

Профессор **А.В. Лобанов, В.Н. Годин**
Московский педагогический государственный университет

Э.Р. Имамеев
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА

с использованием цифровых приложений



Согласно обновлённым ФГОС практическая направленность современного естественно-научного образования должна быть усилена, поэтому особую важность приобрела проблема построения алгоритма проведения экспериментальных работ, связанных с проектной и научно-исследовательской деятельностью. Подобного рода активность не только развивает творческие способности учащихся, но и позволяет реализоваться их высокому исследовательскому потенциалу. Даже самый выдающийся труд авторитетного учёного начинается с продуктивной работы за школьной партой. Именно поэтому очень важно поддержать и грамотно направить талантливого учащегося. Выполняя экспериментальную работу с межпредметным содержанием, школьники учатся воспринимать естественные науки не как дискретные дисциплины, а как взаимосвязанные естественно-научные области знаний, формирующие рациональное представление о явлениях природы.

При выполнении лабораторных работ на уроках химии, во внеурочной деятельности, а также исследовательских и проектных работ в 8–11 классах учащимся часто приходится сталкиваться с анализом цветности объектов. В химическом практикуме это качественные цветные реакции, служащие подтверждением образования тех или иных веществ, эффектные демонстрационные опыты с появлением, изменением или исчезновением окраски. Такие работы встречаются во всех разделах химии, как в неорганической, так и органической, где за окраску отвечают оксиды и соли, координационные соединения металлов и красители с самой разной природой хромофорных групп. Следует отметить, что и при изучении межпредметных тем в биолого-химических

профильных классах также возникают задачи цветного обнаружения различных метаболитов (например, глюкозы), равно как и определения характеристик окрашенных объектов, скажем, зелёного листа, цветных лепестков, контрастно проявленных тканей.

К большому сожалению, в подобных опытах обучающимся приходится ограничиваться качественной фиксацией окраски объектов. В лучшем случае они прибегают к уточнениям типа «слабо-розовый», «ярко-синий», «малиново-красный» и пр. При реализации учебных проектов на базе инновационных лабораторий технопарков и кванториумов, научно-исследовательских институтов или вузовских кафедр биолого-химического профиля для количественного определения окраски соединений и материалов используют специализированные методы, такие как спектрофотометрия и диффузное отражение, позволяющие соотносить интенсивность окраски с количеством цветного вещества. Однако и в школьных экспериментах на помощь могут прийти доступные компьютерные программы для обработки и анализа изображений Adobe Photoshop, CorelDRAW, JMicroVision, Endrov, OpenCV, OsiriX и др. Для сравнительного анализа интенсивности цвета необходимо сделать фотографии пробирок с окрашенными растворами, кусочков материала или навесок цветных порошков. Компьютерные программы помогут не только понять, где ярче или слабее окраска, но и провести более тщательное исследование, в результате которого станет ясно, насколько окраска равномерна и однородна. В особых случаях, касающихся прежде всего твёрдых образцов, посредством компьютерного исследования можно узнать, каковы размеры незаметных глазу окрашенных пятен и какой они формы. В более сложных лабораторных опытах целесообразно совмещение компьютерной программы с микроскопом, что даёт возможность существенно повысить разрешение.

В качестве примера можно рассмотреть лабораторные работы, цель которых заключается в *определении крахмала и хлорофилла, образующихся в ходе фотосинтеза* в этиолированных листьях растений, в зависимости от химического состава питательной среды или условий облучения видимым светом.

Для работы берут листья комнатного растения, которые несколько суток выдерживают в темноте в стакане с водой. Затем листья делят по группам, которые помещают в стандартные ёмкости с различными растворами (например, отличающимися содержанием питательных веществ или токсичных загрязнителей воды). Листья одинаковым образом облучают светом лампы накаливания или светодиодного устройства, после чего образующийся крахмал фиксируют иодом по методу Сакса. Хлорофилл обнаруживают по появлению у листьев зелёной окраски разной степени интенсивности. Как правило, листья в сериях эксперимента приобретают окраску, отличить которую визуально бывает затруднительно и тем более выразить отличия в процентном соотношении. В связи с этим можно получить фотографические изображения листьев, которые затем будут обработаны в той или иной программе на компьютере или мобильном устройстве. Результаты лабораторной работы традиционно можно представить в таблице, в которой будут отражены условия проведения опытов и интенсивность окраски листьев в условных единицах или процентах. Таким же образом можно организовать опыт, в котором образование цветного продукта будет зависеть от интенсивности или длительности облучения, использования монохроматического света (синего, зелёного, красного и др.), прерывистого освещения и т.п.

Довольно трудоёмкой научно-практической работой считается *проба Сакса*. Она включает в себя как манипуляцию с биологическими объектами (фотосинте-

зирующими цветковыми растениями), так и оперирование химическими знаниями. Рассмотрим подробнее научно-методические особенности проведения данного эксперимента.

От сосудистого растения необходимо правильным образом отломить листья и острым скальпелем укоротить их черенки до фиксированной длины (например, до 5 см). Определённые требования предъявляются к подготовке лабораторной посуды, технике взвешивания сухих веществ и приготовления растворов, а также работы с кипящей водой, этанолом и препаратом иода. Последняя манипуляция проводится строго в вытяжном шкафу при помощи учителя, тьютора или ассистента (лаборанта). Технические навыки потребуются при работе с осветительными приборами. На всех стадиях проведения эксперимента необходимо строгое соблюдение техники безопасности, включая проведение водного инструктажа и теоретического рассмотрения сути изучаемых биологических и химических процессов. Важно, чтобы неорганическая питательная среда, используемая в опытах с растениями, не включала анионов иода (I⁻). Важное условие успешного проведения данного эксперимента — равномерный охват светом лампы или диодного устройства всех листьев.

Учащиеся должны иметь представление о том, что воздействие этанола приводит к разрушению порфиринового кольца хлорофилла, что позволяет экспериментатору фиксировать крахмал иодом по методу Сакса. В пробе Сакса при взаимодействии иода с крахмалом образуется клатрат синего цвета. При формировании этого высокомолекулярного комплекса листья растений меняют свою окраску на синевато-бурую.

По интенсивности изменения цвета листовой пластины можно судить о количестве накопленного крахмала. Однако более-менее точную количественную оценку затрудняет субъективное восприятие цветовой

гаммы, поскольку для каждого человека характерны индивидуальные особенности зрительной сенсорной системы. Поэтому мы предлагаем перенаправить эту задачу специальному программному обеспечению. При этом вполне очевидно, что оно должно быть легкодоступно для средних учебных образовательных учреждений всех регионов страны. С помощью редакторов фотографий или конструкторов изображений можно распределить полученные фотоснимки по цветовой гамме. Визуальное ранжирование окрашенного иодом крахмала может показать степень насыщения листа высокомолекулярными запасными углеводными полимерами. В результате, пренебрегая строгой численной конвертацией, можно по цвету клатрата сравнительно оценить интенсивность фотосинтеза растений в тех или иных условиях содержания.

Эксперимент с использованием цифровых приложений позволяет работать с оцифрованными изображениями частей растений. С этой целью листовые пластины помещают в планшетный сканер и сканируют с регулируемым разрешением, после чего получают изображения, пригодные для анализа с помощью специализированных приложений на компьютере или мобильном устройстве. Так, анализ изображений листовых пластин зональной пеларгонии с различным содержанием крахмала, фиксированного иодом по методу Сакса, имеющих разную степень синеватой окраски, позволяет проследить скорость образования крахмала и динамику его накопления при помещении листьев в водные среды различного состава или в условиях различной освещённости, в том числе при использовании монохроматического света. Аналогичным образом на практике можно проводить наблюдение за образованием хлорофилла в этиолированных листьях проростков гороха или подсолнечника. Предметом исследования может служить влияние компонентов среды, на-

пример нитрат-, ортофосфат- и сульфат-анионов, катионов калия, гуминовых веществ, на степень накопления хлорофилла в растениях. Можно также предложить учащимся экспериментальную работу с изображением лепестков цветков, в рамках которой возможно проследить влияние целого ряда параметров — от биологической специфичности до условий произрастания растений — на интенсивность окраски лепестков.

Ниже приведены описания опытов с растительным материалом, которые могут быть проведены учащимися в рамках элективного курса или проектно-исследовательской деятельности.

1. Влияние химического состава питательного раствора на биосинтез крахмала в растениях

С растений зональной пеларгонии (*Pelargonium zonale*) возрастом 2–3 года отламывают 15 листьев с черешками, которые помещают в сосуды с дистиллированной водой приблизительно до середины черешка, предварительно укороченного до 5 см. Сосуды с листьями ставят в тёмное место на 48 ч. Затем листья погружают по 3 штуки в 5 сосудов, содержащих одинаковое количество водных растворов нитрата аммония, монофосфата калия и сульфата калия, различающихся по концентрации солей, например так, как отобразено в табл. 1.

Далее работа класса осуществляется в 4 мини-группах по 2–4 человека. Учащиеся каждой мини-группы берут один из сосудов с листьями, закрепляют его в штатив, сверху которого установлена светодиодная лампа белого света мощностью 150 Вт. Листья освещают в течение фиксированного промежутка времени от 10 до 120 мин. После освещения листья достают из сосудов, опускают в кипящую воду на 2 мин и далее в этиловый спирт (96%) на 1 мин. Обработанные таким образом листья помещают в спиртовой раствор иода (5%) и выдерживают в нём в течение 5 мин. Наблюдается образование окрашенного в синий цвет комплекса крахмала с иодом.

Далее листья извлекают из раствора, перекладывают листами фильтровальной бумаги и оставляют сохнуть. Окрашенные сухие листья раскладывают на листе белой бумаги и регистрируют изображение с помощью сканера, подключённого к компьютерному устройству. Альтернативным вариантом может быть получение снимка с использованием мобильного телефона при чётко контролируемых и воспроизводимых условиях. Анализ интенсивности окраски проводят с использованием одной из доступных упомянутых выше компьютерных программ, электронных ресурсов в сети или мобильных цифровых приложениях в мобильном устройстве, таких как Aspose Products, ColorScheme.Ru, BL2.ru, Planetcalc.ru, cielab.xyz, img-webcalypt.ru.

Таблица 1

Результаты сравнения интенсивности окраски листьев, окрашенных иодом

Время, мин	Интенсивность окраски листовой пластины в сериях с разным соотношением NH_4NO_3 , KH_2PO_4 и K_2SO_4 , %				Вывод. Интерпретация результата
	Раствор № 1	Раствор № 2	Раствор № 3	Раствор № 4	
	без солей	1 : 1 : 2	4 : 2 : 1	2 : 4 : 1	
10					
30					
60					
120					

С помощью цифровых инструментов определяют относительную яркость и контрастность цвета листьев в условных единицах или процентах. Результаты анализа оформляют в виде табл. 1, в которой указывают номера растворов, концентрацию солей и результаты измерения цветовой характеристики. На основании полученных данных учащиеся делают вывод о существовании оптимального химического состава культурального раствора, обеспечивающего наиболее эффективный биосинтез крахмала, являющийся одним из показателей фотосинтеза.

2. Влияние освещения разных цветов на биосинтез хлорофилла в листьях растений

В 5 пластиковых стаканчиков с прокалённым песком сеют по 10 семян подсолнечника (*Helianthus annuus*), после чего песок увлажняют дистиллированной водой. Посевы помещают в тёмное место и держат там несколько суток, не давая песку пересыхать, до появления всходов, имеющих этиолированные семядольные листья. Для продолжения эксперимента учащиеся класса делятся на 5 мини-групп по 2–4 человека. Учащиеся каждой из мини-групп берут один из стаканчиков с проростками, крепят их к штативам, сверху которых установлены светодиодные лампы одинаковой мощнос-

ти, различающиеся цветностью, а именно: излучающие свет белого, синего, зелёного, красного и жёлтого цветов. Этиолированные проростки освещают в течение 2 ч. Далее позеленевшие листья срезают с проростков острым скальпелем и размещают на листе белой бумаги, после чего регистрируют изображение посредством сканера, имеющего выход на компьютер, либо делают фотографию с помощью камеры мобильного телефона. Анализ интенсивности зелёной окраски осуществляют с использованием программ или приложений, перечисленных в описании опыта 1. Результаты работы сводят в табл. 2, в которой указывают номера растворов, цвет излучения и результаты измерения интенсивности зелёной окраски. На основании полученных данных учащиеся делают вывод о роли монохроматического освещения разных цветов в биосинтезе хлорофилла в листьях растений.

Тонкая работа с обработкой и созданием визуальных объектов требует соблюдения ряда деталей:

- 1) снимки изображений делают без вспышки (для устранения ненужного фактора, влияющего на цвет фотографий);
- 2) все пробы следует фотографировать в короткий промежуток времени в одном и том же месте и при одинаковом освещении (лучше в специально выделенном месте в пределах школьной химической лаборатории);

Таблица 2

Результаты сравнения интенсивности окраски позеленевших листьев

Время, мин	Интенсивность окраски семядольных листьев в сериях с облучением разным светом, %					Вывод. Интерпретация результата
	Раствор № 1	Раствор № 2	Раствор № 3	Раствор № 4	Раствор № 5	
	белый	синий	зелёный	красный	жёлтый	
10						
30						
60						
120						

3) все фотографии должны быть сделаны с одного устройства без использования фильтров.

Следуя перечисленным указаниям, учащиеся под руководством педагога выполняют эксперимент с межпредметным содержанием, используя современные цифровые приложения. Простота проведения и в то же время эффективность данных экспериментов позволяет с большим успехом использовать их для реализации проектных и исследовательских работ школьников.

Основная цель приведённых примеров экспериментов, выполненных с использованием цифровых приложений для определения цветности, — выявление междисциплинарных связей в области физики, химии и биологии фотосинтеза растений. Выполнение работ требует знаний о биохимии фотосинтеза, а именно его темновой стадии, на которой происходит биосинтез энергоёмких метаболитов, таких как простые и сложные углеводы, в том числе крахмал. Кроме того, от учащихся понадобятся знания о биосинтезе хлорофиллов и особенно фотозависимой стадии биосинтеза, которая имеет опосредованное отношение к процессу фотосинтеза. Из физических стадий фотосинтеза будет необходимо знать о процессе взаимодействия света с основными фотосинтетическими пигментами и селективном участии в этом процессе света определённого диапазона и соответственно цвета. С химической точки зрения обучающимся потребуются знания о макро- и микроэлементах в питании растений, неорганических веществах, участвующих в фотосинтезе растений на разных стадиях, а также будет нужна информация о химическом анализе крахмала, при котором происходит его химическое окрашивание иодом. Применение программ

и приложений для работы с электронными цветными изображениями будет способствовать формированию у обучающихся умений и навыков в сфере цифровых методов анализа. Следовательно, выполнение лабораторных работ такого содержания будет существенным образом оказывать влияние на достижение учащимися метапредметных результатов при интегративном обучении химии и биологии. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова Е. В.** Цифровые датчики при изучении кислотно-основных свойств растворов // *Химия в школе*. — 2022. — № 10. — С. 48–54.
- Аксёнова И. В., Андреева Г. Ю., Янцева Ю. С.** Цифровые образовательные платформы и ресурсы // *Химия в школе*. — 2021. — № 8. — С. 15–21.
- Борунова Е. Б.** Из опыта использования цифровых лабораторий // *Химия в школе*. — 2022. — № 6. — С. 66–71.
- Бухарова А. В.** Школьный химический эксперимент с применением цифровой лаборатории // *Химия в школе*. — 2018. — № 1. — С. 51–55.
- Гавронская Ю. Ю.** Тренды современного образования: цифровизация, эдьютейнмент и функциональная грамотность // *Химия в школе*. — 2022. — № 1. — С. 17–21.
- Иванова Т. А., Кунц М. Ю., Спицкая А. А.** Современные подходы к проектно-исследовательской деятельности // *Химия в школе*. — 2022. — № 10. — С. 48–54.
- Тропникова В. В.** Использование мобильных устройств в обучении химии: проблемы и перспективы // *Актуальные проблемы химического и экологического образования: сборник научных трудов 67-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Санкт-Петербург, 16–17 апреля 2020 года*. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020.
- Уваров А. Ю.** Модель цифровой школы и цифровая трансформация образования // *Исследователь / Researcher*. — 2019. — № 1–2 (25–26). — С. 22–37.

Ключевые слова: фотосинтез, лабораторные работы, метапредметные результаты, цифровые технологии.

Key words: photosynthesis, laboratory work, meta-subject results, digital technologies.

DOI: 10.62709/0368–5632–2024–10–63–68