

DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-3-13-20

УДК (UDC) 543. 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МУТНОСТИ ВОДЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**© Владимир Иванович Голованов, Степан Владимирович Голованов,
Роман Сергеевич Батюшев**

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия; e-mail: vlagolo@yandex.ru

Статья поступила 23 августа 2017 г.

Изучена возможность использования цифровой фотокамеры с последующей компьютерной обработкой цветометрических характеристик изображения для измерения мутности воды по каолину с помощью модифицированного турбидиметра Джексона. Показано, что в цветовом пространстве RGB подходящей цветометрической функцией мутности в каолиновой шкале является контраст фотоснимка юстировочного шаблона. Мешающее влияние желтого окрашивания проб воды нивелируется при измерении мутности на зеленом канале. Установлено уравнение связи между приведенным контрастом (степенью мутности) и концентрацией взвеси, которое по форме не отличается от закона светопоглощения. Методом множественной стандартной добавки каолиновой взвеси к пробе водопроводной воды установлено правило аддитивности мутностей смешиваемых растворов. С помощью предложенного прибора можно измерять не только мутность, но и цветность воды: в этом случае вместо контраста следует использовать яркость изображения, концентрационная зависимость которой линейна в полулогарифмических координатах.

Ключевые слова: цветометрия; цифровые цветометрические технологии; цифровой фотоаппарат; мутность воды; турбидиметрия; метрологические характеристики; каолин.

DETERMINATION OF TURBIDITY OF WATER WITH PHOTOGRAPHIC METHOD

© Vladimir I. Golovanov, Stepan V. Golovanov, and Roman S. Batyshev

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia; vlagolo@yandex.ru

Submitted August 23, 2017.

The study considers the possibility to use a digital camera with further computer processing of colorimetric characteristics of the image with the aim to measure kaolin turbidity of water. The calculations are made using a modified Jackson turbidimeter. It is showed that the contrast of the photographic picture of the adjustor is a suitable colorimetric function of the turbidity in the RGB color space. The interference of yellow coloring of water samples is smoothed when turbidity is measured on the green channel. The relation of the given contrast (degree of turbidity) and suspended particles concentration is determined. By its form, the relation is similar to the law of light absorbance. The rule of additivity of turbidities of the mixed solutions is determined by the method of multiple standard additions of kaolin suspension to tap water sample.

Keywords: chromaticity; digital chromaticity; digital camera; turbidity of water; metrological characteristic; kaolin.

Цветность и мутность вод являются важными обобщенными показателями их качества [1]. Обычно и тот и другой показатели устанавливают колориметрическим методом, к современному направлению которого относится цветометрия для химического анализа [2]. В рамках этого направления перспективным с точки зрения создания тест-методик считают использование офисных планшетных сканеров, бытовых фотокамер и смартфонов.

Особенность цифровой цветометрии заключается в том, что аналитический сигнал регистрирует мультисенсорная фотоприемная матрица. Затем пиксельное изображение обрабатывают средствами встроенной в графический редактор (например, Adobe Photoshop) палитры Histogram [3]. Для работы с цифровыми изображениями на уровне пикселей авторы работы [4] используют возможности математических пакетов MatLab и MathCAD.

В цифровой цветометрии обобщенной аналитической характеристикой является гистограмма изображения, которая представляет собой график статистического распределения пикселей в шкале уровней их яркости (от 0 до 255). В качестве аналитического сигнала используют уровни яркости одного из выбранных каналов цветовой модели RGB. Показано [3], что концентрационная зависимость уровней яркости фотоснимка описывается экспоненциально убывающей функцией первого порядка: $y = y_0 + A \exp(-c/t)$, где y_0 , A и t — постоянные.

Цифровую цветометрию используют для измерения цветности воды в бихромат-кобальтовой шкале [5]. Для стандартизации условий освещен-

ности цветность измеряют в специальном боксе. Найдено, что для построения градуировочной зависимости пригоден только голубой канал (B). Существенно, что интенсивность зеленой компоненты (G) не зависит от градусов цветности воды. Можно думать, что на этом канале окраска воды не будет мешать измерениям других цветометрических характеристик воды, к которым мы относим ее мутность.

Помимо усредненных по цветовому каналу уровней яркости, гистограмма изображения характеризуется стандартным отклонением яркости (в Adobe Photoshop этот параметр обозначен как Std Dev). Стандартное отклонение гистограммы называют также среднестатистическим контрастом (ССК) или просто контрастом (К). В доступной нам литературе примеров аналитического использования ССК не найдено. В фотографии невысокий контраст связан, прежде всего, с размытостью и мутностью фотоснимков, сделанных через грязное окно. Проводя такую аналогию, можно предположить, что ССК можно использовать для измерения мутности жидкостей, если окно фотоаппарата оборудовать «матовым светофильтром», функцию которого выполнит мутная жидкость.

Цель работы — исследование возможностей цифровой цветометрии для измерения мутности воды с использованием ССК в качестве аналитического сигнала. Прежде всего необходимо установить уравнения связи между контрастом и концентрацией водных взвесей каолина, которые применяют для градуирования при турбидиметрическом определении мутности [1]. Для оценки избирательности цифровой турбидиметрии рас-

смотрим проблему мешающего влияния цветности воды на результаты измерения мутности. Правильность цифровой турбидиметрии оценена методом стандартных добавок каолина к пробам водопроводной воды.

Для решения поставленной задачи использовали простой прибор, описанный в работе [6] и предназначенный для визуального измерения прозрачности технической серной кислоты в номинальной (бинарной) шкале «прозрачная – непрозрачная». Прибор является одной из модификаций свечного турбидиметра Джексона (Jackson) [7]¹.

Существенно то, что в приборе свеча заменена на лампу накаливания, излучение которой направляют на жидкость через юстировочный шаблон, выполненный в виде рисунка шахматных полей на матовом стекле. В этом можно усмотреть сходство данной конструкции с известным диском Секки (Secchi), который применяют при измерении прозрачности воды в водоемах [8]. Сочетание прибора, описанного в работе [6], с цифровой фотокамерой и соответствующим программным обеспечением представляет собой цифровой цветометрический турбидиметр.

Оборудование и реактивы. Измерительная установка содержит следующие узлы: цифровую автоматическую фотокамеру марки Coolpix L22 (NIKON), настроенную на режим макросъемки с размером кадра 4000 × 3000 пикселей; монопод для селфи; металлический штатив Бунзена с высотой стойки 70 см; юстировочную стеклянную пластину с рисунком шахматных полей (сторона квадрата — 0,5 см); источник света (фонарь), выполненный в виде ящика с установленной в нем лампой накаливания (60 Вт); ноутбук, работающий под управлением операционной системы Windows XP; программное обеспечение собственного производства для компьютерной обработки цифровых изображений и каталогизации результатов. Шаблон закреплен над отверстием 8 × 8 см в верхней крышке фонаря так, чтобы самоклеящаяся пленка с рисунком находилась на тыльной стороне пластины. Внешняя сторона пластины выполняет функцию предметного столика для сосуда с испытуемым образцом. В качестве сосуда использовали рекомендованный в работе [6] мерный цилиндр (по ГОСТ 1770) вместимостью 500 мл. Высота столба жидкости до деления 500 мл составляет 27 см. Внешний вид прибора показан на рис. 1.

Мутность измеряют при фотографировании шаблона шахматных полей через слой жидкости в цилиндре. При этом камеру размещают на шта-

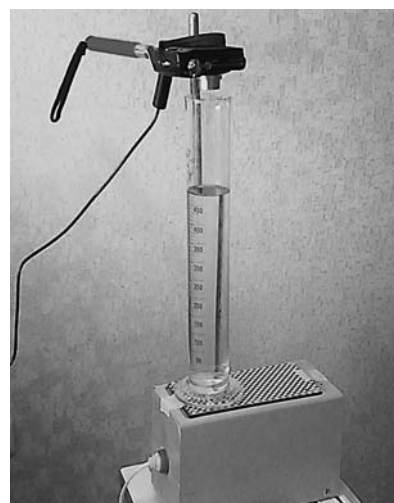


Рис. 1. Модифицированный турбидиметр Джексона

тиве так, чтобы видоискатель камеры был локализован в пределах круглого пятна изображения, а стенки цилиндра образовывали концентрические окружности.

Фотометрические измерения проводили с использованием спектрофотометра Spekol-11 в кювете с толщиной поглощающего слоя $l = 5$ см.

В экспериментах использовали: обогащенный каолин для парфюмерной промышленности; ГСО 65-41-92 мутности по каолину; пирогосфат натрия (ч) для стабилизации взвеси; 0,1 %-ный раствор метилового оранжевого; дистиллированную воду.

Методика выполнения измерений. Уравнение связи аналитического сигнала с концентрацией устанавливали методом множественной добавки стандартного раствора взвеси к пробе воды фиксированного объема (500 мл). Суммарный объем добавки не превышал 15 мл. При этом систематическая погрешность разведения компенсируется погрешностью из-за увеличения высоты столба жидкости. Основным стандартный раствор (ОС) обычно содержал 1 г/л каолина. Его готовили в соответствии со стандартом [1], а концентрацию устанавливали относительно раствора ГСО 65-41-92 турбидиметрическим методом с использованием спектрофотометра при $\lambda = 520$ нм и $l = 5$ см. В нашем случае концентрации растворов ОС и ГСО оказались статистически неразличимыми.

В цилиндр вносят необходимый объем дистиллированной или водопроводной воды и измеряют ее цветометрические характеристики после фотографирования. Затем воду переливают в сосуд для смешения и вносят заданный объем добавки. После перемешивания раствор из сосуда возвращают в цилиндр и продолжают фотографирование. Обычно ограничиваются четырьмя

¹ Прозрачность (мутность) измеряют высотой столба жидкости при условии «погасания образа» свечи.

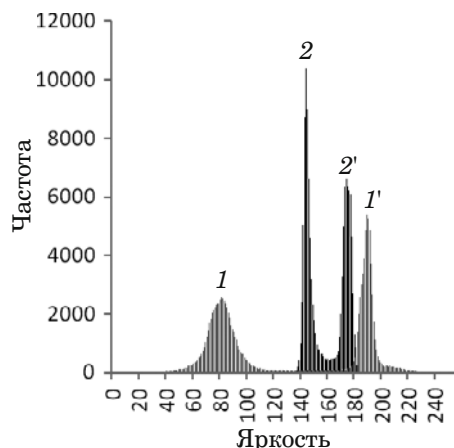


Рис. 2. Гистограммы яркостей для дистиллированной воды (1, 1') и образца с мутностью 12 мг/л по каолину (2, 2')

последовательными добавками. На каждом шаге (кроме первого) добавку удваивали. Первую добавку рассчитывали так, чтобы получить раствор с концентрацией 1 мг/л по каолину. Перед аликвотированием стандартный раствор обязательно перемешивают, если при отстаивании на дне сосуда собираются видимые частицы. Опыты выполняли при комнатной температуре.

Обработка результатов. Для расчета цветиметрических характеристик нами в среде быстрой разработки Delphi 7 создана специальная программа. После загрузки фотоснимка программа выполняет его обрезку для выделения наиболее информативных пикселей в центре кадра. Обычно после кадрирования остается около 120 000 пикселей, по которым вычисляется и отображается на экране гистограмма фотоснимка. Ниже приведено соответствующее математическое описание.

На входе программы имеем числовой массив яркостей пикселей по каждому из трех каналов R, G и B. Гистограмма яркостей для выбранного канала строится на замкнутом числовом промежутке уровней яркости $[a; b] = [0; 255]$. При этом масштабная единица числовой оси равна 1. Из всей совокупности яркостей пикселей изображения $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ извлекается n_j элементов, для которых справедливо равенство:

$$x_i - t_j = 0,$$

где t_j — j -е деление на числовом отрезке, причем $j = \overline{1, k}$ и $k = 256$. Тогда t_j имеет смысл уровня яркости, одинакового для всех элементов выборки пикселей объема n_j .

Строится столбчатая диаграмма, где по вертикальной оси отложены числа n_j против соответствующих значений уровней яркости t_j .

Среднее значение яркости L вычисляется по формуле

$$L = \sum_j^k t_j \frac{n_j}{n},$$

а стандартное (среднеквадратичное) отклонение яркостей — по формуле

$$K = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_j (t_j - L)^2 n_j}.$$

Значения L и K восстанавливаются по каждому цветовому каналу R, G и B. Предусмотрено также вычисление величины, названной нами фотографической мутностью²:

$$S_f = \lg(K_0/K), \quad (1)$$

где K_0 — контраст, измеренный для контрольного опыта.

Типичные гистограммы приведены на рис. 2. Видим, что распределение яркостей пикселей изображения шаблона шахматных полей является двумодальным. Это вполне ожидаемо, поскольку объект состоит из череды белых и черных квадратов. Изображения белых квадратов на гистограмме проявляются в области «светов», а черных — в области «теней». На рис. 2 пики теней — это пики 1 и 2, а пики светов — 1' и 2'. При увеличении мутности пики света и тени сближаются, причем тени смещаются в шкале яркости в большей мере, чем свет. Если для дистиллированной воды расстояние между правой и левой ветвями гистограммы составляет 109 единиц в шкале яркости, то в случае каолиновой взвеси — уже 31 единицу. «Размах» между светом и тенями уменьшается, уменьшается и контраст, вычисленный по приведенному выше уравнению.

Покажем, что из всех цветиметрических характеристик для определения мутности больше других подходит значение контраста, который должен уменьшаться при повышении мутности. На рис. 3 показана корреляционная связь между контрастом K и яркостью L фотоизображений, полученных в ходе наших экспериментов по добавлению стандартного раствора каолина к пробам дистиллированной воды. Видим, что между этими признаками наблюдается слабая корреляционная связь: коэффициент корреляции $r \approx -0,5$. Однако проверка по t -критерию показала, что r статистически значим при уровне значимости $\alpha = 5\%$ и $f = 25$, причем с увеличением кон-

² По аналогии с выражением для турбидиметрической мутности.

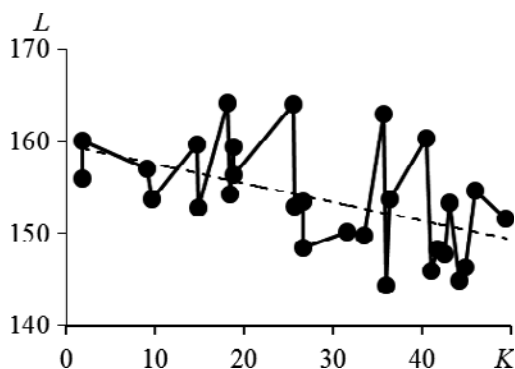


Рис. 3. Корреляционная связь между контрастом и яркостью изображения на G канале в интервале концентраций каолина от 1 до 35 мг/л

центрации каолина контраст уменьшается в широком интервале значений — от 50 до 2 единиц. Яркость при этом, как ни странно, несколько увеличивается (на 10 единиц). Из рис. 3 видим, что значения L значительно отклоняются от линейной регрессии. Аналогичная картина наблюдается при измерениях на каналах R и B. Все это указывает на предпочтительность использования контраста фотоснимка в качестве аналитического сигнала для измерения мутности.

Для определения взвешенных веществ в жидкости необходимо установить уравнение связи между контрастом как аналитическим сигналом и концентрацией. В фотографии хорошо известно, что контрастность снимка существенно зависит от освещенности объекта, т.е. светового потока, приходящегося на единицу площади объекта. Очевидно, что для устранения влияния на контраст изменения световых потоков из-за боковых засветок следует проводить относительные измерения, где в качестве базы для сравнения выступает контраст изображения в отсутствие пробы (фоновый контраст). Величина $K/K_0 = T$ по формальным признакам аналогична степени пропускания в турбидиметрии: $I/I_0 = T$. Логарифм величины, обратной T [см. уравнение (1)], мы называем фотографической мутностью. Продолжая аналогию, можно ожидать, что уравнение связи будет иметь вид:

$$S_f = k_f l c, \quad (2)$$

где k — удельный коэффициент мутности³, l — длина светового пути, c — концентрация взвеси. Величина коэффициента мутности определяется химической природой взвеси, размером и формой частиц, а также спектральным составом световых потоков. С точки зрения аналитического

³ В турбидиметрии удельный коэффициент мутности имеет размерность мл/мкг/см.

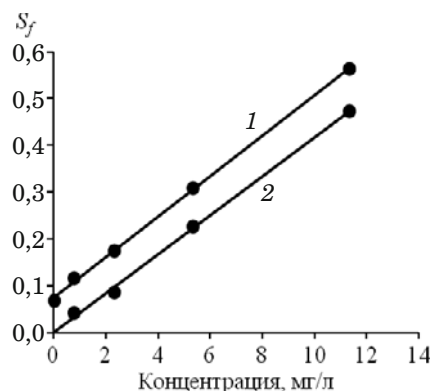


Рис. 4. Зависимости фотографической мутности от концентрации добавки каолина к пробе водопроводной (1) и дистиллированной (2) воды

применения произведение $kl = k'$ имеет смысл коэффициента чувствительности методики.

На рис. 4 приведены зависимости фотографической мутности от концентрации добавки стандартной взвеси каолина к пробам водопроводной и дистиллированной воды (500 мл). Измерения выполнены на G-канале. Зависимость для дистиллированной воды аппроксимирована МНК линейным уравнением без свободного члена. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,998$, т.е. необъясненная вариация в данных составляет 0,2 %, что говорит о справедливости уравнения связи (2). График 1 для водопроводной воды на рис. 4 располагается выше графика 2, причем кривые практически параллельны друг другу. Коэффициент достоверности ЛМНК-аппроксимации для графика 1 оказался даже выше: $R^2 = 0,999$. Из этих рассуждений следует вывод о независимости (линейности) вкладов принадлежащих водопроводной воде взвешенных частиц и частиц стандартной взвеси каолина в общую мутность. В математической записи имеем:

$$S_f = k'_x c_x + k'_{st} c_{st} = a + bc_{st}. \quad (3)$$

В общем случае коэффициент k'_x для взвеси в водопроводной воде может отличаться от k'_{st} каолина. Справедливость уравнения (3) для кривой с добавками указывает лишь на отсутствие коллоидно-химических взаимодействий между компонентами водопроводной воды и каолином.

В методе градуировки кривая 2 на рис. 4 представляет собой градуировочную зависимость. Искомое содержание взвеси в водопроводной воде, эквивалентное концентрации каолина, находят по уравнению:

$$c'_x = \frac{S_f}{k'_{st}} = \frac{k'_x}{k'_{st}} c_x. \quad (4)$$

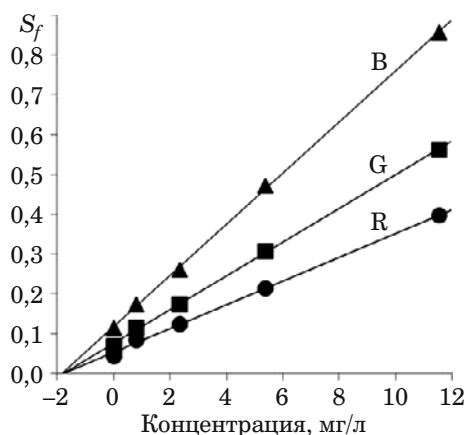


Рис. 5. Мутность водопроводной воды на разных каналах как функция концентрации добавки

Очевидно также, что необходимое для этого значение углового коэффициента k'_{st} можно получить по способу «внутреннего стандарта», т.е. из кривой 1 на рис. 4. Этот вариант установления k'_{st} предпочтителен в полевых условиях.

Значения углового коэффициента градуировочной зависимости, найденные из четырех серий стандартных добавок к пробам водопроводной и дистиллированной воды, хорошо воспроизводятся и статистически неразличимы (табл. 1).

Покажем это с использованием приемов проверки статистических гипотез [9]. Гипотеза об однородности дисперсий не отвергается, поскольку по критерию Фишера $F_{ст} = (0,002/0,001)^2 = 4,00 < F(0,05; 3; 3) = 9,28$. Гипотеза о равенстве средних значений k'_{st} , полученных на фоне водопроводной и дистиллированной воды, также не отвергается, поскольку по двухстороннему критерию Стьюдента

$$t_{ст} = \frac{|0,045 - 0,042|}{0,0015} \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{4 + 4}} = 2,66 < t(0,05; 6) = 2,97.$$

Статистическая неразличимость угловых коэффициентов градуировочных зависимостей косвенно указывает на отсутствие систематических погрешностей при определении мутности водопроводной воды с использованием уравнения (4).

Из рис. 5 видно, что концентрационная зависимость (3) выполняется не только на зеленом, но и на всех каналах RGB-модели, причем при экстраполяции в область малых концентраций

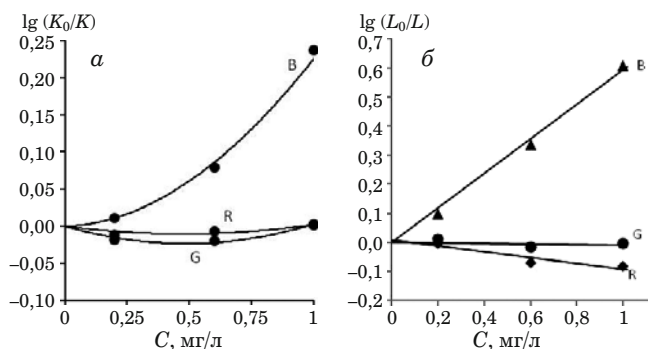


Рис. 6. Концентрационные зависимости относительного контраста (а) и относительной яркости (б) растворов метилового оранжевого в полулогарифмических координатах

зависимости пересекаются практически в одной точке, соответствующей $c_x = -c_{st}$. Кроме того, экспериментально установлено, что при фиксированной концентрации S_f прямо пропорциональна высоте столба жидкости в измерительном сосуде. Это также согласуется с уравнениями (2) и (3).

Из рис. 5 следует, что чувствительность dS_f/dc увеличивается в последовательности $R < G < B$, причем коэффициенты чувствительности соотносятся как $R:G:B = 0,7:1:1,5$. Несмотря на то, что на голубом канале чувствительность выше, его можно рекомендовать для измерения сравнительно небольшой каолиновой мутности образцов (не более 20 мг/л). Ограничения обусловлены эффектами коагуляции частиц взвеси, более выраженным при использовании коротковолнового излучения.

Использование зеленого канала предпочтительно также по причине отсутствия влияния желто-коричневого окрашивания взвесей на результаты измерения фотографической мутности воды. Об этом можно судить из опытов с метиловым оранжевым (рис. 6). По нашим данным, максимум светопоглощения исследуемых растворов метилового оранжевого соответствовал $\lambda = 450$ нм. Кажущаяся мутность (см. рис. 6, а) растворов красителя на G и R каналах мало отличается от нуля, поэтому окраска не должна мешать измерениям мутности. Заметное увеличение фотографической мутности $S_f = \lg(K_0/K)$ наблюдается на голубом канале, однако S_f нелинейно зависит от концентрации красителя.

Таблица 1. Угловые коэффициенты (л/мг/см) градуировочных зависимостей, полученных на фоне водопроводной и дистиллированной воды на G-канале

Объект	Номер серии				Среднее	Стандартное отклонение
	1	2	3	4		
Водопроводная вода	0,045	0,045	0,047	0,043	0,045	0,0020
Дистиллированная вода	0,042	0,043	0,041	0,042	0,042	0,00094

Известно, что в спектральном диапазоне В-каналу соответствует спектральный цвет с $\lambda = 435$ нм, а каналам G и R — $\lambda = 546$ нм и $\lambda = 700$ нм. Поэтому если окраска раствора является дополнительной к спектральной характеристике канала, то аналитический эффект максимален. Отметим, что мешающее влияние желтого окрашивания образцов воды при турбидиметрических измерениях мутности в работе [1] устраняют выбором длины волны $\lambda = 520$ нм, «отсекающей» коротковолновое излучение. Аналогичного результата в цветометрии рассеяния достигают путем выбора G-канала.

Измерения цветности несложно осуществить и с помощью нашего прибора. Для этого, как следует из рис. 6, б, вместо контраста K цветных фотоснимков следует использовать яркость L . Оказалось, что концентрационная зависимость нормированной на значение контрольного опыта яркости ($T = L/L_0$) линейна в полулогарифмических координатах: $\lg(L_0/L) = k'c$. Заметим, что часто используемая в работах цветометрическая функция имеет вид $Y = Y_0 + A \exp(-c/t)$, где Y_0 , A и t — регрессионные параметры [2, 3]. Особенностью этой функции является ее зависимость от трех параметров. В нашем случае уравнение связи имеет вид экспоненциального уравнения нулевого порядка; параметр Y_0 в нем отсутствует. Возможно, что отмеченное различие обусловлено использованием в нашем приборе юстировочного устройства в виде рисунка шахматных полей.

Полученные результаты согласуются с выводами других авторов. Так, для определения цветного числа окрашенных в желтый цвет масел использовали калибровку по яркости синей компоненты [4]. Показано [5], что для измерения цветности воды также предпочтителен В-канал. Из вышеизложенного следует, что мутность должна мешать измерению цветности воды, вместе с тем цветность воды не должна мешать измерениям мутности⁴. Мешающее влияние мутности окрашенных образцов воды в работе [1] устраняют фильтрацией через мембранный фильтр № 4.

Оценим метрологические характеристики измерения мутности воды фотографическим методом (табл. 2). При обработке методом градуировки использовали уравнение (4) с градуировоч-

ным коэффициентом $k' = 0,042$ из табл. 1, установленным при измерениях с дистиллированной водой на G-канале. Одновременно с этим мутность измеряли способом множественной стандартной добавки (МСД) каолина к четырем аликвотным частям пробы водопроводной воды.

Как следует из рис. 5 и уравнения (3), возможны два варианта метода МСД. Первый известен как метод Грана, который сводится к графической экстраполяции зависимости до пересечения с осью концентраций добавки. При этом получают $c_x = -c_{st}$ (рис. 5). Во втором, алгебраическом варианте, концентрацию образца находят из соотношения коэффициентов уравнения (3):

$$c_x = a/b. \quad (5)$$

Значения c_x , вычисленные по уравнению (5), приведены в табл. 2.

Найденные двумя методами средние значения мутности пробы воды статистически не различаются, поскольку

$$t_{ct} = \frac{|1,24 - 1,37|}{0,32} \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{4 + 4}} = 0,59 < t(0,05; 6) = 2,97.$$

Тогда если метод МСД признать референтным, метод градуировки следует считать правильным. Несколько неожиданной является обнаруженная равная точность методов. Действительно, $F_{ct} = (0,35/0,29)^2 = 1,45 < F(0,05; 3; 3) = 9,28$. В литературе принято считать метод Грана более точным.

Отметим, что согласно ГОСТ 27384 [10] мутность воды в каолиновой шкале не должна превышать 1,5 мг/л при нормативе погрешности измерения 20 %. Тогда нормативное стандартное отклонение $\sigma_0 = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3$ мг/л. Проверим гипотезу о том, что генеральное стандартное отклонение σ метода анализа статистически не отличается от норматива 0,3 мг/л. Иначе, полагаем $H_0: \sigma = \sigma_0$. Для проверки гипотезы воспользуемся χ^2 -тестом [9, С. 119]:

$$\frac{s^2}{\sigma_0^2} = \frac{0,23^2}{0,30^2} = 0,59 < \frac{\chi^2(P = 0,95, f = 3)}{f} = \frac{7,8}{3} = 2,6.$$

Исходя из знака неравенства, гипотеза о соответствии точности фотографической методики нормативу [10] не отвергается.

Таблица 2. Результаты измерения мутности пробы водопроводной воды по каолину двумя методами

Метод	Концентрация, мг/л				Среднее	Стандартное отклонение	Относительное стандартное отклонение
Градуировка	1,41	0,94	1,05	1,56	1,24	0,29	0,23
МСД	1,58	1,12	1,03	1,76	1,37	0,35	0,26

⁴ При надлежащем выборе цветового канала.

Косвенно о правильности фотографической методики определения мутности говорит согласованность наших оценок мутности случайно выбранной пробы водопроводной воды с нормативом качества воды. Если мутность 1,5 мг/л считать верхней границей допустимого диапазона мутности, то найденное значение 1,24 мг/л мутности пробы не выходит за допустимые границы. Близость найденного значения к нижней границе критического диапазона (1,5 мг/л) можно объяснить тем, что пробу отбирали из-под крана в паводковый период.

Исследование показало, что цифровая цветометрия, где в качестве аналитического сигнала выступает среднестатистический контраст фотоснимка юстировочного шаблона шахматных полей, может быть использована для определения мутности воды. Особенностью описанного метода является использование бытовой фотокамеры и компьютера, что обуславливает простоту, гибкость, мобильность и низкую стоимость цифрового мутномера. Дальнейшие исследования для адаптации метода к измерениям вне лаборатории должны быть направлены на использование естественного освещения и совершенствование оптических свойств измерительного сосуда.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 3351–74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. — М.: Изд-во Стандартов, 1985. — 7 с.
2. Иванов В. М., Моногарова О. В., Осолок К. В. Возможности и перспективы развития цветиметрического метода в аналитической химии / Журн. аналит. химии. 2015. Т. 70. № 10. С. 1011 – 1025.
3. Апяри В. В., Дмитриенко С. Г., Золотов Ю. А. Аналитические возможности цифровых цветиметрических технологий. Определение нитрит-ионов с использованием пенополиуретана / Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2011. Т. 52. № 1. С. 36 – 42.
4. Хрипушин В. В., Рудакова Л. В., Рудаков О. Б., Байдишева О. Б. Цветиметрические методики определения цветного числа растительных масел / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74. № 5. С. 9 – 13.
5. Болотов В. М., Комарова Е. В., Саввин П. Н., Хрипушин В. В. Изучение цветиметрических характеристик воды с использованием метода компьютерной цветиметрии / Вестн. Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. 2013. № 4. С. 154 – 156.
6. ГОСТ 2184–2013. Кислота серная техническая. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2471175> (дата обращения 11.08.2017).
7. Теория и практика измерения мутности / ЭкоИнструмент. URL: <http://www.ecoinstrument.ru> (дата обращения 06.08.2017).
8. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. — СПб.: Кримас+, 2004. — 248 с.
9. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. — М.: Мир, 1994. — 268 с.
10. ГОСТ 27384. Вода. Нормы погрешности измерения показателей состава и свойств. — М.: Стандартинформ, 2010. — 9 с.

REFERENCES

1. RF State Standard GOST 3351–74. Drinking water. Methods for determining the taste, odor, color and turbidity. — Moscow: Izd. Standartov, 1985. — 7 p. [in Russian].
2. Ivanov V. M., Monogarova O. V., Oskolok K. V. Capabilities and prospects of the development of a chromaticity method in analytical chemistry / J. Anal. Chem. 2015. Vol. 70. N 10. P 1165 – 1178.
3. Apyari V. V., Dmitrienko S. G., Zolotov Yu. A. Analytical possibilities of digital colorimetry: Determination of nitrite using polyurethane foam / Vestn. Mosk. Univ. Ser. 2. Khimiya. 2011. Vol. 52. N 1. P. 36 – 42 [in Russian].
4. Khripushin V. V., Rudakova L. V., Rudakov O. B., Baidicheva O. B. Colorimetric procedures of color value determination in vegetable oils / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2008. Vol. 74. N 5. P. 9 – 13 [in Russian].
5. Bolotov V. M., Komarova E. V., Savvin P. N., Khripushin V. V. The study of the chromaticity characteristics of the water using the method of computer chromaticity / Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Inz. Tekhnol. 2013. N 4. P. 154 – 156 [in Russian].
6. RF State Standard GOST 2184–2013. The sulfuric acid. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2471175> (accessed 11.08.2017) [in Russian].
7. Theory and practice turbidity measurement / ÉkoInstrument. URL: <http://www.ecoinstrument.ru> (accessed 06.08.2017).
8. Murav'ev A. G. Guidance on the definition of indicators of water quality field methods. — St. Petersburg: Krismas+, 2004. — 248 p. [in Russian].
9. Doerffel K. Statistik in der analytischen Chemie. — Leipzig, 1990.
10. RF State Standard GOST 27384. The error of measurement of composition and properties. — Moscow: Standartinform, 2010. — 9 p. [in Russian].