



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ**

**Использование программного обеспечения
смартфонов во внеурочной деятельности**

**Выпускная квалификационная работа
по направлению 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями
подготовки)**

Направленность программы бакалавриата

«Биология. Химия »

Проверка на объем заимствований:

89,31 % авторского текста

Работа рецензирована к защите
рекомендован/не рекомендован

« 01 » 06 2019 г.

зав. кафедрой Химии, экологии и МОХ

(название кафедры)

С Сутягин А.А.

Выполнила:

Студентка группы ОФ-501/068-5-1

Малкова Алина Олеговна Малкова

Научный руководитель:

старший преподаватель,

Заслуженный учитель РФ

Меньшиков Меньшиков Владимир Владимирович

**Челябинск
2019**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.1 Колориметрия.....	8
1.2 Фотометрия.....	16
1.3 Спектрофотометрия.....	18
1.4 Колориметрическое титрование.....	22
Выводы по первой главе.....	23
ГЛАВА 2 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ.....	25
2.1 Количественный анализ ионов в растворе.....	25
2.2 Тест-полоски для колориметрического обнаружения ионов Fe^{3+}	32
2.3 Спектрометрия пламени с помощью мобильных приложений AspectraMini и Shoebox spectrophotometer.....	34
2.4 Флуоресцентный микроскоп на основе смартфона.....	36
2.5 Индикатор радиоактивности «НЕЙВА ИР–002» и приложение Radiation Detection.....	38
2.6 Определение константы скорости реакции обесцвечивания кристаллического фиолетового с помощью гидроксид-ионов.....	39
2.8 Титрование с использованием мобильного приложения Titration ColorDarts.....	46
2.9 Количественная оценка содержания белка.....	47
2.10 Спектрометрический анализ концентрации ионов Fe^{2+} с использованием мобильного приложения.....	49

2.11 Анализ вещества микрометодом с помощью приложения Image Color Picker	51
Вывод по второй главе	52
ГЛАВА 3 СОДЕРЖАНИЕ, МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ У ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОСОБЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ TITRATION COLORCAM.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	62
ПРИЛОЖЕНИЕ	72

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В современном школьном образовании реализация ФГОС второго поколения, ставит задачу формирования метапредметных результатов обучающихся, а именно – умение учиться. Принимая это во внимание, учителю важно в своей деятельности реализовывать разнообразные и эффективные (современные) формы организации образовательного пространства. Одной из таких форм использование возможностей средств информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их рациональное применение в образовательном процессе.

Внеурочная деятельность, является обязательным компонентом основной образовательной программы школы и объединяет виды деятельности школьников, кроме деятельности на уроке, в которых возможно и целесообразно решение задач их воспитания и социализации. Организация занятий по направлениям внеурочной деятельности является неотъемлемой частью образовательного процесса в школе. Для реализации в школе доступны следующие виды внеурочной деятельности:

- 1) игровая;
- 2) познавательная;
- 3) туристско-краеведческая;
- 4) досугово-развлекательная;
- 5) спортивно-оздоровительная;
- 6) трудовая;
- 7) социальное творчество;
- 8) художественное творчество;
- 9) проблемно-ценностное общение.

Развитие познавательной деятельности является одной из ведущих задач образования. Федеральный государственный образовательный стандарт устанавливает требования к личностным образовательным

результатам: готовность и способность обучающихся к саморазвитию и личностному самоопределению, сформированность их мотивации к обучению и целенаправленной познавательной деятельности.

Целью познавательной деятельности является познание нового, неизвестного, установление связи с известным. Создание новых образов, понятий, объектов, применение новых, оригинальных приёмов и способов в решении поставленных задач.

Во внеурочной деятельности по химии используются методы качественного и количественного анализа, необходимые учителю для подготовки школьников к олимпиадам. Среди количественных анализов применяются только некоторые методы, например, такие как, гравиметрический метод, но он требует наличие аналитических весов, которые не имеются во многих школах. Тонкослойная, бумажная и колоночная хроматография в школах используются как методы качественного, а не количественного анализа. Фотометрические методы анализа проводятся только визуальными способами, например, с помощью цветного диска, оттенки на котором сравниваются с оттенками раствора. Но данные методы зависят от чувствительности человеческого глаза. Иногда сложно различить растворы, имеющие приблизительно одинаковые оттенки, либо очень слабую окраску. Поэтому для таких методов возможно применение смартфонов, светочувствительность которых сравнима с приборами.

Для выполнения проектов по химии ученикам может потребоваться сравнительно дорогое лабораторное химическое оборудование. В настоящее время школы пока не имеют финансовой возможности приобрести данную технику.

Анализ литературы [13-18, 28-37, 43-47, 62-79] позволяет говорить о том, что недостаток оборудования для методов фотометрического количественного анализа можно компенсировать различными приложениями в смартфоне. Смартфоны, с таким программным

обеспечением как IOS или Android, представляют собой интегрированные устройства с такими передовыми технологиями, как быстрые процессоры, удобный интерфейс, высококачественные цифровые камеры, GPS, гироскопические датчики и т.д. Измерения и программы можно использовать в различных областях и науках (учебных предметах). Высокая вычислительная мощность современных смартфонов позволяет использовать их в качестве доступных устройств в сенсорной технологии в фотометрических измерениях. Камеры смартфонов позволяют делать не только снимки, но и с помощью специальных приложений могут выступать в роли микроскопа или спектрометра с достаточно точным анализом. Полученные в ходе измерений значения могут быть отображены и проанализированы более подробно и чётко благодаря экранам с высоким разрешением.

Современные модели преподавания и обучения предполагают, что использование классических педагогических методик в сочетании с мобильными технологиями улучшает обучение школьников. На данный момент существуют приложения для научных занятий, которые можно использовать на лабораторных работах с учениками.

Цель – изучить возможности использования мобильных устройств при постановке исследовательского эксперимента во внеурочной деятельности по химии.

Задачи:

- 1) изучение и анализ литературного материала по теме исследования;
- 2) изучение программ и возможностей смартфонов и других средств ИКТ;
- 3) разработка и проведение химического эксперимента с целью выяснения точности соответствия полученных значений между лабораторным оборудованием и приложением на мобильном телефоне;

4) пробный педагогический эксперимент с обучающимися по использованию мобильных устройств при постановке исследовательского эксперимента во внеурочной деятельности по химии.

Объект исследования – исследование использования смартфонов в проектной деятельности обучающихся.

Предмет исследования - мобильные приложения в проектной деятельности по химии в школе.

Гипотеза - процесс обучения может быть более эффективным, если в учебной деятельности будут использованы ИКТ.

Практическая значимость – разработаны методические рекомендации для учителей, которые могут быть использованы в практике работы во внеурочной деятельности в школе. Адаптирован комплекс лабораторных работ по химии для проведения количественного фотометрического анализа с помощью мобильных приложений для смартфонов, используемых в процессе обучения в средней и основной школе.

ГЛАВА 1 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СМАРТФОНОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ХИМИИ ВО ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Умение учиться предполагает познание нового, неизвестного, установление связи с известным, создание новых образов, понятий, объектов, применение новых, оригинальных приёмов и способов в решении поставленных задач.

Современные средства и сервисы ИКТ могут значительно расширить спектр форм организации внеурочной деятельности, существенно дополнить содержание обучения и разнообразить виды деятельности обучающихся. Целенаправленное, последовательное и систематическое использование ИКТ способствуют повышению качества образования, достижения планируемых образовательных результатов в условиях реализации ФГОС.

Для повышения навыков в использовании современной электронной техники, рассмотрим варианты применения смартфонов и ПК в условиях внеурочной деятельности в школе при проведении химического эксперимента исследовательского характера, описанного в главе 3.

1.1 Колориметрия

Колориметрический метод основан на измерении интенсивности светового потока, прошедшего через окрашенный раствор. В колориметрии используют разнообразные химические и физические процессы, которые сопровождаются изменением цвета. Измеряя светопоглощение такого окрашенного раствора и сравнивая полученную окраску с раствором известной концентрации, определяют содержание исследуемого вещества [3].

Если через стеклянный сосуд, заполненный раствором, пропустить пучок света, то за счёт различных процессов отражения и поглощения света на границе стекло-раствор, окрашенным веществом или за счёт рассеивания света взвешенными частицами, присутствующими в растворе, происходит ослабление интенсивности пучка света. Эту разницу измеряют на основе закона Бугера-Ламберта-Бера (1) [3]:

$$A = \varepsilon LC \quad (1)$$

где A – оптическая плотность;

L – толщина раствора, через который проходит падающий свет;

C – молярная концентрация;

ε – молярный коэффициент поглощения ($\text{моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$) для данной длины волны.

Молярная абсорбционная способность соединения зависит от длины волны, температуры и природы растворителя. Её значение обычно известно для длины волны в максимуме поглощения. Это значение, которое соответствует оптической плотности раствора с концентрацией $1M$ и толщиной слоя 1 см , может варьироваться в широких пределах (от 0 до 200 000). Если m – это количество вещества на литр, а M – его молярная масса (выраженная в г), тогда уравнение принимает вид (2):

$$A = \varepsilon L \frac{m}{M} \quad (2)$$

Эта формула основана на гипотезе Ламберта о том, что интенсивность I монохроматического излучения уменьшается на dI (т.е. отрицательно), когда он проходит через толщину dx материала с коэффициентом поглощения k на выбранной длине волны.

Если I_0 представляет интенсивность падающего излучения до того, как оно пройдет через среду толщиной L , которая имеет коэффициент поглощения k , передаваемая интенсивность I будет определяться интегрированной формой уравнения (3–5):

$$[\ln I_x]_{I_0}^I = -k [x]_0^L \quad (3)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -kL \quad (4)$$

$$I = I_0 \exp(-kL) \quad (5)$$

В 1850 году Бер применил уравнение к разбавленному раствору соединения, растворенного в бесцветной среде. Он предположил, что k пропорционально молярной концентрации C соединения. Вследствие чего уравнение лучше известно в виде следующих уравнений (6, 7) [62]:

$$A = \log \frac{I}{I_0} \quad \text{или} \quad A = \log \frac{1}{T} \quad (6)$$

где T – коэффициент пропускания, определяемый следующим образом:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad \text{или} \quad \%T = \left(\frac{I}{I_0}\right) \cdot 100 \quad (7)$$

Физический смысл закона Бугера-Ламберта-Бера выражен следующим образом: оптическая плотность растворов при прочих равных условиях прямо пропорциональна концентрации вещества и толщине поглощающего слоя [2].

Проведение лабораторных работ по фотометрическому количественному анализу с использованием приложений в смартфонах основываются на законе Бугера-Ламберта-Бера.

Приложения ImageJ, Adobe Photoshop, Image Color Picker

Абсорбцию света обычно измеряют с использованием таких оптических приборов, как спектрометр или колориметр, которые могут количественно определять поглощение на одной длине волны. В большинстве школ нет доступа к такому оборудованию. Тем не менее, многие ученики, не подозревая об этом, имеют возможность количественного анализа, которое может обеспечить достаточную точность определения концентрации окрашенных соединений. Примером таких приборов являются цифровые камеры, в том числе на мобильных телефонах.

Для проведения химического эксперимента необходимо соблюдать стандартные условия:

- сосуд с исследуемым раствором используют чистый и бесцветный;
- обеспечить достаточное освещение можно, используя встроенный в смартфон фонарик;
- измерения проводят, помещая сосуд с раствором на фоне белого листа;
- смартфон располагают в вертикальном положении и нацеливая на центр сосуда (Приложение 1, рис. 21).

Сосуды с растворами устанавливают перед излучателем, и фиксируют изображения с помощью камеры телефона. Для сведения к минимуму систематические ошибки, вызванные небольшими отклонениями в толщине слоя раствора, следует использовать стандартное расстояние между камерой телефона и сосудом с раствором. Ключевым элементом для получения надежных данных является анализ всех растворов, включая неизвестные, на одном изображении.

Величины абсорбции получают из изображений, измеряя в начале значения RGB (цветовая модель, описывающая способ кодирования цветов с помощью трех основных цветов: R – красный, G – зелёный, B – синий) образцов, используя программы ImageJ, Adobe Photoshop, либо Image Color Picker. Выбираются либо одиночные пиксели, либо средние значения RGB для нескольких пикселей, т.е. выбирается либо одиночный фрагмент изображения, либо несколько фрагментов, значения которых суммируются и делятся на выбранное количество. Пиксель – минимальный и неделимый элемент, из которого состоит изображение на экране монитора [37].

ImageJ представляет собой программу обработки и анализа изображений с открытым исходным кодом, то есть доступная для просмотра, а также для изучения и изменения. В программе ImageJ для определения каждого значения используется прямоугольник, покрывающий большую часть однородного цвета в каждой кювете

(размером примерно 0,9 см на 2,0 см). Далее применяют дополнение к программе под названием RGBMeasure, которое определяет средние значения R, G и B для пикселей, содержащихся в прямоугольнике.

Приложение Image Color Picker – приложение, располагающееся в сети Интернет и анализирующее изображения, загруженные с других устройств. Оно использует палитру цветов в Интернете, с помощью которой можно изучать изображения, получая значения в цветовом пространстве RGB. Для анализа интенсивности окраски пользователь самостоятельно выбирает три разные точки на полученном изображении. В дальнейшем происходит вычисление абсорбции цвета. Абсорбция (A) находится через отрицательный логарифм коэффициента пропускания (I_n/I_{blank}) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = -\log (I_n/I_{\text{blank}}), \quad (7)$$

в которой I_n обозначает значение определяемых цветов R, G или B для образца и I_{blank} значения R, G или B, полученные из экспериментального изображения. Данное уравнение является аналогом уравнения Бугера-Ламберта-Бера. Исходя из полученных данных, строят график на миллиметровой бумаге или с помощью компьютера в соответствующих программах. На полученном графике зависимости абсорбции от концентрации строят линию тренда, а затем используют для определения концентрации неизвестных растворов.

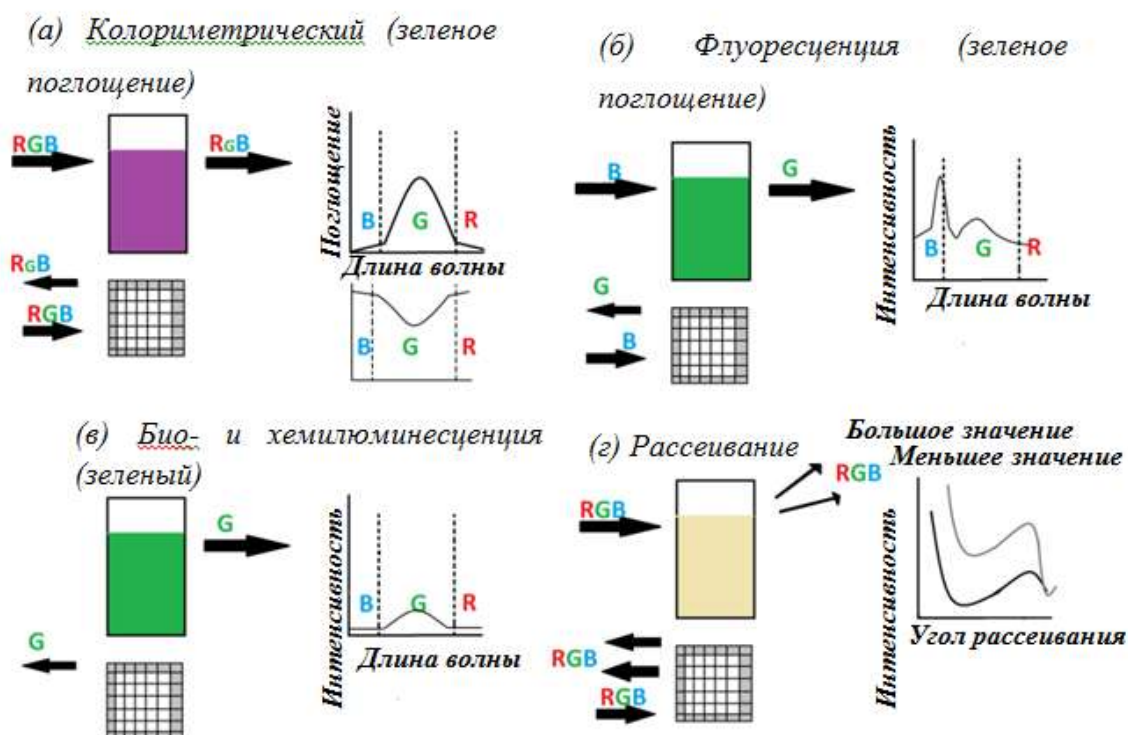


Рис. 1 Типичное оптическое обнаружение света, прошедшего через платформы жидких образцов (например, кювета), а также отраженного от твердых платформ образцов (т.е. планшеты с растворами), с использованием (а) колориметрических анализов, (б) флуоресцентного анализа, (в) био- и хемилюминесцентных анализов, и (г) анализа на основе рассеяния

Исходное цветовое пространство RGB может быть преобразовано в цветовое пространство CIE Lab, которое наилучшим образом соответствует человеческому зрению. В этой модели любой цвет определяется светлотой (L- Lightness) и двумя хроматическими компонентами: канал a – это цвета от темно-зеленого через серый до пурпурного цвета, канал b – это цвета от синего через серый до желтого. Каналы a и b меняются от -128 до 127 , а параметр L от 0 до 100. Сначала RGB преобразуют в XYZ, который затем преобразуют в CIE Lab. Исходное изображение принимается за (R, G, B). Нелинейный sRGB обрабатываются помощью обратной гамма-коррекции:

$$\begin{cases} R_{\text{линейная}} = y^{-1} \left(\frac{R}{255} \right) \\ G_{\text{линейная}} = y^{-1} \left(\frac{G}{255} \right) \\ B_{\text{линейная}} = y^{-1} \left(\frac{B}{255} \right) \end{cases}$$

$$y^{-1}(x) = \begin{cases} \left(\frac{x+0.055}{1.055} \right)^{2.4} & , x > 0.04045 \\ \frac{x}{12.92} & , x \leq 0.04045 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} R_{\text{линейная}} \\ G_{\text{линейная}} \\ B_{\text{линейная}} \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} L^* = 116f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - 16 \\ a^* = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right] \\ b^* = 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right] \end{cases}$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & t > \left(\frac{3}{29} \right)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6} \right)^2 t + \frac{4}{29}, & t \leq \left(\frac{3}{29} \right)^3 \end{cases}$$

X_n , Y_n и Z_n – значения, которые составляют 95,047, 100,0 и 108,883 соответственно.

Разница цветов ΔE_{00} между двумя цветовыми блоками (L_1^*, a_1^*, b_1^*) и (L_2^*, a_2^*, b_2^*) рассчитывается по формуле CIEDE2000 – математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами в колориметрии. Три параметра k_L , k_C и k_H равны 1. Расчеты выполнены следующим образом:

$$C_i^* = \sqrt{a_i^{*2} + b_i^{*2}}, \quad i = 1, 2$$

$$\bar{C}^* = (C_1^* + C_2^*)/2$$

$$G = 0.5 \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^{*7}}{\bar{C}^{*7} + 25^7}}\right)$$

$$a_i' = (1+G)a_i^*, \quad i = 1, 2$$

$$C_i' = \sqrt{a_i'^2 + b_i^{*2}}, \quad i = 1, 2$$

$$h_i' = \begin{cases} 0, & b_i^* = a_i' = 0 \\ \arctg\left(\frac{b_i^*}{a_i'}\right), & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^*$$

$$\Delta C' = C_2' - C_1'$$

$$\bar{h}' = \begin{cases} h_2' + h_1' C_1' C_2' = 0 \\ \frac{(h_2' + h_1')}{2} C_1' C_2' \neq 0, |h_2' - h_1'| \leq 180^\circ \\ \frac{(h_2' + h_1' + 360^\circ)}{2} C_1' C_2' \neq 0, |h_2' - h_1'| > 180^\circ, (h_2' + h_1') < 360^\circ \\ \frac{(h_2' + h_1' - 360^\circ)}{2} C_1' C_2' \neq 0, |h_2' - h_1'| > 180^\circ, (h_2' + h_1') \geq 360^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{h}') + 0.32 \cos(3\bar{h}' + 6^\circ) - \\ - 0.2 \cos(4\bar{h}' - 63^\circ)$$

$$\Delta \Theta = 30 \exp\left\{-\left[\frac{\bar{h}' - 275^\circ}{25}\right]\right\}$$

$$R_c = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

$$S_c = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}' T$$

$$R_T = -\sin(2\Theta)R_c$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{00}(L_1^* \ a_1^* \ b_1^*, L_2^* \ a_2^* \ b_2^*) = \\ = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)} \end{aligned}$$

1.2 Фотометрия

Фотометрический метод анализа – совокупность методов молекулярно-абсорбционного спектрального анализа, основанных на избирательном поглощении электромагнитного излучения в видимой, ИК и УФ областях молекулами определяемого компонента. Концентрацию определяемого компонента устанавливают по закону Бугера-Ламберта-Бера [6].

В модели RGB все цвета получаются путём смешения трёх базовых (красного, зелёного и синего) цветов в различных пропорциях. Доля каждого базового цвета в итоговом может восприниматься, как координата в соответствующем трёхмерном пространстве, поэтому данную модель часто называют цветовым кубом (Приложение 1, рис. 23). HSV основана на модели RGB, но у неё другая система координат: каждый цвет в этой модели получается путем добавления к основному спектру черной или белой краски. При этом тон – это собственно цвет и есть, насыщенность - процент добавленной к цвету белой краски, а яркость - процент добавленной чёрной краски. Описание цветов в этой модели не соответствует цветам, воспринимаемых человеческим глазом. Эта модель используется в графических редакторах при настройке палитры цвета. На практике цветовую модель RGB применяют для концентрированных растворов, у которых явно заметен переход окраски. Приложения,

использующие цветовое пространство HSV применимы к растворам с низкой концентрацией в них определяемого вещества.

1.2.1 Приложения Color Grab и Color Assist

Для измерения интенсивности окраски растворов и для дальнейшего анализа значений, можно использовать фотокамеры смартфонов. При работе с данным приложением соблюдают стандартные условия. Отличие данного приложения заключается в том, что в нем используется другая цветовая модель. Вместо RGB, цвет измеряют с помощью цветовой модели HSV (H – оттенок, S – насыщенность, V – значение цвета) и сообщают значение H (Приложение 1, рис. 22); затем повторяют все этапы с каждым раствором. По полученным значениям H, которые зависят от массы растворенного вещества, строится график, включающий в себя как растворы с известной концентрацией, так и растворы с неизвестной концентрацией [46, 47].



Рис. 2 Изменение окраски растворов с изменением концентрации веществ

1.2.2 Смартфон в качестве фотометра

Фотометр для смартфонов использует собственный светодиодный индикатор устройства в качестве источника света для фотометрического измерения. Свет проникает в образец и попадает на датчик окружающего

света на лицевой стороне смартфона, который фиксирует и записывает интенсивность падающего света [64].

Необходимо следить за тем, чтобы фотометр для смартфонов мог измерять только образцы, угасание которых лежит в видимом диапазоне длин волн света. Это ограничение связано с использованием светодиодного фонарика в качестве источника света. После того, как свет от фонарика проходит через образец, он передается датчику окружающего света в смартфоне и измеряется интенсивность света. Оценка сигнала датчика, а также всех задач управления осуществляется приложением «VTsensor» [64].

1.2.3 Приложение Shoebox spectrophotometry

Для расчета и отображения значений оптической плотности разработано приложение «Shoebox spectrophotometry». Приложение позволяет измерять количество света, попадающего на датчик при калибровке, и измерение света, попадающего на датчик, когда исследуются образцы растворов. Приложение рассчитывает и отображает значение поглощения для измерения [34].

1.3 Спектрофотометрия

Спектрофотометрия – метод, основанный на измерении поглощений монохроматических излучений. Каждая однородная среда обладает способностью избирательно поглощать излучения определенной длины волны. Лучше всего это заметно на системах, обладающих избирательным поглощением в видимом участке спектра. Так, цвет любого окрашенного раствора является дополнительным к цвету поглощенного излучением [15].

1.3.1 Измерение флуоресцентной спектроскопии с помощью смартфона

Для выполнения эксперимента заранее необходимо купить дифракционную решетку. Можно разработать подставку, которая сопрягает основную камеру смартфона, располагающейся на задней панели с оптическими компонентами, необходимыми для сбора, коллимирования (создания параллельно идущего потока излучения при помощи щели, через которую он проходит) и рассеивания света из небольшого объема жидкости, которая содержит флуоресцентные вещества. Держатель механически выравнивает дифракционную решетку, цилиндрическую линзу, коллимирующую линзу и отверстие. Для работы используется кювета с прозрачным раствором, лазерная указка, фокусирующая линза, собирающая линза. Удерживая все компоненты в правильном положении, подставка предотвращает попадание внешних источников света на камеру [79].

Цилиндрическая линза устанавливается перед источником лазерного возбуждения для создания сфокусированной линии, центрированной внутри кюветы. Фокусная точка собирающей линзы находится в той же центральной точке кюветы. Свет, выходящий из дистального конца волокна, является квазиколлимированным точечным источником, который затем коллимируется с помощью точечной щели и коллимирующей линзы до попадания на цилиндрическую линзу, которая фокусирует падающий свет вдоль только одной оси на дифракционную решетку, ориентированную под углом 47° относительно пути света, чтобы соответствовать решетке первого порядка режима дифракции. Наконец, решетка рассеивает свет на датчик изображения CMOS смартфона, обеспечивая разделение спектральных компонентов, которые можно наблюдать на фотографии в виде многоцветной полосы [79].

Внутренняя камера чувствительна к длинам волн в видимом спектре 400-700 нм. Ширина цветной полосы на изображении составляет ~

180 пикселей, что позволяет интегрировать спектральную интенсивность каждой длины волны благодаря вкладу многих независимых датчиков. Учитывая разрешение пикселей камеры и диапазон длин волн, флуориметр на основе смартфона имеет дисперсию 0,338 нм/пиксель в спектральном направлении. Флуоресценцию от молекулы-мишени анализируют на уровне растворов-мишеней при различных концентрациях в стандартной 2-оконной полистирольной кювете [79].

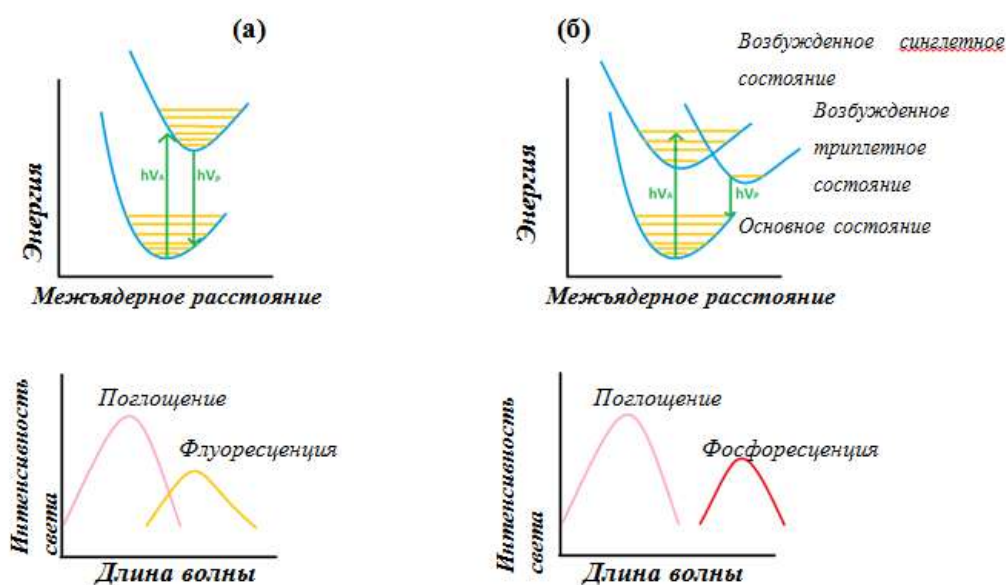


Рис. 3 Электронный переход, приводящий к (а) флуоресцентному излучению при λ_F и (б) фосфоресцентному излучению при λ_P

1.3.2 Прибор SpecPhone

Для измерения видимого спектра различных веществ можно самостоятельно изготовить прибор, который недоступен в большинстве школ. Центральная часть прибора представляет собой несущую конструкцию, которая будет удерживать щель, кювету, решетку и камеру в конкретном положении для более качественного спектрального измерения.

Источник света для SpecPhone может быть настольная лампа, фонарик или светодиод. Единственное требование состоит в том, чтобы

источник света создавал стабильную интенсивность света и относительно плоский спектр по видимым длинам волн [28].

Щель – горизонтальное отверстие в прямоугольной пластине. Ширина отверстия должна быть связана с разрешением прибора: большая ширина щели будет размазывать спектральные цвета компонентов и уменьшать способность различать длины волн, в то время как более узкая ширина щели увеличивает резкость спектральных характеристик.

Кювету в SpecPhone располагают в прямоугольном отверстии размером 1 см.

Зеркало должно опираться на внутреннюю поверхность 45° подложки и закрепляться на месте с помощью клея или двустороннего скотча.

Дифракционная решетка содержит ряд параллельных линий с определенной плотностью, которые преломляют свет в цвета компонентов, вместо призмы. Линии решетки должны быть горизонтальными по отношению к смартфону для того, чтобы свет дифрагировал перпендикулярно щели. Эффективность передачи и интервал между линиями также влияют на качество и разрешение спектра. Дифракционная решетка располагается на минимальном расстоянии от камеры смартфона [28].

1.3.3 Количественное определение изменение цвета рН-бумаги

Восприятие цветов человеческим глазом очень ограничено, что затрудняет работы, в которых требуется индикация различных оттенков одного цвета. Поэтому для проведения таких экспериментов используются светочувствительные приборы, например, смартфоны.

Принцип измерения рН-бумаги заключается в том, что определяющие химические вещества меняют свои цвета в зависимости от концентрации протонов. Во многих типах рН-бумаги цвета для индикации – красный, зеленый и синий. Точно так же порядок этих цветов соответствует спектру видимого света от длинной до короткой длины

волны. Следовательно, цвета бумаги рН могут быть соотнесены со спектром света, а определение рН растворов путем изменения цвета может быть количественно составлено на спектрометре.

Несмотря на то, что спектрометр является устройством, которое может точно измерять цвета, его можно заменить более простыми электронными оптическими устройствами, такие как камера телефона. Смартфон является одним из лучших кандидатов, поскольку он содержит оптический датчик и может анализировать сигнал сам по себе благодаря своей вычислительной мощности. Все процессы могут программироваться и проводиться на основе удобного для пользователя интерфейса и применения в режиме немедленного использования.

Полученные в ходе эксперимента данные могут доказать, что универсальная индикаторная бумага является смесью индикаторов, которой пропитана данная бумага, и меняющая свой цвет в зависимости от среды.

Первый шаг – сделать снимок исходных цветов с образцами, второй шаг – сделать калибровочную кривую из значений полученных для эталонных растворов, а третий шаг – найти цветовые позиции образцов на калибровочной кривой, соответствующих их концентрации [18].

1.4 Колориметрическое титрование

В настоящее время на мобильных телефонах имеются приложения с «дополненной реальностью».

Термин «дополненная реальность» (AR) представляет собой прямой или косвенный взгляд на физическую среду реального мира, которая дополняется элементами, генерируемыми компьютером. «Дополненная реальность» помогает улучшить восприятие реальности, в отличие от виртуальной реальности, которая пытается заменить реальный мир имитируемым компьютером.

В отличие от виртуальных экспериментов, это приложение требует, чтобы учащиеся находились в лаборатории, стоя перед реальной экспериментальной установкой для титрования, состоящей, например, из стакана, штатива и бюретки, но без химических веществ или опасных веществ, запрещенных в школе. Эксперимент, наблюдаемый через экран смартфона или планшета, выполняется путем запуска приложения, которое после приема входных данных от пользователя, через представленные интерфейсы, соответствующим образом накладывает рассчитанные элементы измерений на установку и демонстрирует проводимый эксперимент.

Данное приложение может быть использовано при обучении титрованию даже большого количества учащихся, когда не хватает оборудования на всех [44].

В попытке расширить преимущества смартфонов в химической лаборатории используют Android-приложение «Titration ColorCam». Количественные данные при виртуальном титровании преобразуются в звук (звуковые сигналы) и тактильную (вибрацию устройства) обратной связи при определении точки эквивалентности.

Выводы по первой главе

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать выводы, что такой привычный для нас объект, как мобильный телефон, может с достаточной лёгкостью заменить дорогостоящее лабораторное химическое оборудование. При этом использование смартфонов, направленных на массовое применение, намного проще, чем работа со сложной лабораторной техникой. За счёт своей доступности и простоты в использовании смартфоны позволяют вовлечь всё большее количество обучающихся в процесс познания химии. Более того, мобильные телефоны позволяют привлечь даже самых юных учеников в изучение сложных наук, через научно-игровые приложения. Область применения смартфонов не

ограничивается только химическими экспериментами, она выходит далеко за пределы данной науки.

Смартфон можно использовать для фотометрического качественного и количественного анализа. Для этой цели подходят такие мобильные приложения как ImageJ, Adobe Photoshop, Image Color Picker, которые в основе своего измерения используют цветовую модель RGB. Однако цветовое пространство RGB напрямую не связано с длинами волн спектра света. Поэтому цвет, полученный на цветном пространстве RGB, может быть перенесен в цветовое пространство HSV без изменения исходного цвета с помощью приложений Color Grab и Color Assist.

Камеру смартфона можно рассматривать как отдельный спектрометр, с помощью которого можно собирать разнообразную информацию о спектрах. Для таких работ необходимо купить дополнительное, чаще всего недорогостоящее оборудование и собрать установки для измерения различных спектров веществ, которые позволяют продемонстрировать ключевые принципы спектрофотометрии.

ГЛАВА 2 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Для оценки эффективности использования смартфонов и различных средств ИКТ во внеурочной деятельности были проведены лабораторные опыты с применением мобильных приложений (таблица 1), результаты которых сравнивали со значениями традиционных лабораторных методов.

Таблица 1

Мобильные приложения, использованные для лабораторных экспериментов

№ п/п	Методики	Мобильное приложение
1	Количественный анализ ионов в растворе	Color Grab
2	Колориметрическое обнаружение ионов Fe^{3+} с помощью тест-полосок	Color Grab
3	Спектрометрия пламени	AspectraMini или Shoebox spectrophotometer
4	Флуоресцентная микроскопия	Камера мобильного телефона
5	Измерение радиоактивности	Radiation Detection
6	Определение концентрации веществ	ColorMeter Free
7	Кислотно-основное титрование	Titration ColorDarts
8	Выполнение лабораторных работ по биохимическому анализу	ColorMeter Free
9	Спектрометрический анализ концентрации ионов Fe^{3+}	AspectraMini
10	Анализ веществ микрометодом	Image Color Picker

2.1 Количественный анализ ионов в растворе

Для сравнительных анализов на ионы NO_2^- , Fe^{3+} была взята вода из озера Смолино г. Челябинска в сентябре 2018 г. Смолино полностью расположено в черте города и подвержено антропогенному воздействию:

со сточными водами в озеро попадают различные загрязнители: органические вещества, нефтепродукты, тяжёлые металлы.

1) Сущность классического лабораторного метода:

Для анализа на данные ионы (NO_2^- , Fe^{3+}) готовят серию стандартных растворов с различным содержанием определяемого компонента и измеряют их оптическую плотность при выбранной длине волны и толщине слоя. Необходимо, чтобы выбранный интервал концентрации соответствовал области возможных изменений концентраций анализируемых растворов. Строят градуировочный график. В случае подчинения закону Бугера-Ламберта-Бера и при измерении оптической плотности относительно чистого растворителя, график представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Измеряют оптическую плотность исследуемого раствора A_x и по графику находят концентрацию C_x вещества в растворе.

2) Метод основанный на использовании мобильного приложения Color Grab:

После приготовления всех растворов приступают к измерению цвета растворов, используя камеру смартфона. Для анализа мерную колбу помещают на белый лист бумаги с нарисованным на нем кружком, для точного определения местоположения колбы. С противоположной стороны колбы размещают второй белый лист. Необходимо обеспечивать одинаковое освещение колбы с раствором при последующих измерениях, чтобы избежать ошибок. Смартфон необходимо располагать вертикально, сфокусировав на центр колбы.

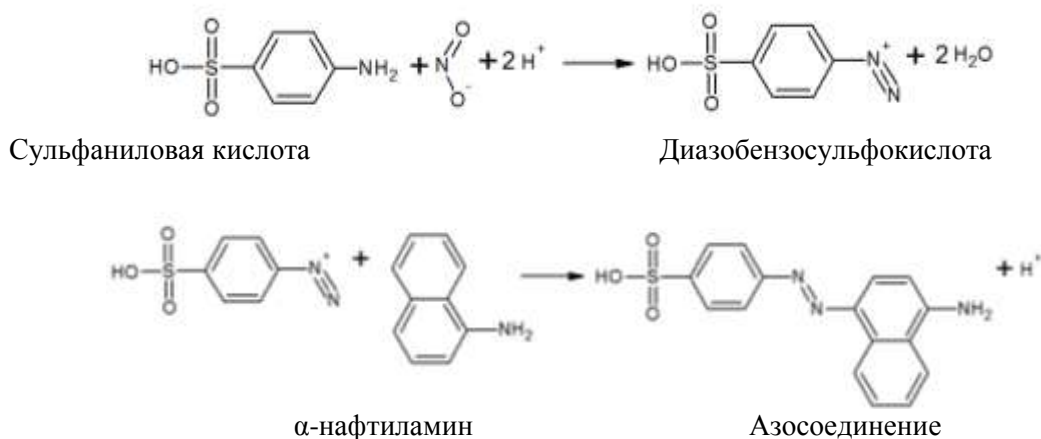
Для каждого раствора измеряют цвет с помощью цветовой модели HSV и записывают значение H. По полученным данным строится калибровочный график и определяется неизвестная концентрация вещества в исследуемом растворе.

Определение нитритов в воде по Гриссу:

Метод основан на диазотировании сульфаниловой кислоты присутствующими в пробе нитритами и последующей реакции получения азокрасителя с α -нафтиламином красно-фиолетового цвета.

Интенсивность окраски пропорциональна концентрации нитритов.

Реакции протекают по следующей схеме:



Результаты количественного обнаружения нитрит-ионов представлены в таблицах 2, 3 и на рисунках 4-6.

Таблица 2

Значения оптической плотности, полученные лабораторным методом и мобильным приложением Color Grab

Концентрация NO_2^- , мг/л	Оптическая плотность		
	КФК – 3, нм	Лампа накаливания (60 Вт), град	Светодиодная лампа (60 Вт), град
0	0,054	380	74
0,1	0,064	382	72
0,2	0,069	384	71
0,5	0,114	385	68
1,0	0,133	388	66
2,0	0,208	394	63
5,0	0,422	417	57
10,0	0,785	457	48
15,0	1,113	499	39
проба	1,005	468	45

**Вычисленные концентрации NO_2^- ионов в пробе воды взятой
из оз.Смолино**

Способ измерения	Оптическая плотность	Концентрация NO_2^- , мг/л	Ошибка, в сравнении с лабораторным методом, %
КФК - 3	1,005	13,5	-
Лампа накаливания	468	13,5	0
Светодиодная лампа	45	13,9	3

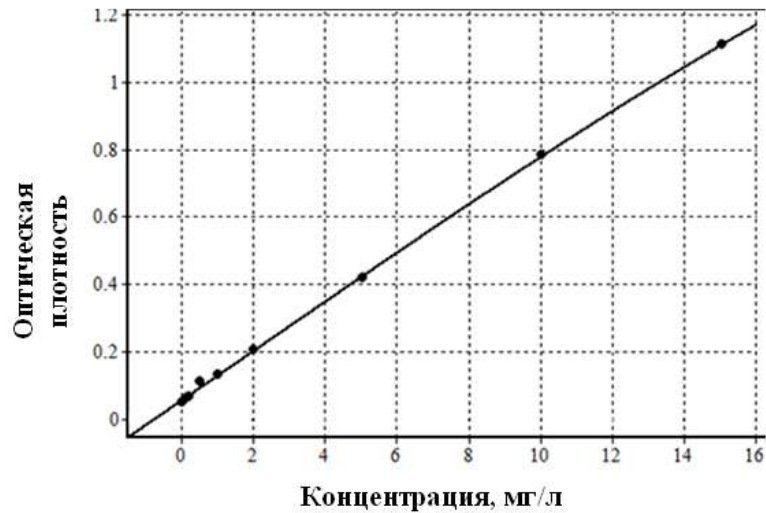


Рис. 4 Калибровочный график содержания NO_2^- в природных водах с реактивом Грисса (КФК)

$$Y = 0.0633954 + 0.0707527 \cdot X$$

$$R^2 = 0.999297 \quad S = 0.000804174$$

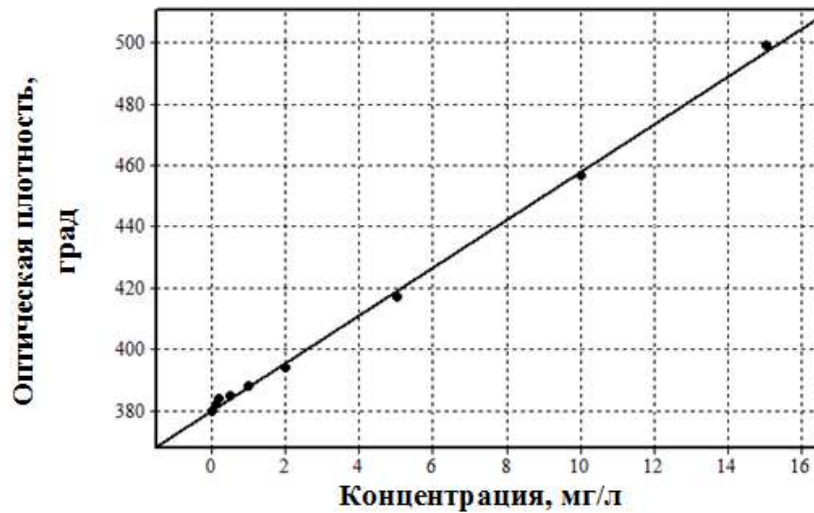


Рис. 5 Калибровочный график содержания NO_2^- в природных водах с реактивом Грисса (Color Grab)

$$Y = 380.274 + 7.79692 \cdot X$$

$$R^2 = 0.998588 \quad S = 19.631$$

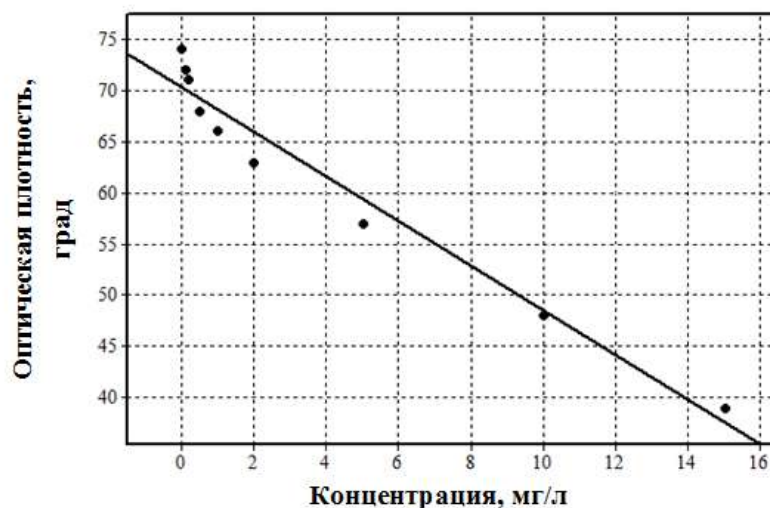


Рис. 6. Калибровочный график содержания NO_2^- в природных водах с реактивом Грисса (Color Grab)

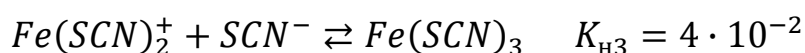
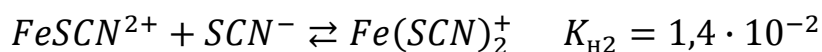
$$Y = 70.1932 - 2.18162 \cdot X$$

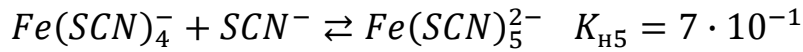
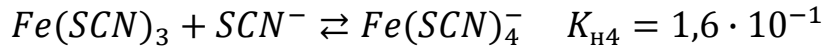
$$R^2 = 0.963549 \quad S = 41.116$$

На основании полученных графиков и значений регрессий для них, можно отметить, что измерение, проводимое с помощью КФК-3 более точно, чем с мобильным приложением Color Grab. Это может быть связано с разрешением и цветовосприятием камеры смартфона. Однако данные отклонения невелики, поэтому мобильные телефоны могут быть использованы для количественного анализа на нитрит-ионы.

Фотометрическое определение железа в виде роданидного комплекса

Ионы Fe^{3+} при $pH < 7$ (среда кислая) взаимодействуют с ионами SCN^- в зависимости от концентрации последних образуют ряд комплексов. В растворе могут существовать железо-роданидные комплексы с координационным числом от 1 до 6. Реакции образования окрашенных роданидных комплексов проходят по следующим схемам :





Результаты количественного обнаружения ионов Fe^{3+} представлены в таблицах 4, 5 и на рисунках 7-9.

Таблица 4

Значения оптической плотности, полученные лабораторным методом и мобильным приложением Color Grab

Концентрация Fe^{3+} , мкг/л	Оптическая плотность		
	КФК – 3, нм	Лампа накаливания, град	Светодиодная лампа, град
0	0,020	36	46
0,2	0,045	33	45
0,3	0,073	32	44
0,45	0,103	31	43
0,6	0,133	29	41
0,9	0,200	27	40
1,5	0,341	25	38
2,25	0,436	23	37
3,35	0,711	21	35
5,0	1,071	19	31
7,5	1,597	11	27
10,0	1,958	5	23
проба	0,021	35	45

**Вычисленные концентрации Fe^{3+} ионов в пробе воды взятой
из оз.Смолино**

Способ измерения	Оптическая плотность	Концентрация Fe^{3+} , мкг/л	Ошибка относительно лабораторного метода, %
КФК - 3	0,021	0	-
Лампа накаливания	35	0,07	7
Светодиодная лампа	45	0,06	6

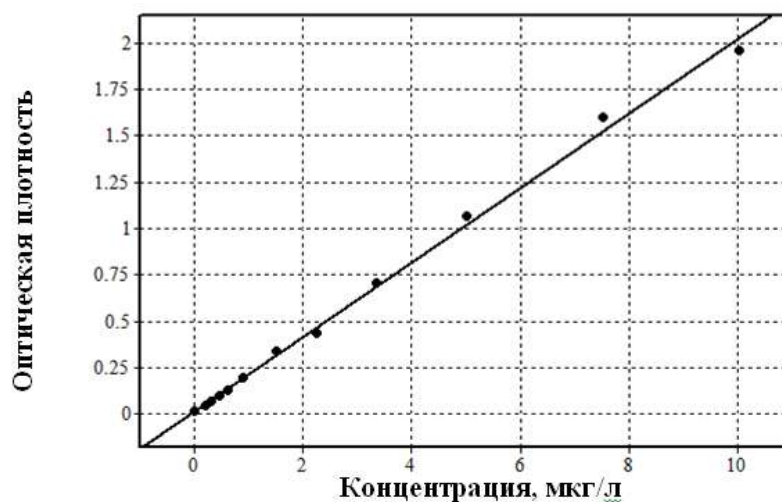


Рис.7 Калибровочный график содержания Fe^{3+} в природных водах (КФК)
 $Y = 0.0203061 + 0.201071 \cdot X$
 $R^2 = 0.996903$ $S = 0.014531$

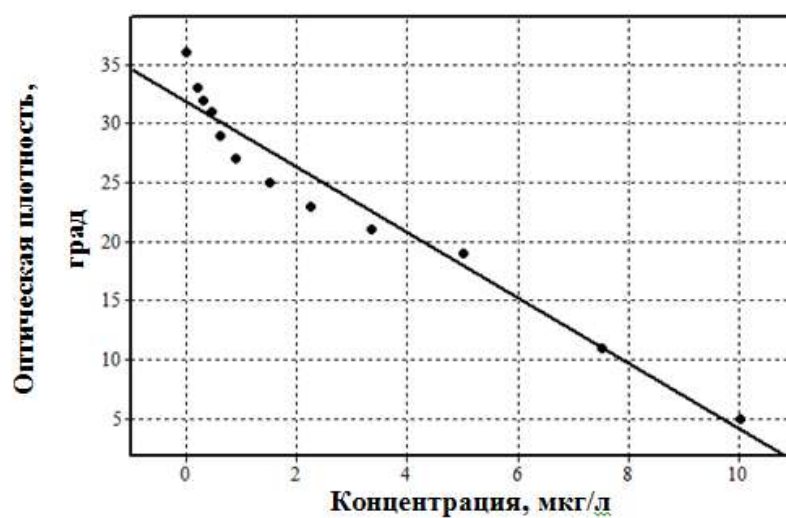


Рис. 8 Калибровочный график содержания Fe^{3+} в природных водах (Color Grab)
 $Y = 31.7426 - 2.77414 \cdot X$
 $R^2 = 0.950514$ $S = 46.351$

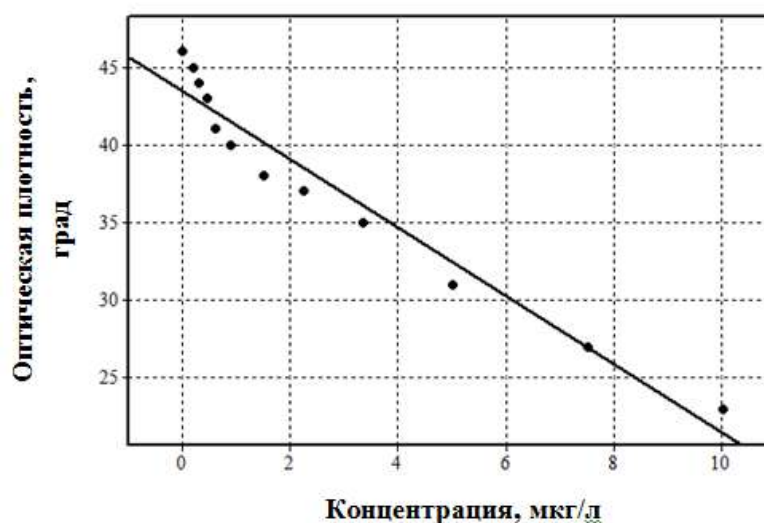


Рис. 9 Калибровочный график содержания Fe^{3+} в природных водах (Color Grab)

$$Y = 43.3807 - 2.20184 \cdot X$$

$$R^2 = 0.95223 \quad S = 28.1361$$

Полученные графики и значения регрессии свидетельствуют о том, что измерения концентрации ионов железа с помощью мобильного приложения Color Grab не являются точными и требует использование других приложений.

2.2 Тест-полоски для колориметрического обнаружения ионов Fe^{3+}

Для экспресс-анализа растворов на содержание разнообразных ионов, не требующего количественно точной оценки, можно использовать тест-полоски, которые представляют собой твердый носитель (например, фильтровальная бумага или силикагель), пропитанный раствором, дающий качественный аналитический сигнал на определяемые ионы.

Альтернативным методом колориметрического обнаружения ионов Fe^{3+} является использование самостоятельно приготовленных твердых тест-полосок. Данный метод не требует наличие сложного оборудования. Механизм распознавания трехвалентного железа происходит через создание комплекса танин- Fe^{3+} .

В данном эксперименте был применен простой колориметрический подход для одновременного распознавания ионов трёхвалентного железа с точки зрения качественного и количественного определения. Материалом-носителем для тест-полосок выступает силикагель, предварительно пропитанный раствором танина в качестве селективного хелатирующего агента. При погружении комплекса в растворы хлорида железа с различной концентрацией происходит изменение цвета полоски со светло-бежевого до синего. В зависимости от концентрации ионов Fe^{3+} в растворе тест-полоски имеют оттенки от светло-синего до тёмно-синего.

В качестве анализирующего прибора применяется мобильное приложение Color Grab, которое более точно, чем человеческий глаз, отмечает разницу в полученных оттенках.

Результаты количественного обнаружения ионов Fe^{3+} с помощью тест-полосок представлены в таблице 6.

Таблица 6

Изменение оттенков тест-полосок, полученных при использовании Color Grab

Концентрация раствора Fe^{3+} , мг/мл	Значение величины оттенка тест-полоски, град	Цвет тест-полоски
0	34	Светло-бежевый
0,1	310	Светло-синий
0,2	270	Синий
0,3	260	Синий
0,5	240	Синий
1,0	238	Тёмно-синий
1,5	227	Тёмно-синий

2.3 Спектрометрия пламени с помощью мобильных приложений AspectraMini и Shoebox spectrophotometer

Человеческий глаз не способен определить изменения интенсивности свечения пламени от концентрации веществ. Одним из наиболее простых методов распознавания ионов некоторых металлов является изменение окраски пламени при введении солей. Например, пламя с введением солей стронция, кальция и лития имеют приблизительно одинаковые оттенки красного цвета, которые не все учащиеся могут различить. Для улучшения восприятия можно воспользоваться смартфоном с использованием специальных мобильных приложений: AspectraMini и Shoebox spectrophotometer, которые, используя камеру телефона, способны зафиксировать изменения яркости пламени. Для данных измерений необходимо соблюдение некоторых условий: этиловый спирт должен быть чистым без примесей, а также перед опытом необходимо промыть фитиль от солей натрия (которые мешают) с помощью соляной кислоты и дистиллированной водой. Лучше использовать голубое пламя газовой горелки.

Для проведения эксперимента готовится серия растворов хлорида натрия и растворов хлорида марганца (II) с концентрациями 2, 4, 8, 12, 16 мг/мл. Эксперимент проводят с помощью нихромовой проволоки.

Предварительно нихромовую проволоку очищают нагреванием и, затем, погружают в концентрированную соляную кислоту на 10-20 сек. Для контрольного измерения нихромовую проволоку погружают в дистиллированную воду, а затем попеременно в растворы с разной концентрацией хлорида натрия. Смоченную проволоку вносят в пламя спиртовки и отмечают его интенсивность с помощью мобильных приложений AspectraMini или Shoebox spectrophotometer.

Можно использовать другую методику, основанную на внесении капель измеряемых растворов в пламя с помощью распыления пульверизатором. Дистиллированную воду и измеряемые растворы

хлорида натрия попеременно помещают в бутылку с пульверизатором, который направляют на пламя. Одновременно с распылением жидкости в пламя спиртовки производят измерение его интенсивности при использовании приложений AspectraMini или Shoebox spectrophotometer.

Недостатком приложения AspectraMini является то, что при высоких концентрациях ионов в растворах спектральная линия выходит за предел своего максимального значения – 1020, что не заложено в программу.

Результаты спектрометрического исследования пламени представлены в таблице 7, 8 и на рисунках 10, 11.

Таблица 7

Результаты измерения интенсивности пламени при погружении нихромовой проволоки, смоченной растворами хлорида натрия

Концентрация, мг/мл	Интенсивность пламени, эВ	
	AspectraMini	Shoebox Spectrophotometer
0	663	13
2	677	25
4	709	40
8	768	50
12	795	58
16	898	71

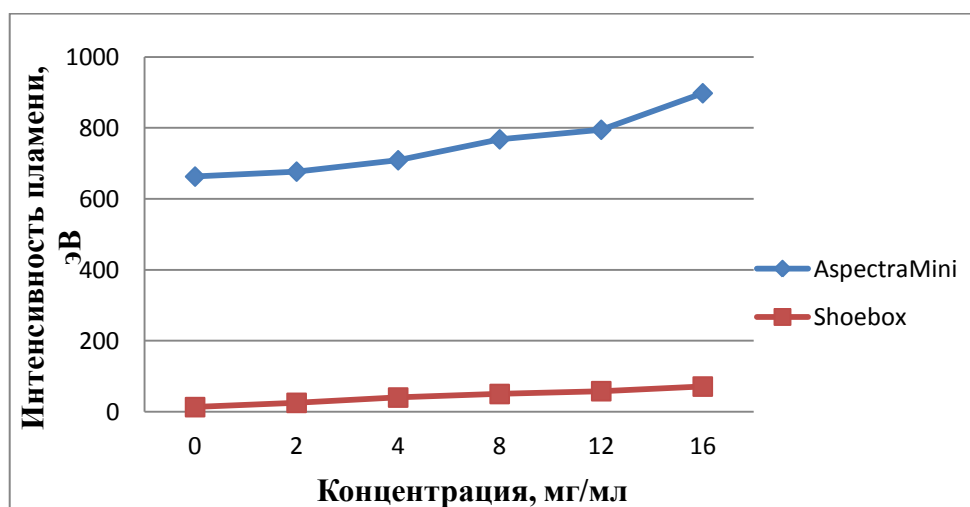


Рис. 10 График, отражающий зависимость яркости пламени спиртовки от концентрации Na^+ в растворе при использовании нихромовой проволоки

**Результаты измерения интенсивности пламени при распылении
растворов хлорида натрия**

Концентрация, мг/мл	Интенсивность пламени, эВ	
	AspectraMini	Shoebox Spectrophotometer
0	656	16
2	932	27
4	948	44
8	1020	53
12	1020	62
16	1020	75

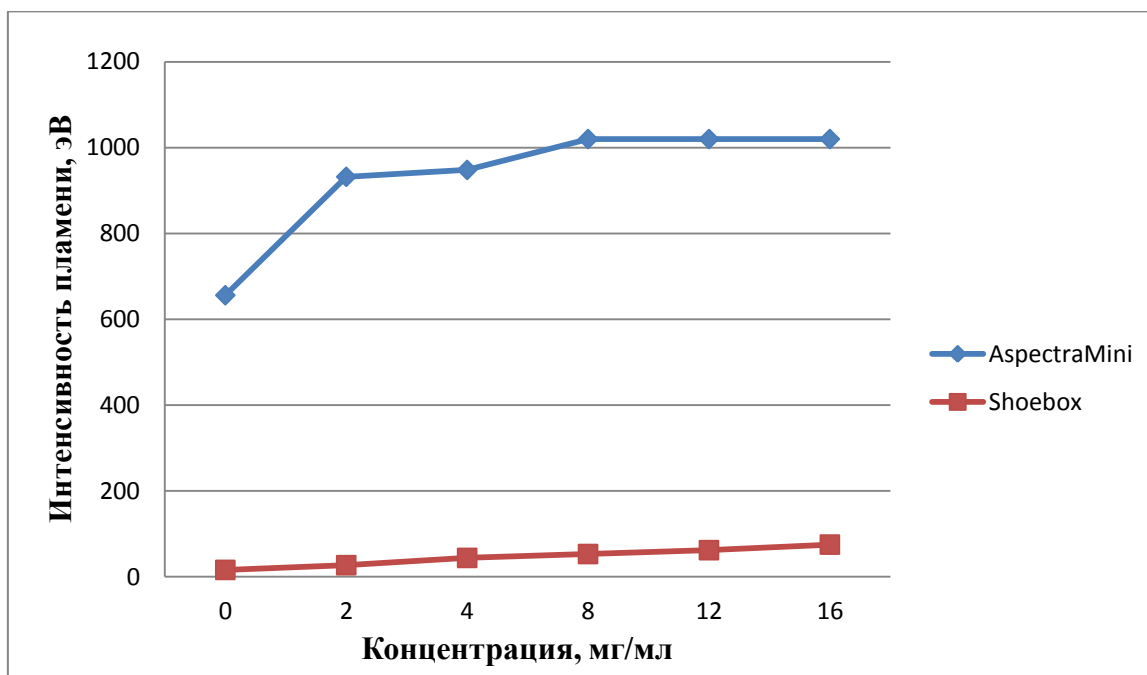


Рис. 11 График, отражающий зависимость яркости пламени спиртовки от концентрации Na^+ в растворе при их распылении

2.4 Флуоресцентный микроскоп на основе смартфона

Молекулы способны поглощать кванты света и переходить в электронно-возбужденное состояние. Возвращение молекулы в основное состояние, сопровождается излучением света, называемое флуоресценцией. Человеческий глаз способен заметить только свечение всего

вещества, а не отдельных молекул. Флуоресцентный микроскоп на основе смартфона позволяет обнаружить отдельные частицы, создающие свечение.

Конструкция прибора сравнительно проста: мобильный телефон со встроенной фотокамерой оснащается дополнительной увеличивающей линзой и фонариком. Фонарик необходим для возбуждения флюоресценции вещества. Образец помещают между линзой и смартфоном и освещают его фонариком, при этом вещество испускает свет, который и фиксируется камерой телефона.

Для анализа использовались водные растворы флуоресцирующих красителей: родамин ж и флуоресцеин. Растворы красителей помещали в стаканы для измерения. Перед стаканом устанавливалась линза с увеличением в 4-8 раз, а сбоку производилась подсветка фонариком. Флуоресценция от частиц улавливались с помощью камеры мобильного телефона (рис. 12, 13).



Рис. 12 Раствор родамина ж



Рис. 13 Раствор флуоресцеина

Данный анализ позволяет проводить опыт по измерению количества флуоресцеирующих частиц в растворах методом турбидиметрии.

2.5 Индикатор радиоактивности «НЕЙВА ИР–002» и приложение Radiation Detection

Естественная радиация существует повсюду. Определение её уровня используется для экологических и биологических анализов. Часто стоимость точных дозиметров радиации для использования неоправданно большая. Наличие недорогих приложений в смартфонах позволяет измерять уровень радиоактивного излучения.

Для сравнительного анализа на величину радиоактивного излучения был взят гранит из учебной коллекции горных пород и минералов кафедры географии и методики обучения географии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Измерение дозы излучения проводилось с помощью индикатора радиоактивности «НЕЙВА ИР–002» и с помощью мобильного приложения Radiation Detection (табл. 9).

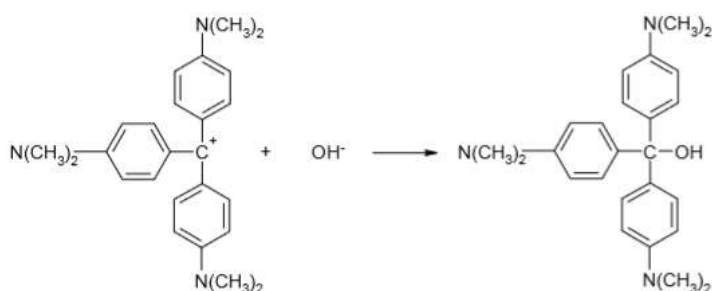
Результаты измерения дозы излучения гранита, полученные с помощью индикатора радиоактивности «НЕЙВА ИР – 002» и мобильного приложения Radiation Detection

Прибор	Индикатор радиоактивности «НЕЙВА ИР – 002», мкР/ч	Мобильное приложение Radiation Detection, мкФ
1	25	726
2	25	729
3	16	719
4	19	722
5	21	725

2.6 Фиксация обесцвечивания кристаллического фиолетового с помощью гидроксид-ионов

Кинетика химических реакций является одной из тем, которая изучается в школе, а также при подготовке обучающихся для участия на различных олимпиадах. Наглядная демонстрация экспериментов, проводимая с помощью смартфона, кинетических процессов позволяет более доступно проводить и объяснить их.

Для проведения анализа предварительно подготавливаются растворы красителя кристаллического фиолетового ($C = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и гидроксида натрия ($C = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л). Оба раствора перемешивают и измеряют поглощение света с помощью фотоколориметра через каждую минуту в течение 15 минут при $\lambda = 590$ нм. Для измерения интенсивности окраски используют приложение Color Grab.



Результаты определения поглощения света раствором при обесцвечивании кристаллического фиолетового с помощью гидроксид-ионов представлены в таблице 10 и на рисунках 14, 15.

Таблица 10

Поглощение света раствором кристаллического фиолетового с гидроксидом натрия

Измерение, мин	Оптическая плотность		
	КФК - 3		Color Grab, град
		$\ln A_t$	
1	4,665	1,540	340
2	4,661	1,539	339
3	4,037	1,395	330
4	4,003	1,387	328
5	3,978	1,381	327
6	3,929	1,368	320
7	3,851	1,348	312
8	3,762	1,325	310
9	3,637	1,291	300
10	3,461	1,242	293
11	3,160	1,151	276
12	2,877	1,057	254
13	2,496	0,915	240
14	1,834	0,606	227
15	1,098	0,093	214

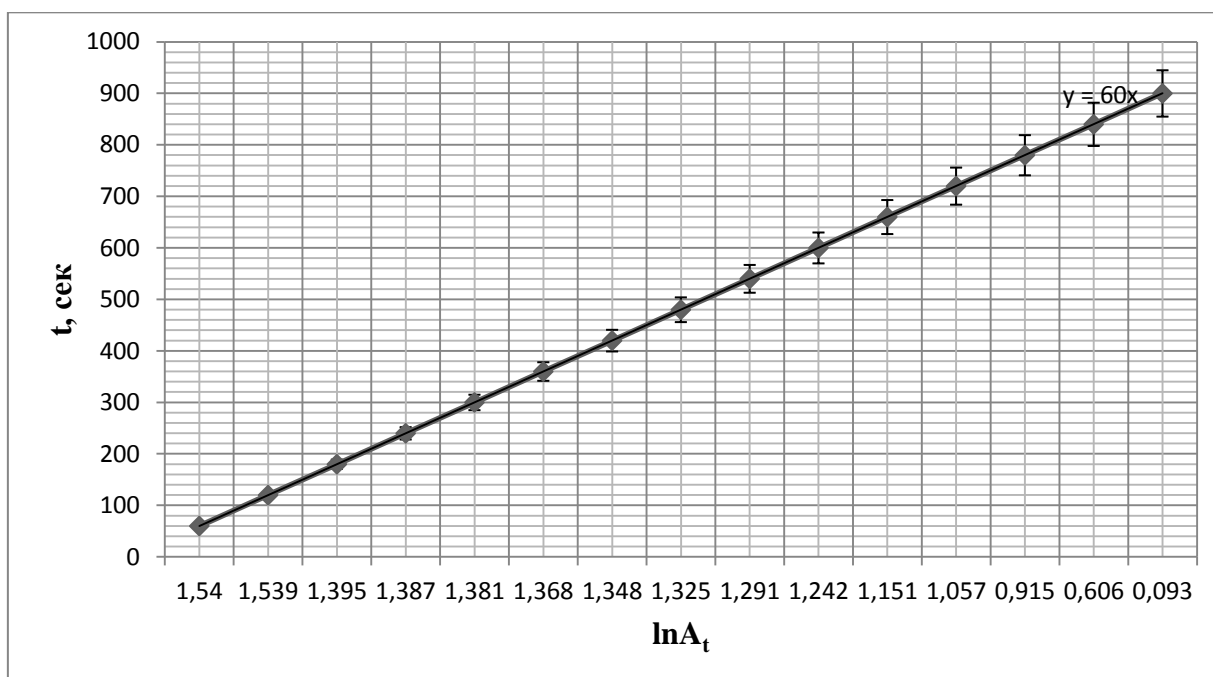


Рис. 14 График зависимости логарифма светопоглощения раствора от времени

$$Y = 1.76004 + 0.00121702 \cdot X$$

$$R^2 = 0.999359 \quad S = 0.0002194$$

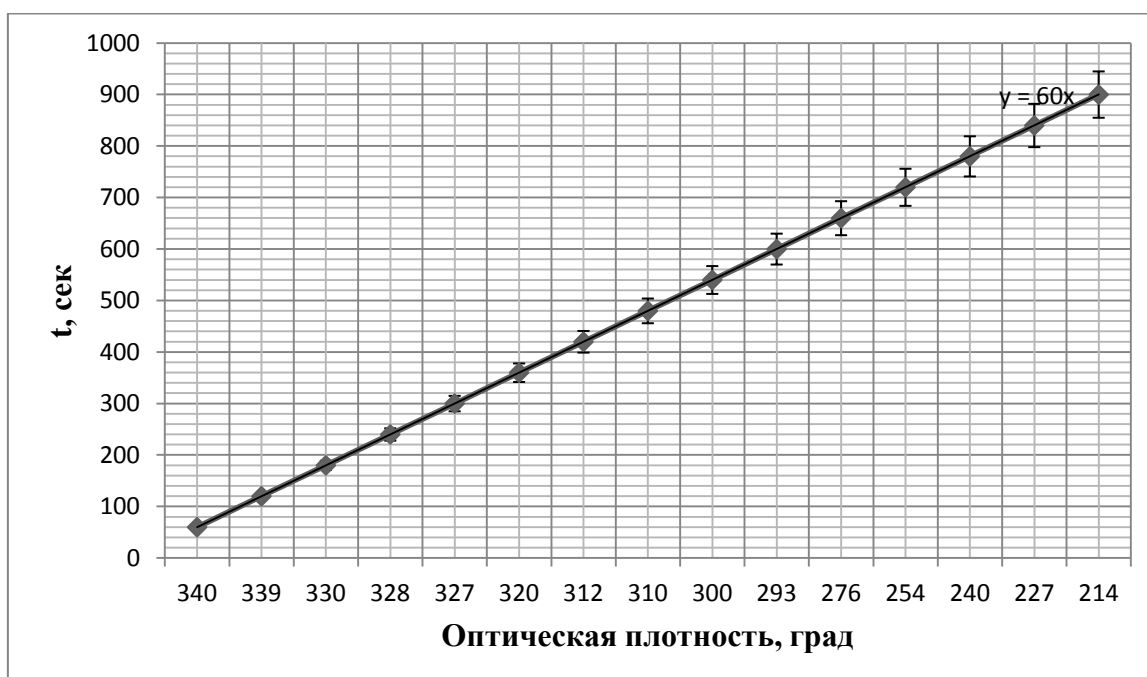


Рис. 15 График зависимости светопоглощения раствора от времени при использовании мобильного приложения Color Grab

$$Y = 365.971 + 0.14994 \cdot X$$

$$R^2 = 0.991808 \quad S = 202.367$$

Полученные графики и значения регрессии свидетельствуют о том, что существуют отклонения от прямолинейной зависимости при измерении кинетических показателей.

2.7 Определение концентрации ацетилсалициловой кислоты из таблеток, содержащих аспирин

Потребление большого количества ацетилсалициловой кислоты может отрицательно сказываться на здоровье человека. Ацетилсалициловая кислота содержится во многих лекарственных препаратах, помимо аспирина. Употребление таких лекарств может привести к тому, что суммарная потребляемая доза ацетилсалициловой кислоты будет больше, чем допустимая доза. Определение ацетилсалициловой кислоты в лекарственных препаратах является важным количественным анализом.

Построение градуировочного графика:

Взвешенные количества ацетилсалициловой кислоты (в данном случае 50 мг, 100 мг, 150 мг, 200 мг, 250 мг, 300 мг, 350 мг, 400 мг, 450 мг и 500 мг) переносят в колбы на 250 мл, и растворяют в 200 мл соляной кислоты ($C = 0,1$ моль/л) на магнитной мешалке. Образцы в колбах смешивают с 5 мл раствора гидроксида натрия ($C = 1$ моль/л) и кипятят в течение 2 минут. После охлаждения каждый из растворов переносят в мерную колбу объемом 100 мл, нейтрализуют добавлением 2 мл соляной кислоты ($C = 2$ моль/л), а затем приливают 1 мл раствора хлорида железа (III). Растворы фиолетового цвета исследуются фотометрически при $\lambda = 528$ нм и с помощью приложения ColorMeter Free в цветовом пространстве RGB.

Результаты количественного обнаружения ацетилсалициловой кислоты представлены в таблицах 11-13 и на рисунках 16, 17.

Значения оптической плотности, полученные лабораторным методом и мобильным приложением ColorMeter Free

Концентрация, мг/мл	Оптическая плотность	
	КФК – 3, нм	ColorMeter Free, град
50	0,011	188
100	0,033	173
150	0,097	165
200	0,163	151
250	0,197	129
300	0,243	117
350	0,328	101
400	0,418	83
450	0,468	78
500	0,501	65

Определение концентрации ацетилсалициловой кислоты из таблетки

500 мг аспирина помещают в ситечко для заваривания чая и погружают в стакан с 200 мл раствора соляной кислоты ($C = 0,1$ моль/л). Всё это устанавливают на магнитную мешалку. Отбор проб осуществляют через 5, 15, 30, 45 и 60 минут. К раствору каждый раз добавляют по 10 мл соляной кислоты для поддержания общего объема.

С отобранным раствором проводят те же действия, что и при построении градуировочного графика.

**Значения оптической плотности, полученные лабораторным методом
и при использовании мобильного приложения
ColorMeter Free**

Время, мин	Оптическая плотность	
	КФК – 3, нм	ColorMeter Free, град
5	0,029	181
15	0,194	131
30	0.313	92
45	0,363	86
60	0,499	64

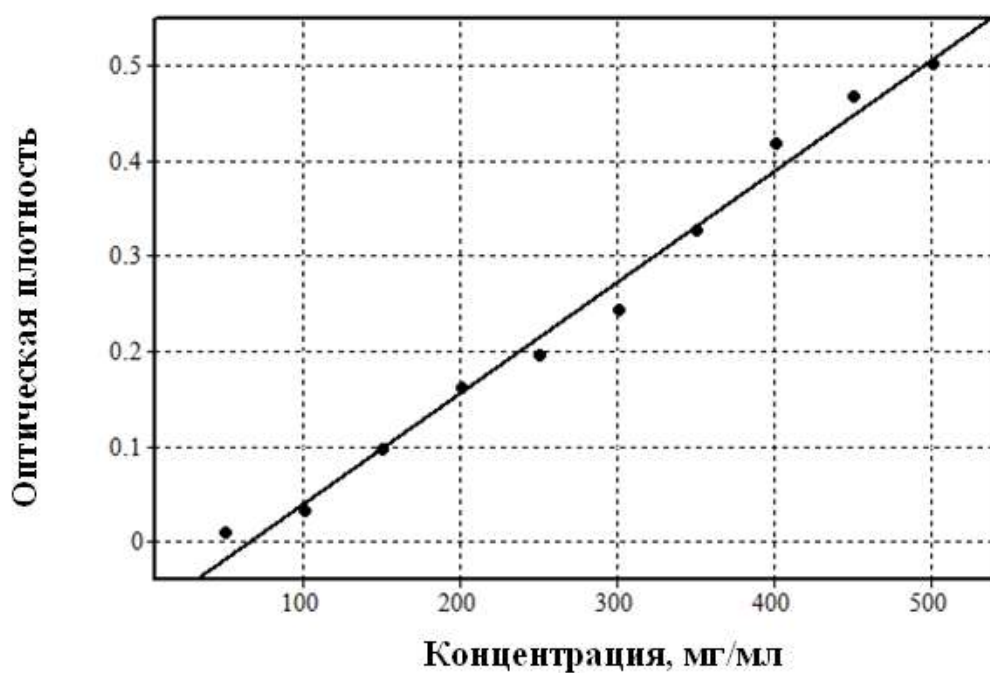


Рис. 16 Калибровочный график содержания ацетилсалициловой кислоты в водном растворе (КФК)

$$Y = 0.0741334 + 0.00116376 \cdot X$$

$$R^2 = 0.988045 \quad S = 0.00337999$$

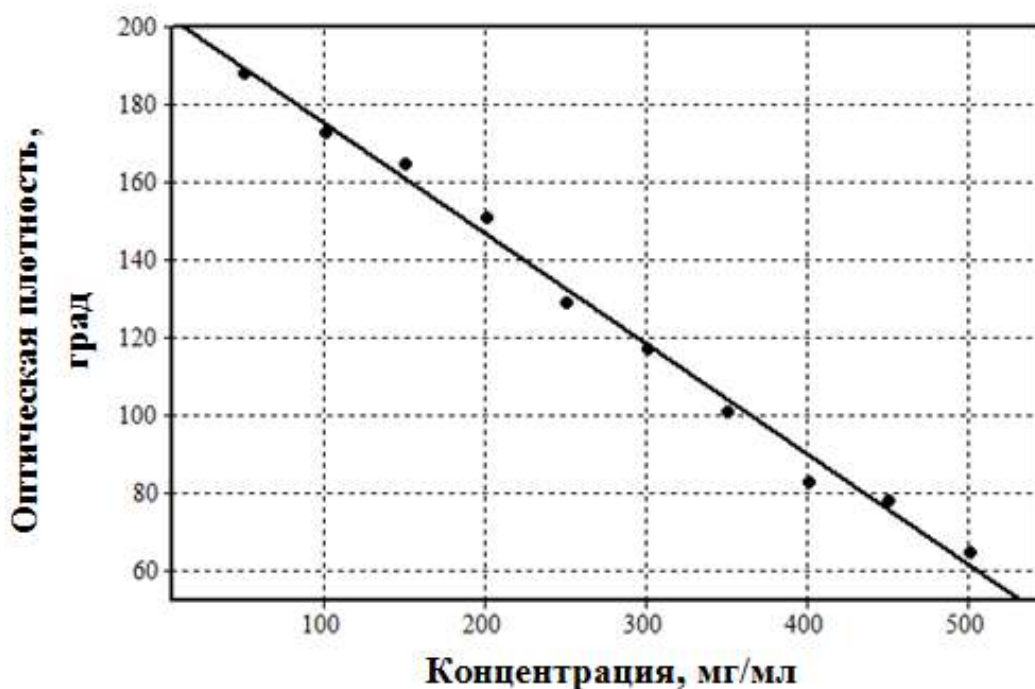


Рис. 17 Калибровочный график содержания ацетилсалициловой кислоты в водном растворе, (ColorMeter Free)

$$Y = 203.133 - 0.284121 \cdot X$$

$$R^2 = 0.992341 \quad S = 128.497$$

Таблица 13

Определение концентрации ацетилсалициловой кислоты в растворе через различные промежутки времени

Способ измерения	Время, мин	Оптическая плотность	Концентрация, мг/мл	Ошибка относительно лабораторного метода, %
КФК - 3	5	0,029	83	-
	15	0,194	243	-
	30	0,313	340	-
	45	0,363	373	-
	60	0,499	496	-
ColorMeter Free	5	181	67	19,3
	15	131	233	4
	30	92	336	1
	45	86	370	0,8
	60	64	493	0,6

2.8 Титрование с использованием мобильного приложения

Titration ColorDarts

Во внеурочной работе обычно используют количественный метод измерения концентрации веществ, основанный на титровании. Его также используют для обучения и подготовки школьников к различным олимпиадам. Для более эффективного измерения можно использовать приложение для смартфона – Titration ColorDarts

Данное мобильное приложение разработано для кислотно-основного титрования только с индикатором фенолфталеином. Titration ColorDarts использует функцию камеры телефона для анализа интенсивности розового цвета оттитрованного раствора и предоставляет отчет о проведении эксперимента. Titration ColorDarts отображает градиент розового цвета (от светлого до темного) с соответствующей оценкой производительности (по шкале от 1 до 10) и представляет его в виде рисунка на игровом поле дартс.

Для анализа проводится классическое кислотно-основное титрование с индикатором фенолфталеином. После завершения титрования, т.е. в момент появления устойчивой розовой окраски раствора, колбу с раствором помещают на белый лист бумаги и исследуют с помощью мобильного приложения. Каждый анализ завершается демонстрацией на экране телефона доски для дартса с оценкой уровня оттитрованного раствора. Балл выставляется по шкале от 1 до 10. Если раствор окрашен в бледный цвет, приложение отобразит высокий балл (8-10), что указывает на то, что эксперимент выполнен достаточно хорошо. Чем темнее оттенок, тем ниже будет оценка (1-4). Аналогично, для промежуточных оттенков розового цвета будут отображаться средние оценки 5-7 (таблица 14).

**Полученные значения при кислотном-основном титровании с
фенолфталеином**

Лабораторное оборудование	Titration ColorDarts
7 мл	9/10
7,8 мл	8/10
8 мл	5/10

2.9 Количественная оценка содержания белка

В биохимии, как и в общей химии, существуют реакции определения концентрации веществ, основанные на изменении цвета продуктов. Данные реакции применяются при изучении биологических и экологических показателей важных для здоровья человека и других живых организмов.

Сущность метода заключается в том, что биуретовая реакция включает образование комплекса Cu (II) с амидным остовом, присутствующим в пептидах и белках. Образующийся координационный комплекс имеет синий цвет (свободный Cu²⁺) при 650 нм (максимальное поглощение), переходящий в фиолетовый (HN···Cu²⁺···NH) при 540 нм (максимальное поглощение).



Результаты количественного обнаружения белка представлены в таблице 15 и на рисунках 18, 19.

**Значения оптической плотности, полученные лабораторным методом
и мобильного приложения ColorMeter Free**

Концентрация раствора, мг/мл	Оптическая плотность	
	КФК – 3, нм	ColorMeter Free, град
0	0,261	152
0,1	0,265	154
0,2	0,291	156
0,3	0,309	158
0,4	0,325	163
0,5	0,352	165

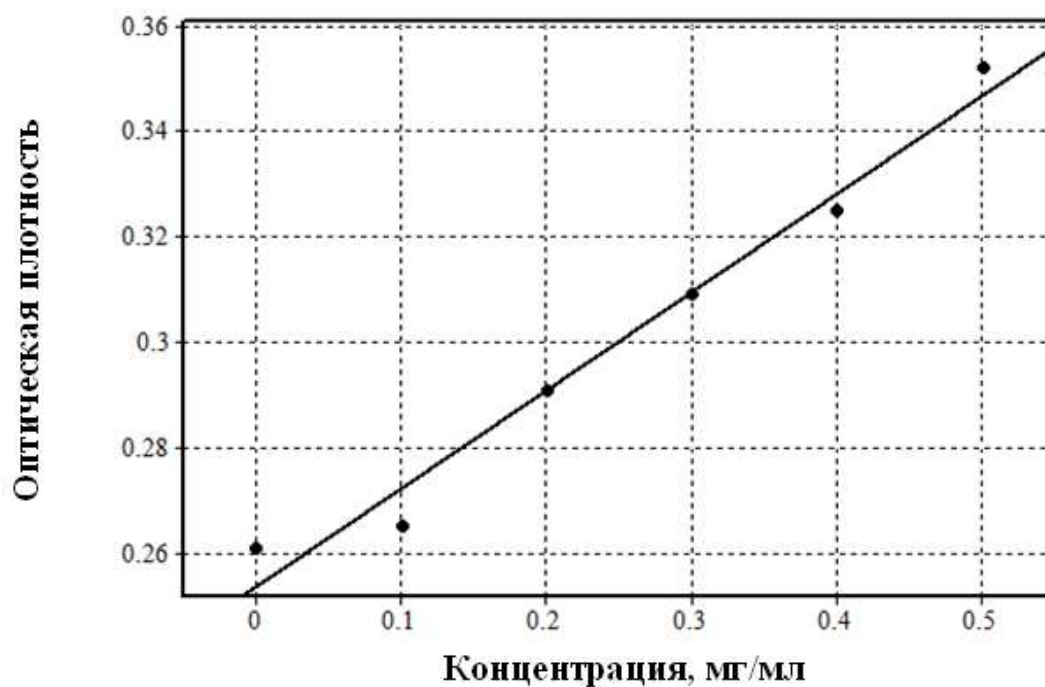


Рис. 18 График зависимости количества поглощенного света раствором от концентрации белка (КФК)

$$Y = 0.253857 + 0.186572 \cdot X$$

$$R^2 = 0.976916 \quad S = 0.000143943$$

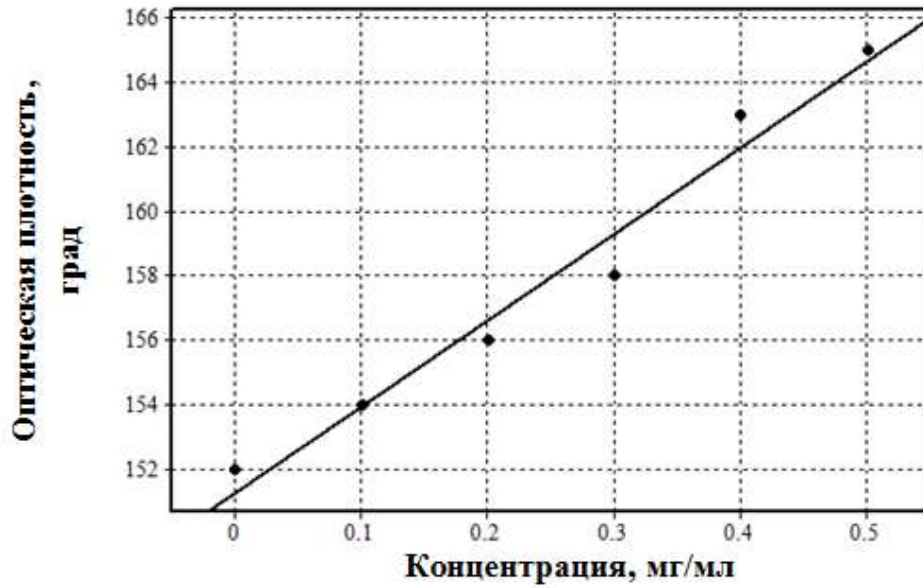


Рис. 19 График зависимости количества поглощенного света раствором от концентрации белка (ColorMeter Free)

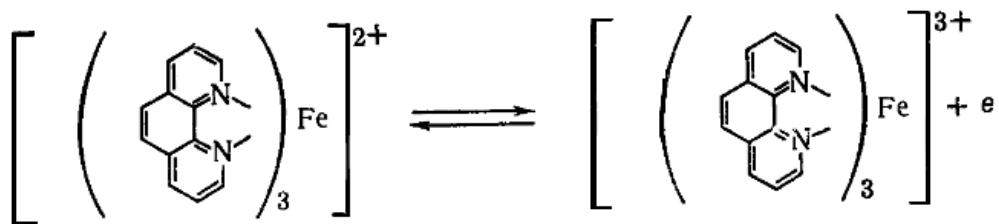
$$Y = 151.286 + 26.8572 \cdot X$$

$$R^2 = 0.970994 \quad S = 3.77143$$

2.10 Спектрометрический анализ концентрации ионов Fe^{2+} с использованием мобильного приложения

Определение ионов железа роданидным способом, предложенным в работе 2.1, не является достаточно точным. Существует более чувствительная реакция на ионы Fe^{2+} с о-фенантролином.

Сущность спектрометрического анализа концентрации ионов Fe^{2+} с о-фенантролином заключается в том, что ионы железа (II) образуют с о-фенантролином оранжево-красные комплексные ионы, в которых один ион Fe^{2+} соединен с тремя молекулами о-фенантролина. Интенсивность окраски раствора пропорциональна концентрации железа.



Результаты спектрометрического анализа концентрации ионов Fe^{2+} с о-фенантролином представлены в таблице 16 и на рисунке 20.

Таблица 16

Спектрометрический анализ растворов с помощью приложения AspectraMini

Концентрация Fe^{2+} , мг/мл	Значение интенсивности спектра комплекса Fe^{2+} с о-фенантролином, полученное в приложении AspectraMini, эВ
0	110
0,1	384
0,2	405
0,4	457
0,5	491
0,8	533
1,0	572
1,5	601
1,8	649
2,5	713

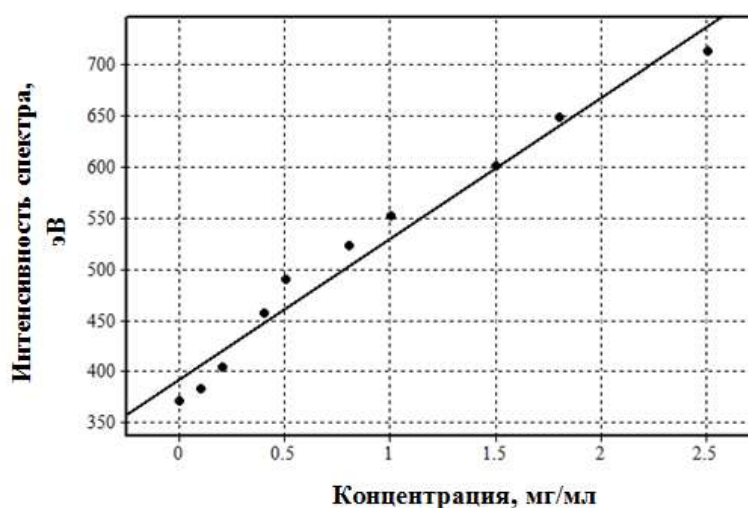


Рис. 20 График зависимости интенсивности спектра раствора от концентрации ионов Fe^{2+}

$$Y = 393.305 + 137.949 \cdot X$$

$$R^2 = 0.969651 \quad S = 70931$$

2.11 Анализ вещества микрометодом с помощью приложения Image Color Picker

Многие вещества, используемые в анализе, являются дорогостоящими (например, о-фенантролин), поэтому их используют в малых количествах. Для таких анализов можно использовать микрометод с помощью приложения Image Color Picker. Для проведения необходимо подготовить простую установку: на стекло ровным слоем наливают расплавленный парафин, который при охлаждении превращается в твёрдый, на котором с помощью иголки проделывают небольшие отверстия и заполняют анализируемым раствором.

В этом эксперименте используется устройство для анализа веществ в микроколичествах с очень простой конструкцией. Каждое устройство состоит из шести рядов и трёх столбцов испытательных зон (5*5 мм) на парафине. Каждый столбец заполняется растворами от меньшей концентрации растворов к большей. Делается снимок, который в дальнейшем анализируется с помощью приложения.

Значения анализа веществ микрометодом, полученные с помощью приложения Image Color Picker представлены в таблице 17.

Таблица 17

Анализ вещества микрометодом с помощью приложения Image Color Picker

Концентрация раствора, мг/мл	Значение HSV, град		
	Ni(NO ₃) ₂	Co(NO ₃) ₂	Крахмал
2	51	42	22
4	64	35	97
6	124	31	153
10	135	28	212
15	147	26	222
20	158	15	240

Вывод по второй главе

Мобильные приложения являются доступными и простыми в использовании средствами, способными заменить дорогостоящее лабораторное оборудование. Использование возможностей разнообразных средств ИКТ позволяет расширить число доступных практических работ во внеурочной деятельности в школе. Например, данные, полученные с помощью приложений Color Grab и ColorMeter Free о концентрации веществ в растворе, коррелируют с данными, полученными при помощи фотоколориметра. Помимо приложений, используемых в телефонах, существуют приложения, которые размещены в сети Интернет, осуществляющие анализ по изображению, загруженному на сайт, например Image Color Picker. Недостатком данных приложений является то, что они светозависимые, поэтому недостаточность освещения негативно сказывается на результатах.

Телефоны также позволяют проводить исследования, которые незаметны человеческим глазом, например спектрометрия пламени с помощью мобильных приложений AspectraMini и Shoebox spectrophotometer, или флуоресцентная микроскопия с помощью камеры телефона.

С помощью мобильных приложений Titration ColorDarts и Titration ColorCam можно проводить титрование с обучающимися с особыми возможностями здоровья.

Смартфон можно использовать в качестве анализатора для различных целей. Например, вместе с напечатанной на 3D-принтере планшетке для анализа, смартфон способен обнаружить гербицид 2,4-дихлорфенилуксусную кислоту [76] или фосфорорганические пестициды [81]. Быстрое обнаружение остатков гербицидов и пестицидов на месте в экологических и биологических образцах важно для сельского

хозяйства, окружающей среды, безопасности пищевых продуктов и здравоохранения.

За счёт светочувствительной камеры смартфон может являться точным колориметрическим анализатором биохимических показателей различных биологических жидкостей организма. Например, специальные тест-полоски и приложение на смартфоне, использующее для анализа цветовые пространства RGB или HSV, представляют удобный колориметрический инструмент для анализа мочи и крови на глюкозу, мочевую кислоту, а также на уровень холестерина и общих желчных кислот [60, 67, 78].

Всё вышеперечисленное свидетельствует о том, что результаты, фиксируемые при помощи приложений и возможностей смартфонов по точности сравнимы со значениями, получаемыми при классическом химическом эксперименте. Мобильные приложения позволяют улучшить процесс обучения химии, а также расширить область аналитических возможностей школы. Смартфоны оказывают реальную помощь и ученикам, и учителю в организации, как классических лабораторных экспериментов, так и проектной деятельности.

ГЛАВА 3 СОДЕРЖАНИЕ, МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ У ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОСОБЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ TITRATION COLORCAM

Использование смартфонов позволяет вовлекать школьников с особыми возможностями здоровья (ОВЗ) в процесс обучения химии, которые при обычных условиях не участвуют в практических работах. Кроме того, использование смартфонов делает этот процесс доступным для тех учеников, для которых ранее это было не возможно. Внедрение различных средств ИКТ поможет создать доступную среду для формирования всесторонне развитой личности и для детей с особыми возможностями здоровья.

Данный подход позволяет реализовать главную цель образования – достижение личностных, метапредметных и предметных результатов ребенком с особыми возможностями здоровья. Например, доступное приложение для колориметрического титрования «Titration ColorCam», которое помогает слабовидящим обучающимся справляться с выполнением эксперимента по титрованию. Приложение записывает и преобразует цветовую информацию в звуковые сигналы и вибрационные импульсы, которые генерируются смартфоном и улавливаются исследователем.

Мобильное приложение Titration ColorCam, обеспечивающее компенсацию нарушений зрительного анализатора: дефекты аккомодации хрусталика (нарушения чёткости зрения), дефекты цветовосприятия (дальтонизм).

Поэтому разработка мультисенсорных экспериментальных подходов имеет решающее значение, чтобы позволить обучающимся с нарушениями

зрения получить более целенаправленный, независимый, и практический лабораторный опыт.

Обычно изучение методов количественного анализа на уроках не проводится, однако данный способ реализуется в рамках внеурочной деятельности школьников. В условиях школы одним из доступных методов количественного анализа является титрование. Данный метод рекомендуется для проведения внеурочных мероприятий по химии у обучающихся основной (8-9 класс) и средней школы (10-11 класс).

Данный метод имеет междисциплинарный характер, одной из целей данных лабораторной работы является всестороннее развитие личности, создание таких условий, при которых возможны реализация исследовательских навыков обучающихся с ОВЗ, обеспечение углубления знаний обучающихся по химии в рамках внеурочной деятельности. Помимо вышеперечисленного, использование средств ИКТ способствует формированию доступной среды для детей с ОВЗ, а также их социализация, т.е. их полное включение в образовательный процесс.

Основной задачей данной лабораторной работы является развитие навыков лабораторного эксперимента, обработки полученных результатов, а также навыков формирования выводов.

3.1 Содержание работы

1. Подготовка. Основное содержание работы на этой стадии – определение цели и задач работы.

2. Планирование.

1) определение источников информации;

2) определение способов сбора и анализа информации;

3. Основной этап. Стадия теоретического осмысления практической части работы. Обучающиеся обсуждают с учителем ключевые моменты работы и получают необходимые указания.

4. Результаты и выводы. Обучающиеся анализируют теоретическую информацию и полученные экспериментальные данные. Оформляют результаты проведенной лабораторной работы и формулируют выводы.

3.2 Лабораторная работа для обучающихся с нарушениями зрения

Цель работы: изучить метод кислотно-основного титрования при использовании мобильного приложения Titration ColorCam с обучающимися с ограниченными возможностями.

Задачи:

1. Изучить теоретические основы кислотно-основного титрования.
2. Отработать методику проведения кислотно-основного титрования с использованием мобильного приложения Titration ColorCam.

3.2.1 Теоретические основы кислотно-основного титрования

Алкалиметрическое титрование (алкаиметрия) – метод определения сильных и слабых кислот, кислых солей, солей слабых оснований путем титрования стандартным раствором щелочи (KOH, NaOH) [9]. Эти вещества не отвечают требованиям, которые предъявляют к стандартным веществам, и потому титрованные растворы их нельзя приготовить, исходя из точной навески вещества. Концентрацию таких растворов приходится устанавливать путем титрования.

В качестве стандартных растворов при установке титра щелочей используется щавелевая кислота $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или янтарная кислота $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$. Обе эти кислоты – твердые кристаллические вещества, строго соответствующие своим формулам [1].

При титровании сильных кислот реакция среды в точки эквивалентности – нейтральная [9].

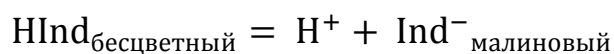


При протекании реакции нейтрализации не наблюдается каких-либо внешних признаков (эффектов), которые можно было бы наблюдать визуально. Поэтому для фиксирования точки эквивалентности необходимо применять соответствующие индикаторы [5]. Индикатор – это вещество, которое проявляет видимое изменение в точки эквивалентности или вблизи её [9].

В методе кислотно-основного титрования к индикаторам предъявляют следующие требования:

1. Окраска индикатора при близких значениях рН должна явно отличаться.
2. Изменение цвета индикатора должно происходить резко в небольшом интервале значений рН.
3. Окраска индикатора должна быть, возможно, более интенсивной.
4. Количество щелочи или кислоты, необходимое для изменения окраски индикатора, должно быть настолько мало, чтобы не искажались результаты титрования.
5. Изменение окраски индикатора должно быть вполне обратимым процессом [5].

В этом методе чаще всего используют фенолфталеин (одноцветный индикатор). С точки зрения ионной теории этот индикатор представляет собой слабую органическую кислоту, у которой неионизированные молекулы имеют бесцветную окраску, а ионы окрашены в малиновый цвет [1].



3.2.2 Экспериментальная часть

Учитель предварительно готовит следующие растворы:

- 0.1 Н раствор титранта (NaOH) из фиксанала;
- 0,1 Н раствор H_2SO_4 .

Ход работы:

Эксперимент представляет собой деятельность двух человек. Один человек (учитель или напарник) выполняет титрование, в то время как слабовидящий держит смартфон.

Приложение Titration ColorCam доступно только для платформы Android с помощью мобильного сервиса Play Market.

Колба устанавливается на белом фоне в помещении с достаточно хорошим освещением. Необходимо обеспечить, чтобы звук смартфона был установлен на большую громкость и включен режим вибрации. Камера телефона должна быть направлена в центр колбы, это может помочь сделать учитель. Перед проведением эксперимента необходимо нажать кнопку «Начать запись» в верхней части экрана смартфона. Устройство генерирует звуковые сигналы и вибрационные импульсы в момент изменения цвета раствора в колбе в зависимости от выбранного индикатора. По мере приближения к точке эквивалентности частота звуковых сигналов увеличивается. На данный момент человек, выполняющий титрование, замедляет скорость подачи титранта. По достижении точки эквивалентности будет слышен длинный ряд звуковых сигналов, и будут ощущаться сильные вибрации. В этом случае прикапывание титранта прекращается, и устанавливается точка эквивалентности. По завершении нажимают кнопку «Пауза записи» для остановки.

Оформление результатов.

Значение, полученные при проведении титрования традиционным методом и с помощью мобильного приложения Titration ColorCam, представлены в таблице 20.

Результаты, полученные традиционным методом и с помощью мобильного приложения Titration ColorCam

№	Объем использованного титранта, мл	
	Традиционный метод, мл	Titration ColorCam, мл
V_1	13.0000	13.0000
V_2	12.9000	13.1000
V_3	13.0000	13.0000
V_{cp}	12.9333	13.0333

Значения, полученные с помощью приложения, коррелируют с результатами, полученными традиционным методом титрования, что свидетельствует о том, что приложение Titration ColorCam позволяет проводить титрование с обучающимися с ОВЗ, а также снять барьер в наглядном познании химических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Современные средства ИКТ, наряду с выполнением своих основных функций в области мультимедиа и коммуникации, играют важную роль в процессе образования. С помощью них можно проводить лабораторные работы, недоступные школам из-за отсутствия дорогостоящего химического оборудования. Также смартфоны можно использовать как дидактическое дополнение к учебному процессу, так и во внеурочной деятельности. Мобильные телефоны расширяют рамки возможностей учебного процесса за пределы стен школ.

Можно привести ряд преимуществ использования смартфонов:

1) доступность, так как ученики используют свои гаджеты и, в большинстве случаев, эксперимент и приложение не требует дорогостоящего дополнительного оборудования;

2) возможность обмена данными, как между учителем и учеником, так и между группами обучающихся, с целью сравнения и анализа полученных значений, что способствует развитию критического мышления;

3) предоставление возможности обучения учеников с ОВЗ.

Ещё одним достоинством использования смартфонов заключается в том, что они являются одним из способов повышения мотивации к обучению у школьников. Мобильные приложения повышают эффективность проведения уроков, облегчают проведение некоторых видов работ, способствуют усилению интереса при подаче материала, а также являются источником большого количества разнообразных заданий и форм для самостоятельного обучения.

1. Изучение моделей, программ и возможностей смартфонов даёт нам представление о том, что мобильные телефоны и другие средства ИКТ выступают в качестве альтернативы лабораторного оборудования.

2. Изучение литературного материала по теме исследования позволяет сделать вывод о том, что применение мобильных приложений не ограничивается только областью химии. Они позволяют расширить и углубить знания по многим другим дисциплинам, например, биологии, экологии, географии и многим другим.

3. Сравнительные лабораторные эксперименты доказали, что значения, фиксируемые при помощи смартфонов сравнимы по точности с данными, полученными при использовании КФК – 3.

4. Разработанные методические рекомендации по применению смартфонов в лабораторных экспериментах позволяют облегчить постановку работ во внеурочной деятельности за счёт замены дорогостоящего химического оборудования.

5. Использование мобильных телефонов во внеурочной деятельности в школе, позволяет вовлекать в процесс обучения учеников с особыми возможностями здоровья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александрова, Э.А. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа [Текст] / Э.А. Александрова, Н.Г. Гайдукова. – М.: Юрайт, 2015. – 356 с.
2. Алексеев, В. Н. Количественный анализ [Текст] / В. Н. Алексеев. – М.: «Химия», 2013. – 432 с.
3. Власова, Е.Г. Аналитическая химия: химические методы анализа [Текст] / Е.Г. Власова, А.Ф. Жуков, И.Ф. Колосова и др. – М.: Лаборатория знаний, 2017. – 467 с.
4. Лисичкин Г.В. Годитесь ли вы в химии? [Текст] / Г.В. Лисичкин, Л.А. Коробейникова. – М.: Академкнига, 2003. – 143 с.
5. Марченко, З. Фотометрическое определение элементов [Текст] / З. Марченко; пер. с польск. И.В. Матвеева и А.А. Немодрук. – М.: Мир, 1971. – 504 с.
6. Меньшиков, В.В. Использование мобильных приложений для фотоколориметрии в школьных исследованиях [Текст] / В.В. Меньшиков, Н.М. Лисун, М.Ж. Симонова и др. // Химия в школе. – 2018. – №6. – С. 43.
7. Никитина, Н.Г. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа [Текст] / Н.Г. Никитина, А.Г. Борисов, Т.И. Хаханина. – М.: Юрайт, 2018. – 394 с.
8. Практическое руководство по физико-химическим методам анализа [Текст] / ред. И.П. Алимарин, В.М.Иванова. – М.: изд-во Московского университета, 1987. – 208 с.
9. Харитонов, Ю. Я. Аналитическая химия (аналитика) [Текст] / Ю. Я. Харитонов. – М.: Высш.шк., 2014. – 688 с.
10. Adams-McNichol, A.L. Accurate, Photoresistor-Based, Student-Built Photometer and Its Application to the Forensic Analysis of Dyes [Текст] /

- A.L. Adams-McNichol, R.C. Shiell, D.A. Ellis // *Journal of Chemical Education*. – 2019. – №96. – P. 1143 – 1151.
11. Aydinoglu, E. Paper-Based Analytical Methods for Smartphone Sensing with Functional Nanoparticles: Bridges from Smart Surfaces to Global Health [Текст] / E. Aydinoglu, E.G. Celik, S. Timur // *Analytical Chemistry*. – 2018. – №90. – P. 12325– 12333.
 12. Bandyopadhyay, S. The Sound and Feel of Titrations: A Smartphone Aid for Color-Blind and Visually Impaired Students [Текст] / S. Bandyopadhyay, B.B. Rathod // *Journal of Chemical Education*. – 2017. – №94. – P. 946 – 949.
 13. Banerji, A. Gestaltung digitaler Lernumgebungen mit PowerPoint und PREZI [Текст] / A. Banerji // *Artikel*. – 2017. – №24. – P. 1-4.
 14. Banerji, A. Organische Leuchtdioden im Chemiunterricht [Текст] / A. Banerji, J. Dörschelln, D. Schwarz // *Chemie In Unserer Zeit*. – 2017. – №51. – P. 2 – 9.
 15. Boehle, K.E. Utilizing Paper-Based Devices for Antimicrobial-Resistant Bacteria Detection [Текст] / K.E. Boehle, J. Gilliland, C.R. Wheeldon et al. // *Angewandte Chemie*. – 2017. – №56. – P. 6886 – 6890.
 16. Campos, A.R. Quantifying Gold Nanoparticle Concentration in a Dietary Supplement Using Smartphone Colorimetry and Google Applications [Текст] / A.R. Campos, C.M Knutson, T.R Knutson et al. // *Journal of Chemical Education*. – 2016. – №93. – P. 318 – 321.
 17. Cate, D.M. Recent Developments in Paper-Based Microfluidic Devices [Текст] / D.M. Cate, J.A. Adkins, J. Mettakoonpitak et al. // *Analytical Chemistry*. – 2015. – №87. – P. 19 – 41.
 18. Chang, B.Y. Smartphone-based Chemistry Instrumentation: Digitization of Colorimetric Measurements [Текст] / B.Y. Chang // *Bulletin of the Korean Chemical Society*. – 2012. – №33. – P. 549 – 552.

19. Chen, G.H. Detection of mercury (II) ions using colorimetric gold nanoparticles on paper-based analytical devices [Текст] / G.H. Chen, W.Y. Chen, Y.C. Yen et al. // *Analytical Chemistry*. – 2014. – №86. – P. 6843 – 6849.
20. Chen, X. Rapid and On-site Detection of Uranyl Ions via Ratiometric Fluorescence Signals Based on a Smartphone Platform [Текст] / X. Chen, Q. Mei, L. Yu et al // *Applied Materials & Interfaces*. – 2018. – №10. – P. 42225– 42232.
21. Dangkulwanich, M. Colorimetric Measurements of Amylase Activity: Improved Accuracy and Efficiency with a Smartphone [Текст] / M. Dangkulwanich, K. Kongnithigarn, N. Aurnoppakhun // *Journal of Chemical Education*. – 2018. – №95. –P. 141 –145.
22. de Morais, C. de L.M. Integrating a Smartphone and Molecular Modeling for Determining the Binding Constant and Stoichiometry Ratio of the Iron (II) – Phenanthroline Complex: An Activity for Analytical and Physical Chemistry Laboratories [Текст] / C. de L.M. Camilo, S.R.B. Silva, D.S. Vieira et al. // *Journal of Chemical Education*. – 2016. – №93. – P. 1760 – 1765.
23. Diemann, E. Digitalfotografie in der Chemie [Текст] / E. Diemann // *Chemie In Unserer Zeit*. – 2013. – №47. – P. 376 – 380.
24. Dong, C. High-performance colorimetric detection of thiosulfate by using silver nanoparticles for smartphone-based analysis [Текст] / C. Dong, Z. Wang, Y. Zhang et al. // *ACS Sensors*. – 2017. – №2. – P. 1152– 1159.
25. Eltsov, S.V. Laboratory exercises on physical and colloid chemistry: manual [Текст] / S.V. Eltsov, N.A. Vodolazkaya. – Kharkiv: KarazinKharkiv National University, 2010. – 46 p.
26. Gee, C.T. Quantifying Protein Concentrations Using Smartphone Colorimetry: A New Method for an established Test [Текст] / C.T. Gee, E. Kehoe, W.C.K Pomerantz et al. // *Journal of Chemical Education*. – 2017. – №94. – P. 941 – 945.

27. Gotor, R. Detection of Adulterated Diesel Using Fluorescent Test Strips and Smartphone Readout [Текст] / R. Gotor, C. Tiebo, J. Schlichka et al. // *Energy & Fuels*. – 2017. – №31. – P. 11594 – 11600.
28. Grasse, E.K. Teaching UV-Vis Spectroscopy with a 3D-Printable Smartphone Spectrophotometer [Текст] / E.K. Grasse, M.H. Torcasio, A.W. Smith // *Journal of Chemical Education*. – 2016. – №93. – P. 146 – 151.
29. Guan, L. Barcode-like Paper Sensor for Smartphone Diagnostics: An Application of Blood Typing [Текст] / L. Guan, J. Tian, M. Li et al. // *Analytical Chemistry*. – 2014. – №86. – P. 11362 – 11367.
30. Güder, F. Paper-Based Electrical Respiration Sensor [Текст] / F. Güder, A. Ainla, J. Redston et al. // *Angewandte Chemie*. – 2016. – №55. – P. 5727 – 5732.
31. Guo, J. Uric Acid Monitoring with Smartphone as Electrochemical Analyzer [Текст] / J. Guo // *Analytical Chemistry*. – 2016. – №88. – P. 11986 – 11989.
32. Hakonen, A. Hue parameter fluorescence identification of edible oils with a smartphone [Текст] / A. Hakonen, J. E. Beves // *ACS Sensors*. – 2018. – №3. – P. 2061 – 2065.
33. Hauck, B. Feinstaubmessung mit dem Smartphone [Текст] / B. Hauck, M. Schäfer, J. Kuhn et al. // *Chemie In Unserer Zeit*. – 2018. – №52. – P. 2 – 4.
34. Hosker, B.S. Demonstrating Principles of Spectrophotometry by Constructing a Simple, Low-Cost, Functional Spectrophotometer Utilizing the Light Sensor on a Smartphone [Текст] / B.S. Hosker // *Journal of Chemical Education*. – 2018. – №5. – P. 178 – 181.
35. Huang, H.W. Flame colour characterization in the visible and infrared spectrum using a digital camera and image processing [Текст] / H.W. Huang,

- Y. Zhang // Measurement Science and Technology. – 2008. – №19. – P. 1 – 9.
36. Jalal, U.M. Paper-Plastic Hybrid Microfluidic Device for Smartphone-Based Colorimetric Analysis of Urine [Текст] / U.M. Jalal, G.J. Jin, J.S. Shim // Analytical Chemistry. – 2017. – №89. – P. 13160 – 13166.
37. Kehoe, E. Introducing Colorimetric Analysis with Camera Phones and Digital Cameras: An Activity for High School or General Chemistry [Текст] / E. Kehoe, R.L. Penn // Journal of Chemical Education. – 2013. – №90. – P. 1191 – 1195.
38. Khattab, T.A. Selective Colorimetric Detection of Fe (III) Using Metallochromic Tannin-Impregnated Silica Strips [Текст] / T.A. Khattab, M.M.G. Fouda, A.A. Allam et al. // Chemistry Select Full Papers. – 2018. – №3. – P. 12065 – 12071.
39. Kilic, V. Single-Image-Referenced Colorimetric Water Quality Detection Using a Smartphone [Текст] / V. Kilic, G. Alankus, N. Horzum et al. // ACS Omega. – 2018. – №3. – P. 5531 – 5536.
40. Knutson, T.R. A Fresh Look at the Crystal Violet Lab with Handheld Camera Colorimetry [Текст] / T.R. Knutson, C.M. Knutson, A.R. Mozzetti et al. // Journal of Chemical Education. – 2015. – №92. – P. 1692 – 1695.
41. Koesdjojo, M.T. Cost Effective Paper-Based Colorimetric Microfluidic Devices and Mobile Phone Camera Readers for the Classroom [Текст] / M.T. Koesdjojo, S. Pengpumkiat, Y. Wu et al. // Journal of Chemical Education. – 2015. – №92. – P. 737-741.
42. Kong, J.E. Highly Stable and Sensitive Nucleic Acid Amplification and Cell-Phone-Based Readout [Текст] / J.E. Kong, Q. Wei, D. Tseng et al. // ACS NANO. – 2017. – №11. – P. 2934 – 2943.
43. Kuhn, J. Ionisierende Strahlung mit dem Smartphone messen [Текст] / J. Kuhn, M. Schäfer, B. Hauck et al. // Chemie In Unserer Zeit. – 2018. – №52. – P. 2 – 5.

44. Kwang Tee, N.Y. Developing and Demonstrating an Augmented Reality Colorimetric Titration Tool [Текст] / N.Y. Kwang Tee, H.S. Gan, J. Li et al. // Journal of Chemical Education. – 2018. – №95. – P. 393 – 399.
45. Li, Z. The Optoelectronic Nose: Colorimetric and Fluorometric Sensor Arrays [Текст] / Z. Li, J.R. Askim, K.S. Suslick // Chemical Reviews. – 2019. – №119. – P. 231 – 292.
46. Montangero, M. Determining the Amount of Copper (II) Ions in a Solution Using a Smartphone [Текст] / M. Montangero // Journal of Chemical Education. – 2015. – №92. – P. 1759 – 1762.
47. Montangero, M. Smartphones in the lab: how deep is your blue? [Текст] / M. Montangero, D. Bengtsson, M.G. Szabo et al. // Science in School. – 2015.– № 33. – P. 38 – 41.
48. Moraes, E.P. Low-Cost Method for Quantifying Sodium in Coconut Water and Seawater for the Undergraduate Analytical Chemistry Laboratory: Flame Test, a Mobile Phone Camera, and Image Processing [Текст] / E.P. Moraes, N.S.A. da Silva, C. de L.M. de Morais et al. // Journal of Chemical Education. – 2014. – №91. – P. 1957 – 1960.
49. Mueller, M. Optical Flow Estimation for Flame Detection in Videos [Текст] / M. Mueller, P. Karasev, I. Kolesov et al. // IEEE Transaction on Image Processing. – 2013. – №7. – P. 2786 – 2797.
50. Natesan, M. A smartphone-based rapid telemonitoring system for Ebola and Marburg disease surveillance [Текст] / M.A. Natesan, S.W. Wu, C.C. Chen et al. // ACS Sensors. – 2019. – №4. – P. 61 – 68.
51. Nguyen, H. Smartphone nano-colorimetry for on-demand lead detection and quantitation in drinking water [Текст] / H. Nguyen, Y. Sung, K. O'Shaughnessy et al. // Analytical Chemistry. – 2018. – №10. – P. 41645 – 41654.
52. Palacio, S.M. Determinacao de acidos e bases por meio de extratos de flores [Текст] / S.M. Palacio, C. de F.A. Olguin, M.B. da Cunha // DIDACTICA DE LA QUIMICA. – 2012. – №23. – P. 41 – 44.

53. Park, D.H. A Smartphone-Based VOC Sensor Using Colorimetric Polydiacetylenes [Текст] // D.H. Park, J.M. Heo, Y.H. Yoo et al. // Applied Materials & Interfaces. – 2018. – №10. – P. 5014 – 5021.
54. Park, T.S. Paper microfluidics for red wine tasting [Текст] / T.S. Park, C. Baynes, S.I. Cho et al. // The Royal Society of Chemistry. – 2014. – №4. – P. 24356 – 24362.
55. Place, B.J. Activity Analysis of Iron in Water Using a Simple LED Spectrophotometer [Текст] / B.J. Place // Journal of Chemical Education. – 2019. – №96. – P. 714 – 719.
56. Priye, A. Colorimetric-Luminance Readout for Quantitative Analysis of Fluorescence signals with a Smartphone CMOS Sensor [Текст] / A. Priye, C.S. Ball, R.J. Meagher // Analytical Chemistry. – 2018. – №90. – P. 12385– 12389.
57. Rathod, B.B. Is this Solution Pink Enough? A Smartphone Tutor to Resolve the Eternal Question in Phenolphthalein-Based Titration [Текст] / B.B. Rathod, S. Murthy, S. Bandyopadhyay // Journal of Chemical Education. – 2019. – №96. – P. 486 – 494.
58. Rattanakit, P. Determining Iron (III) Concentration in a Green Chemistry Experiment Using Phyllanthusemblica (Indian Gooseberry) Extract and Spectrophotometry [Текст] / P. Rattanakit, R. Maungchang // Journal of Chemical Education. – 2019. – №96. – P. 756 – 760.
59. Rico-Yuste, A. Furfural Determination with Disposable Polymer Films and Smartphone-Based Colorimetry for Beer Freshness Assessment [Текст] / A. Rico-Yuste, V. Gonzalez-Vallejo, E. Benito-Pena et al. // Analytical Chemistry. – 2016. – №88. – P. 3959 – 3966.
60. Roda, A. Integrating Biochemiluminescence Detection on Smartphones: Mobile Chemistry Platform for Point-of-Need Analysis [Текст] / A. Roda, E. Michelini, L. Cevenini et al. // Analytical Chemistry. – 2014. – №86. – P. 7299 – 7304.

61. Rodriguez, M. Aspirin – so schnell wie nie?! [Текст] / M. Rodriguez, J. Salzner, A. Lühken // CHEMKON. – 2018. – №3. – P. 104 – 111.
62. Rouessac, F. Modern Instrumental Methods and Techniques [Текст] / F. Rouessac, A. Rouessac // JOHN WILEY & SONS. – 2004. – P. 445 p.
63. Ruiz, N.L. Smartphone-based simultaneous pH and nitrite colorimetric determination for paper microfluidic devices [Текст] / N.L. Ruiz, V.F. Curto, M.M. Erenas et al. // Analytical Chemistry. – 2014. – №86.– P. 9554 – 9562.
64. Schäfer, M. Analytik mit Licht-Das Smartphone-Photometer [Текст] / M. Schäfer, B. Hauck, J. Kuhn et al. // Chemie In Unserer Zeit. – 2018. – №52. –
P. 2 – 5.
65. Silva Lyra, W. Digital image-based flame emission spectrometry [Текст] / W. Silva Lyra, V. B. dos Santos, A.G.G. Dionizio et al. // Elsevier. – 2009. – №77. – P. 1584 – 1589.
66. Silva Lyra, W. Indirect determination of sodium diclofenac, sodium dipyrone and calcium gluconate in injection drugs using digital image-based (webcam) flame emission spectrometric method [Текст] / W. Silva Lira, F. A. C. Sanches, F.A. da Silva Cunha et al. // The Royal Society of Chemistry. – 2011. – №3. – P. 1975 – 1980.
67. Sun, K. Ultrabright Polymer-Dot Transducer Enabled Wireless Glucose Monitoring via a Smartphone [Текст] / K. Sun, Y. Yang, H. Zhou et al. // ACS NANO. – 2018. – №12. – P. 5176 – 5184.
68. Vietz, C. Benchmarking Smartphone Fluorescence-Based Microscopy with DNA Origami Nanobeads: Reducing the Gap toward Single-Molecule Sensitivity [Текст] / C. Vietz, M.L. Schütte, Q. Wei et al. // ACS Omega. – 2019. – №4. – P. 637 – 642.
69. Volmer, D.A. Determination of Titratable Acidity in Wine Using Potentiometric, Conductometric, and Photometric Methods[Текст] /

- D.A. Volmer, L. Curbani, T.A. Parker et al. // Journal of Chemical Education. – 2017. – №94. – P. 1296 – 1302.
70. von Giel, P. Elektronentheorie auf dem Smartphone [Текст] / P. von Giel, F. Müller-Plathe, M.C. Böhm // Chemie In Unserer Zeit. – 2016. – №50. – P. 2 – 4.
71. Wang, J. Eu, Sm, Mn-doped CaS Nanoparticles with 59,3% Upconversion-Luminescence Quantum Yield: Enabling Ultra-Sensitive and Facile Smartphone-based Sulfite Detection [Текст] / J. Wang, Y. Zhu, C.A. Grimes et al. // Analytical Chemistry. – 2018. – №90. – P. 8658 – 8664.
72. Wang, L.J. Smartphone Optosensing Platform Using a DVD Grating to Detect Neurotoxins [Текст] / L.J Wang, Y.C. Chang, X. Ge et al. // ACS Sensors. – 2016. – №1. – P. 366 – 373.
73. Wang, X. An Ionophore-Based Anion-Selective Optode Printed on Cellulose Paper [Текст] / X. Wang, Q. Zhang, C. Nam et al. // Angewandte Chemie. – 2017. – №56. – P. 11826 – 11830.
74. Wang, X. Inkjet-Printed Paper-Based Colorimetric Polyion Sensor Using Smartphone as a Detector[Текст] / X. Wang, M. Mahoney, M.E. Meyerhoff // Analytical Chemistry. – 2017. – №89. – P. 12334– 12341.
75. Wang, X. Self-referenced smartphone-based nanoplasmonic imaging platform for colorimetric biochemical sensing [Текст] / X. Wang, T.W Chang, G. Lin et al. // Analytical Chemistry. – 2016. – №89. – P. 611– 615.
76. Wang, Y. A 3D-Printed, Portable, Optical-Sensing Platform for Smartphones Capable of detecting the Herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid [Текст] / Y. Wang, M.M.A. Zeinhom, M. Yang et al. // Analytical Chemistry. – 2017. – №89. – P. 9339 – 9346.
77. Wosnitzka, D. LightSpectra macht das Smartphone zum Spektrometer [Текст] / D. Wosnitzka, D. Laumann, U. Münster et al. // Physik Unserer Zeit. – 2017. – №48. – P. 304 – 305.

78. Yang, R. Color Space Transformation-Based Smartphone Algorithm for Colorimetric Urinalysis [Текст] / R. Yang, W. Cheng, X. Chen et al. // ACS Omega. – 2018. – №3. – P. 12141 – 12146.
79. Yu, H. Smartphone Fluorescence Spectroscopy [Текст] / H. Yu, Y. Tan, B.T. Cunningham // Analytical Chemistry. – 2014. – №86. – P. 8805 – 8813.
80. Zhang, D. Visualized Quantitation of Trace Nucleic Acids Based on Coffee-Ring Effect on Colloid-Crystal Substrate [Текст] / D. Zhang, B. Gao, C. Zhao et al // Langmuir. – 2018. – №35. – P. 248– 253.
81. Zhao, Y. A Nanozyme- and Ambient Light-Based Smartphone Platform for Simultaneous Detection of Dual Biomarkers from Exposure to Organophosphorus Pesticides [Текст] / Y. Zhao, M. Yang, Q. Fu et al. // Analytical Chemistry. – 2018. – №90. – P. 7391 – 7398.
82. Zhu, R. Wireless Hazard Badges to Detect Nerve-Agent Simulants [Текст] / R. Zhu, J.M. Azzarelli, T.M. Swager // Angewandte Chemie. – 2016. – №55. – P. 9662 – 9666.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Фотографии со смартфона



Рис. 21 Измерение раствора с помощью смартфона и приложения Color Grab



Рис. 22 Снимок экрана мобильного приложения Color Grab



Рис. 23 Снимок экрана мобильного приложения ColorMeter Free