно белого тела $G=0$, для желтых и красных тел $G>0$, а для синих и зеленых $G<0$. Точки излома на кривых зависимости G от кислотности (pH) среды химической системы соответствуют областям перехода из одной формы реагента (красителя) в другую. Изменение величины и знака G в точках излома может указывать на состояние органического реагента и анализируемой среды.

3.1.1. Изучение кислотно-основных свойств окрашенных органических реагентов

В большинстве работ для определения констант диссоциации органических реагентов (красителей, индикаторов) применяют

спектрофотометрические методы, основанные на изучении зависимостей оптической плотности от pH раствора и их графической или расчетной обработке полу- или билогарифмическими методами. При измерении оптической плотности очень важен правильный выбор длин волн. Обычно они соответствуют максимумам поглощения света различными ионно-молекулярными формами реагентов. Ситуация осложняется при небольшом различии в положении максимумов и тем более при наличии таутомерных равновесий, накладывающихся на равновесия кислотно-основной диссоциации. Изменения свойств равновесных состояний окрашенного реагента можно регистрировать, используя координаты цвета равноконтрастной колориметрической системы CIELAB, дающие информацию об интегральном распределении светопоглощения исследуемой равновесной системы в широком диапазоне длин волн (380 -720 нм). Это позволяет избежать погрешности, связанной с неправильным выбором измеряемых участков спектра поглощения реагента. Таким образом, существенно повышается достоверность получаемых результатов.

Существуют два способа определения соответствующих констант равновесия (**pK**)

1. Строят зависимости насыщенности цвета (**S**) от pH раствора при различных концентрациях реагента, а затем находят значения **pK** графически или рассчитывают по уравнению:

$$pK = pH_1 + \frac{(pH_2 - pH_1)(\Delta S'_1 - \Delta S_1)}{(\Delta S_2 - \Delta S'_2) + (\Delta S'_1 - \Delta S_1)}$$

где pH_1 и pH_2 - значения pH вблизи предполагаемого значения **pK**;

$\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S'_1, \Delta S'_2$ — изменения величины насыщенности в зависимости от того, сдвигается ли равновесие из щелочной среды в кислую или из кислой в щелочную соответственно.

2. Используют дифференциальные зависимости цвета реагентов от кислотности среды:

$$SCD = \frac{\Delta S}{\Delta pH},$$

где параметр **SCD** [11] (*specific color discrimination* - удельное различие цвета) характеризует изменение насыщенности цвета при изменении pH. Нами в работе [12] исследована принципиальная возможность использования метода химической цветометрии для определения констант ионизации красителей растительного происхождения без использования данных об исходной и равновесной концентраций их кислотно-основных форм в растворе.

3.2. Повышение чувствительности определения ионов металлов

Для расширения возможностей количественного по результатам спектрофотометрических исследований соответствующих комплексов с органическими реагентами важно знать их цветометрические характеристики. Использование координат цвета может повысить как селективность определения, так и его чувствительность, поскольку ЦФ изменяются в более широких пределах чем реально измеряемые спектральные характеристики: оптическая плотность, коэффициент диффузного отражения данной аналитической формы.

3.3. Повышение селективности определения ионов металлов

Спектрофотометрические методы перспективны для определения в смесях тех элементов, комплексы которых с одним и тем же реагентом образуются в разных условиях, либо различаются по положению максимумов поглощения света. Наибольший эффект дает сочетание различных аналитических приемов и подбора метода регистрации сигнала, что позволяет не только селективно определить, но и уменьшить предел обнаружения, однако задача селективной регистрации сигнала остается по-прежнему актуальной. Метод химической цветометрии позволяет повысить селективность определения ионов металлов, например цветометрически возможно раздельное определение микроколичеств цинка и меди после предварительного концентрирования сорбцией на силикагеле модифицированном 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом. Уравнения для расчета содержания выводят используя закон векторного сложения аналитических сигналов [1].

3.4. Применение цветометрии в других областях науки и промышленности

Подходы метода цветометрии нашли широкое применение в пищевой промышленности для контроля качества продукции, классификации мёдов [12], при контроле производства колбас [14, 15] и многое другое. В текстильной промышленности метод цветометрии применяют для подбора цвета при крашении натуральных и искусственных волокон [16], для контроля за выцветанием окрашенных тканей. В геохимии и минералогии цветометрия позволяет различать оттенки цветов драгоценных камней [17]; в производстве стекла и керамики [18, 19] – метод используется для контроля их цветовой гаммы. В фармакологии цветометрию применяют как надежный способ контроля производства стоматологических составов, проверки единообразия покрытия таблеток и т.п. В косметической промышленности подходы метода использованы для создания тональных кремов для коррекции цвета лица, цветометрические характеристики применены для сравнения ряда солнцезащитных кремов [20].

4. Заключение

На протяжении продолжительного времени развитие метода сдерживалось недостаточным уровнем технического развития, поэтому одновременно с разработкой системы CIELAB создавались колориметрические приборы и расчетные методы, позволяющие использовать цветовые измерения в практике химического анализа. Следует отметить, что расширение областей применения цветометрии служит стимулом для усовершенствования имеющихся приборов, а также создания программного обеспечения. В целом можно сказать, что использование цветовых характеристик в аналитической химии расширяет возможности исследования процессов, происходящих в анализируемых образцах. С этой целью созданы колориметрические приборы и расчетные методы, позволяющие регистрировать изменение цвета и использовать цветовые измерения при анализе различных объектов.

Литература

1. Иванов В.М., Кузнецова О.В. Химическая цветометрия. Возможности метода, области применения и перспективы // Успехи химии. – 2001. – 70, №5. – С. 411 – 428.
2. K. Prasad, S. Raheem, P. Vijayalekshmi, C. Sastri Basic aspects and application of tristimulus colorimetry // Talanta. – 1996. – 43, - P. 1187-1206.
3. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.
4. Марченко З., Бальцезжак М. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 711 с.
5. Лагутин В.И. Оценка погрешности определения координат цветности объектов // Измерительная техника. – 1987, №2. - С. 27-29.
6. 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. – с. 27-29.
7. Cacho J., Garnica A., Nerin C. Critical study of metallochromic indicators for calcium // Anal. Chim. Acta. – 1984. – 162. – P. 113.
8. Roses M. Evaluation of colour changes of indicators: the supercolor program // Anal. Chim. Acta. – 1977. - 204. – P. 311.
9. Золотов Ю. А. Вклад аналитической химии в обеспечение контроля за природными объектами. // Вестн. АН СССР. – 1991, № 11. – с. 63-72.
10. Джад Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592.
11. Bhuchar V.M., Kukreja V.P., Das S.R. Color changes in screened indicators. // Analytical Chemistry. – 1984, 56, №8. – p. 1422-1428.

11. Чеботарьов О.М., Єфімова І.С., Борисюк Н.А., Снігур Д.В. Метод кольорометрії в дослідження кислотно-основних характеристик барвників рослинного походження //Методы и объекты химического анализа. -2011,6, №4. - с.207-213.
12. 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. - P. 393-400.
13. Baco B., Pipek P., Dolata W., Radomyski T. //Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. - 1997, 47, №2. - P. 51-56.
14. Chasco J., Lizaso G., Berian M. Cured color development during sausage processing //Meat Science. - 1996, 44, №3. - P. 203-211.
15. Li Y.S.W, Yeun C.W.M., Yeung K.W., Sin K.M. Regression analysis to determine the optimum colour tolerance level for instrumental shade sorting. // J.Soc. Dyers Colour. - 1999, 115, №3. - P. 95-99.
16. Liu Y., Shigley J., Fritsh E., Hemphill S. //Gemmology and proceedings of Gemmology associations of Great Britain. - 1999, 26. P. 371.
17. Kopylovich M.N., Baev A.K, Chernic A.A. // In Proceedings of International Symposium on Process of Handl. Powders Dursr. Minsk. - 1997.-P.69.
18. Левицкий И.А., Бирюк Т.В. Цветные нефриттованные глазури из недефицитного сырья для фасадной керамики. // Стекло и керамика. - 1995 -№ 4. С.25-27.
19. Rosenstein B., Weinstock M., Harib R. Transmittance spectra and theoretical sun protection factors for a series of sunscreen-containing sun care products // Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. - 1999, 15. - P. 75-80.