

## **Color Management System (CMS) в логике цветовых координатных систем. Часть 1.**

*Данная статья является вступительной к серии статей, посвященных построению профайлов сканеров, мониторов и печатающих устройств.*

### **Что такое цвет?**

На вопрос: "Что такое цвет?" — чаще всего отвечают: "Цвет — это длина волны", "Цвет — это свойство поверхности", "Цвет — это спектральный состав электромагнитного излучения". Ответы эти неточны или, как минимум, неполны.

Рассмотрим их подробнее.

"Цвет — это длина волны" — но электромагнитное излучение с длиной волны, к примеру, 675 нм в зависимости от интенсивности воспринимается либо как красно-коричневый, либо как алый цвет.

"Цвет — это свойство поверхности" — но серые стены домов, освещенные закатным солнцем, кажутся нам оранжевыми.

"Цвет — это спектральный состав электромагнитного излучения" — но электромагнитное излучение различного спектрального состава может восприниматься как один и тот же цвет.

Более того, когда мы в полной темноте ударимся о дверной косяк, в нашем сознании появится цветное изображение без всякого электромагнитного излучения. Во сне или в воспоминаниях также возникают самые настоящие цветовые ощущения.

Итак, ключевыми словами в исследовании данного вопроса являются: "восприниматься", "казаться", "выглядеть", "сознание", "ощущение". То есть никакого "цвета" не существует, если нет "сознания", если некому испытывать "ощущения". Исходя из этого мы даем такое определение:

**Цвет — это ощущение, которое возникает в сознании человека при воздействии на его зрительный аппарат электромагнитного излучения с длиной волны в диапазоне от 380 до 760 нм. Эти ощущения могут быть вызваны и другими причинами: болезнь, удар, мысленная ассоциация, галлюцинации, и др.**

Т.е. цвет — это, прежде всего, ощущение. "Цвет" не существует без наблюдателя.

Цветовые ощущения могут существовать без объекта, но не могут существовать без субъекта. В нашей статье мы будем рассматривать, разумеется, ощущения, вызываемые только электромагнитным излучением видимой части спектра — светом.

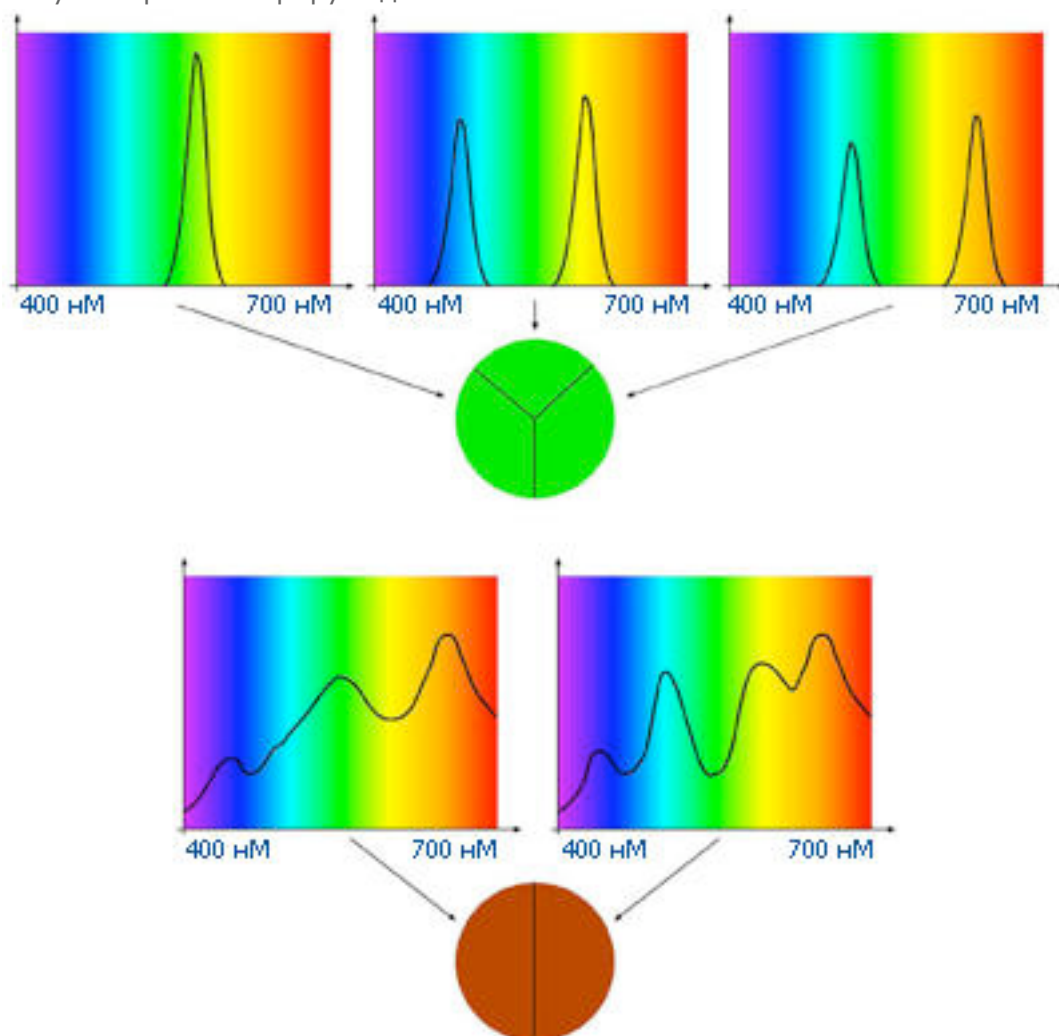
Способность к цветоощущению возникла в процессе эволюции как реакция адаптации, как способ получения сведений об окружающем мире и способ ориентирования в нем. Каждый человек воспринимает цвета индивидуально, отлично от других людей. Однако у большей части людей цветовые ощущения очень схожи. Встречаются аномалии цветового зрения, при которых различается меньшее число цветов, чем обычно. Случаи полной цветовой слепоты, когда образы воспринимаются лишь ахроматически (бесцветно), очень редки.

Физической основой цветовосприятия является наличие специфических светочувствительных клеток в центральном участке сетчатки глаза (т.н. палочек и колбочек) с максимумами спектральной чувствительности в трех разных спектральных участках: красном, зелёном и синем. Огромную роль в цветовосприятии играет переработка сигнала, поступающего на сетчатку глаза, в коре головного мозга, в его затылочных долях. Мозг извлекает информацию об окружающем мире с КПД,

недостижимым даже для самых современных компьютеров. Суть этих процессов, несмотря на наличие большого количества разнообразных теорий, непонятна, а сколько-нибудь серьезные, инструментальные измерения в коре головного мозга невозможны. Поэтому к человеческому цветовосприятию стоит относиться как к "черному ящику": на входе имеем свет определенного спектрального состава, на выходе — некое цветовое ощущение. По мере социализации у человека росла потребность в передаче знаний и эмоций: наскальные рисунки, выполненные природной охрой и углем, несли различную информацию, необходимую для эффективной охоты, а заодно выражали азарт охотников. Позднее живопись стала нести религиозные знания и раскрывать эстетические переживания людей, а жизнь современного технологического общества немыслима без телевидения, цветной фотографии и полиграфии. Таким образом, еще в самом начале своего существования homo sapiens столкнулся с необходимостью *воспроизведения и повторения цветовых ощущений*, проблема эта остается и по сей день. В основе всех способов цветовоспроизведения лежит принцип, о котором мы уже говорили:

**Одинаковые цветовые ощущения могут быть вызваны светом различного спектрального состава.**

Рисунок проиллюстрирует данный тезис.



Для того чтобы передать цвет зеленой травы или зерен кофе, нам не нужно воссоздавать сложный спектр отраженного от них света, достаточно подобрать спектр, который вызовет аналогичные цветовые ощущения. Чтобы цвет пятна на мониторе при визуализации

изображения из файла и цвет такого же пятна, напечатанного офсетом, совпадали, нам нет необходимости добиваться невозможного: совпадения спектра излучения монитора и спектра отражения бумаги — необходимо только совпадение ощущений.

Человек может, глядя на бумагу и монитор (или исходный объект), сравнивать свои ощущения, добиваясь их идентичности, но компьютер работает только с числами. Значит, нам необходимо *измерить* цветовые ощущения.

### **Измерение цветовых ощущений. Цветовые координатные системы.**

Исходя из определения цвета как ощущения, его измерения должны быть измерениями именно цветовых ощущений человека. Любые методы, не основанные на таких измерениях, — бессмысленны. Однако все люди воспринимают цвет немного по-разному. Что же, собственно, измерять?

В начале 30-х годов прошлого века Международная Комиссия по освещению (CIE — Communication Internationale de l'Eclairage) предприняла в этой связи масштабную акцию, профинансированную компаниями — производителями красок. Фирмы были заинтересованы в том, чтобы выработать стандарты, позволяющие добиться удобства и оперативности в работе, а также повысить качество своей продукции.

Для измерения цветовых ощущений был проведен эксперимент, упрощенное описание которого мы приводим ниже.

Комиссия CIE ввела в обиход понятие "стандартный наблюдатель" (standard observer): окончательные данные измерений были получены за счет усреднения результатов эксперимента, проведенного в строго определенных условиях с большим числом наблюдателей. Поэтому результаты эти не дают точного представления о свойствах цветового зрения каждого конкретного человека, а относятся к т.н. *среднему стандартному колориметрическому наблюдателю*.

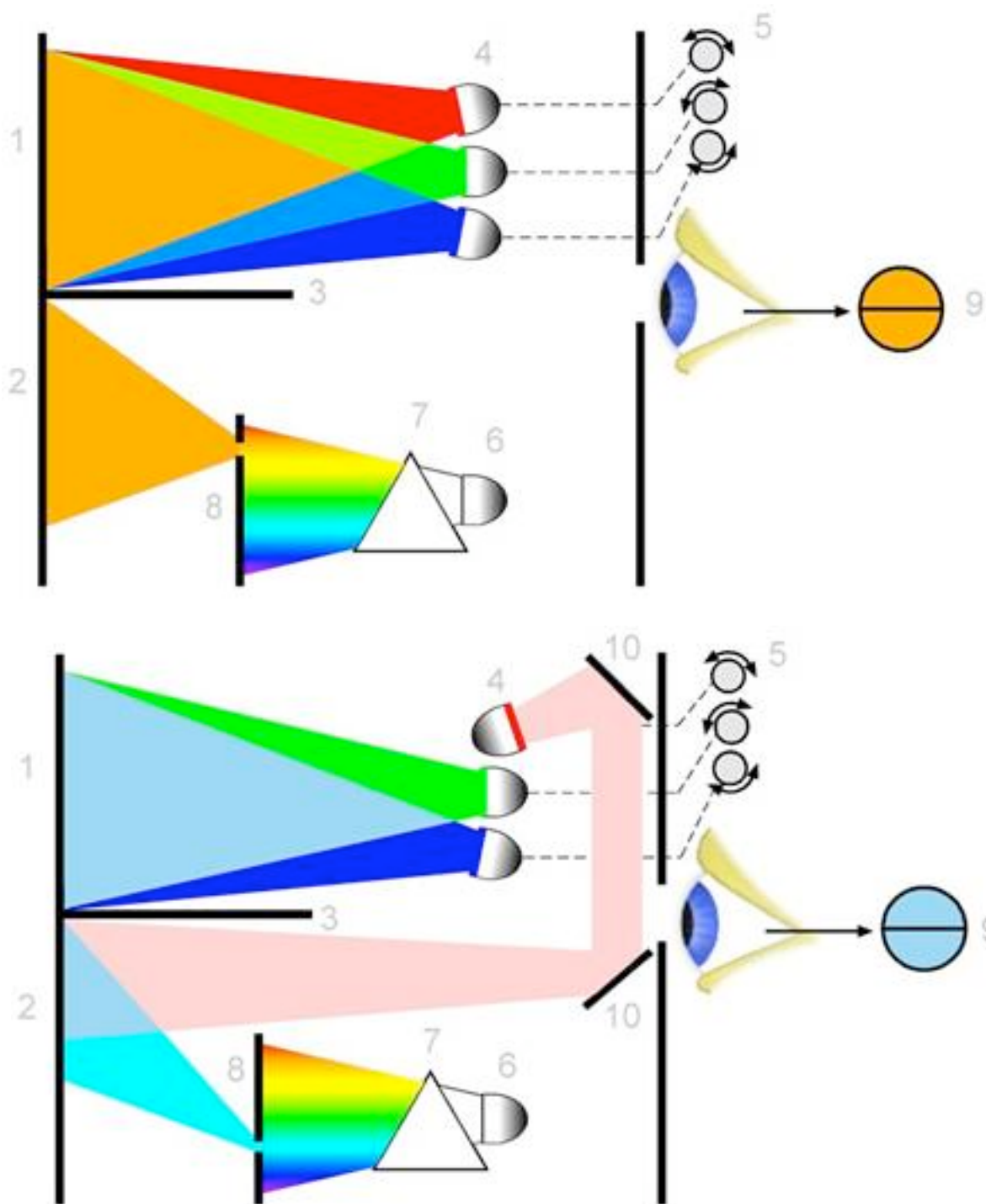
На экран проецировались два световых пятна в непосредственной близости друг от друга. Первое пятно получали путем пропускания белого света через стеклянную призму. В результате белый свет раскладывался на спектральные составляющие. Большую часть из них закрывала непрозрачная шторка, и только интересующая исследователей часть спектра оставалась видимой на экране. Таким образом, первое пятно представляло собой *спектрально-чистый цвет*.

Второе пятно создавалось тремя потоками белого света, идущими через т.н. зональные фильтры — фильтры, пропускающие свет только в определенных зонах видимого спектра. В эксперименте CIE были использованы фильтры, пропускающие свет на участках с длинами волн: 700,0 Нм (красный), 546,1 Нм (зеленый) и 435,8 Нм (синий). Таким образом, второе пятно образовывалось за счет смешивания трех лучей: красного, зеленого и синего. В эксперименте данные три цвета носили название *основных цветов*.

Перед наблюдателем ставилась задача: вращая ручки регуляторов яркости трех основных цветов, добиться визуального совпадения цвета образованного ими пятна с цветом спектрально-чистого пятна.

Когда наблюдатель говорил, что добился максимального цветового совпадения пятен, лаборант фиксировал в журнале значения позиций трех регуляторов.

Сумма яркостей трех основных цветов, совпадающая с белым цветом, была принята за единицу. Для каждого измеряемого цвета в журнал заносились не абсолютные значения позиций регуляторов, а доля яркости каждого компонента по отношению к его доле в образовании белого.



В процессе исследования выяснилось, что большую часть чистых спектральных цветов не удастся воспроизвести описанным способом. Но перед исследователями и не стояла задача именно воспроизведения спектрально-чистых цветов при помощи трех лучей. Стояла задача *измерения* цветовых ощущений, то есть необходимо было найти для каждого видимого спектрально-чистого цвета уникальное числовое значение, точнее — уникальную комбинацию *трех* числовых значений.

Поэтому исследователи могли позволить себе небольшую хитрость: в случае, когда уравнивать спектрально-чистый цвет не удавалось, к нему добавляли некоторое количество основного цвета (чаще красного), перенаправляя луч со смешанного пятна на спектрально-чистое пятно. Спектрально-чистый цвет "загрязнялся", но это уже позволяло уравнивать цветовые ощущения от обоих пятен, и для "непокорного" спектрально-чистого цвета удавалось найти определенную комбинацию числовых значений. Правда, в данном случае

она содержала отрицательные величины, которые возникали из-за того, что один (иногда два) основных цвета "вычитались" из общей смеси и добавлялись к спектрально-чистому цвету.

Таким образом, при усреднении результатов экспериментов с большим числом наблюдателей, были *измерены* цветовые ощущения, вызываемые спектрально-чистыми цветами, расположенными на всем протяжении видимого спектра: от фиолетового до красного.

Особый акцент сделаем на том, что данный эксперимент не является измерением спектральной чувствительности клеток сетчатки глаза, как многие думают, а является косвенным измерением цветовых ощущений человека, возникающих от спектрально-чистых цветов различной длины волны. Напомним, что при исследовании цветовых ощущений прямые измерения, то есть измерения в коре головного мозга человека, невозможны по сей день.

**В экспериментах CIE были получены числовые значения, соответствующие определенным цветовым ощущениям, т.е. цветовые ощущения были измерены.**

Коль скоро каждому цветовому ощущению от монохроматического излучения определенной длины волны соответствуют три строго определенных числа, то не составит труда разместить эти числа в трехмерной системе координат. Такая трехмерная система координат будет представлять собой *физиологическую цветовую координатную систему* — ФЦКС, или, сокращенно, — ЦКС.

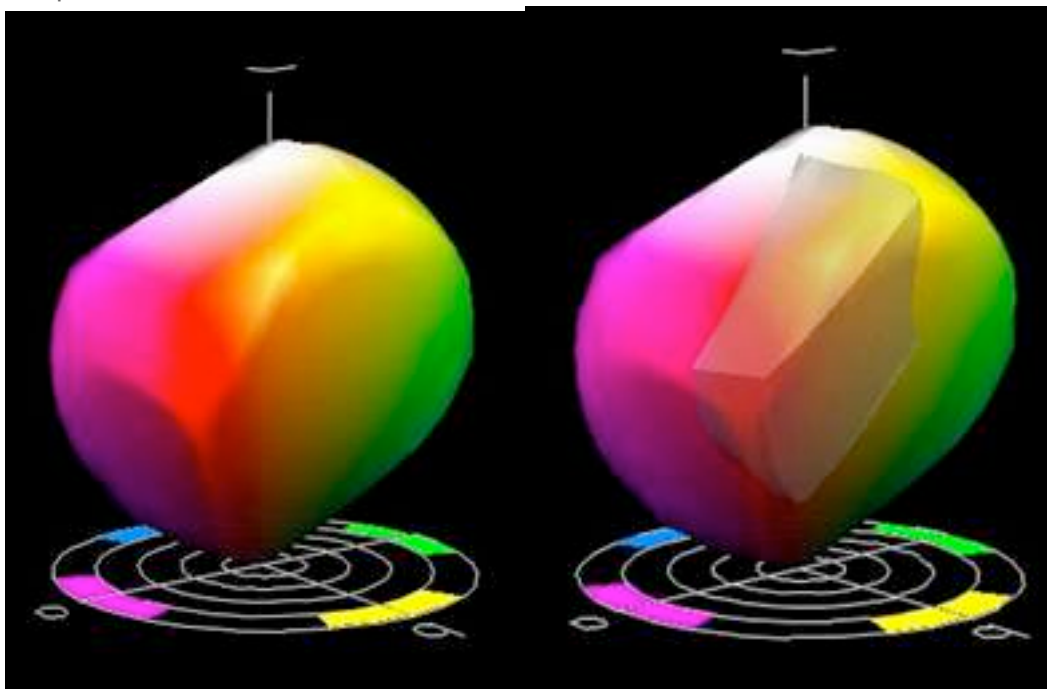
**Измерение цветовых ощущений человека является конечным результатом эксперимента CIE и положено в основу всей современной колориметрии - науки о цветовых измерениях. Физиологическая цветовая координатная система, полученная в результате экспериментов CIE, носит название "CIE RGB".**

Цветовых координат физически не существует, но тем не менее они математически реальны: если провести аналогичные измерения с достаточно большим числом наблюдателей, мы получим те же результаты.

**Найти цветовые координаты — это значит найти численное выражение цветового ощущения, то есть измерить цвет.**

Напомним, что в эксперименте CIE существенную часть чистых спектральных цветов уравнивать не удалось (исследователи были вынуждены прибегнуть к сознательному "загрязнению" чистых цветов основными цветами), в результате чего в цветовой координатной системе CIE RGB некоторые цвета имеют отрицательные координаты. Последнее создает большие неудобства при математических расчетах. Поэтому, вскоре после возникновения CIE RGB, была предложена другая цветовая координатная система, полученная принудительным математическим пересчетом из исходной CIE RGB. Эта система получила название CIE XYZ (по трем координатным осям — XYZ). ЦКС CIE XYZ не имеет отрицательных значений и обладает рядом положительных свойств, упрощающих вычисления. Имея значения цветовых координат для спектрально-чистых цветов, можно вычислить цветовые координаты и для цветовых ощущений, вызываемых светом сложного спектрального состава. Эти вычисления основаны на экспериментально установленном законе смешения цветов, согласно которому **цветовые координаты (ЦК) цвета смеси равны суммам соответствующих координат смешиваемых цветов**. Цвет сложного излучения представляют в виде суммы чистых спектральных цветов, соответствующих его монохроматическим составляющим (с учётом их интенсивности). Затем для каждой такой составляющей находят цветовые координаты. Координаты всех спектральных

монохроматических составляющих складываются. Три числа, полученные в результате этого сложения, являются цветовыми координатами исходного сложного света. Здесь приведены так называемые "кривые сложения" и формулы расчета цветовых координат.



Графически цветовые координаты всех цветовых ощущений, которые может испытывать человек, будут представлять собой некую объемную фигуру в пространстве данной ЦКС. Эту фигуру можно назвать *пространством цветовых ощущений человека* или *цветовым пространством человека*.

Кошки, птицы и все другие животные, обладающие цветовыми ощущениями, безусловно, имеют свое цветовое пространство, но мы ничего о нем не знаем, т.к. исследования, подобного описанному в данной главе, с ними никто не проводил.

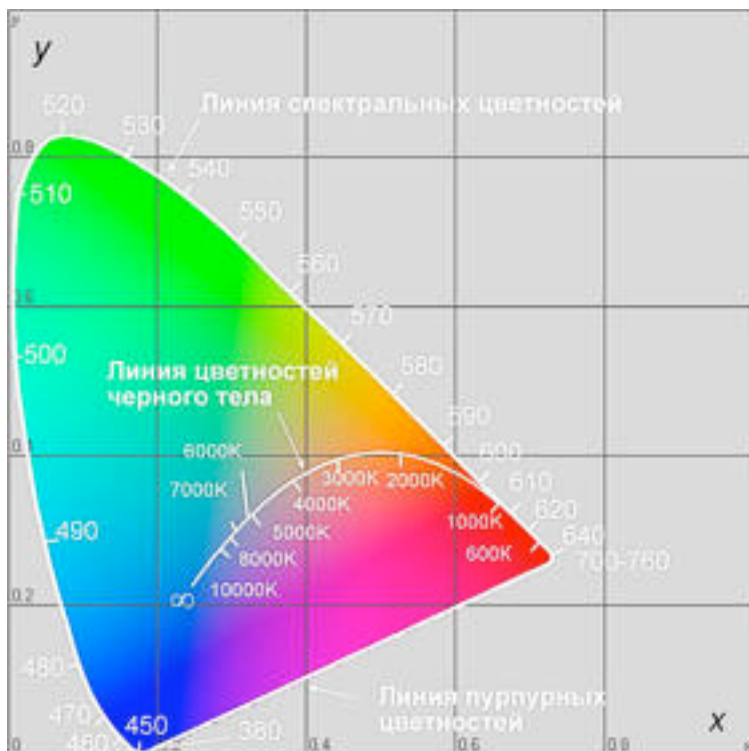
Цветовое пространство человека не заполняет собою весь объем той или иной координатной системы. Об этом следует помнить.

В этом месте было бы методологически верно поместить иллюстрацию, объемно демонстрирующую цветовое пространство человека в ЦКС XYZ, но у нас нет такой технической возможности. Однако, благодаря программе ProfileMaker 4, есть возможность показать цветовое пространство человека в ЦКС  $L^*a^*b^*$ , о которой мы будем говорить ниже. В отношении цветовоспроизводящих аппаратов, заметим, что нельзя говорить о цветовом пространстве сканера, принтера или офсетного печатного станка: они не испытывают ощущений, а могут только регистрировать или воспроизводить различные спектры, вызывающие цветовые ощущения в определенной ограниченной части цветового пространства человека. Эта часть цветового пространства человека называется *цветовым охватом данного аппарата*.

Когда возникает необходимость продемонстрировать цветовой охват того или иного устройства (показывается всегда в сравнении с цветовым охватом человеческого зрения), прибегают к еще одной координатной системе —  $xyY$ . ЦКС  $xyY$  получена из ЦКС XYZ путем простого математического пересчета:

$$x = X/(X+Y+Z); y = Y/(X+Y+Z); Y = Y$$

Оси "x" и "y" — это оси цветности, а ось "Y" — ось светлоты. На диаграммах принято изображать не сам охват, а его *проекцию* на плоскость "xy". Так удобнее, поскольку, с



одной стороны, создание пространственных диаграмм — довольно хлопотное дело, с другой стороны - восприятие пространственной иллюстрации также затруднено. (Однако такое упрощение иногда приводит к ошибкам, о чем мы скажем в дальнейшем.)

Системы XYZ и  $xuY$  получили широкое распространение. К сожалению, они не отражают цветоразличительных свойств зрения, т.е. одинаковые расстояния в ЦКС CIE XYZ и на графике цветностей  $xuY$  в различных его частях не соответствуют одинаковому зрительному различию между соответствующими цветами при одинаковой яркости. Из-за этого мы вынуждены

говорить о неравномерности (нелинейности) цветовых координатных систем.

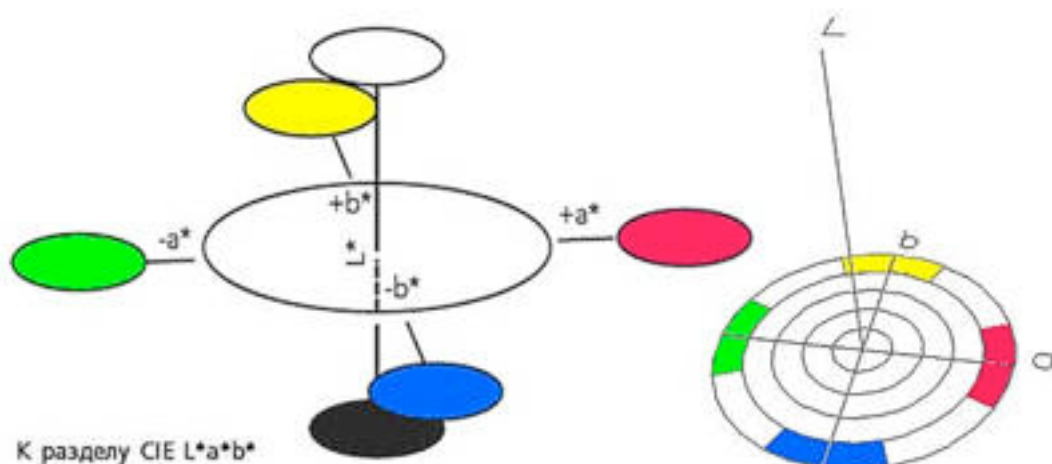
Цветоразличительные свойства зрения минимальны на периферии цветового охвата человека (в зоне насыщенных цветов) и максимальны в области нулевых цветностей (серых тонов).

Понятно и оправданно стремление ученых создать зрительно однородное цветовое пространство, однако полностью решить эту задачу не удастся. Наибольшее распространение получила ЦКС CIE  $L^*a^*b^*$ , рассчитываемая из CIE XYZ по сложным эмпирическим формулам, которыми мы не стали усложнять данный текст. Просим читателя лишь всегда помнить о том, что ЦКС  $L^*a^*b^*$  получена путем пересчета из ЦКС XYZ, то есть является, в конечном итоге, производной CIE RGB.

Хорошо сбалансированная структура ЦКС  $L^*a^*b^*$  основана на той теории, что цвет не может быть одновременно зеленым и красным или желтым и синим. Следовательно, для описания атрибутов "красный/зеленый" и "желтый/синий" можно воспользоваться одними и теми же осями. В ЦКС CIE  $L^*a^*b^*$ , величина  $L^*$  обозначает светлоту (Luminance, Light),  $a^*$  - величину красной/зеленой составляющей,  $b^*$  - величину желтой/синей составляющей. "Звездочки" означают разработку системы специалистами CIE, поскольку существует ряд малоиспользуемых Lab-ов, отличающихся от CIE  $L^*a^*b^*$  по масштабу. ЦКС CIE  $L^*a^*b^*$  наиболее широко применяется для всех математических расчетов, производимых компьютерами при работе с цветом. Кроме того, при цветокоррекции цифровых изображений кривые  $L^*a^*b^*$  дают пользователю комплект возможностей, дополняющих традиционный инструментарий растровых редакторов.

Но даже и в ЦКС  $L^*a^*b^*$  неравномерность восприятия при переходе от серого (центральная ось) к насыщенным цветам (периферия) достигает 6 крат. Т.е. в насыщенных цветах изменение цветности на 5 единиц будет практически незаметным, а в цветах, близких к серым, изменение на одну единицу будет бросаться в глаза. В описании эксперимента CIE было сказано: "За единицу принимается количество основных цветов, уравнивающее белый цвет". Из этого следует, что как сама цветовая координатная система CIE RGB, так и все ее множественные математические производные будут зависеть от выбора т.н. "опорного белого цвета".



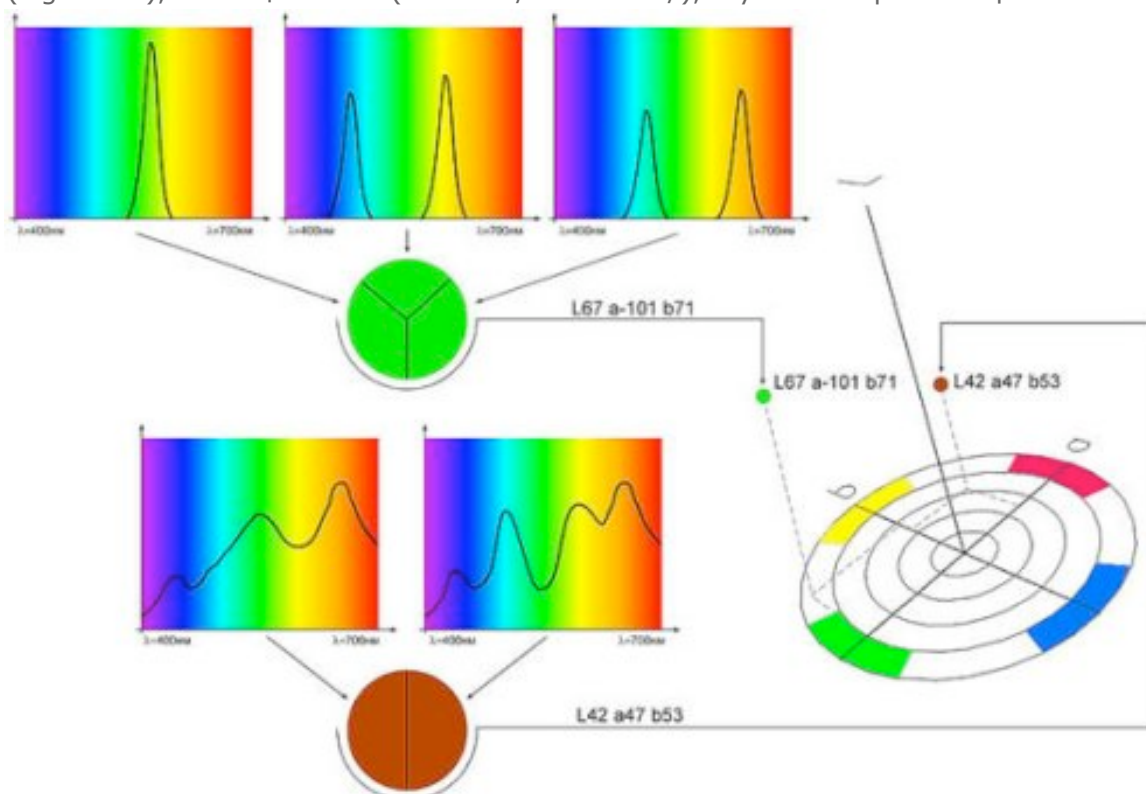


Действительно, как мы уже говорили, цветовые ощущения, возникающие у нас, зависят не только от свойств поверхности, но и от спектрального состава света, освещающего эту поверхность ("серые" стены на закате).

Становится очевидной необходимость стандартизации цветовых координатных систем в зависимости от спектрального состава опорного белого света. CIE приняла несколько стандартов источников белого света. Два из них положены в основу работы цветовоспроизводящих компьютерных систем: стандарты D50 и D65. Цифры 50 и 65 указывают на цветовую температуру источников белого света, соответственно, 5000°K и 6500°K.

Помимо L\*a\*b\* D50 и L\*a\*b\* D65 существуют: L\*a\*b\* D55, L\*a\*b\* D75, Hunter-Lab (названа по фамилии разработчика). Эти ЦКС используются редко.

Еще одна из широко употребляемых ЦКС — это CIE LCH (LSh), в конечном итоге, также являющаяся производной ЦКС XYZ. В отличие от предыдущих прямоугольных координатных систем здесь используются цилиндрические координаты: Светлота (Lightness), Насыщенность (Chroma /Saturation/), и угол поворота — Цветовой тон (Hue).





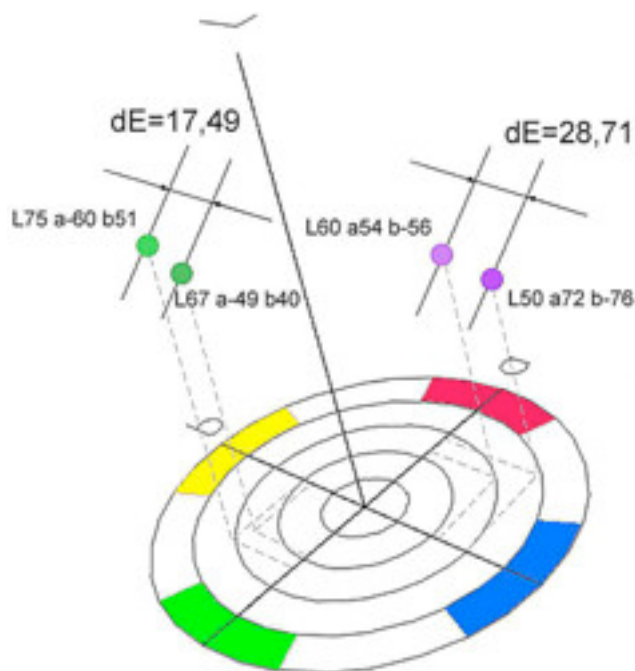
По оси светлоты (Lightness), так же, как и в  $L^*a^*b^*$ , значения меняются от 0 до 100. К плоскости цветности относятся насыщенность и цветовой тон (угол поворота). Насыщенность — это линейная координата, показывающая степень удаления точки от оси светлоты. Меняется в диапазоне значений от 0 до 100. Чем ближе к 100, тем насыщеннее цвет. Цветовой тон — угловая координата. Меняется в диапазоне от  $-180$  до  $+180$ . Многие программы одновременно поддерживают как указанные значения, так и значения, меняющиеся от 0 до 360.

По [этой ссылке](#) содержатся те-же формулы, но в большем разнообразии и в записи, понятной программистам.

Если исследовать множество сложных спектров (то есть сложных смесевых цветов), обнаружится, что *разные* спектры иногда вызывают *одно и то же* цветовое ощущение. Этот же вывод следует из анализа формул расчета цветовых координат для сложного света: зная спектральный состав света, можно рассчитать его цветовые координаты, но обратное вычисление невозможно: по цветовым координатам нельзя однозначно определить спектральный состав света, вызвавший цветовое ощущение с этими координатами. Это замечательное свойство цветовосприятия человека позволяет нам добиваться одного и того же цветового ощущения (скажем, при репродуцировании оригиналов), не утруждая себя долгим и трудным подбором света идентичного спектрального состава. Воспроизводя нужный нам цвет, мы подбираем лишь спектр с нужными цветовыми координатами и тем самым добиваемся нужного ощущения.

**Можно добиваться совпадения цветовых ощущений, не добиваясь при этом идентичности спектров. Равенство цветовых координат означает равенство цветовых ощущений.**

Выше мы повторили рисунок, данный в предыдущей главе, но добавили к нему цветовую координатную систему  $L^*a^*b^*$  с точками, координаты которых соответствуют свету данного спектрального состава.



В цветовых координатных системах различие цветовых ощущений может быть представлено как расстояние между двумя точками в цветовой координатной системе. Общеупотребительным является определение разницы цвета в ЦКС  $L^*a^*b^*$ . Эта величина называется "дельта E" и характеризует величину несовпадения двух цветов.

**Величина дельта E (dE) является критерием точности цветовоспроизведения, но из-за неравномерности цветовых координатных систем к ней следует относиться с осторожностью.**

Если цветовоспроизводящее устройство устойчиво воссоздает цвета оригинала с dE, не превышающей 1, считается, что это устройство высшего класса. Устройства среднего класса даже при самой тщательной настройке не могут обеспечить dE меньшую 2, что неизбежно проявляется в заметных цветовых отличиях между нейтральными (а также близкими к нейтральным) областями копии и оригинала. В насыщенных цветах dE=2-3 достаточна для адекватного цветовоспроизведения. Желающие получить более полное представление о математической части различных ЦКС могут найти этот материал в Большой Советской Энциклопедии, 3-е изд., 1969-1978 гг., или по адресу: [http://www.realcolor.ru/lib/bse/color\\_measure.shtml](http://www.realcolor.ru/lib/bse/color_measure.shtml). Мы не во всем согласны с авторами статьи в БСЭ, в ней встречаются досадные ошибки, но, по нашему мнению, это наиболее полное и цельное изложение материала на русском языке, посвященное вопросу цветовых измерений.

### **Воспроизведение цветовых ощущений. Цветовые модели RGB, CMY и CMYK**

Как мы уже говорили, человечество очень давно решает проблему воспроизведения цветовых ощущений. Смешивая природные красители, люди интуитивно добивались того, чтобы спектральный состав света, отраженный от изображения, вызывал соответствующее цветовое ощущение. Художники создали целые интуитивные системы, в которых цветовые ощущения вызывались смешением большого числа базовых красок. Со временем ученые выяснили, что подавляющее большинство цветов можно передать, создавая спектр отражения из трех базовых красителей. Это могут быть или красный, зеленый и синий, или голубой, пурпурный и желтый. Вообще говоря, это может быть любая тройка спектрально-чистых цветов, при условии, что каждый из них не может быть представлен в виде суммы каких-либо количеств двух других цветов из тройки. (Однако, как мы видели, в экспериментах CIE далеко не все цвета удалось воспроизвести.) Задача состоит в том, чтобы с помощью базовых спектральных цветов смоделировать некий спектр, который вызовет определенное, необходимое нам, цветовое ощущение. Поэтому при воспроизведении цвета мы говорим о *цветовых моделях*. В практике цветовоспроизведения используются две широко известных модели цветовоспроизведения: RGB и CMY, подробное описание которых не входит в нашу задачу.

В модели RGB используются цвета Red (красный), Green (зеленый), Blue (синий), а в модели CMY — Cyan (голубой), Magenta (пурпурный), Yellow (желтый).

**Необходимо четко различать цветовые модели и цветовые координатные системы: в первом случае речь идет о способе воспроизведения цветовых ощущений, а во втором — об измерении этих ощущений.**

Аппаратов, моделирующих спектры на основе ЦКС XYZ, L\*a\*b\* или LCH, не существует, поскольку для RGB-, CMY-, CMYK-устройств (или устройств, работающих на основе других цветовых моделей) не проводилось масштабных измерений, подобных измерениям CIE. Поэтому эти цветовые модели нельзя назвать физиологическими цветовыми координатными системами.

Нельзя сказать: "Мы перевели изображение из цветовой модели RGB в цветовую модель CIE L\*a\*b\*". В действительности мы определили для значений модели RGB, реализованной в данном конкретном аппарате, цветовые координаты в цветовой координатной системе CIE L\*a\*b\*.

Устройства, работающие по модели RGB, — это, в основном, аппараты, в которых свечение точек вызывается электронной атакой люминофоров (телевизоры, мониторы) или приложением того или иного потенциала к жидким кристаллам, обладающим специфическими свойствами. При этом качество люминофоров и жидких кристаллов невысоко, все они различаются по своим спектральным свойствам и, к тому же, меняют эти свойства с течением времени. Кроме того, результат цветовоспроизведения зависит от работы управляющей электроники и программного обеспечения.

При помощи конкретного аппарата мы можем вызвать только ограниченную часть цветовых ощущений (цветовой охват аппарата) и только приблизительно можем предположить, какой цвет мы увидим. Ни о каких строгих расчетах цветовых координат не может быть и речи.

Еще хуже обстоит дело с реализацией цветовой модели CMY при воспроизведении изображения на бумаге или иной поверхности. В этом случае используется свойство веществ поглощать большую часть компонент спектра, отражая желаемую компоненту с заданной длиной волны. Эти вещества являются пигментами (красителями). Принтеры, печатные станки и другие аппараты, использующие красители, воспроизводят цвет путем переноса красок, в определенном соотношении, на поверхность запечатываемого материала.

В фотографии цвет воспроизводится за счет избирательной активации слоев фотоматериалов экспонирующим устройством, когда краситель в процессе проявления образуется из субкомпонент, заложенных в слои этого материала.

В состав фотоматериалов входят дорогостоящие красители, по качеству сопоставимые с качеством люминофоров и примерно с тем же набором недостатков, к которому добавляется еще и нестабильность химической обработки. Но подобные дорогостоящие красители не могут применяться в массовом полиграфическом производстве, а относительно дешевые офсетные краски совершенно не в состоянии при смешивании воспроизвести цвета, близкие к черному, что не дает возможности полностью реализовать идею модели CMY в печатном производстве.

Поэтому полиграфистами была выработана практическая цветовая модель CMYK, в которой к трем основным компонентам — голубому, пурпурному и желтому — добавлен еще и черный (в полиграфии было принято называть его ключевым цветом — key color — отсюда литера "K"). Низкое качество красителей обуславливает небольшой цветовой охват CMYK, поэтому для увеличения цветового охвата печатающих устройств были созданы другие цветовые модели. В одной из наиболее распространенных моделей к компонентам CMYK добавляются еще Orange и Green. Эта модель получила название Hexachrome.

В цветных струйных принтерах для преодоления свойственных им недостатков, в частности, плохого воспроизведения светлых тонов изображения, могут использоваться цветовые модели, количество базовых красителей в которых доходит до восьми, но наибольшее распространение сегодня получила модель Photoink: Cyan, LightCyan (светло-голубой), Magenta, LightMagenta (светло-пурпурный), Yellow, Black.

За время существования офсетного способа печати по модели CMYK было выработано большое количество всевозможных стандартов и способов инструментальных измерений, но все они замкнуты в рамках данной цветовой модели и данного способа печати. Хороший печатник, имеющий большой опыт работы в офсете, может предвидеть, какое цветовое ощущение мы получим в результате сочетания различных плотностей базовых красителей, а с помощью денситометрического контроля отпечатать весь тираж без значительных цветовых отклонений. Но если перевести его на другую печатную машину, ему понадобится немалое время для привыкания к ее особенностям, так как, несмотря на стандартизацию, разные печатные машины формируют несколько разное цветовое ощущение при одних и тех же исходных аппаратных данных.

Поясним. Если двум разным высококлассным офсетным печатным машинам дана команда запечатать голубым 35% площади, пурпурным 70%, желтым 95% и черным 5% ( $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$ ), то цвет в результате получится неодинаковым. А если то же задание дать принтеру, флексографской печатной машине или даже офсетному станку не самого высокого класса, то мы получим принципиально разные цветовые ощущения. Кроме того, большое значение имеет поверхность, на которой производится печать: результаты цветовоспроизведения на различных материалах могут кардинально различаться. Поэтому, когда в файле мы видим данные:  $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$ , мы не можем сказать, какому цвету они соответствуют. Для того чтобы узнать это, нам необходимо знать, какой аппарат будет выполнять печать.

Если это будет офсетный печатный станок, работающий по Евростандарту или другому общепринятому стандарту печати, то в специальных таблицах мы можем увидеть этот цвет и узнать его цветовые координаты (но только приблизительно, без учета бумаги).

Если это будет принтер, флексографская машина или другое нестандартизированное устройство, то, основываясь на *опыте* работы с этими аппаратами, мы можем представить себе, каким будет цветовое ощущение, но его цветовые координаты останутся неизвестны. Общепринятое выражение "цвет со значением  $C35\ M70\ Y95\ K5$ " неверно по определению, поскольку данная комбинация плотностей красок на разных устройствах воспроизводит разные цвета, то есть точки с разными цветовыми координатами в цветовом пространстве человека. Иногда эти точки оказываются близки друг к другу, цвета довольно похожи, но все равно разные.

Сами по себе данные  $C=35$ ;  $M=70$ ;  $Y=95$ ;  $K=5$  мало что говорят нам о цвете. Мы только можем сказать, что в большинстве случаев это будет какой-то красноватый оттенок, но на разных аппаратах он получится по-разному.

Похожую картину мы наблюдаем и с цветовой моделью RGB. В системе RGB, конечно, существует идеальная модель, для которой мы можем рассчитать цветовые координаты, но какой цвет мы увидим на конкретном, далеком от идеала аппарате, мы не знаем. К примеру, на разных мониторах значения в файле  $R=145$ ,  $G=100$ ,  $B=50$  вызовут разные цветовые ощущения, и понятно только то, что это будет красноватый оттенок.

### **Данные RGB и CMYK являются аппаратными данными, мало что говорящими о цветовых ощущениях без привязки к конкретному аппарату.**

Чтобы добиться совпадения цветов, полученных на разных аппаратах и с помощью разных цветовых моделей, у нас есть только один количественный способ — добиться равенства их цветовых координат. Но определение цветовых координат из аппаратных данных RGB и CMYK невозможно без учета особенностей данного конкретного устройства. В устройствах оцифровки изображений (цветорегистрирующих устройствах) — сканерах и цифровых фотокамерах — приемники, чувствительные к различным участкам спектра, фиксируют интенсивность излучения на этих участках. Цветовая модель будет определяться цветными фильтрами или цветными источниками света, применяемыми в конкретных аппаратах. Для сканеров это чаще всего RGB, а для цифровых фотокамер (ЦФК) — модели RGBG, CMYG (или другие). Только в последнее время появились матрицы, работающие по обычной RGB-цветовой модели.

Как и цветовоспроизводящие устройства, устройства оцифровки далеки от совершенства. Данные, полученные с помощью сканеров и ЦФК, не дают возможности вычислить цветовые координаты точек исходного изображения, т.е. они тоже являются не данными о цвете, как многие думают, а массивом *аппаратных данных*.

### **Определение цветовых координат для аппаратных данных конкретных цветовоспроизводящих устройств. Профайл устройства.**

Под цветовоспроизводящим устройством понимается не только сам аппарат, но и весь комплекс факторов, которые могут повлиять на цветовоспроизведение.

Для монитора (помимо яркости, контраста и цветности фосфоров) - это цветовая температура белой точки, другие параметры настройки управляющей электроники, видеокарта и ее программное обеспечение.

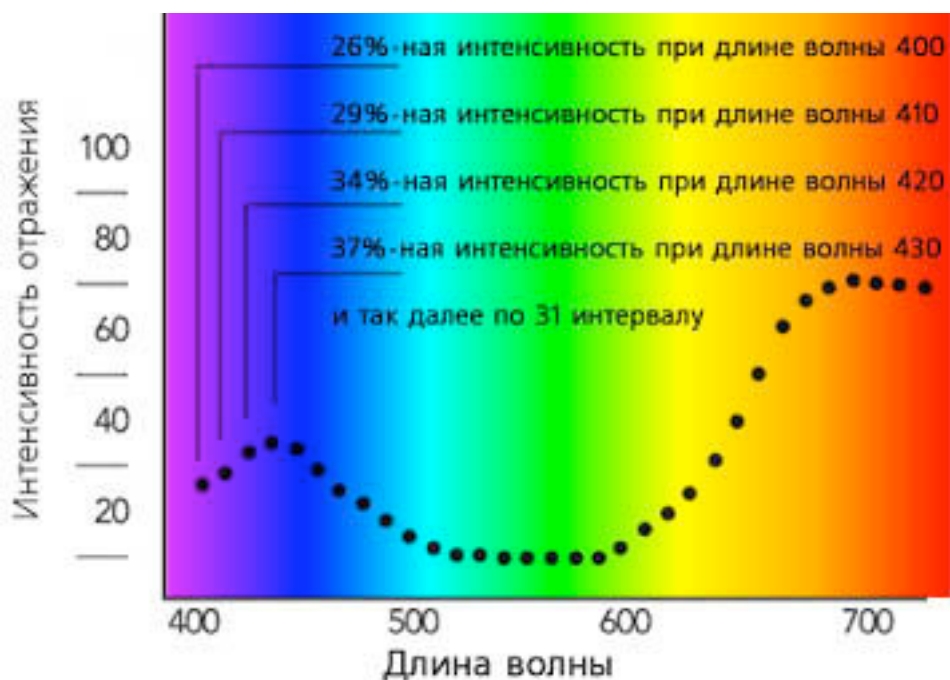
Для принтера — это свойства запечатываемого материала, свойства красок, система программного управления (драйвер принтера или самостоятельный RIP).

Для офсетного печатного станка — это еще и аппараты и программное обеспечение для получения печатных форм. И так далее.

Под устройством оцифровки изображений понимается также вся совокупность факторов: оптическая система, цветорегистрирующие свойства ПЗС-линейки или ПЗС-матрицы, программное обеспечение и т.д. Со сканерами больших проблем не возникает: это достаточно стабильные устройства, у которых мало переменных параметров. Но с цифровыми фотоаппаратами дело обстоит гораздо хуже: освещение фотографируемой сцены также является параметром данного цветорегистрирующего устройства.

Поскольку математически учесть все факторы, влияющие на цветовоспроизведение, невозможно, поступают так: спектрофотометром промеряют некоторое количество разноцветных патчей (цветных прямоугольников), получившихся при воспроизведении различных стандартных аппаратных данных: RGB-данных для мониторов и CMYK-данных для печатающих устройств.

Спектрофотометр замеряет т.н. *спектральные данные*, то есть количество световой энергии, отраженной от патча (в случае монитора — излучаемой), сразу во многих интервалах, расположенных вдоль всего видимого спектра. В результате получается сложный набор данных — серия величин, которые визуальнo интерпретируются в виде кривой спектрального распределения.



По спектральным данным *программное обеспечение* спектрофотометра вычисляет *цветовые координаты* конкретного патча, которые соответствуют конкретному соотношению RGB- (CMYK-) аппаратных данных. Что нам и требуется. Информация фиксируется в специальном файле текстового формата.

Текстовый файл, содержащий в себе информацию о цветовых координатах промеренных патчей, называется "файл цветового соответствия" (color reference file) для данного аппарата.

Для устройств печати используют стандартный набор патчей, представленный в виде т.н. тест-карты.

При настройке монитора программное обеспечение спектрофотометра последовательно выдает на экран цветные пятна, создаваемые заранее известным соотношением яркостей свечения люминофоров. В отношении устройств оцифровки изображений применяется следующая схема: оцифровывается стандартное изображение (мишень), содержащее цветные патчи с заранее определенными цветовыми координатами. После оцифровки мишени в полученном файле изображения определяется то, какое соотношение аппаратных данных соответствует этим заранее известным цветовым координатам.

Стандартное тестовое изображение, предназначенное для устройств оцифровки, называется Input Target. В настоящее время используется восьмая версия данной мишени — IT-8.

Поскольку набор стандартных патчей для каждого типа устройств ограничен (для сканеров 287 патчей, для мониторов 16-32, для печатающих устройств, как правило, 840), а в задачу устройства входит воспроизведение всех координат цветового пространства человека, прибегают к методу интерполяции. Это значит, что аппаратные данные, которые должны воспроизвести цвет, отличающийся от цветов тест-карты (а таковых подавляющее большинство), математически рассчитываются при помощи специальных программ. Понятно, что чем больше промеров сделано, тем точнее будут данные, полученные интерполяцией.

Специальные программы анализируют файл цветового соответствия (reference), выполняют математический расчет аппаратных данных для воспроизведения промежуточных цветов и снабжают файл дополнительной информацией, необходимой для работы графических редакторов.

Результатом работы является новый файл, имеющий расширение ICM (ICC). Этот файл носит название **профайла** (color profile) данного устройства, а сам процесс спектральных измерений и построения профайла носит название **характеризации** устройства.

Какую же информацию несет в себе полноценный профайл устройства?

Полноценный профайл устройства содержит:

- указание на то, какая цветовая координатная система должна использоваться CMM (Color Management Module) графического редактора при работе с этим профайлом — т.н. Profile Connection Space (PCS);
- цветовые координаты белой точки устройства, и, иногда, чёрной точки;
- цветовые координаты осветителя;
- таблицы (от 2 до 6) преобразования наборов значений плотностей красок (для печатающих устройств) или степени свечения люминофоров (для аддитивных устройств) в ЦКС PCS и обратно;
- таблицы компенсации градационных искажений устройства;
- таблицы предискажений входных данных, служащие для увеличения точности преобразования (чаще всего не используются, то-есть таблица — просто линейная функция);
- ряд других служебных данных.

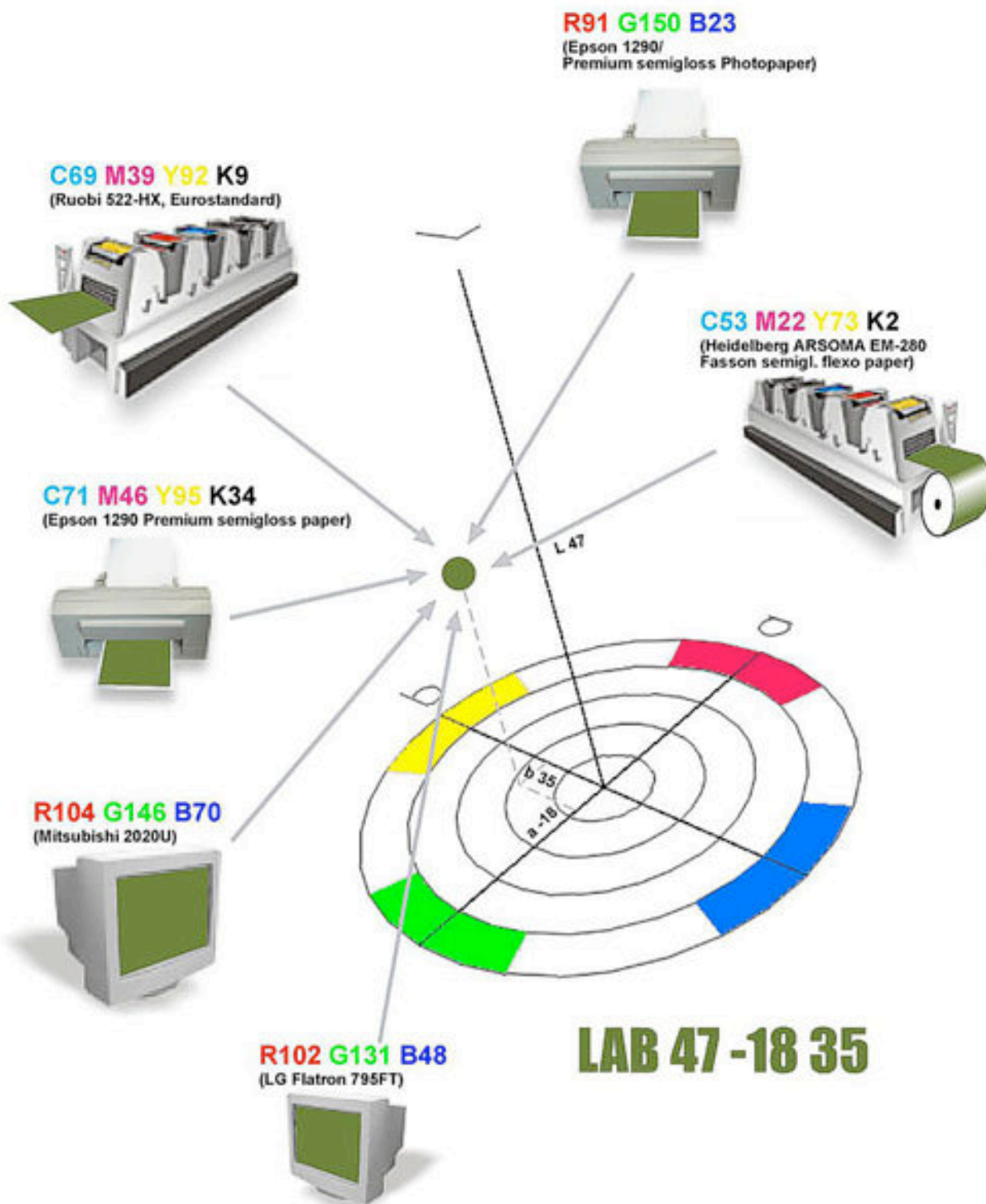
Полную информацию о содержимом того или иного профайла можно получить при помощи программной утилиты "ICC Profile Inspector", бесплатно распространяемой в Интернете сотрудниками [www.color.org](http://www.color.org).

Итак:

**Профайл устройства — это подробное описание цветовоспроизводящих свойств данного устройства, зафиксированное в файле с расширением ICM (ICC).**



Если у нас есть описание цветовоспроизводящих свойств устройства (профайл), то аппаратным данным легко могут быть поставлены в соответствие цветовые координаты (цветовые ощущения). Любому сочетанию значений RGB (CMYK) данного устройства однозначно соответствуют определенные цветовые координаты.



Например, аппаратным данным C= 71; M= 46; Y= 95; K= 34 для принтера Epson 1290, заправленного стандартным картриджем и бумагой Premium Semigloss Photo paper, работающего через РИП Harlequin, соответствует цветовое ощущение с координатами L= 47 ; a= -18; b= 35 (цвет хаки).

Данным R= 91; G= 150; B= 23 для принтера Epson 1290, заправленного стандартным картриджем и бумагой Premium Semigloss Photo paper, работающего через стандартный RGB-драйвер, соответствует то же цветовое ощущение с теми же цветовыми координатами: L= 47 ; a= -18; b= 35.

Данным C= 69; M= 39; Y= 62; K= 9 для офсетного печатного станка RYOBI 522-HX, заправленного мелованной бумагой и евростандартными красками, соответствуют те же координаты L= 47 ; a= -18; b= 35.

Данным C= 53; M= 22; Y=73 ; K= 2 для флексографской печатной машины ARSOMA EM-280, заправленной полуглянцевой бумагой Fasson и красками AkzoNobel, соответствуют те же координаты L= 47 ; a= -18; b= 35.

Данным R= 104; G= 146; B= 70 для монитора Mitsubishi Diamontron 2020U с цветовой температурой белой точки 5500°K, соответствуют те же координаты L= 47 ; a= -18; b= 35.

Данным R= 102; G= 131; B= 48 для монитора LG Flatron 795FT с цветовой температурой белой точки 5500°K, соответствуют те же координаты L= 47 ; a= -18; b= 35.

Несмотря на то, что аппаратные данные совершенно разные, и даже цветовые модели разные, на выходе будет одно и то же цветовое ощущение, один и тот же цвет.

Подчеркнем, что в нашем примере речь идет о конкретных аппаратах с конкретными настройками.

С другой стороны, соответствие цветовых координат аппаратным данным конкретных устройств неоднозначно. Нам зачастую необходимо подменить цвета, которые устройство не в состоянии воспроизвести, поскольку цветовые координаты этих цветов находятся вне цветового охвата устройства. Соответствие цветовых координат компонентам цветовой модели RGB (CMYK) зависит от способа подмены (об этом мы будем говорить в следующей главе).

**Если в файле с цифровым изображением кроме RGB- (CMYK-) данных записан еще и профайл устройства, с помощью которого мы воспроизводили (оцифровывали) изображение, то это означает, что мы уже имеем в файле не просто аппаратные данные, а данные о цвете.**

Основываясь на данных о цвете, модуль-интерпретатор профайлов (CMM) может вычислить аппаратные данные для другого устройства (имея его профайл), а устройство в точности воспроизведет исходные цвета, при условии, что они не выходят за границы его цветового охвата. Рассмотрим вопрос подробнее.

Сначала, с помощью профайла, записанного в файле изображения, для RGB- (CMYK-) данных файла определяются соответствующие цветовые координаты:

**RGB (или CMYK)=>L\*a\*b\***

Потом, уже с помощью профайла воспроизводящего устройства (и в соответствии с выбранной схемой подмены внеохватных цветов), вычисляется соответствие значений RGB (CMYK) для этих цветовых координат.

**L\*a\*b\*=> R`G`B` (или C`M`Y`K`)**

Значок => означает не просто "переход", а "определение с помощью профайла данного конкретного устройства".

Если все цвета изображения лежат внутри цветовых охватов всех этих устройств, мы на всех цветовоспроизводящих устройствах увидим одни и те же цвета, совпадающие с цветом оригинала.

Все эти преобразования будут называться конверсией "profile to profile" (RGB to R`G`B`, или RGB to CMYK, или CMYK to C`M`Y`K`, или CMYK to RGB). По сути, происходит переопределение аппаратных данных, предназначенных для одного устройства, в аппаратные данные другого устройства. Но все эти конверсии проходят только через вычисление цветовых координат в той или иной ЦКС. Выбор конкретной ЦКС определен в профайле как Profile Connection Space (PCS).

Для большинства профайлов PCS — это  $L^*a^*b^*$ , но иногда встречаются профайлы, для которых PCS — это XYZ. К таковым относятся, например, профайлы мониторов, создаваемые утилитой Adobe Gamma.

### **Все расчеты цвета в компьютере производятся только путем определения цветовых координат при помощи профайлов устройств!**

Встречаются случаи, когда аппаратным данным одного устройства поставлены в прямое соответствие данные другого устройства, но это значит только то, что первоначально они все равно были определены через цветовые координаты.

Для цветовых моделей, отличных от RGB и CMYK, профайлы создаются точно так же: определяются цветовые координаты для некоторых сочетаний значений аппаратных данных.

Напомним еще раз важное положение:

**Если изменить хотя бы один из параметров цветовоспроизводящего устройства, например, скорректировать цветовую температуру белой точки монитора, заменить гляцевую бумагу в принтере на матовую или в офсете поменять мелованную бумагу на газетную, — у нас появится совершенно новое устройство. Оно уже по-другому будет воспроизводить аппаратные данные из файла, и следовательно, потребуется новое описание его цветовоспроизводящих свойств, т.е. создание нового профайла.**

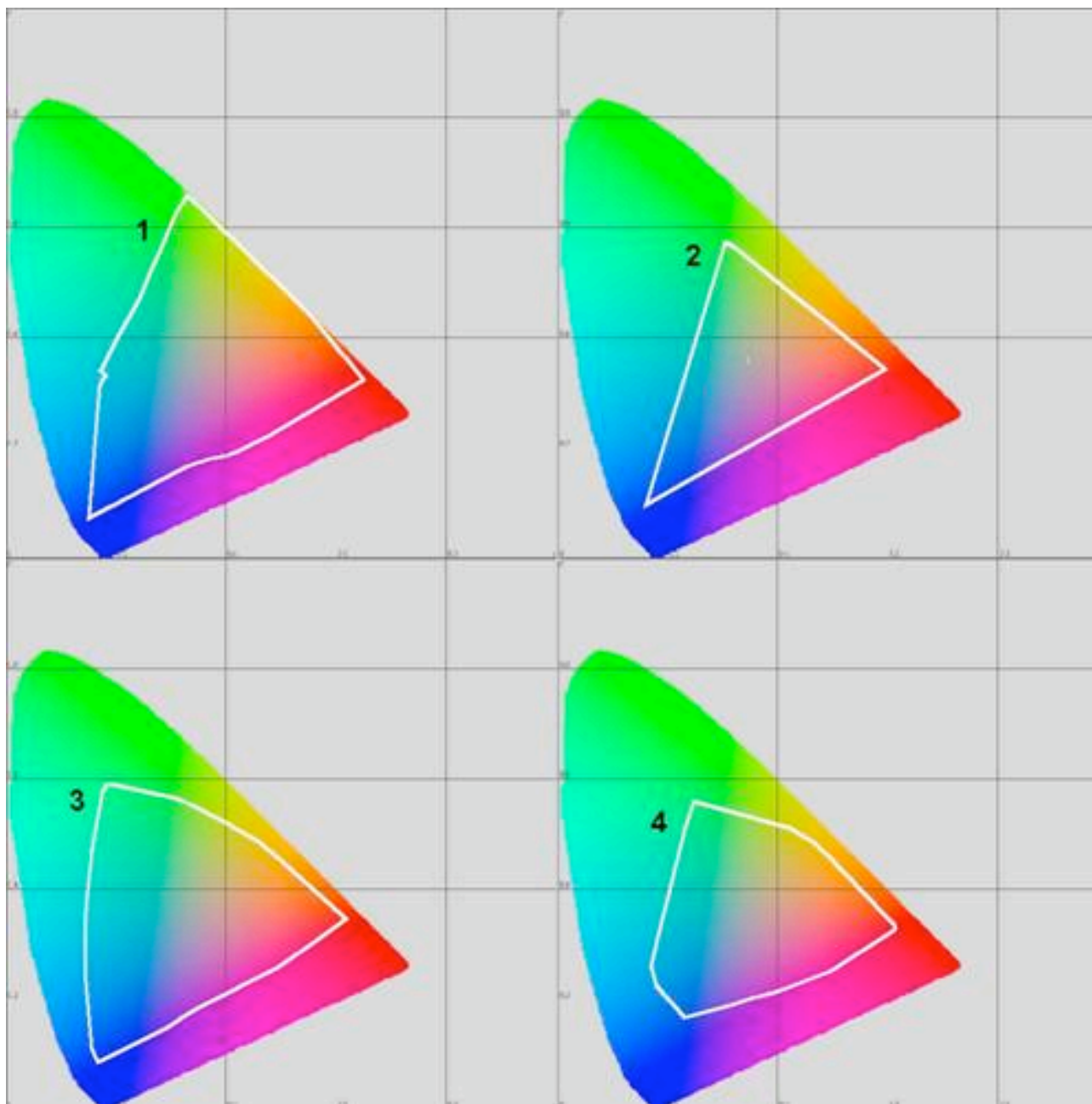
То, что аппарат стоит на том же месте, корпус его того же цвета, затрачены те же деньги на его приобретение и внешне все по-прежнему, ничего не означает, — в нашем распоряжении появилось новое цветовоспроизводящее устройство, требующее построения нового профайла.

## Color Management System (CMS) в логике цветковых координатных систем. Часть 2.

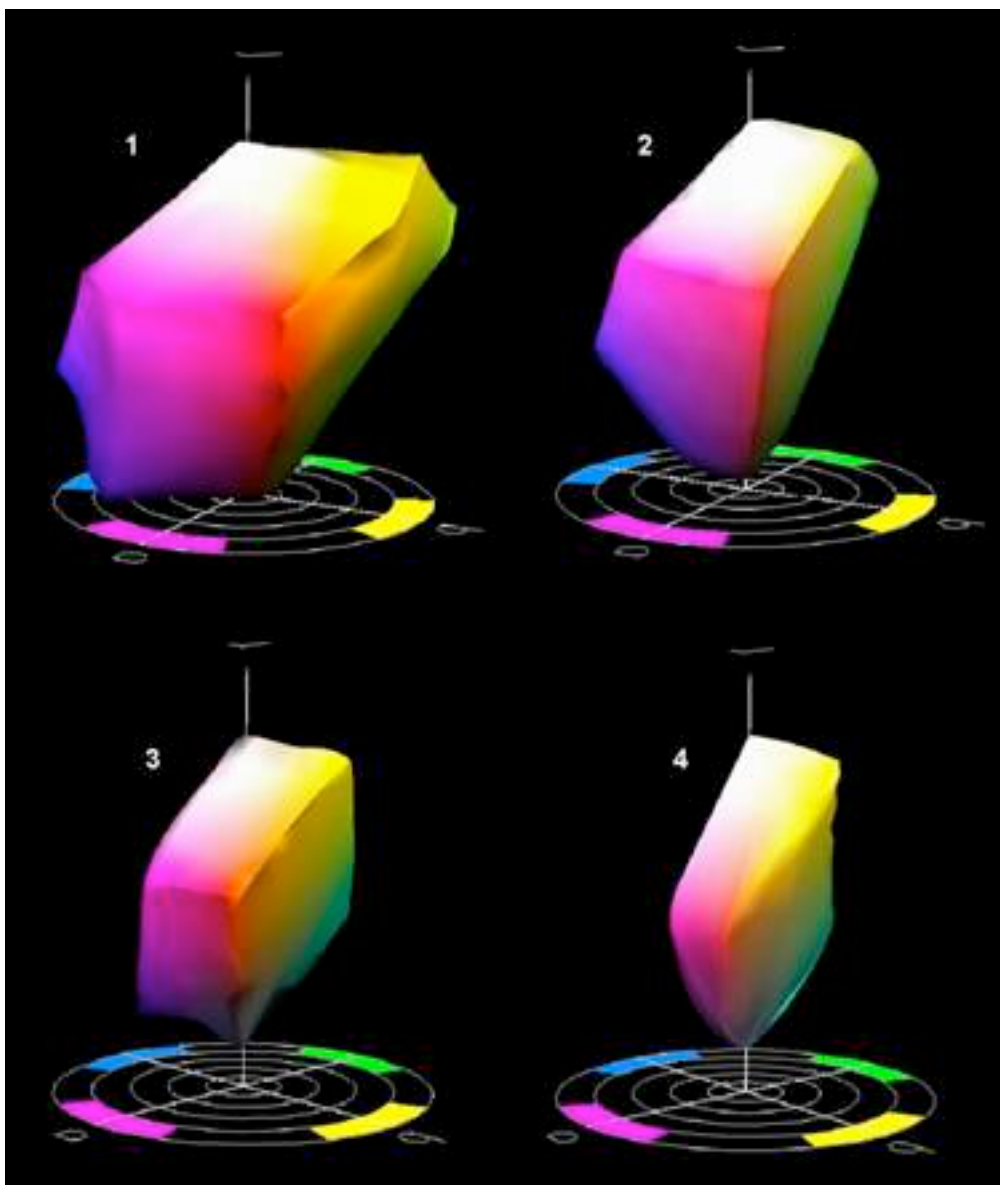
### Цветовой охват устройств. Подмена цветов, лежащих вне цветового охвата цветовоспроизводящего устройства

Ни одно реальное устройство не может воспроизвести в сознании человека все цветковые ощущения, которые он способен испытывать.

Совокупность всех цветковых ощущений, которые может воспроизвести данное устройство, называется цветковым охватом этого устройства (gamut). В цветковой координатной системе цветовой охват того или иного аппарата будет представлять собой некоторое объемное тело внутри цветкового пространства человека.



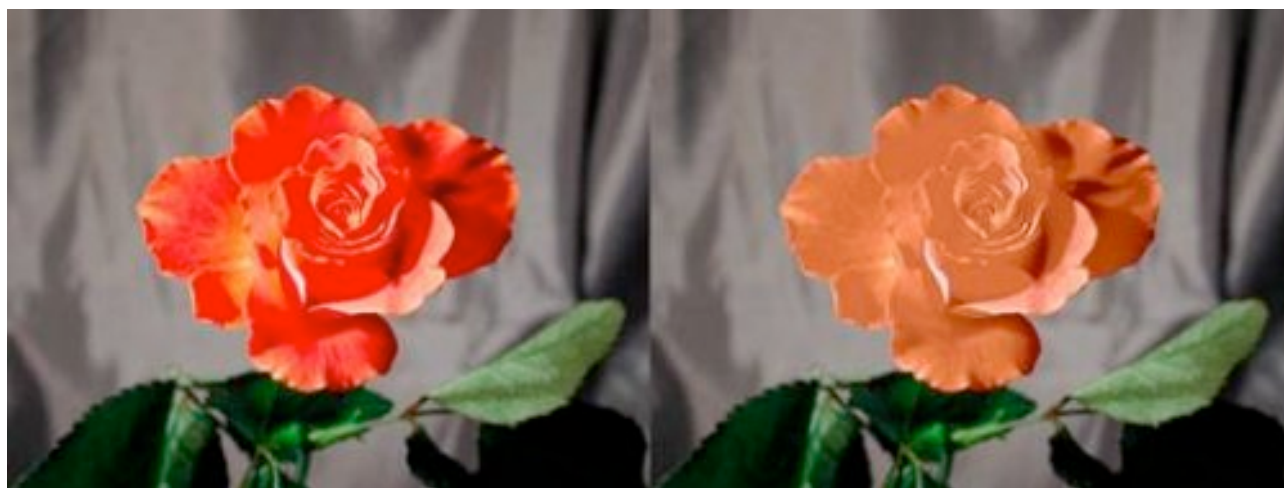
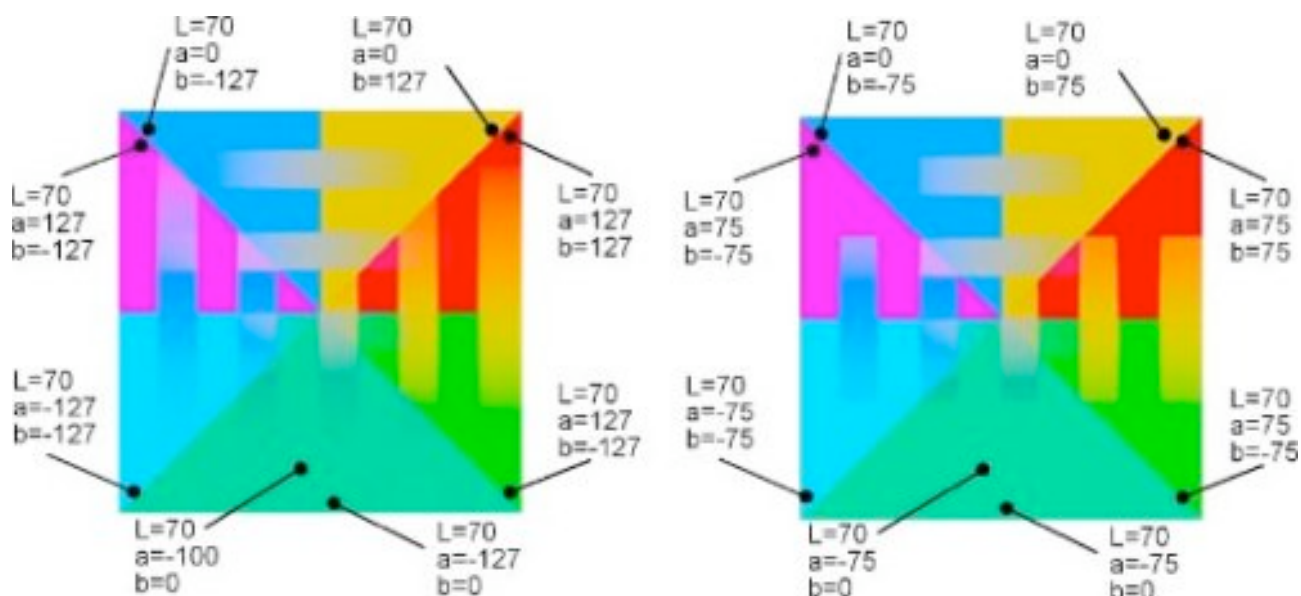
Из сказанного следует, что, говоря о цветовых охватах, мы говорим о цветовых координатах, а не об аппаратных данных. Значения аппаратных данных могут изменяться в рамках цветовой модели (RGB от 0 до 255, CMYK от 0 до 100), но цветовые координаты будут ограничены охватом устройства.



К сожалению, у нас нет возможности показать трехмерное изображение цветовых охватов данных устройств в ЦКС  $xY$ . Мы можем лишь приблизительно представить себе, как будут выглядеть показанные охваты в объеме. Но у нас есть возможность, воспользовавшись программой ProfileMaker 4, показать в объеме эти же охваты в ЦКС  $L^*a^*b^*$ . Фигуры в  $xY$  в целом будут похожими на фигуры  $L^*a^*b^*$ , то есть, они тоже будут вытянутыми вертикально, от черной — нижней точки, до белой — верхней.

Что же делать с цветами, лежащими вне цветового охвата устройства (внегамутными цветами)? Можно, конечно, просто присвоить им ближайшие цвета, лежащие на границе цветового охвата. Но в этом случае мы можем потерять важную информацию, и изображение кардинально изменится.

На рисунке показан результат такого опыта. Слева — исходное изображение. Справа — результирующее. При рассматривании данных рисунков надо учитывать, что монитор не в состоянии показать их правильно — у него слишком маленький цветовой охват. На самом



деле, цветовые потери существенно больше, чем это можно увидеть на экране. Мы потеряли большое количество деталей и, по сути, справа — уже совсем другое изображение.

В файле реального изображения нам, конечно, не встретить цвета с цветовыми координатами  $L=70$ ;  $a=+/-127$ ;  $b=+/-127$ . Не существует устройств оцифровки изображений, способных зарегистрировать цвета с такими ЦК.

Как это может проявиться на реальной фотографии, видно по изображению с розами.

Смириться с такими потерями деталей мы не можем. Раз устройство не может воспроизвести те или иные цвета, надо постараться передать хотя бы соотношения между ними.

**Нам приходится жертвовать точностью воспроизведения цветов, лежащих внутри цветового охвата устройства, для сохранения различий между цветами, не входящими в охват.**

Все богатство цветов оригинала нужно втиснуть (сделать компрессию) в ограниченный цветовой охват конкретного цветовоспроизводящего устройства, то есть в охват назначения (целевой охват). Необходимо сформировать цветовые ощущения, не обязательно совпадающие с оригиналом, но максимально сохраняющие общее впечатление от исходного изображения. В этом случае мы не воссоздаем цветовые



ощущения, а *подменяем* их, ориентируясь на общее впечатление от изображения, игнорируя некоторые цветовые неточности.

Вообще говоря, не происходит компрессии одного охвата в другой. Происходит сжатие цветового пространства человека до размеров охвата воспроизводящего устройства. Схема такова:

$$RGB \Rightarrow L^*a^*b^* \Rightarrow L^*`a^*`b^* \Rightarrow R`G`B`$$

**Этап первый:** из аппаратных данных RGB, по профайлу устройства, указанному в файле, определяют цветовые координаты  $L^*a^*b^*$ .

**Этап второй:** цветовые координаты  $L^*a^*b^*$  изменяют таким образом, чтобы не только данные цветовые координаты, но и все цветовое пространство человека поместилось в цветовой охват устройства назначения. Максимально насыщенные цвета чаще всего заменяют на цвета, лежащие на границе охвата назначения. Большую часть насыщенных цветов заменяют на менее насыщенные. Цвета, лежащие внутри охвата, и при этом достаточно далеко от его границ, не меняют своих цветовых координат. Конкретные цифры зависят от размеров цветового охвата назначения и выбранной методики подмены внегамутных цветов.

**Этап третий:** по профайлу устройства назначения из цветовых координат вычисляются аппаратные данные.

Если теперь еще раз пересчитать данные в файле в цветовые координаты, все точки будут лежать внутри цветового охвата назначения. Таким образом, часть информации безвозвратно утеряна. Из сказанного понятно, что компрессию в охват устройства назначения (целевой охват) нужно стараться производить как можно позже, когда уже окончательно определено целевое устройство, т.е. у нас есть его профайл.

Существует специальная методика подмены внегамутных цветов. Она носит название *Color Rendering Intent (CRI)*. Благодаря CRI можно вызывать похожее цветовое ощущение, но не аутентичное. Методика состоит из четырех возможных вариантов действий.



### 1 вариант. Relative colorimetric

Способ, при котором программа выбирает точку, вызывающую цветовое ощущение, максимально близкое к ощущению, вызываемому внегамутной точкой. Наиболее распространенный способ.

Компрессия цветов по Relative colorimetric в охват флексографской печатной машины Arsoma EM-280, заправленной полуглянцевой бумагой Fasson и красками AkzoNobel. Исходное изображение слева. Результат компрессии — справа.

Хорошо видно, что цвет лепестков, лежащий за пределами охвата назначения, подменен с максимально возможной точностью, но снижена детализация изображения.



## **2 вариант. Perceptual**

Способ, при котором программа выбирает точку, исходя из принципа сохранения тональных соотношений между пикселями изображения. Точностью цветопередачи при данном способе приходится жертвовать. Зрение человека более чувствительно к тональным различиям, нежели к различиям цветовым, поэтому метод Perceptual при большом количестве внегамутных цветов часто оказывается оптимальным.

Компрессия цветов по Perceptual в охват флексографской печатной машины Arsoma EM-280, заправленной полуглянцевой бумагой Fasson и красками AkzoNobel.

Исходное изображение слева. Результат компрессии — справа.

Хорошо видно, что цвет лепестков, лежащий за пределами охвата назначения, сильно искажен, но детали изображения сохранены, и даже подчеркнуты, так как в области менее насыщенных цветов цветоразличительные свойства цветовосприятия выше, чем в области насыщенных.

## **3 вариант. Saturation**

Способ, отдающий предпочтение сохранению насыщенности в ущерб тону и цвету.

Применяется редко (в основном для деловой графики).

## **4 вариант. Absolute colorimetric**

По действию очень похож на Relative colorimetric, но эта схема преобразования отличается тем, что стремится воспроизвести белый цвет устройства с максимальной точностью.

Генераторы профайлов и программные модули-интерпретаторы не всегда корректно реализуют этот способ, поэтому применять его следует с осторожностью.

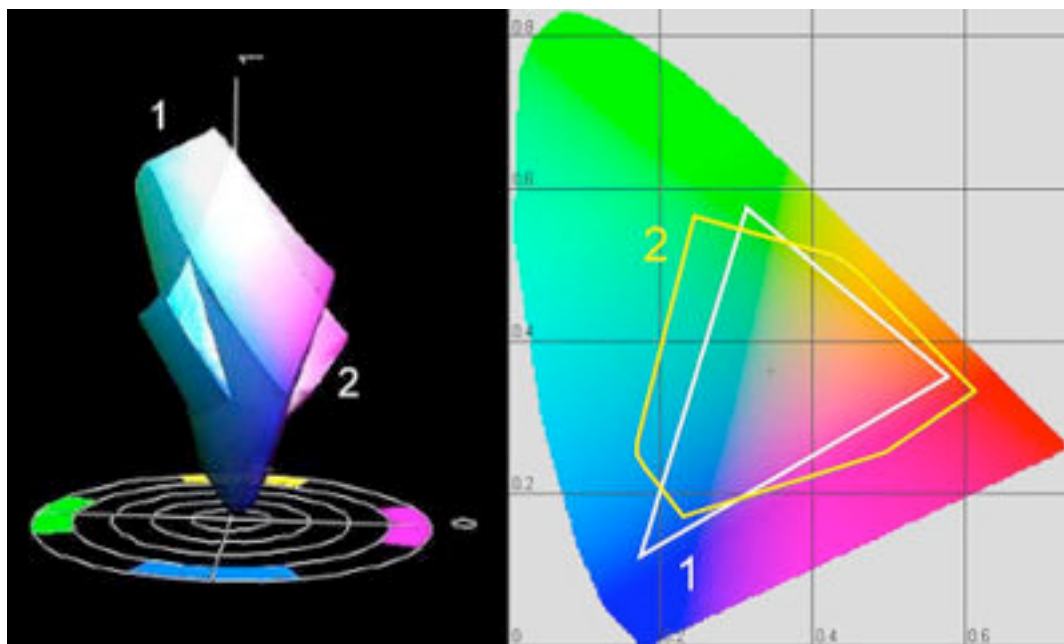
Более подробную информацию о работе Color Rendering Intent можно получить из статьи Дмитрия Табанина ["Render Intent в ICC-профайлах"](#)

Таким образом, при компрессии цветов (цветовых координат) изображения в охват назначения необходимо всякий раз осмысленно выбирать способ подмены внегамутных цветов, помня о том, что чем-то придется жертвовать: либо тональными соотношениями, либо точностью цветовоспроизведения и т.д.

Именно на этапе компрессии цветового охвата возникают несоответствия в воспроизведении цветов, т.к. большинство устройств, с которыми мы работаем, имеют небольшой цветовой охват, и, к тому же, эти охваты не совпадают между собой.

Мы не сможем получить на экране монитора такой голубой цвет, который можем увидеть на офсетном отпечатке, и не получим в СМΥК-офсете такого глубокого синего, который видим на мониторе.

Таких примеров тем больше, чем ниже качество печати или качество монитора. Не следует впадать в отчаяние, когда после всех настроек, всех измерений и всех калибровок не удастся достичь полного цветового совпадения изображения на мониторе и на отпечатке. Это не является пороком систем управления цветовоспроизведением, это является недостатком аппаратов, с которыми мы имеем дело.



Зная, в каких именно цветах можно ждать ошибок, необходимо усилить контроль цвета по цифрам и воспользоваться специальными функциями программ, позволяющими контролировать внегазовые цвета.

Сравнение цветовых охватов устройств является важнейшим этапом в работе с цветом. Чаще всего это сравнение проводят в проекции на плоскость  $xy$  цветовой координатной системы  $xY$ . Но нельзя забывать, что на самом деле мы имеем дело с объемными фигурами. Проекция  $xy$  не показывает, например, взаиморасположение охватов в тенях. Мы считаем, что при сравнении цветовых охватов необходимо рассматривать объемные фигуры охватов в ЦКС  $L^*a^*b^*$ . Такую возможность, напомним, дает программа ProfileMaker 4.

### **Абстрактные цветовоспроизводящие устройства: Adobe RGB, Apple RGB, sRGB, Euroscale, SWOP и другие**

Несовершенство реальных RGB-устройств послужило толчком к созданию профайлов абстрактных, идеализированных RGB-аппаратов. Таких устройств не существует, но существуют их профайлы.

Первыми были приняты стандарты двух абстрактных RGB-устройств: Apple RGB и sRGB. Оба эти устройства представляют собой усредненные мониторы компьютерных платформ MAC и PC. Их охваты очень близки и включают в себя усредненный охват реальных мониторов, существовавших на время принятия стандарта. Серые тона они всегда воспроизводят равным сочетанием значений RGB.

Apple RGB и sRGB используются при подготовке изображений к тиражированию на RGB-устройствах, в большинстве случаев на мониторах, то есть в Интернете или в других компьютерных сетях.

В 1998 году было стандартизировано абстрактное RGB-устройство Adobe RGB (1998). Оно обладает огромным цветовым охватом и так же, как и два предыдущих, воспроизводит серые тона равным сочетанием значений RGB. Этот цветовой охват не только перекрывает любые реальные RGB- и CMYK-устройства, но и выходит за границы теоретически возможного охвата идеального RGB-устройства. Повторим: не существует и никогда не будет существовать реального RGB-устройства с таким охватом, но существует профайл такого устройства.

Adobe RGB очень удобен в работе с цифровыми изображениями: можно неоднократно переходить от цветовой модели RGB к цветовым координатам и обратно, не боясь потерять цвета из-за компрессии в охват устройства (речь идет почти о всех цветах,

которые могут встретиться в реальных изображениях). В Adobe RGB легко контролировать баланс серого.

Полиграфистам можно порекомендовать к использованию абстрактное идеальное устройство Wide Gamut RGB. Название его говорит само за себя — большой охват. Но помимо того, что охват Wide Gamut RGB существенно больше, чем охват CMYK-устройств, границы его равномерно отстоят от границ охвата евроофсета, что минимизирует искажения и потери при компрессии гамута в целевой офсетный охват. Ко всему прочему, цветовая координата точки белого у Wide Gamut RGB достаточно близка к офсетной ( $dE=6.62$ ), чего нельзя сказать об Adobe RGB ( $dE$  около 17). Дело в том, что Wide Gamut RGB определен с тем же осветителем, что и подавляющее большинство профайлов устройств субтрактивного синтеза цвета — а именно D50.

Для цветовой модели CMYK также существуют абстрактные цветовоспроизводящие устройства: это Euroscale Coated, Euroscale Uncoated, SWOP Coated, SWOP Uncoated и другие.

Все эти устройства представляют собой различные спецификации офсетной печати CMYK-красителями: Euroscale Coated, Euroscale Uncoated — спецификации т.н. "европейского" офсета, который используется и в России; SWOP Coated, SWOP Uncoated — спецификации т.н. "американского" офсета, разработанные, правда, в расчете на международное использование.

Устройства эти абстрактны потому, что цвета, полученные на физическом офсетном печатном станке, всегда будут отличаться от стандарта. Реальный станок требует реального профайла. Но когда в CMYK-файл изображения не вписан профайл, вполне уместно будет воспользоваться профайлом какого-либо из абстрактных устройств. Если же дана команда "don't color manage", CMS редактора автоматически присвоит изображению профайл устройства, стоящий по умолчанию.

К сожалению, профайлы абстрактных CMYK-устройств не могут воспроизводить серый цвет за счет равной плотности CMYK-красителей. В противном случае такие профайлы были бы настолько далеки от реальности, что их использование было бы невозможным. Поэтому абстрактное CMYK-устройство не является идеальным, но максимально приближено к реальному. Очень часто CMYK-профайл абстрактного устройства используется в качестве профайла полиграфического цветоделения ("краскоделения"), поскольку далеко не всегда есть возможность получить в распоряжение реальный CMYK-профайл печатного станка. Описанная ситуация характерна для российской офсетной печати.

Кроме перечисленных абстрактных цветовоспроизводящих устройств существуют и другие, используемые в специальных случаях.

### **Механизм работы CMS**

В конце XX века, когда уже повсеместно существовала цифровая обработка изображений, возникла естественная необходимость в систематизации принципов и методов цифрового описания цвета и цветовоспроизведения. В связи с этим в 1993 г. собрался международный консорциум по цвету (International Color Consortium — ICC), который принял стандарты, предназначенные для работы программ и цветовоспроизводящих устройств.

В основу работы ICC были положены результаты исследований, проведенных CIE. Международный консорциум по цвету (ICC) учрежден весьма известными компаниями: Adobe Systems Inc, Agfa-Gevaert N.V., Apple Computer Inc, Eastman Kodak Company, FOGRA (Honorary), Microsoft Corporation, Silicon Graphics Inc, Sun Microsystems Inc, Taligent Inc. Основной целью создания консорциума была разработка общепризнанного цифрового стандарта описания цветовых параметров устройств. В целом задача была решена. В настоящее время в ICC входят практически все фирмы, которые так или иначе связаны с устройствами, предназначенными для работы с цветом: Barco, Canon, Corel, DuPont, Fuji,

Xerox, Hewlett Packard, Intel, NEC, Sony, Pantone, Seiko Epson, X-Rite, Gretag и десятки других.

International Color Consortium имеет свой WEB сервер ([www.color.org](http://www.color.org)), на котором любой желающий может свободно получить полную спецификацию стандартов, разработанных консорциумом, а также другую информацию, например, исходные тексты программ на языке "C", позволяющих "разбирать" профайлы и получать информацию, содержащуюся в них. Стандарты, выработанные ICC, приняты Американским национальным институтом стандартов (American National Standard Institute) — ANSI.

На основе стандартов ICC разработаны т.н. Color Management Systems — *системы управления цветовоспроизведением*. Говорить "системы управления цветом", с нашей точки зрения, неправильно. Управлять цветовыми ощущениями человека и заставить его видеть, к примеру, голубое зеленым можно с помощью медикаментозных средств, но не с помощью компьютера.

Управление цветовоспроизведением основано на трех принципиальных положениях:

- ***любой цвет имеет координату в цветовой координатной системе (ЦКС);***
- ***профайл устройства несет информацию о цветовоспроизводящих свойствах данного устройства;***
- ***визуализация цифровых изображений всегда строится на принципе пересчета аппаратных данных источника (чаще устройства оцифровки) в цифровые координаты, а из них в аппаратные данные того устройства, на котором предполагается окончательная визуализация (тиражирование).***

Наиболее развитой и толковой CMS обладают графические программные продукты Adobe, в частности, растровый редактор Adobe Photoshop последних версий (6, 7). Его систему и будем использовать в качестве примера.

Давайте пройдем весь путь обработки изображения: от оцифровки (или получения готового файла) до окончательной визуализации. Предполагаем, что все устройства были характеризованы и их профайлы записаны в соответствующую папку.

Исходить будем из принципа факсимильности копирования, то есть, стадию возможной цветокоррекции опустим, считая, что перед нами стоит задача воспроизведения цветов физического оригинала "один в один". Нужно только помнить что "факсимильность" ограничена цветовым охватом наших устройств.

### **Этап первый. Получение цифрового изображения.**

После загрузки в растровый редактор готового файла или сканирования по TWAIN 32 прямо в Photoshop, на экране появляется некое изображение, отдаленно напоминающее оригинал. И это вполне понятно: для CMS Photoshop не указан профайл, по которому можно пересчитать RGB-данные в  $L^*a^*b^*$ , то есть, в цвет. Но без профайла не может быть визуализации, поэтому CMS подхватывает тот профайл, который установлен в ней по умолчанию (working space), и следовательно, цветовые координаты уже не могут соответствовать исходным цветовым ощущениям.

### **Этап второй. Экранная (промежуточная) визуализация**

1. В случае, когда мы отсканировали изображение по TWAIN 32, присвоим изображению профайл сканера (Mode\Assign profile).

Экранные цвета радикально меняются, изображение становится очень близким к оригиналу (на рисунке).





2. В случае, когда мы получаем цифровое изображение в виде готового файла с вписанным в него профайлом (к примеру, изображение было сохранено программным обеспечением сканера), при открытии его в растровом редакторе Photoshop 6 (7) в появившемся диалоговом окне дадим команду "Use the Embedded Profile". Суть этой команды и команды Mode\Assign profile сводится к присваиванию изображению профайла, вписанного в файл изображения. В результате определяются цветовые координаты пикселей.

Итак, RGB-значения пикселей изображения пересчитаны по профайлу сканера в ЦКС  $L^*a^*b^*$ , то есть собственно в цвет.

Затем, обращаясь к профайлу монитора, прописанному в CMS операционной системы, Photoshop выясняет, какие сочетания аппаратных данных нашего монитора воссоздадут цветовые ощущения, соответствующие цветовым координатам изображения.

То есть, выполняется конверсия изображения по принципу "profile to profile": scanner profile to monitor profile. Следует понимать, что полного соответствия изображения на мониторе оригиналу мы можем и не увидеть, т.к. весьма вероятно, что изображение содержит цвета, не воспроизводимые монитором.

Описанным выше принципом руководствуется любая CMS любого современного графического редактора.

3. В случае, когда мы получаем цифровое изображение в виде готового файла, но профайл *не вписан* в файл, мы должны присвоить изображению какой-либо профайл. В логике CMS не может существовать изображения с RGB-аппаратными данными без описания устройства, на котором воспроизводилось или оцифровывалось изображение. Но в жизни такая ситуация встречается достаточно часто: графический редактор при открытии файла сообщает, что к изображению не прикреплен профайл. Как быть? В таких случаях необходимо присваивать аппаратным данным какой-нибудь профайл (Assign Profile), чтобы можно было хотя бы приблизительно определить цветовые координаты.



Они, конечно, будут совершенно произвольными, но это даст возможность хоть как-то работать дальше.

В противном случае нам остается дать команду "Cancel". Третьего не дано: даже когда CMS графического редактора отключена, программа все равно присваивает изображению стандартный профайл — в противном случае визуализация и обработка изображения будут невозможны. При выключенной Adobe-CMS RGB-изображению автоматически присваивается профайл усредненного PC-монитора — sRGB.

Если мы дадим команду "don't color manage", программа все равно "приклеит" к изображению профайл — тот, что стоит в ее CMS по умолчанию.

Профайл устройства, который стоит по умолчанию в CMS-Adobe именуется "working space" — *профайл рабочего устройства* (дословный перевод термина недопустим). Читатель уже почувствовал терминологическую неточность словосочетания "working space": устройство не может иметь цветового пространства, поскольку устройство не испытывает ощущений. Но данный термин принят к использованию, и с этим фактом придется мириться.

Итак, изображению, к которому профайл не был прикреплен, мы должны какой-либо профайл присвоить. Если мы присвоим профайл какого-либо реального устройства, то мы, помимо произвольных цветовых координат, сразу получим и все его недостатки: небольшой цветовой охват, неравномерность в воспроизведении серого.

В этом случае файлу с изображением можно присвоить профайл абстрактного устройства: Adobe RGB или Wide Gamut RGB. Охваты этих абстрактных устройств будут никак не меньше, чем охват неизвестного нам источника, а баланс серого будет достигаться равными значениями RGB. Последнее создает дополнительные удобства в работе с изображением.

Если мы увидим, что результат оказался неудовлетворительным (слишком насыщенный цвет, например, «пережаренная» картинка), — можно попробовать присвоить изображению какой-нибудь другой профайл: sRGB, AppleRGB или профайл какого-либо реального устройства.

Теперь, когда изображению присвоен профайл, CMS графического редактора может вычислить цветовые координаты пикселей и по ним найти аппаратные данные для визуализации изображения монитором. Что и происходит.

Тактика работы с CMYK-изображениями абсолютно такая же. В качестве абстрактного CMYK-устройства (если реальный профайл отсутствует) наилучшим выбором в большинстве случаев, на наш взгляд, будет профайл усредненного абстрактного устройства StandartEURO.

### **Этап третий. Тиражирование**

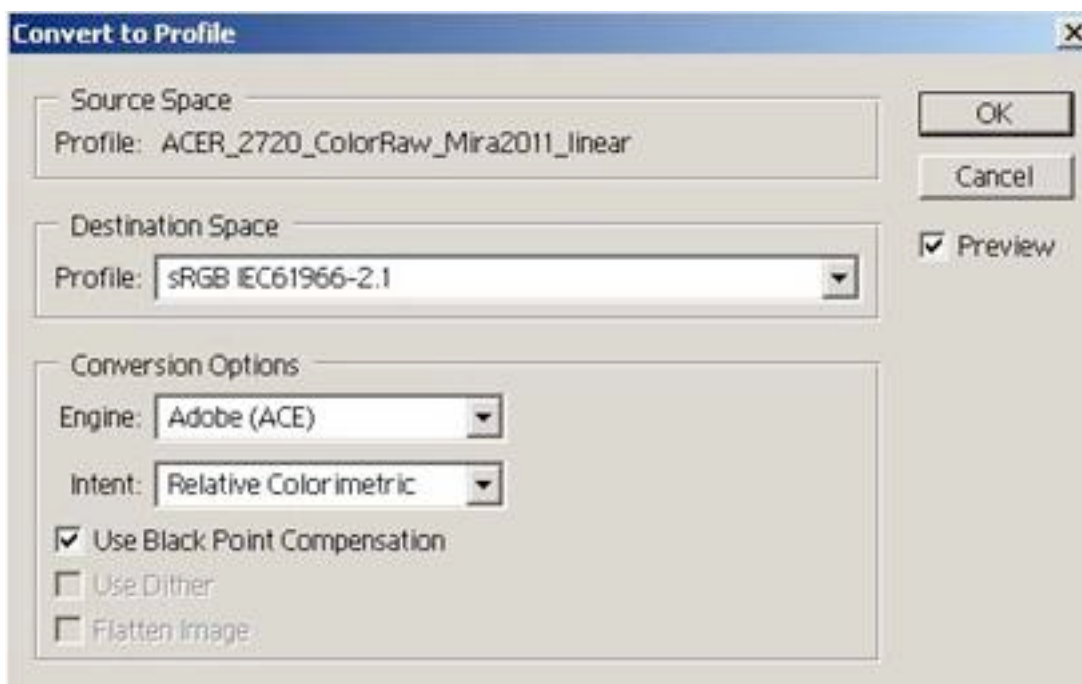
Предположим, что оцифрованное изображение предназначено для тиражирования по сети Интернет. В этом случае охватом назначения, точнее, охватами назначения будут являться цветовые охваты мониторов потенциальных пользователей сети. Понятно, что это будут миллионы профайлов, воспользоваться которыми мы не в состоянии. Более того: у подавляющего большинства пользователей компьютеров мониторы не характеризованы и никаких профайлов для них не существует. Как быть?

Мы знаем, что усредненный монитор соответствует стандартному абстрактному цветопризывающему устройству sRGB IEC61966. Его профайл и возьмем как профайл устройства вывода.

Теперь нам остается лишь выполнить конверсию аппаратных данных, имеющихся у нас, в аппаратные данные для абстрактного устройства sRGB: Mode\Convert to profile.

В появившемся диалоговом окне следует выбрать:

- программный модуль, интерпретирующий профайлы и выполняющий вычисления (Engine). Возможны два варианта выбора: "ACE" и "Microsoft ICM".



Напомним, что пересчетом аппаратных значений изображения в  $L^*a^*b^*$  и обратно занимается Color Management Module (CMM). Есть возможность выбора между модулями. В Photoshop — это будут, соответственно, ACE (Adobe color management system and color engine) и Microsoft ICM. Рекомендуем пользоваться ACE, которая стоит по умолчанию. В других графических редакторах используются иные CMM. Чаще всего встречается Kodak Digital Science.

Выбор того или иного CMM, в конечном счете, не имеет принципиального значения — различия в точности вычислений невелики. Однако из опыта известно, что CMM Kodak делает серьезные ошибки при компрессии гамм, что проявляется в недоброкачественной работе системы CRI.

Рекомендуем всегда оставлять вариант Engine, даваемый по умолчанию, то есть — ACE;

- схему цветовой подмены (Intent);

- включение/выключение системы "Black Point Compensation", отвечающее за сохранение детализовки изображения в глубоких тенях после конверсии.

Обращаем внимание читателя на то, что в случае конверсии мы не переприсваиваем профайл, то есть не пытаемся посмотреть, "а как же будет выглядеть изображение с теми же аппаратными данными, визуализированное на другом устройстве?". Необходимость подобных опытов возникает крайне редко.

В случае "Convert to profile" Photoshop "пройдет" по всем пикселям изображения и для каждого, вначале, вычислит координаты в цветовой координатной системе ( $L^*a^*b^*$ ), то есть определит ЦБЕТ каждого пикселя, а потом, также для каждого пикселя, подберет аппаратные данные устройства назначения, исходя из данных sRGB-профайла.

Теперь нам остается лишь сохранить изображение. Прикрепление профайла к файлу изображения произойдет автоматически. Нужно только убедиться в том, что флажок "ICC profile" в опциях сохранения активен.

Конечно, ничего хорошего в использовании усредненного профайла нет (цветоискажения достаточно велики), но нет и другого выхода при тиражировании изображения по сети. Следующий способ тиражирования изображений — субтрактивный. Он реализуется при помощи принтеров — устройств, воссоздающих цвет на поверхности (чаще на бумаге) путем организованного краскопереноса. Внимание полиграфистов обратим на то, что в идеологии ICC типографский станок также именуется принтером, что понятно и оправданно: размеры, стоимость и количество обслуживающего персонала не имеют никакого значения в логике CMS.

Принцип управления цветовоспроизведением остается тем же: при помощи профайла определяют цветовые координаты каждого пиксела изображения, а затем, при помощи профайла печатного устройства выясняют, какая комбинация красителей воспроизведет цвет с этими координатами.

Дальше все понятно: изображение, разделенное в файле на краскосоставляющие, отправляется на печать.

После команды Mode\Convert to profile в списке "Destination Space" диалогового окна следует выбрать CMYK-профайл печатающего устройства.

Теперь несколько слов об одном обстоятельстве, сильно осложняющем работу с настольными принтерами.

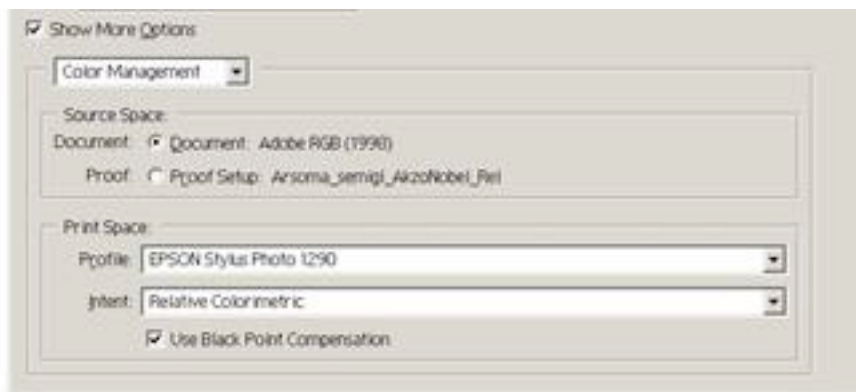
Дело в том, что напрямую воспользоваться данными о необходимых комбинациях красок могут лишь устройства, обладающие аппаратной поддержкой языка postscript. Так уж сложилось. Таких устройств немного. Но, воспользовавшись специальным программным РИП-ом (Raster Image Processor), можно напрямую отправлять CMYK-файлы на печать непостскрипт-устройствами. Однако и программный РИП не может решить всех проблем: многие из дешевых настольных принтеров не умеют работать даже с программным РИП-ом, а пользуются лишь персональным RGB-драйвером. Функционирование RGB-драйвера принтера тесно связано с работой операционной системы.

Тут и начинается путаница.

Беда в том, что операционная система Windows никогда не понимала, и не понимает по сей день, цифровые изображения, данные в которых представлены в виде комбинаций плотностей красок (CMYK-изображения): даже если мы пошлем на печать CMYK-изображение, оно все равно будет преобразовано в RGB и только после этого информация поступит в распоряжение драйвера принтера.

Организация печати строится на том, что графический редактор, получив команду печати, передает RGB-данные файла драйверу принтера. В драйвере принтера RGB-значениям поставлены в соответствие определенные комбинации красок печатающего устройства. Таблица соответствия RGB-данных CMYK-данным "зашита" в драйвер принтера. При этом таблица соответствия не содержит никаких данных о положении точек в цветовой координатной системе. То есть: такой-то RGB-комбинации (входящие значения таблицы) соответствует такая-то CMYK-комбинация (выходящие значения таблицы). Никакого определения цветовых координат ( $L^*a^*b^*$ ) в данном случае нет. Однако нужно понимать, что данная таблица была составлена на основании измерений, которые проводились в период разработки драйвера.

В логике CMS цветовоспроизводящим устройством, в данном случае, является комплекс, состоящий из печатающего аппарата (принтера) и его программного обеспечения (драйвера). Аппаратными данными такого устройства являются RGB-данные. Для такого устройства, как и для любого другого цветовоспроизводящего устройства, должно быть сделано описание его цветовоспроизводящих свойств, то есть — построен профайл. Как и все остальные профайлы, такой профайл строится при помощи спектрометрических промеров и обработки их специализированными программами (все те же Heidelberg ColorOpen 4 и Gretag ProfileMaker 4). Называются эти профайлы "RGB-output profiles". Итак, для RGB данных файла изображения по профайлу источника определяют цветовые координаты, затем для этих цветовых координат по RGB-output profile определяют значения аппаратных данных  $R^*G^*B^*$  для устройства "драйвер+принтер". Значениям  $R^*G^*B^*$  соответствуют жестко фиксированные значения плотностей красок (CMYK), как мы уже сказали, "зашитые" в драйвер принтера.



На скриншоте представлен нижний фрагмент опций печати программы Photoshop 7. В них необходимо активизировать флажок "Show More Options" и выбрать из основного списка "Color Management".

В секции "Source Space" — профайл источника (дословный перевод названия опции недопустим) — активизировать флажок "Document".

В нашем примере профайлом источника является профайл Adobe RGB. Но если к изображению прикреплен, скажем, профайл сканера, то рядом с "Document" появится указание на профайл сканера.

В списке "Print Space" — профайл принтера (дословный перевод также недопустим) необходимо выбрать профайл назначения, то есть RGB-output profile принтера.

В списке "Intent" выбрать схему цветовой подмены при компрессии гамута. Флажок "Use Black Point Compensation", о котором пойдет речь в главе "Настройки CMS", *в данном случае* рекомендуем оставлять активным.

Следует также сказать о том, что существуют печатающие устройства, воспроизводящие цвет непосредственно с помощью RGB-модели. Таковы цифровые фотоминилабы: визуализация изображения осуществляется ими путем экспонирования фотоматериала RGB-лучами с последующей проявкой.

### Принтерная и экранная цветопробы

В процессе подготовки изображения к тиражированию нам необходимо видеть то, как будет выглядеть конечный результат. Решить данную задачу позволяет цветопроба (Color Proof). Принцип любой цифровой цветопробы основан на том, что с помощью устройства, охват которого заведомо больше, чем охват назначения, эмулируют цветоискажения, характерные для целевого устройства. Скажем, с помощью принтера Epson, охват которого на бумаге Premium Semigloss Photo Paper ощутимо больше, чем охват евроофсета, можно получить отпечаток, практически идентичный офсетному тиражному оттиску.

### Цветопроба — это эмуляция цветоискажений, характерных для тиражного цветовоспроизводящего устройства, выполненная другим устройством.

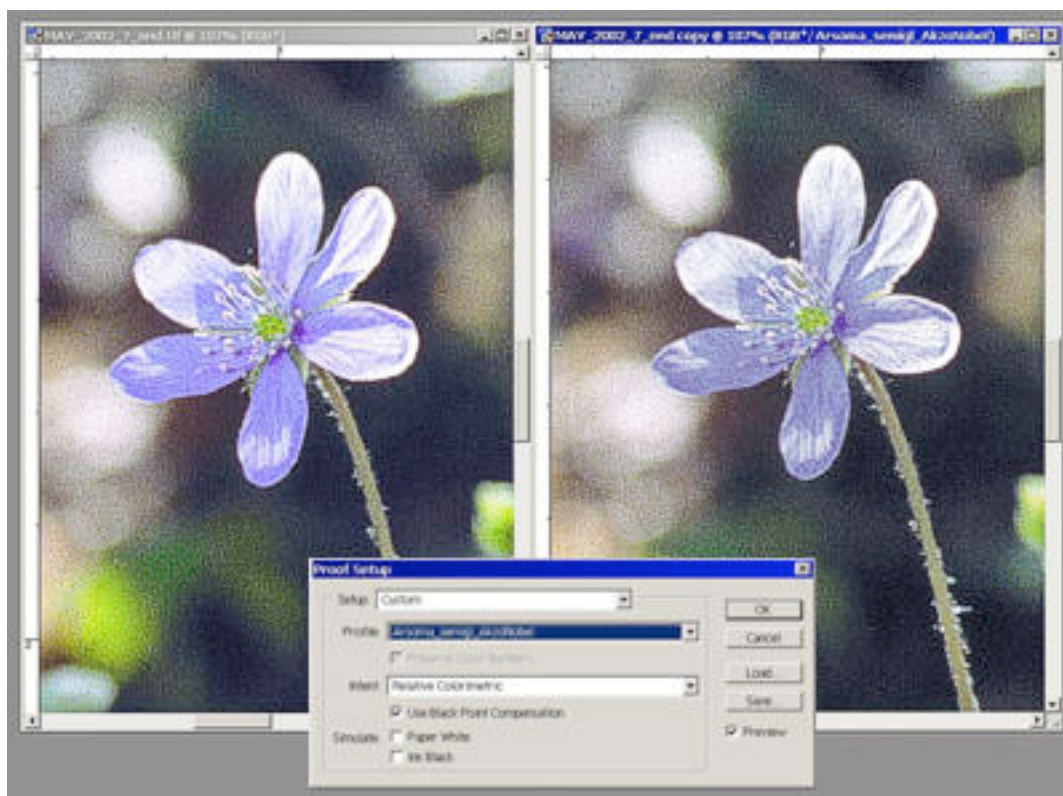
Идеология принтерной цветопробы такова: по профайлу тиражного устройства находят цветовые координаты пикселей изображения, подготовленного к тиражированию. Затем подбирают аппаратные данные цветопробного устройства для найденных цветовых координат. Таким образом, цветопроба основана на хорошо знакомой нам конверсии "profile to profile".

В современных графических редакторах есть функция запуска т.н. экранной цветопробы. Принцип ее такой же, как и описанный выше, но технология немного отлична: по профайлу рабочего устройства графический редактор определяет цветовые координаты пикселей изображения. Система CRI производит компрессию в охват назначения. Часть

цветовых координат смещается. Затем по профайлу монитора подбираются аппаратные значения, соответствующие новым цветовым координатам.

Процесс является дополнительным к рабочему процессу с изображением, поэтому никаких числовых изменений в файл изображения не вносится: аппаратные данные в файле остаются прежними.

Чтобы запустить экранную цветопробу, реализованную в Photoshop 6 (7), необходимо выбрать View\Proof Setup. Если отметить опцию "Working CMYK", модуль цветопробы будет считать, что целевым устройством является то устройство, профайл которого выставлен в настройках CMS по умолчанию. Если нам нужен другой профайл, то есть экранная проба цветоискажений другого устройства, следует выбрать позицию "Custom".



На данном скриншоте показаны исходное изображение и его копия, в отношении которой работает экранная цветопроба, демонстрирующая цветоискажения при компрессии охвата изображения в охват флексографской машины Arsoma EM-280, заправленной полуглянцевой бумагой Fasson и триадными красками AkzoNobel.

Экранная цветопроба графических редакторов других фирм развита меньше. Именуется она чаще всего "Monitor simulates" и находится в базовых настройках CMS данного редактора. Последнее обстоятельство делает пробу немобильной: в окне программы разным изображениям невозможно одновременно присвоить разные параметры цветопробы — только один, тот, что прописан в базовых настройках CMS.

В отношении печатных изображений экранная цветопроба, безусловно, не так достоверна, как проба принтерная. Причина в том, что цветовой охват мониторов, как правило, сильно не совпадает с цветовым охватом печатающих устройств. Поэтому, как мы уже говорили выше, насыщенные голубые тона, легко воспроизводимые печатным станком или принтером, на экране всегда будут отображены недостоверно. Опытные полиграфисты знают, что на адекватное представление цвета триадной краски "Сyan" рассчитывать не приходится ни при каких обстоятельствах. В отношении остальных цветов картина лучше, но тоже далека от идеала.

В то же время, экранная цветопроба позволяет пользователю уловить основные тенденции цветоискажений при компрессии в целевой охват и тем самым сэкономить рабочее время.

Современные графические редакторы оснащены также функцией показа участков изображения, цвет которых лежит вне целевого охвата (Gamut Warning). Рекомендуем настроить экранный показ этих участков при помощи полной яркости зеленого луча монитора (R 0 G255 B0). В Photoshop 6 (7) настройки "Gamut Warning" находятся в Edit \Preference\Transparency&Gamut. Команда показа внеохватных цветов дается через View \Gamut Warning (или Ctrl+Shift+Y). Охват назначения задается во View\Proof setup в опции "Custom" .

Распространенным заблуждением является точка зрения, будто конечной целью инструментальной настройки монитора, его характеристики и использования профайла является экранная цветопроба: "чтобы на мониторе было как на печати". Очень часто можно услышать такие пожелания: "откалибруйте мне монитор под офсет". Подобные высказывания могут вызвать только улыбку: экранная цветопроба — это всего лишь услуга, предоставляемая графическими редакторами. Инструментальная настройка мониторов преследует цель максимально возможного соответствия экранных цветов цветовым координатам пикселей изображения.



## Color Management System (CMS) в логике цветковых координатных систем. Часть 3.

### Настройка CMS графических редакторов

Правильно настроить CMS графического редактора невозможно, не изучив предварительно предыдущий материал данной статьи.

Настройку CMS графических редакторов рассмотрим на примере Photoshop 7.

Разобравшись в принципах работы CMS как таковой и сделав поправку на терминологические несообразности, сориентироваться в конкретных настройках CMS других графических приложений не составит труда.

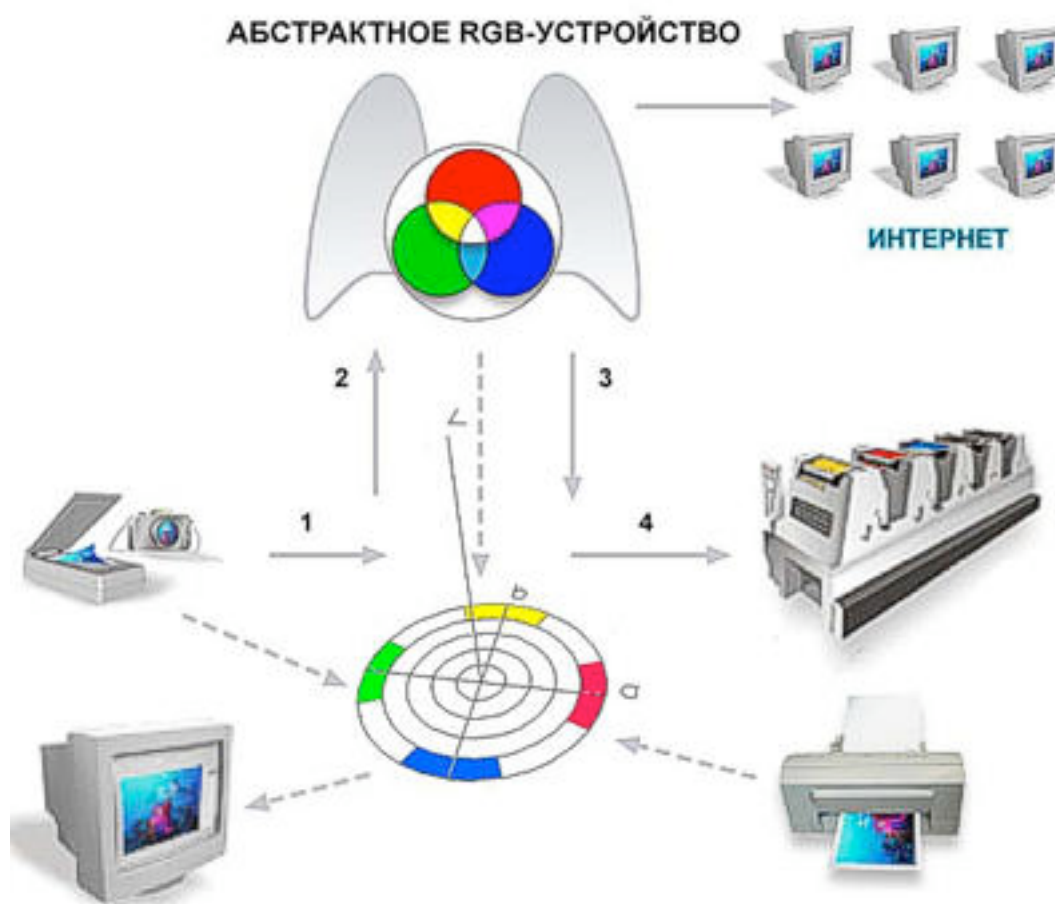
Вызовем Color settings (Ctrl+shift+K). Активируем флажок "Advanced Mode". Посмотрим, какие установки появились в окне CMS.

### Секция "Working spaces"

Первая секция, состоящая из четырех списков именуется "Working spaces" — "Рабочие пространства". Ранее мы договорились, что "working spaces" — это профайлы рабочих устройств различных цветковых моделей.

В качестве рабочих могут быть выбраны профайлы как реальных устройств, так и профайлы устройств абстрактных.

### Список "RGB"



В большинстве случаев целесообразен выбор профайлов абстрактных устройств Adobe RGB или Wide Gamut RGB.

Цветовой охват этих абстрактных устройств всегда больше, чем охват любых реальных аппаратов. При работе с изображением можно смело проводить конверсию аппаратных данных изображения в аппаратные данные абстрактного устройства — потерь и искажений не произойдет.

Этот тезис подтверждает и работа многих графических программ. Например, Photoshop 6 (7) в диалоговом окне, появляющемся при открытии файла, помимо опции использования встроенного профайла предлагает — в качестве второго варианта действий — сразу конвертировать аппаратные данные источника в аппаратные данные абстрактного устройства, выставленного в CMS по умолчанию: "Convert document's colors to the working space".

Что же произойдет, если мы воспользуемся этим предложением? Программа, по встроенному профайлу источника (например, сканера), определит цветовые координаты каждого пиксела изображения, а затем по ним подберет соответствующие аппаратные данные абстрактного устройства.

Еще пример: программное обеспечение сканеров AGFA (Fotolook) даже не дает пользователю возможности сохранить отсканированное изображение с прикрепленным к нему профайлом сканера, а сразу же конвертирует его в аппаратные данные того или иного абстрактного устройства, профайл которого нужно заранее выбрать в опциях CMS. Такая тактика работы, как мы уже говорили, вполне оправдана.

Мы настоятельно рекомендуем все манипуляции по цветокоррекции проводить в аппаратных данных абстрактного RGB-устройства, а после конверсии изображения в аппаратные данные устройства назначения (например, CMYK-устройства) рекомендуем проводить лишь цифровой контроль результата и, в случае необходимости, тонкую незначительную цветокоррекцию.

Поэтому для подготовки цифровых изображений к тиражированию предложим читателю стандартную и проверенную практикой схему действий, показанную выше на рисунке. В качестве примера использована схема подготовки изображений к печати.

Пунктирные стрелки демонстрируют механизм экранного слежения за производимыми манипуляциями.

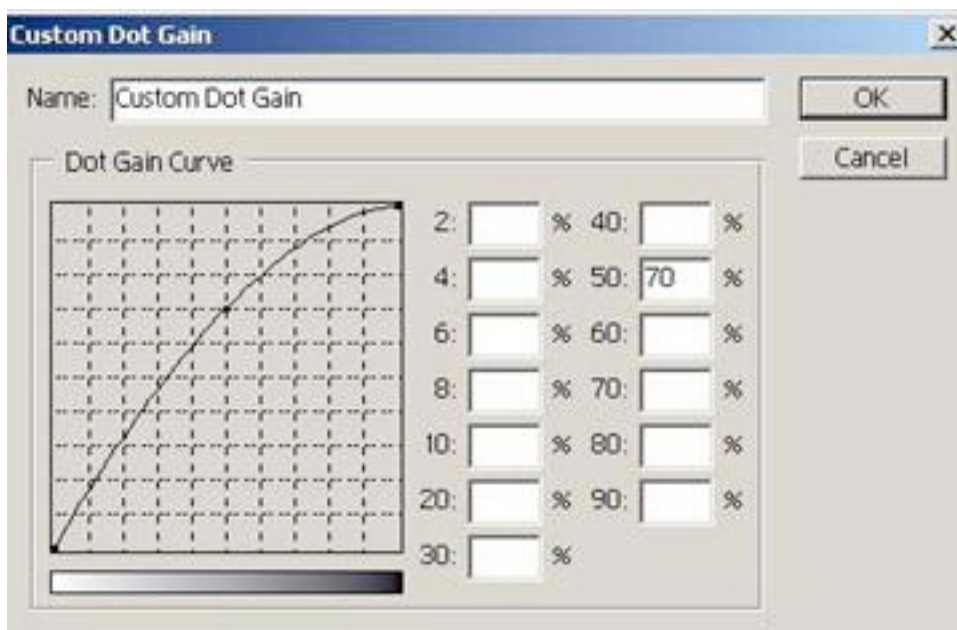
Одной из самых распространенных ошибок пользователей CMS является немотивированный выбор в качестве RGB working space профайла реального устройства, например, монитора. Из предыдущего текста читателю ясно, в чем суть этой ошибки, но, вдобавок ко всему, пользователь существенно обедняет и искажает цветовую палитру изображения, лишаясь многих насыщенных цветов, поскольку цветовой охват устройств оцифровки, как правило, существенно больше цветových охватов мониторов, даже самых дорогих.

### **Список "CMYK"**

В отличие от списка "RGB" здесь целиком оправдан выбор профайла наиболее часто используемого реального печатающего устройства, поскольку в большинстве случаев он и является профайлом устройства назначения. Если же в распоряжении пользователя такого профайла нет, наиболее разумным станет выбор профайла абстрактного CMYK-устройства StandartEURO или SWOP.

### **Список "Gray"**

Gray-профайлы предполагают, что координаты цветности изображения всегда остаются равными нулю, а изменения касаются лишь оси "L", то есть на цветовоспроизведение влияет лишь т.н. кривая почернения (в терминологии CMS-Adobe — растискивания /Dot Gain/), реализуемая данным устройством. Минимальное значение по оси "L", которое достигается данным аппаратом, принимается за 100% оптической плотности, а максимальное (то есть цветовые координаты поверхности или белой точки монитора без учета координат цветности) — за 0%. К примеру, позиция Dot Gain 20% означает, что точка, имеющая в исходном файле цветовую координату L50a0b0 при визуализации на данном устройстве будет воспроизведена как 70% тона. Координаты других точек изменяются по этому же принципу, но нелинейно.



Разумеется, Gray-профайл может быть представлен в виде ICM-файла и загружен в данный список.

### Список "Spot"

В списке "Spot" речь идет не о цветовых координатах, а лишь об оптических плотностях изображения, при этом максимальный тон изображения принимается за 100%, а минимальный за 0%.

### Секция "Color Management Policies"

Секция "Color Management Policies" контролирует работу CMS с профайлами устройств. Данные настройки очень важны — они предупреждают оператора о возможных ошибках в использовании профайлов устройств и предлагают разные варианты действий.

#### Первый вариант настройки

Все списки выключены (off). В позиции "Profile Mismatches" — "Несоответствие профайлов" — флажок "Ask When Opening" снят.

В этом случае при попытке открыть файл, к которому прикреплен профайл устройства, программа выдаст сообщение, напоминающее о том, что данные профайла учитываться не будут, а цифровым данным изображения будет автоматически присвоен профайл абстрактного устройства, выставленного в списках секции "Working space".

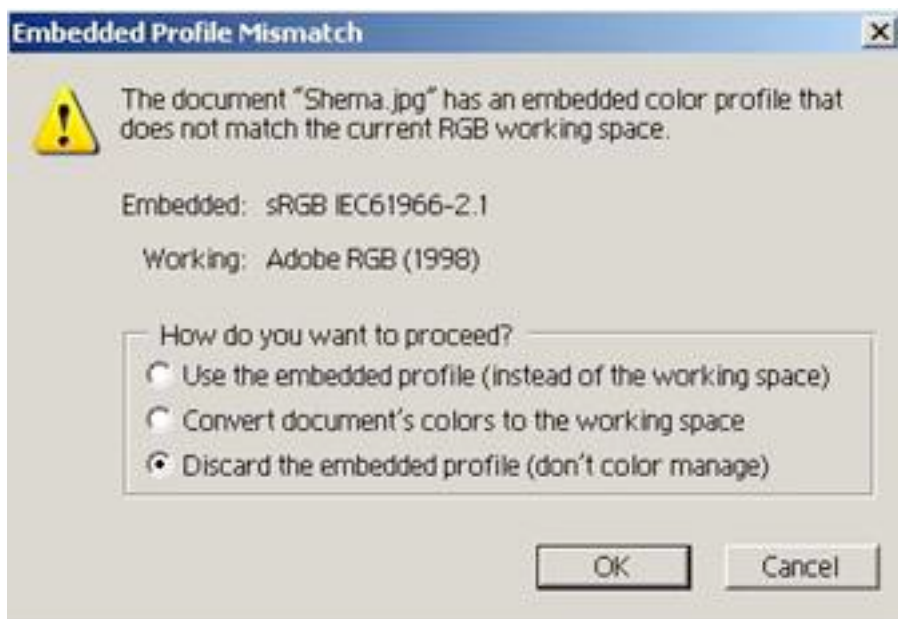


Понятно, что в этом случае все цвета оригинала будут искажены, подчас до неузнаваемости, поскольку, напомним, одни и те же значения RGB (или CMYK) на разных устройствах соответствуют разным цветовым координатам, то есть воспроизводят разные цвета.

Цветоискажения не произойдет только в том случае, если в файле изображения был сохранен тот же профайл, что и в списках "Working space".

В дальнейшем можно отключить показ данного сообщения, но мы не рекомендуем так поступать во избежание грубых ошибок.

Активация флажка "Ask When Opening" принуждает программу предлагать пользователю уже знакомые три варианта действий:



**Use the embedded profile** — использовать прикрепленный профайл. Наиболее часто используемая опция, в случаях, когда профайл к изображению прикреплен *осмысленно* (например, профайл сканера).

**Convert document's colors to the working space** — конвертировать аппаратные данные документа в аппаратные данные рабочего устройства.

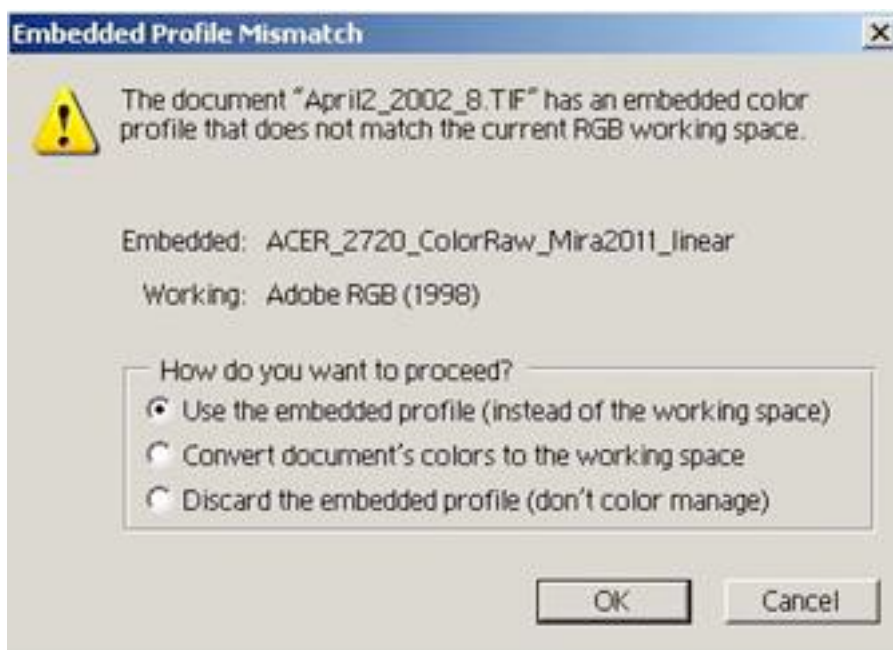
**Discard the embedded profile** — упразднить прикрепленный профайл. Использование данной опции — крайняя редкость. Напомним, что в этом случае аппаратным данным изображения будет *автоматически* присвоен профайл рабочего устройства, но при сохранении изображения профайл устройства не будет к сохраняемому изображению прикреплен.

### Второй вариант настройки

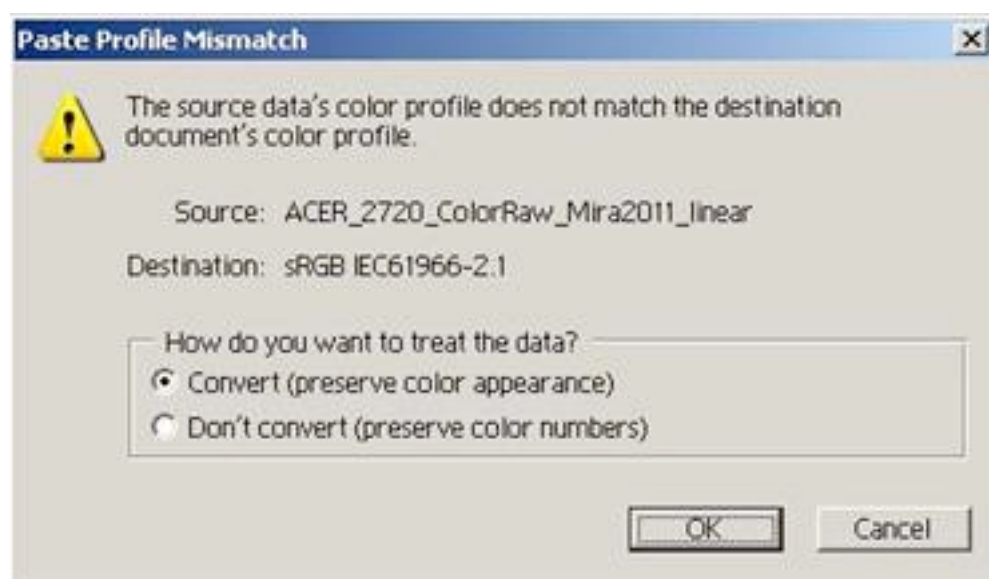
**Preserve Embedded Profiles** — использовать прикрепленный профайл. При открытии файлов с прикрепленными к ним профайлами устройств и при условии, что флажок **Ask When Opening** активен, программа опять предлагает те же три варианта действий, но активной по умолчанию является опция **Use the embedded profile**.

Удаление флажка **Ask When Opening** приводит к тому, что программа перестает задавать контролирующие вопросы и автоматически использует профайл, прикрепленный к изображению.

В дальнейшем можно также отключить показ данного сообщения, но мы опять не рекомендуем так поступать во избежание грубых ошибок: всегда имеет смысл задуматься о том, какой профайл использовать в каждом конкретном случае.

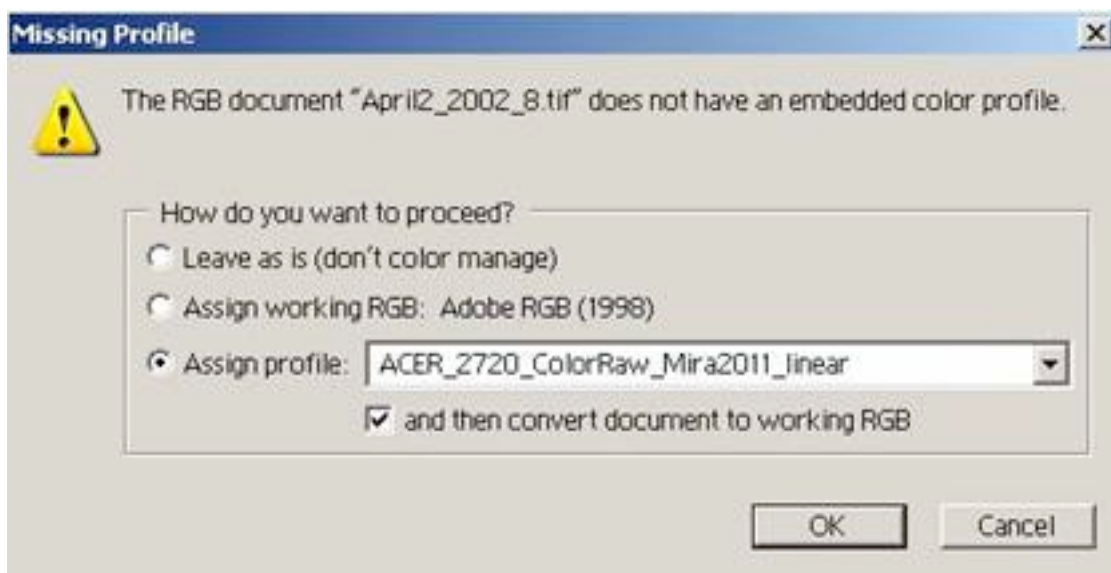


При выборе **PreserveEmbedded Profiles**, в позиции "Profile Mismatches" наряду с **Ask When Opening** становится активным флажок **Ask When Pasting** — "спрашивать при импорте из буфера обмена". В случае несоответствия профайла изображения, поступающего из буфера обмена, профайлу устройства, прикрепленному к редактируемому изображению, появляется сообщение, показанное на рисунке. Тактика поведения очевидна — convert. В противном случае (Don't convert) аппаратным данным изображения, поступившим из буфера, будет присвоен профайл устройства редактируемого изображения, и цветовые координаты внедряемой картинки непредсказуемо изменятся, следовательно, цвета исказятся. Активация флажка **Ask When Opening** позиции Missing Profiles приводит к тому, что в случае отсутствия профайла в открываемом изображении программа предложит следующие варианты действий:



Тактика поведения опять же очевидна: если в нашем распоряжении есть профайл устройства, то его и присвоим. Целесообразно сразу же выполнить конверсию в аппаратные данные абстрактного устройства (об этом мы говорили выше), для чего в





диалоговом окне для удобства предусмотрена соответствующая опция ("and then convert document to working RGB").

Смысл варианта **Assign working RGB** ясен (мы подробно говорили о нем). Следует помнить только, что цветовые координаты пикселей окажутся недостоверными.

Позиция **Leave as is** идентична **Assign working RGB**, но ее использование позволяет сохранить изображение лишенным профайла. Используется лишь в специфических случаях, крайне редко.

Снятие флажка **Ask When Opening** в позиции Missing Profiles приводит к тому, что при открытии файла с изображением, в котором отсутствует прикрепленный профайл, программа автоматически присваивает изображению профайл рабочего устройства, не задавая при этом вопросов и не выдавая никаких сообщений на экран. Поэтому мы настоятельно рекомендуем в секции Missing Profiles флажок **Ask When Opening** держать включенным.

### Третий вариант настройки

В списках выбирается опция **Convert to Working RGB (CMYK, Gray)**.

При наличии прикрепленного профайла к файлу с изображением и активном флажке **Ask When Opening** программа ведет себя точно так же, как и во всех остальных случаях, но при несоответствии профайлов автоматически активирует флажок **Convert document's colors to the working space**.

Снятие флажка **Ask When Opening** приводит к тому, что программа автоматически конвертирует изображение в аппаратные данные рабочего устройства.

**Итак, мы видим, что наиболее подходящим вариантом настройки "Color Management Policies" является второй вариант — "Preserve Embedded Profiles".**

### Секция "Conversion Options"

Список **Engine** подробно описан выше, в главе "Механизм работы CMS".

Список **Intent** предлагает выбор системы подмены внегаутных цветов. Подробно о CRI говорилось выше, но в большинстве случаев мы рекомендуем оставлять здесь позицию "Relative colorimetric".

Флажок **Use Black Point Compensation**. При включенной опции "Use Black Point Compensation" CMS графического редактора пытается учесть отличия в воспроизведении максимально темной точки разными устройствами, что может привести к ощутимым нарушениям цветопередачи в тенях изображения. Вопрос об использовании данной опции



нужно решать в зависимости от конкретных обстоятельств. При выполнении CMS экранной или принтерной цветопробы опция должна быть выключена. Подробнее о функции "Black Point Compensation" см. на <http://www.realcolor.ru/lib/bpc/BlackPoint.shtml> Флажок **Use Dither** (перевод затруднителен) активизирует программную систему, позволяющую избежать ошибок конверсии "profile to profile", возникающих в 8-битных изображениях. Суть возможных ошибок такова: соседним пикселям, имеющим близкие координаты в ЦКС, то есть, близкие цвета, в результате конверсии из аппаратных данных исходного изображения в аппаратные данные того или иного устройства может быть ошибочно присвоено одно и то же аппаратное значение. Система "Dither" предотвращает такие ошибки. Функция позволяет избежать нежелательного эффекта постеризации изображения при многократных конверсиях "profile to profile".

### Секция "Advanced Controls"

Позиции последней секции "Advanced Controls" позволяют корректировать экранный показ изображений.

Позиция **Desaturate Monitor Colors By** воздействует только на экранный показ изображения и позволяет превращать труднозаметные отличия в насыщенности цветов в легкозаметные тональные отличия.

Дело в том, что близкие цвета изображения, которые лежат далеко за границами цветового охвата монитора (но при этом, все же, немного отличаются друг от друга), демонстрируются на экране одинаковыми, то есть, им присваивается одно и то же аппаратное значение и, соответственно, одни и те же цветовые координаты. Чем выше степень "экранной десатурации", тем более видимыми становятся эти цвета за счет нарастания тональных отличий между ними. Смещение цветовых координат при этом очень велико и цвет недостоверен, то есть, не соответствует цифровому оригиналу. Поэтому данная опция рекомендуется к использованию лишь опытными операторами. Вызывает недоумение тот факт, что обсуждаемая настройка включена фирмой Adobe в базовые параметры CMS. На наш взгляд, логично было бы ее разместить отдельно.

Позиция **Blend RGB Colors Using Gamma** позволяет исправлять недочеты линеаризации монитора. Чаще всего ее оставляют отключенной.

### Резюме

Мы приложили все усилия к тому, чтобы в единой логической последовательности изложить самый сложный для понимания материал. Но в процессе работы с CMS неизбежно возникнут трудности и ошибки, а результат работы, порой может не оправдать ожиданий. Не нужно бросать начатое, а следует остановиться, успокоиться и ответить себе на следующие вопросы:

- что в данном случае является цветопроизводящим устройством?
- правильно ли построены профайлы устройств?
- что в данном случае является аппаратными данными источника?
- что в данном случае является аппаратными данными назначения?
- как в данном случае соотносятся друг с другом охваты устройств, участвующих в технологической цепочке?
- по каким методикам в данном случае должна происходить компрессия в охваты устройств на всех этапах преобразований изображения?

Если ответить на эти вопросы, то станут очевидными и тот этап, на котором была допущена ошибка, и то, как эту ошибку исправить.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление в девяностых годах XX века технологии CMS вызвало невиданный энтузиазм у многих людей, связанных с обработкой и визуализацией цифровых изображений. Предрекали скорую и неизбежную гибель всех традиционных схем технологического взаимодействия в печатном производстве; поголовный переход от CMYK к RGB; цветоделение без участия человека (только на основе профайлов) и т.д.

Но скоро выяснилось, что все не так безоблачно, как представлялось. Оказалось, что у CMS несколько упрощенный взгляд на цветовосприятие человека; что лишь с некоторой натяжкой величину  $dE$  можно считать критерием точности цветовоспроизведения; что преобразования из RGB в CMYK (и обратно) приводят к большим информационным потерям и т.д. И тогда с криком: "Братцы, нас обманули!.." значительная часть специалистов бросилась в ряды ярых противников CMS. До сих пор у некоторых хороших специалистов по офсетной печати разговоры о CMS вызывают настоящую истерику. Непомерный энтузиазм, и столь же непомерный скепсис, были результатом свойственной многим людям веры в чудо и привычки обижаться, когда чуда не происходит.

Нужно всегда помнить, что, к примеру, самый лучший профайл для самого лучшего монитора не поможет увидеть цвета, которые этот монитор не в состоянии воспроизвести из-за весьма незначительного цветового охвата. И нет в том вины CMS.

Нужно всегда помнить, что создание профайла устройства не освобождает от необходимости анализировать конкретное изображение и выбирать тот или иной метод подмены цветов, лежащих вне целевого охвата.

Самое главное, пожалуй, в том, что изображения создаются людьми и для людей, и поэтому окончательное решение, готово ли изображение к тиражированию или нет, может принять только человек, а не компьютер. Попытка исключить человека из технологической цепочки подготовки изображений к тиражированию неизбежно приводит к усредненному результату: что-то будет воспроизведено хорошо, что-то плохо, а в целом — весьма посредственно.

CMS не способна полностью заменить собой труд препресс-инженера, но система может помочь ему избавиться от рутинной работы, от необходимости держать в памяти таблицы соответствия аппаратных данных цветовым ощущениям, оставляя тем самым время и силы для полноценного творческого процесса.

При использовании CMS в офсетной печати определяющей становится стадия допечатной подготовки изображения. При наличии на столе у препресс-инженера цветопробного принтера (заметим — весьма недорогого), отлаженного с помощью CMS, печатникам требуется только "вогнаться в пробу", которая гарантированно лежит в коридоре технологических возможностей данного печатного процесса.

Для неофсетных способов печати альтернативой использованию CMS является многолетнее накопление опыта, трудное привыкание к особенностям того или иного аппарата. Грамотное использование Color Management System дает в руки оператора подробное и математически точное описание особенностей любых, даже совершенно непохожих друг на друга, процессов цветовоспроизведения. Человеку остается только та часть работы, выполнение которой недоступно компьютерным системам: тонкая филигранная коррекция процесса. Только такая "ручная доводка" позволяет добиться наилучшего результата.

В основу Color Management System цифровых цветовоспроизводящих комплексов заложен практически весь опыт и знания человечества в вопросах колориметрии и цветовоспроизведения. Система сложна и требует вдумчивого изучения. Поэтому, на первый взгляд, трудно придумать в ней что-то новое. Но все же, позволим себе пофантазировать.

Как нам кажется, стратегической целью в развитии CMS может стать уход от дискретности CRI и появление опций, наподобие "Relative-Perceptual balance".

Полагаем, что недискретный переход от одной схемы CRI к другой позволит оптимизировать результат компрессии гамутов и привести его в максимальное соответствие конкретной изобразительной задаче.

Не исключено также, что появится возможность условного дробления гамутов на тональные пласты (например: область низких тонов, средних и высоких), для каждого из которых будет предоставлен выбор схем CRI при возможном балансе между последними.

© Андрей Френкель, Алексей Шадрин