Содержание

1. Ведение 3

2. Ошибка Ван-Гельмонта 3

3. Самое интересное из веществ во всем органическом мире 6

4. Красный цвет — символ созидания 7

5. О чем поведали меченые атомы! 9

6. Зеленая электростанция 10

7. Фотосинтез и урожай 13

8. «Чародейкою зимою околдован, лес стоит...» 16

9. Леса — легкие планеты! 17

10. «Лес, точно терем расписной, лиловый, золотой, багряный...» 20

11. Радуга флоры 23

12. Зеленые животные — реальность или фантазия! 26

13. Заключение 30

14. Список использованных источников 30

# Ведение

Когда-то, где-то на Землю упал луч солнца, но он упал не на бесплодную почву, он упал на зеленую былинку пшеничного ростка, или, лучше сказать, на хлорофилловое зерно. Ударя­ясь об него, он потух, перестал быть светом, но не исчез... В той или другой форме он вошел в состав хлеба, который послужил нам пищей. Он преобразился в наши мускулы, в наши нер­вы... Этот луч солнца согревает нас. Он приво­дит нас в движение. Быть может, в эту минуту он играет в нашем мозгу.

Растение из воздуха образует органическое вещество, из солнечного луча — запас силы. Оно представляет нам именно ту машину, которую обещают в будущем Мушо и Эриксон, — машину, действующую даровою силою солнца. Этим объяс­няется прибыльность труда земледельца: затратив сравнительно небольшое количество вещества, удобрений, он получает большие массы органичес­кого вещества; затратив немного силы, он получает громадный запас силы в виде топлива и пищи. Сельский хозяин сжигает лес, стравливает луг, продает хлеб, и они снова возвращаются к нему в виде воздуха, который при действии солнечного луча вновь принимает форму леса, луга, хлеба. При содействии растения он превращает не имею­щие цены воздух и свет в ценности. Он торгует воздухом и светом.

# Ошибка Ван-Гельмонта

В старые времена врач обя­зан был знать ботанику, ведь многие лекарственные средст­ва готовились из растений. Неудивительно, что лекари не­редко выращивали растения, проводили с ними различные опыты.

Так, голландец Ян Баптист Ван-Гельмонт (1579—1644) не только занимался врачебной практикой, но и эксперименти­ровал с растениями. Он решил узнать, благодаря чему растет растение. С животными и че­ловеком вроде бы все ясно: поедая корм или пищу, они получают вещества, благода­ря которым увеличиваются в размерах. Но за счет чего крошечное семя, лишенное рта, превращается в огром­ное дерево?

Чтобы ответить на этот вопрос, Ван-Гельмонт проде­лал следующее. Взял кадку, в которую насыпал 91 килограмм высушенной в печи почвы, смочил ее дождевой водой и посадил ивовый побег массой 2,25 килограмма. Каждый день в течение пяти лет он поливал растение чистой дож­девой водой. По прошествии этого времени Ван-Гельмонт извлек деревце, тщательно очистил корни от прилипших частиц почвы и взвесил содер­жимое кадки и растение. Оказалось, что масса почвы уменьшилась всего на 57 грам­мов, а вот масса ивы возросла почти на 75 килограммов. Результат эксперимента ис­следователь объяснил исклю­чительно поглощением воды. Так возникла водная теория питания растений.

Джозеф Пристли (1733— 1804) — известный англий­ский ученый-химик. Он открыл кислород, получил хлористый водород, аммиак, фтористый кремний, сернистый газ, ок­сид углерода. Привезенный французом Шарлем Кондамином из Южной Америки кау­чук Пристли в 1770 году предложил использовать для стирания написанного, назвав его гуммиэластиком. Как хи­мика Пристли заинтересовал вопрос: почему воздух полей и лесов чище городского? Уче­ный предположил, что расте­ния очищают его от веществ, выделяемых людьми при ды­хании, а также дымящимися трубами заводов и фабрик. С целью проверки своего предположения он посадил под стеклянный колпак мышь. Довольно быстро животное погибло. Тогда эксперимен­татор поместил под такой же колпак другую мышь, но уже вместе с веткой мяты. «Это было сделано в начале авгус­та 1771 года. Через восемь-девять дней я нашел, что мышь прекрасно могла жить в той части воздуха, в которой росла ветка мяты. Побег мя­ты вырос почти на три дюйма...»[[1]](#footnote-1).

Опыт заинтересовал ученых, многие повторили его в своих лабораториях, однако резуль­таты получались неодинако­вые: в одних случаях расте­ния действительно очищали воздух и делали его пригод­ным для дыхания мыши, в других — этого не наблю­далось. Надо сказать, что сам Пристли при повторении опы­тов получил противоречивые результаты. Установить исти­ну ученый уже не смог, так как консервативно настроен­ные англичане разгромили его прекрасно оборудованную ла­бораторию и богатую библио­теку за сочувствие их вла­дельца идеям французской ре­волюции. Пристли оставил научную работу и эмигриро­вал в США.

В другой своей работе «Слово о слоях земных» он высказался о воздушном пи­тании растений еще более определенно: «Откуда же но­вый сок сосны собирается и умножает их возраст, о том не будет спрашивать, кто знает, что многочисленные иглы нечувствительными сква­жинами почерпают в себя с воздуха жирную влагу, ко­торая тончайшими жилками по всему растению расходится и разделяется, обращаясь в его пищу и тело». «Нечувст­вительные скважины» — это не что иное, как устьица, хоро­шо известные каждому из школьного учебника ботаники.

К сожалению, мысли, вы­сказанные великим Ломоносо­вым, остались неизвестными научным кругам. А вот идею Пристли об очищении возду­ха поддержали не только уче­ные, она стала популярна да­же в народе. Результатом яви­лось массовое разведение цве­тов в помещениях, где нахо­дились больные. При этом двери обычно держали плотно закрытыми, дабы «вредный» наружный воздух не мог про­никнуть в комнату.

Голландский врач Ингенгауз (1730—1799) усомнился в правильности такого исполь­зования растении и провел ряд экспериментов с целью проверки действенности этого приема. В результате своих опытов он сделал открытие, что только зеленые части растений могут улуч­шать воздух, да и то лишь в том случае, когда они на­ходятся на свету. Все осталь­ное — цветки, корни, а также зеленые листья, лишенные света, — воздуха не исправ­ляет.

Проделаем такой опыт. Возьмем две банки с водой. В одну нальем воду из-под крана, а в другую — кипяче­ную и охлажденную. При ки­пячении, как известно, уда­ляются газы, растворенные в воде. Затем в каждую банку поместим веточки водного растения элодеи, накроем их воронками, на отростки кото­рых наденем пробирки, напол­ненные водой. Обе банки выставим на свет.

Через некоторое время мы заметим, что в банке с не кипяченой водой веточки элодеи начинают выделять какой-то газ. Когда он заполнит про­бирку, можно установить, что это кислород: внесенная в пробирку тлеющая лучинка ярко вспыхивает. В банке с кипяченой водой, где нет угле­кислого газа, веточки элодеи кислорода не выделяют.

Попробуем доказать, что все дело именно в углекис­лом, а не в каком-то ином газе, удаленном при кипяче­нии. Для этого пропустим че­рез кипяченую воду углекис­лый газ, и вскоре веточки элодеи станут выделять кис­лород.

Швейцарский естествоиспы­татель Жан Сенебье (1742— 1809) первым установил необ­ходимость углекислого газа как источника углерода для зеленых растений. Он же пред­ложил термин «физиология ра­стений» и в 1880 году написал первый учебник по этой дис­циплине.

Его соотечественник естест­воиспытатель Никола Теодор Соссюр (1767—1845) работал в области физики, химии и геологии. Однако мировую из­вестность приобрел благодаря трудам в области физиологии растений. С помощью точных методов количественного хи­мического анализа он убеди­тельно доказал, что растения на свету усваивают углерод из углекислого газа, выде­ляя при этом кислород. Уче­ный также установил, что рас­тения, как и животные, ды­шат, поглощая кислород и выделяя углекислый газ.

Так постепенно складыва­лись представления о фото­синтезе как о процессе, в ходе которого из углекислого газа и воды зеленые растения на свету образуют органические вещества и выделяют кис­лород:

бСО2 + 6Н2О → С6Н12О6 + 6О2↑

Термин «фотосинтез» был предложен в 1877 году изве­стным немецким физиологом растений Вильгельмом Пфеффером (1845—1920). В ходе этого процесса солнечная энергия преобразуется в энер­гию химических связей орга­нических соединений.

# Самое интересное из веществ во всем органическом мире

Так назвал хлорофилл вели­кий Чарльз Дарвин, когда наш соотечественник Климент Аркадьевич Тимирязев рас­сказал ему о своих опытах с этим веществом. В то время, когда химическая природа процесса фотосинтеза пред­ставлялась весьма туманной, подобное утверждение было весьма ценным, поскольку привлекало внимание ученых к новой очень перспективной проблеме. А сам термин «хло­рофилл» был предложен в 1818 году французскими хими­ками П. Пельтье и Ж. Каванту. Он образован из гречес­ких слов «хлорос» — зеленый и «филлон» — лист.

Выделить хлорофилл из листа несложно. Для этого измельчим листья любого рас­тения ножницами, поместим в ступку, прильем немного спир­та, разотрем и отфильтруем в чистую сухую пробирку. Если у вас нет под рукой ступки, кусочки листьев поме­стите в небольшую колбочку, влейте спирт и осторожно нагрейте на спиртовке. Очень быстро спирт окрасится в изумрудно-зеленый цвет из-за присутствия хлорофилла.

А теперь познакомимся с некоторыми свойствами этого пигмента. Поместите за про­биркой черную бумагу или ка­кой-то темный предмет и на­правьте на нее яркий свет. Раствор хлорофилла отражает свет с измененной длиной волны, поэтому хлорофилл приобретает вишнево-красную окраску. Это явление носит название флуоресценции.

В чем причина флуоресцен­ции хлорофилла? Кванты све­та падают на его молекулы, находящиеся в растворе, и вызывают их возбуждение. При этом электрон молекулы пигмента переходит на более высокий энергетический уро­вень. В растворе, в отличие от зеленого листа, энергия возбужденного электрона не расходуется на синтез органи­ческих веществ, поэтому этот электрон возвращается на прежний энергетический уро­вень, а избыток энергии испускается в виде квантов красного света. Видимый свет, как известно, состоит из раз­ных лучей: фиолетовых, синих, голубых, зеленых, желтых, оранжевых, красных. Их окраска зависит от длины вол­ны, которая увеличивается по направлению от синих к крас­ным лучам солнечного спект­ра. А вот величина квантов и их энергетический потен­циал изменяются при этом в противоположном направле­нии: кванты синих лучей зна­чительно богаче энергией, чем кванты красных. Когда свет падает на молекулы хлоро­филла, часть энергии кван­тов рассеивается в виде теп­ла, поэтому отраженные кван­ты несут меньший запас энер­гии, а длина волны света увеличивается, смещаясь в сторону длины волны красных лучей. Вот почему мы видим красное свечение при осве­щении хлорофилла белым светом, то есть совокупностью разных лучей солнечного спектра.

Любопытно в связи с этим отметить, что на прекрасных фресках гениального Андрея Рублева мы часто видим со­четание зеленого с красным: в складках зеленой одежды как бы скрываются красные от­светы.

Если вы имеете спектро­скоп — несложный школьный прибор, в котором при помо­щи призмы видимый свет раз­лагается на составные компо­ненты, — то можно изучить спектр поглощения хлорофил­ла. Приложите пробирку с раствором хлорофилла к щели спектроскопа и загляните в окуляр, вы увидите мощную темную полосу поглощения в красной части спектра и ме­нее выраженную в синей. Итак, хлорофилл поглощает красные и синие лучи спектра. А вот зеленые, беспрепятст­венно проходя через его раст­вор, сообщают ему свою окраску.

Отчего зависит зеленая окраска пигмента? Добавим в пробирку с вытяжкой хлоро­филла несколько капель сла­бой соляной кислоты. Тотчас же окраска изменится на оливково-бурую. Что при этом произошло с хлорофиллом?

Уже давно установлено, что его молекула содержит атом магния. При взаимодействии с соляной кислотой он вытес­няется из нее атомами водо­рода соляной кислоты. Можно предположить, что наличие атома магния и определяет зеленую окраску пигмента.

Теперь в ту же пробирку добавим небольшое количест­во ацетата меди или ацета­та цинка и подогреем содер­жимое пробирки на спир­товке. Едва жидкость заки­пит, окраска раствора резко изменится — вместо оливково-бурой она вновь станет изум­рудно-зеленой. Что же при этом произошло? В молекуле хлорофилла на место атома магния при взаимодействии с соляной кислотой встал водород. В свою очередь, атомы водорода при добав­лении ацетата меди или аце­тата цинка и нагревании вы­тесняются атомами меди или цинка. Происходит восстанов­ление металлоорганической связи. Следовательно, зеленая окраска хлорофилла опреде­ляется наличием в нем ато­ма металла вне зависимости от того, будет ли это маг­ний, медь или цинк.

# Красный цвет — символ созидания

Если солнечный спектр, кото­рый мы наблюдаем в спект­роскопе, спроектировать на экран, то можно изучать ско­рость фотосинтеза в разных лучах — синих, желтых, зеле­ных, красных.

Впервые интенсивность фо­тосинтеза в различных лучах спектра исследовал физик В. Добени. В 1836 году он сделал очень важное откры­тие: зеленый лист может осу­ществлять фотосинтез в от­дельных лучах спектра, причем в зависимости от харак­тера лучей он идет с неоди­наковой скоростью. Но вот на вопрос, в каких именно лучах спектра фотосинтез протекает наиболее интенсив­но, В. Добени ответил не­правильно. И виной тому ме­тодические погрешности при проведении эксперимента. Во-первых, ученый получал те или иные лучи, пропуская солнечный свет через цвет­ные стекла или окрашенные растворы. Во-вторых, он при­менял очень примитивный ме­тод учета интенсивности фото­синтеза. Ученый поместил отрезок побега водного расте­ния элодеи в пробирку с во­дой срезом вверх и считал, сколько пузырьков кислорода отрывается с поверхности сре­за за единицу времени. Добени пришел к выводу, что интен­сивность фотосинтеза пропор­циональна яркости света, а наиболее яркими лучами в то время считались желтые. Этой же точки зрения при­держивались Джон Дрепер (1811—1882) и физиологи рас­тений Ю. Сакс и В. Пфеффер. В 1846 году Дрепер изучал интенсивность фото­синтеза в различных лучах спектра, испускаемых спектро­скопом, и пришел к тому же заключению, что и Добени.

Между тем утверждение противоречило закону сохра­нения энергии. Ведь желтые лучи, как мы уже знаем, незначительно поглощаются хлорофиллом. Могут ли они быть главной движущей силой процесса фотосинтеза?

Такова была обстановка в области изучения фотосинте­за, когда к исследованиям в этой области приступил К. А. Тимирязев. Будучи пос­ледовательным материалис­том, он утверждал, что яркость лучей зависит от субъектив­ного восприятия света глазом (синие лучи кажутся нам неяркими, а желтые наоборот) и потому не может опреде­лять интенсивность усвоения углекислого газа зелеными растениями. Наиболее дея­тельными в процессе фото­синтеза могут быть только те лучи, которые поглощаются хлорофиллом. Главной причи­ной ошибки Дрепера он счи­тал недостаточную чистоту отдельных участков спектра, возникшую из-за широко открытой щели спектроскопа. Увеличивать же щель спект­роскопа приходилось для уси­ления интенсивности светово­го потока, иначе фотосинтез с помощью примитивных ме­тодов не обнаруживался. Для того чтобы иметь возможность работать с узкой щелью спектроскопа, необходимо бы­ло создать принципиально новые, значительно более чувствительные методы учета скорости этого процесса. Сконструированные К. А. Ти­мирязевым приборы позволя­ли резко повысить точность исследований. В восьмидесятых годах прошлого столетия химик Пьер Эжен Марсель Вертело говорил К. А. Тими­рязеву, что каждый раз он привозит в Париж новый ме­тод анализа газов, в тысячу раз более усовершенствован­ный. С помощью этой аппара­туры К. А. Тимирязев убеди­тельно показал, что наиболее активно фотосинтез идет в красных лучах спектра, кото­рые, как уже отмечалось, ин­тенсивнее других поглощаются хлорофиллом. По направле­нию к зеленой части спектра интенсивность фотосинтеза ос­лабевает. В зеленых лучах она минимальная. И это вполне понятно: ведь они хлорофил­лом почти не поглощаются. В сине-фиолетовой части наблюдается новый подъем интенсивности фотосинтеза. Таким образом, Тимирязев установил, что максимум усвоения листом углекислого газа совпадает с максимумом поглощения света хлорофил­лом. Иными словами, он впер­вые экспериментально дока­зал, что закон сохранения энергии справедлив и по отно­шению к фотосинтезу. Зеле­ный цвет растений отнюдь не случаен. В процессе эволюции они приспособились к погло­щению именно тех лучей сол­нечного спектра, энергия кото­рых наиболее полно использу­ется в ходе фотосинтеза.

Современная наука под­твердила правильность взгля­дов К. А. Тимирязева относи­тельно исключительной важ­ности для фотосинтеза именно красных лучей солнечного спектра. Оказалось, что коэф­фициент использования крас­ного света в ходе фотосинтеза выше, чем синих лучей, которые также поглощаются хлорофиллом.

Красные лучи, по представ­лениям К. А. Тимирязева, играют основополагающую роль в процессе мироздания и созидания жизни. В статье-притче «Красное знамя», написанной им в июне 1917 года, читаем: «Если красный цвет является факти­ческим признаком, выраже­нием работоспособности света в творческом процессе созида­ния жизни, то не следует ли признать его самой подходя­щей эмблемой, выражением работоспособности света зна­ния, света науки?». Интересно в связи с этим отметить, что в государстве древних инков Тауантинсуйю красный цвет почитался свя­щенным.

# О чем поведали меченые атомы!

Американский ученый Мэлвин Кальвин для изучения темно­вых реакций фотосинтеза, связанных с фиксацией и превращением углекислого га­за, широко использовал метод меченых атомов.

Вещества, имеющие ра­диоактивную метку, по хими­ческим свойствам практически не отличаются от обычных. Однако наличие радиоактив­ного атома позволяет про­следить за судьбой молекулы, ее превращениями в другие соединения, ведь излучение, испускаемое меткой в ходе распада, может быть легко измерено с помощью при­боров. М. Кальвин при изучении реакций фотосинтеза исполь­зовал также метод хроматографического разделения сме­си соединений. Если каплю раствора, содержащего смесь разных молекул, нанести на хроматографическую бумагу, а конец ее поместить в соот­ветствующий растворитель, то вещества придут в движение и каждое займет особую зо­ну на хроматограмме. С по­мощью приборов легко можно найти места расположения радиоактивных соединений, перевести их в раствор и определить химическую при­роду. С помощью этого метода удалось выяснить, какие ве­щества и в какой последо­вательности образуются в зе­леном листе на свету после введения меченого углекисло­го газа.

М. Кальвин избрал в каче­стве объекта исследования зе­леную водоросль хлореллу. После кратковременного осве­щения в присутствии радио­активного углекислого газа ее быстро убивали (фиксирова­ли) горячим спиртом, чтобы приостановить протекающие в ней реакции. Затем спиртовую вытяжку концентрировали, разделяли на хроматограмме и проводили анализ на содер­жание различных радиоактив­ных соединений.

Достаточно пяти секунд пре­бывания в атмосфере углекис­лого газа, чтобы меченый углерод этого соединения ока­зывался в трехуглеродном ор­ганическом веществе под на­званием фосфоглицериновая кислота. Как оно образова­лось? Кальвин предположил, что углекислый газ присоеди­няется к некоему пятиуглерод­ному соединению. В результа­те возникает шестиуглеродное соединение, которое по причи­не своей нестойкости на хроматограммах не обнаружи­вается. Оно, едва возникнув, тотчас же распадается на две молекулы фосфоглицериновой кислоты.

Предположение М. Кальви­на подтвердилось — углекис­лый газ действительно присоединяется к пятиуглеродному веществу под названием рибулезодифосфат.

Работы М Кальвина по выяснению сущности темпо­вых реакций фотосинтеза — крупнейшее достижение со­временной физиологии расте­ний. В 1961 году он был удостоен Нобелевской премии.

# Зеленая электростанция

Существует еще один путь использования человеком сол­нечной энергии, усвоенной растениями, — непосредствен­ная трансформация световой энергии в электрическую.

Выше мы проследили путь возбужденного квантом света электрона в ходе фотосинте­за. В настоящее время он изучен довольно детально. Именно способность хлоро­филла под действием света отдавать и присоединять электроны лежит в основе работы генераторов, содержа­щих хлорофилл.

М. Кальвин, работы которо­го мы уже неоднократно упо­минали, в 1972 году выдвинул идею создания фотоэлемента, в котором в качестве источ­ника электрического тока служил бы хлорофилл, способный при освещении отнимать элек­троны от каких-то определен­ных веществ и передавать их другим. Кальвин использовал в качестве проводника, контак­тирующего с хлорофиллом, оксид цинка. При освещении этой системы в ней возникал электрический ток плотностью 0,1 микроампера на квадрат­ный сантиметр. Этот фото­элемент функционировал срав­нительно недолго, поскольку хлорофилл быстро терял спо­собность отдавать электроны.

Для продления времени действия фотоэлемента был использован дополнительный источник электронов — гидро­хинон. В новой системе зеле­ный пигмент отдавал не толь­ко свои, но и электроны гид­рохинона. Расчеты показы­вают, что такой фотоэлемент площадью 10 квадратных мет­ров может обладать мощ­ностью около киловатта.

Японский профессор Фудзио Такахаси для получения электроэнергии использовал хлорофилл, извлеченный из листьев шпината. Транзистор­ный приемник, к которому бы­ла присоединена солнечная ба­тарейка, успешно работал. Кроме того, в Японии прово­дятся исследования по пре­образованию солнечной энер­гии в электрическую с по­мощью цианобактерий, выра­щенных в питательной среде. Тонким слоем их наносят на прозрачный электрод из окси­да цинка и вместе с противоэлектродом погружают в буферный раствор. Если те­перь бактерии осветить, то в цепи возникнет электрический ток.

В 1973 году американцы У. Стокениус и Д. Остерхельт описали необычный белок из мембран фиолетовых бактерий, обитающих в соленых озерах Калифорнийских пустынь. Его назвали бактериородопсином. Это вещество представляет собой белок, соединенный с каротиноидом (о каротиноидах мы поговорим ниже) ретиналем, состоящим из 20 уг­леродных атомов. Он похож на родопсин — пигмент сет­чатки глаза позвоночных жи­вотных, что и определило его название. Белковая часть ро­допсина представлена полипептидной цепью умеренной длины, состоящей из 248 ами­нокислотных остатков, после­довательность расположения которых в молекуле выяснена учеными. Большой вклад в исследование структуры бактериородопсина внесли совет­ские ученые, работавшие под руководством академика Ю. А. Овчинникова.

В конце 1973 года в АН СССР был разработан проект сравнительного изучения жи­вотного и бактериального пиг­ментов, получивший название «Родопсин». В 1978 году жур­нал «Биоорганическая химия» опубликовал статью, в кото­рой излагалась последова­тельность расположения ами­нокислот в молекуле бактериородопсина. Лишь через год подобная работа была завер­шена в США под руковод­ством известного биохимика Г. Кораны.

Любопытно отметить, что бактериородопсин появляется в мембранах галобактерий при недостатке кислорода. Де­фицит же кислорода в водое­мах возникает в случае ин­тенсивного развития галобак­терий. С помощью бактериородопсина бактерии усваи­вают энергию Солнца, ком­пенсируя тем самым возник­ший в результате прекраще­ния дыхания дефицит энергии.

Бактериородопсин можно вы­делить из галобактерий, помес­тив эти соелюбивые созда­ния, прекрасно чувствующие себя в насыщенном растворе поваренной соли, в воду. Тотчас же они переполняются водой и лопаются, при этом их содержимое смешивается с окружающей средой. И толь­ко мембраны, содержащие бак­териородопсин, не разрушают­ся из-за прочной «упаковки» молекул пигмента, которые образуют белковые кристаллы (еще не зная структуры, уче­ные назвали их фиолетовыми бляшками). В них молекулы бактериородопсина объедине­ны в триады, а триады — в правильные шестиугольники.

Поскольку бляшки значи­тельно крупнее всех других компонентов галобактерий, их нетрудно выделить путем цен­трифугирования. После про­мывки центрифугата получа­ется пастообразная масса фи­олетового цвета. На 75 % она состоит из бакте­риородопсина и на 25 — из фосфолипидов, заполняющих промежутки между белковыми молекулами. Фосфолипиды — это молекулы жиров в соеди­нении с остатками фосфорной кислоты. Другие вещества в центрифугате отсутствуют, что создает благоприятные условия для экспериментиро­вания с бактериородопсином. К тому же это сложное соеди­нение очень устойчиво к фак­торам внешней среды. Оно не утрачивает активности при нагревании до 100 °С и может храниться в холодильнике го­дами. Бактериородопсин ус­тойчив к кислотам и различ­ным окислителям. Причина его высокой устойчивости обусловлена тем, что эти гало-бактерии обитают в чрезвы­чайно суровых условиях — в насыщенных солевых раство­рах, какими, по существу, являются воды некоторых озер в зоне выжженных тро­пическим зноем пустынь. В та­кой чрезвычайно соленой, да к тому же еще и перегретой, среде организмы, обладающие обычными мембранами, су­ществовать не могут. Это обстоятельство представляет большой интерес в связи с возможностью использования бактериородопсина в качестве трансформатора световой эне­ргии в электрическую.

Если выпавший в осадок под воздействием ионов каль­ция бактериородопсин осве­тить, то с помощью вольт­метра можно обнаружить наличие электрического потен­циала на мембранах. Если выключить свет, он исчезает. Таким образом, ученые дока­зали, что бактериородопсин может функционировать как генератор электрического то­ка.

В лаборатории известного советского ученого, специа­листа в области биоэнергети­ки В. П. Скулачева тщательно исследовались процесс встра­ивания бактериородопсина в плоскую мембрану и условия функционирования его в ка­честве светозависимого гене­ратора электрического тока.

Позднее в этой же лабора­тории были созданы электри­ческие элементы, в которых использовались белковые ге­нераторы электрического тока. В этих элементах имелись мембранные фильтры, пропи­танные фосфолипидами с бак­териородопсином и хлорофил­лом. Ученые полагают, что подобные фильтры с белками-генераторами, соединенные последовательно, могут слу­жить в качестве электричес­кой батареи.

Исследования по приклад­ному использованию белков-генераторов, выполненные в лаборатории члена-корреспон­дента АН СССР В. П. Скула­чева. привлекли к себе прис­тальное внимание ученых. В Калифорнийском универси­тете создали такую же бата­рею, которая при однократном использовании в течение полутора часов заставляла све­титься электрическую лампоч­ку. Результаты экспериментов вселяют надежду, что фото­элементы на основе бактерио­родопсина и хлорофилла най­дут применение в качестве генераторов электрической энергии. Проведенные опы­ты — первый этап в создании новых видов фотоэлектричес­ких и топливных элементов, способных трансформировать световую энергию с большой эффективностью.

# Фотосинтез и урожай

Жизнь современного человека немыслима без выращивания различных культурных расте­ний. Органические вещества, образуемые ими в ходе фото­синтеза, служат основой пита­ния человека, производства лекарств, они нужны для из­готовления бумаги, мебели, строительных материалов и т. п.

Культурные растения спо­собны быстро размножаться, покрывать зеленым экраном своей листвы громадные пло­щади, улавливать колоссаль­ное количество солнечной энергии и образовывать вели­кое множество разнообразных органических веществ. В ре­зультате фотосинтеза создает­ся 95 % сухого ве­щества растений. Поэтому мы с полным правом можем ут­верждать, что управление этим процессом один из наиболее эффективных путей воздействия на продуктив­ность растении, на их урожай. Физиологи растений совер­шенно правильно считают, что основная задача работ в области фотосинтеза — сохра­нение и поддержание на более высоком уровне фотосинтети­ческой деятельности естест­венной растительности Земли, максимальное повышение фо­тосинтетической продуктив­ности культурных растений.

Каковы же пути управления человеком фотосинтетической деятельностью растений?

Часто сдерживающим фак­тором фотосинтеза является недостаток углекислого газа. Обычно в воздухе присутству­ет около 0,03 % СО2. Однако над интенсивно фотосинтезирующим полем его со­держание уменьшается иногда в три-четыре раза по сравне­нию с приведенной цифрой. Вполне естественно, что из-за этого фотосинтез тормозится. Между тем для получения среднего урожая сахарной свеклы один гектар ее посевов должен усваивать за сутки около 300—400 килограммов углекислого газа. Такое коли­чество содержится в колос­сальном объеме воздуха.

Опыты известного отечест­венного физиолога растений В. Н. Любименко показали. что увеличение количества углекислого газа в атмосфере до 1,5 % приводит к прямо пропорциональному возрастанию интенсивности фото­синтеза. Таким образом, один из путей повышения продук­тивности фотосинтеза — уве­личение концентрации углекис­лого газа в воздухе.

Современный уровень тех­нологии, в целом, позволяет решить эту задачу в глобаль­ных масштабах. Однако весь­ма сомнительно, чтобы чело­век решился на практике осу­ществить этот проект. Дело в том, что более высокий уровень содержания углекис­лого газа в воздухе приведет к изменению теплового балан­са планеты, к ее перегреву вследствие так называемого «парникового эффекта». «Пар­никовый эффект» обусловлен тем, что при наличии большого количества углекислого газа атмосфера начинает сильнее задерживать испускаемые по­верхностью Земли тепловые лучи.

Перегрев планеты может привести к таянию льдов в полярных областях и в высо­когорьях, к поднятию уровня Мирового океана, к сокраще­нию площади суши, в том числе занятой культурной рас­тительностью. Если учесть, что население Земли увеличи­вается еженедельно на 1 мил­лион 400 тысяч человек, то понятна крайняя нежелатель­ность таких изменений.

Человечество весьма обе­спокоено естественным ростом концентрации углекислого га­за в атмосфере, наблюдаемым в последние годы в результате интенсивного развития про­мышленности, автомобильно­го, железнодорожного и авиа­ционного транспорта. Поэтому оно едва ли решится когда-либо сознательно стимулиро­вать этот процесс в глобаль­ных масштабах.

В теплицах и на поле уве­личение содержания углекис­лого газа имеет важное зна­чение для повышения урожай­ности культурных растений. С этой целью в теплицах сжи­гают опилки, раскладывают сухой лед на стеллажах, вы­пускают углекислый газ из баллонов. Основной способ повышения концентрации СО2 над полем — активизация жизнедеятельности почвенных микроорганизмов путем внесе­ния в почву органических и минеральных удобрений. В процессе дыхания микробы выделяют большое количество углекислого газа. В последние годы для обогащения почвы и припочвенного воздуха СО2 поля стали поливать водой, насыщенной углекислым га­зом.

Другой путь преодоления отрицательного влияния низ­кой концентрации углекислого газа в атмосфере на урожай — распространение таких форм растений, которые очень интен­сивно фотосинтезируют даже при ничтожно малом его содер­жании. Это — С4 — растения. У них рекордные показате­ли интенсивности фотосинтеза.

Распространение таких расте­ний, дальнейшее изучение осо­бенностей их фотосинтеза представляется весьма нуж­ным и перспективным.

Растительность земного ша­ра довольно неэффективно ис­пользует солнечную энергию. Коэффициент полезного дей­ствия у большинства дикорас­тущих растений составляет всего 0,2 %, у культур­ных он равен в среднем одно­му %. При оптималь­ном снабжении культурных растений водой, минеральны­ми солями коэффициент по­лезного использования света повышается до четырех — шести %. Теоретичес­ки же возможен КПД, равный восьми—десяти %. Сопоставление приведенных цифр говорит о больших воз­можностях в увеличении фо­тосинтетической продуктив­ности растений. Однако прак­тическая их реализация встре­чает большие трудности.

Повысить эффективность использования солнечной энер­гии в ходе фотосинтеза можно, расположив растения на опти­мальном расстоянии друг от друга. В изреженных посевах значительная часть света про­падет зря, а вот в загущен­ных растения затеняют друг друга, их стебли становятся длинными и ломкими, легко полегающими от дождя и вет­ра. В том и другом случае происходит снижение урожая. Вот почему очень важно выбрать для каждой культуры наиболее оптимальное рас­стояние. При этом следует учи­тывать, что оптимальная плот­ность посевов может быть раз­личной в зависимости от обес­печенности растений водой, элементами минерального пи­тания и от их особенностей. К сожалению, многие агроно­мы не принимают во внима­ние названные факторы, по­этому так медленно растет продуктивность наших полей. Наиболее часто растения не­эффективно фотосинтезируют из-за недостатка воды и эле­ментов минерального питания. Если улучшить условия водо­снабжения и питания, то раз­меры листовой поверхности увеличатся, а между ними и величиной урожая обычно су­ществует прямая зависимость. Однако существует некото­рый предел роста эффектив­ности фотосинтеза, когда дальнейшее улучшение водо­снабжения и минерального питания не дает результатов. Дело в том, что при определенном размере листовой по­верхности (обычно, когда на 1 квадратный метр посевов приходится четыре-пять квад­ратных метров листьев) рас­тения поглощают практически всю энергию света. Если же на единицу площади поля при­ходится еще большая поверх­ность листьев, то в результате затенения их друг другом растения вытянутся, интенсив­ность фотосинтеза уменьшится. Вот почему дальнейшее улучшение снабжения расте­ний водой и элементами мине­рального питания неэффек­тивно.

В чем же выход из создав­шегося положения? Ученые по­лагают, что в выведении но­вых сортов культурных расте­ний, отличающихся выгодным строением тела. В частности, они должны иметь компактную низкорослую крону, с верти­кально ориентированными листьями, обладать крупными запасающими (луковицы, клуб­ни, корни, корневища) и репро­дуктивными (семена, плоды) органами.

На повышение плодородия почвы и улучшение водоснаб­жения эти сорта будут реаги­ровать усилением интенсив­ности фотосинтеза, умеренным потреблением продуктов фо­тосинтеза (ассимилятов), на рост листьев и других вегета­тивных органов, а также активным использованием ас­симилятов на формирование репродуктивных и запасающих органов.

Вот какие жесткие требо­вания предъявляются теперь к науке, занимающейся выведе­нием новых сортов культурных растений, — селекции. Из ска­занного ясно, что без тесного сотрудничества селекционеров с физиологами растений созда­ние перспективных сортов ста­новится практически невоз­можным.

Селекционеры вывели сор­та, отвечающие современным требованиям. Среди них — низкорослый рис, созданный в Международном институте ри­са в Маниле, хлопчатник Дуплекс, с вертикально ориен­тированными листьями, не за­теняющими друг друга, карли­ковая пшеница мексиканской селекции. Эти сорта на фонах высокого плодородия дают в полтора раза более высокие урожаи, чем их предшествен­ники. Однако это лишь один из путей увеличения фотосин­тетической продуктивности растений. Дальнейшие усилия должны быть направлены на повышение активности самого фотосинтетического аппарата

Как известно, процесс фото­синтеза осуществляется в осо­бых органоидах — хлоропластах. Здесь происходит мно­жество реакций, прежде чем из углекислого газа и воды образуются молекулы органи­ческих веществ. Управлять этими процессами, безусловно, непросто, но возможно. Об этом свидетельствует тот факт, что интенсивность фотосинтеза у разных растений неодинако­ва. У одних листовая поверх­ность площадью в 1 квадрат­ный дециметр усваивает за час от четырех до семи миллиграм­мов СО2, а у других — 60— 80 и даже 100, то есть в 20 раз больше! Растения неодинаково реагируют на его низкую кон­центрацию в воздухе, интен­сивность освещения и т. д.

Изучение особенностей фо­тосинтеза у разных растений, безусловно, будет способство­вать расширению возможнос­тей человека в управлении их фотосинтетической деятель­ностью, продуктивностью и урожаем.

# «Чародейкою зимою околдован, лес стоит...»

Совершенно безжизненным ка­жется нам зимний лес. В это время года у растений резко заторможен обмен веществ, интенсивность дыхания в 200— 400 раз меньше, чем летом, прекращается видимый рост. Однако процессы жизнеде­ятельности идут: крахмал пре­вращается в сахара и жиры, сахара расходуются в процес­се дыхания.

Ну а как насчет фотосинте­за? Разумеется, речь идет не о березе или лещине, которые сбросили свои листья еще осенью, а о хвойных деревьях и кустарниках, сохранивших свой фотосинтетический аппа­рат. В последние годы по этому вопросу получены очень инте­ресные данные. Ученые уста­новили, что озимые злаки, хвойные и некоторые листвен­ные вечнозеленые растения усваивают углекислый газ да­же при температурах — 1... -5°С.

Использование метода мече­ных атомов позволило более детально прояснить этот воп­рос. При понижении темпера­туры до —12 °С скорость фотосинтеза у разных растений снижалась в 3—17 раз. Наибо­лее устойчивыми оказались ель обыкновенная, сосна обыкно­венная, линнея северная — низкорослый лесной кустарни­чек из семейства жимолост­ных, лишайник леканора тем­ная. Некоторые мхи продол­жали усваивать углекислый газ даже при температуре —14°С, причем этот процесс шел успешно под сравнитель­но толстым снежным покровом, достигающим 26 сантиметров. Хотя интенсивность света, про­ходящего через такой слой сне­га, ослабевала приблизительно в 20 раз, скорость фотосин­теза у не покрытых и покрытых снегом растений почти оди­наковая. Этот удивительный факт можно объяснить следую­щим образом: под снегом растения оказались в более благоприятных температурных условиях, которые и позволили компенсировать падение фо­тосинтеза, вызванное пониже­нием освещенности.

Эти опыты убедительно по­казывают, что в условиях многомесячной зимы фотосин­тез не только возможен, но и необходим для нормального энергообеспечения зимнезеленых растений.

# Леса — легкие планеты!

Стало расхожим утверждение, что зеленые растения накапли­вают в атмосфере кислород. Нередко в научно-популярной литературе приходится встре­чать утверждения, будто гек­тар кукурузных посевов выде­ляет за год 15 тонн кислорода, что достаточно для дыхания 30 человек, а дерево средней величины обеспечивает трех человек и т. д. Леса называют легкими планеты...

На первый взгляд эти ут­верждения представляются убедительными, ведь в соответ­ствии с уравнением фотосинте­за в ходе образования ор­ганических веществ зелеными растениями и в самом деле выделяется кислород, причем чем больше органического ве­щества образуется в процессе фотосинтеза, тем интенсивнее выделяется кислород.

Авторы подобных утвержде­ний забывают, однако, что ор­ганические вещества кукурузы превратятся в углекислый газ в результате гниения и дыха­ния животных организмов. При поедании кукурузы живот­ными или человеком некоторое количество органических ве­ществ растения трансформи­руется в новые органические вещества животного организ­ма, которые в конечном счете превращаются в углекислый газ при дыхании. Дыхание — процесс обратный фотосин­тезу:

С6Н12О6 + 6О2 → 6СО2 + бН2О.

Если при образовании 1 тон­ны органического вещества в ходе фотосинтеза выделилось *п* килограммов кислорода, то точно такое же его количество потребуется для последующего окисления этого вещества.

То же самое происходит и с деревом. Разница лишь в том, что, превратившись в какую-нибудь поделку (стол, шкаф, оконную раму и т.п.), оно может разрушаться в течение длительного времени. Но ведь и растет дерево сотни лет! А вот сгореть может в мгнове­ние ока. При этом израсхо­дуется почти столько кислоро­да, сколько дерево выделило за всю свою долгую жизнь. Так накапливают ли кислород со­временные растения?

В атмосфере и гидросфере Земли содержится 1,5-1015 тонн кислорода. Считается, что он — результат деятельности древних анаэробных автотрофных организмов, осуществляв­шейся на протяжении длитель­ного периода истории Земли. Накопление кислорода на на­шей планете стало мощным стимулом для появления прин­ципиально новых организ­мов — аэробных, способных извлекать энергию из органи­ческих веществ в результате окислительных процессов с участием атмосферного кис­лорода.

Кислород, образуемый со­временной растительностью в ходе фотосинтеза, расходуется на дыхание самих растений (около 1/3), а также животных и человека, на аэробное разло­жение органических веществ микроорганизмами и на про­цессы горения различных ве­ществ, то есть почти весь его объем, выделяемый наземной растительностью, расходуется и накопления в атмосфере фактически не происходит. К тому же суммарное количе­ство кислорода, выделяемого за год лесами, по подсчетам специалистов, ничтожно мало по отношению к общему запасу его в атмосфере Земли, а имен­но около 1/22 000. Таким обра­зом, вклад наземных экосистем в баланс кислорода на нашей планете весьма незначителен. Возмещение кислорода, расхо­дуемого на процессы горения, происходит главным образом за счет фитопланктона. Дело в том, что в достаточно глу­боких водоемах отмершие ор­ганизмы опускаются на такую глубину, где их разложение осуществляется анаэробным путем, то есть без поглощения кислорода.

Гидросфера оказывает влия­ние на баланс газов в атмос­фере еще и потому, что в ней иное соотношение между азо­том и кислородом. Если в ат­мосфере оно равно четырем, то в водоемах относительная доля кислорода примерно в два раза выше. Правда, интенсив­ное загрязнение морей и оке­анов создает угрозу возникно­вения в них анаэробных усло­вий.

Так, например, по срав­нению с 1900 годом в некото­рых впадинах Балтийского мо­ря содержание кислорода резко сократилось, а местами он практически отсутствует.

Что касается атмосферы, то в ней, как показывают сис­тематические наблюдения за концентрацией кислорода, про­водимые с 1910 года, содер­жание этого газа практически не изменилось и равно 20,9488 % ± 0,0017. Это отнюдь не означает, что нам не следует заботиться о со­хранении растительного покро­ва Земли. Темпы использова­ния кислорода резко возросли. По некоторым данным, за по­следние 50 лет было исполь­зовано его в % отно­шении столько же, сколько за последний миллион лет, то есть примерно 0,02 % ат­мосферного запаса. Челове­честву в ближайшем будущем не угрожает кислородное голо­дание, тем не менее для сохра­нения стабильности газового состава атмосферы предстоит шире использовать водную, ветровую, ядерную и другие виды энергий.

Следует иметь в виду, что в последние годы много говорят и пишут об абиогенном проис­хождении кислорода атмосфе­ры, исключающем участие жи­вых организмов в этом про­цессе. Так, например, в верх­них слоях атмосферы под дей­ствием жесткого ультрафиоле­тового излучения молекулы воды могут распадаться на водород и кислород. Водород, как более легкий газ, преодо­левает притяжение Земли и уходит в космос. В среднем около 10 % появивше­гося в стратосфере водорода навсегда покидает нашу пла­нету. Следовательно, соот­ветствующее количество кис­лорода, образовавшегося при фотолизе молекул воды, ос­тается без «напарника» и по­степенно скапливается в ат­мосфере.

Другой возможный путь по­ступления в атмосферу абиогенного кислорода — изверже­ние вулканов. Дело в том, что в газообразных выделени­ях вулканов кислорода до­вольно много, иногда до 12— 15 % (после исключе­ния паров воды и кислотных газов).

Отметим, однако, что этот источник представляется все же не очень существенным. По крайней мере нужны весомые доказательства и точные рас­четы вклада абиогенных ис­точников в формирование ат­мосферы Земли, накопление в ней кислорода.

Что же касается фотосинтезирующих организмов, то их участие в накоплении кислоро­да очевидно. Если величину огромных запасов каменного угля и некоторых других горючих ископаемых (напри­мер, торфа), использованных человеком и находящихся еще в недрах Земли, подставить в уравнение фотосинтеза, то можно рассчитать, сколько кислорода поступило в атмос­феру в результате жизнедеятельности растении, давших начало этим полезным иско­паемым.

Следует также учесть всю биомассу существующих ныне растений, органическое веще­ство которых образовалось с выделением кислорода.

Но все это еще не самое главное. Первичные запасы кислорода не могли быть со­зданы современными растения­ми или деревьями каменно­угольного периода, поскольку совершенно исключена, воз­можность их существования в атмосфере, лишенной его.

Сторонники абиогенного происхождения кислорода на Земле, люди, как правило, не искушенные в биологии, спра­шивают: если сначала в ат­мосфере Земли кислорода не было, то где же первые рас­тения брали кислород для ды­хания? При этом они полагают, что своим вопросом нанесли нокаутирующий удар ретро­градам-биологам, придержи­вающимся традиционного взгляда на природу атмосфер­ного кислорода. Между тем ученые никогда не рассматри­вали современную раститель­ность в качестве источника накопления первичного кисло­рода. В книге Э. Броды «Эво­люция биоэнергетических ме­ханизмов» обстоятельно про­анализированы различные точ­ки зрения по этому вопросу. Автор пишет: «Никто не сомне­вается, что до появления у растений фотосинтеза содер­жание свободного кислорода было незначительным... Един­ственным источником свобод­ного молекулярного кислорода был фотолиз водяных паров в высших слоях атмосферы, который протекал под дей­ствием солнечного коротковол­нового ультрафиолета. Сво­бодный водород, возникавший при этом, постепенно диссипировал в пространство, ос­тавляя в атмосфере кислород... Количество фотолитически об­разованного кислорода, не­сомненно, было гораздо ниже тех количеств кислорода, ко­торые высвобождаются при фотосинтезе в наше время за тот же промежуток вре­мени».

Уже в очень древних геоло­гических слоях Земли обнару­жены синезеленые водоросли (сейчас их чаще называют цианобактериями), которые и явились накопителями первич­ного кислорода в атмосфере Земли. Вполне естественно, что древние синезеленые водорос­ли не обладали способностью дышать и механизм распада органических веществ в их клетках напоминал процесс брожения.

В пользу того, что перво­начально атмосфера Земли не имела кислорода, свидетель­ствует факт существования в природе анаэробных организ­мов. Любопытно отметить, что многочисленные реакции обме­на аэробных организмов, в том числе современных животныхи растений, включают большое количество реакции анаэроб­ного распада веществ. Созда­ется впечатление, что организ­мы, приспособившись изна­чально обходиться без кисло­рода, упорно сохраняют свою привычку.

Итак, первичные синезеленые водоросли образовали ор­ганические вещества и кис­лород. Разрушение органи­ческого вещества происходило в анаэробных (бескислород­ных) условиях, что и привело к накоплению значительных ко­личеств кислорода.

Что касается современной растительности, то, как уже отмечалось, ее вклад в по­полнение кислородного запаса на Земле весьма незначите­лен, поскольку подавляющее большинство живых организ­мов окисляет органические вещества только с его по­мощью. При этом устанав­ливается относительное равно­весие: сколько кислорода вы­деляется в ходе фотосинтеза, столько же его поглощается при окислении образованного органического вещества.

Из сказанного вовсе не сле­дует, что нужно и дальше безжалостно вырубать на Зем­ле леса, все равно, дескать, от них нет проку с точки зре­ния накопления кислорода. Напротив, нам следует пред­принять все возможные меры к расширению площади зеле­ных насаждении. Дело в том, что в современную эпоху очень резко возросла роль растении в очистке природной среды от токсических примесей, выде­ляемых транспортом, завода­ми, фабриками и т. д.

# «Лес, точно терем расписной, лиловый, золотой, багряный...»

Изменение окраски листь­ев — одна из первых примет осени. Много ярких красок в осеннем лесу! Березы, ясени и липы желтеют, розовеют листья бересклета, пунцово-красными становятся узорные листья рябины, оранжевыми и багряными листья осин. Чем же обусловлено это цве­товое многообразие?

В листьях растений наря­ду с зеленым хлорофиллом содержатся другие пигменты. Для того чтобы убедиться в этом, проделаем простой опыт. Прежде всего приготовим вы­тяжку хлорофилла, как это было описано нами выше. Вместе с хлорофиллом в спир­те находятся также желтые пигменты. Чтобы разделить их, небольшое количество спирто­вой вытяжки (около двух миллилитров) нальем в про­бирку, добавим две капли воды и около 4 миллилитров бензи­на. Вода вводится для того, чтобы легче происходило рас­слоение двух жидкостей. За­крыв пробирку пробкой или пальцем, следует энергично встряхнуть ее. Вскоре можно заметить, что нижний (спир­товой) слой окрасился в зо­лотисто-желтый цвет, а верх­ний (бензиновый) — в изумрудно-зеленый. Зеленая ок­раска бензина объясняется тем, что хлорофилл лучше рас­творяется в бензине, нежели в спирте, поэтому при встря­хивании он обычно полностью переходит в бензиновый слой.

Золотисто-желтая окраска спиртового слоя связана с при­сутствием ксантофилла, ве­щества, нерастворимого в бен­зине. Его формула С40Н5бО2. По химической природе ксан­тофилл близок к каротину, присутствующему в корнях моркови, — С40Н56, поэтому их объединяют в одну группу — каротиноидов. Но каротин так­же имеется в листьях зеленых растений, только он, как и хло­рофилл, лучше растворяется в бензине, поэтому мы не ви­дим его: интенсивно-зеленая окраска хлорофилла «забива­ет» желтый цвет каротина, и мы не различаем его, как ранее ксантофилл в спиртовой вытяжке. Чтобы увидеть ка­ротин, нужно преобразовать зеленый пигмент в соедине­ние, нерастворимое в бензине. Этого можно достигнуть с по­мощью щелочи. В пробирку, где произошло отделение ксан­тофилла, добавим кусочек ще­лочи (КОН или NаОН). Про­бирку закроем пробкой и тщательно взболтаем ее со­держимое. После расслоения жидкостей можно увидеть, что картина распределения пиг­ментов изменилась: нижний спиртовой слои окрасился в зе­леный цвет, а верхний — бен­зиновый — в желто-оранжевый, характерный для каротина.

Эти опыты наглядно свиде­тельствуют о том, что в зеленом листе одновременно с хлоро­филлом присутствуют желтые пигменты — каротиноиды.

При наступлении холодов образования новых молекул хлорофилла не происходит, а старые быстро разрушаются. Каротиноиды же устойчивы к низким температурам, по­этому осенью эти пигменты становятся хорошо заметными. Они и придают листьям мно­гих растений золотисто-жел­тый и оранжевый оттенок.

Каково же значение каро­тиноидов в жизни растений?Установлено, что эти пигменты защищают хлорофилл от раз­рушения светом. Кроме того, поглощая энергию синих лу­чей солнечного спектра, они передают ее на хлорофилл. Это позволяет зеленым расте­ниям более эффективно ис­пользовать солнечную энергию для синтеза органического ве­щества.

Осенний лес окрашен, одна­ко, не только в желтые тона. С чем связана лиловая и багряная окраска листьев? Наряду с хлорофиллом и каротиноидами в листьях рас­тений имеются пигменты, ко­торые носят название антоцианов. Они хорошо раствори­мы в воде и содержатся не в цитоплазме, а в клеточном соке вакуолей. Эти пигменты очень разнообразны по ок­раске, которая зависит в ос­новном от кислотности клеточ­ного сока. В этом легко убе­диться на опыте.

Прежде всего приготовьте вытяжку антоцианов. С этой целью листья бересклета или какого-то другого растения, окрашенные осенью в красные или фиолетовые тона, измель­чите ножницами, поместите в колбочку, прилейте воды и нагрейте на спиртовке Вскоре раствор станет красновато-си­ним от присутствия антоциа­нов. Полученную вытяжку пиг­ментов налейте в две пробирки. В одну добавьте слабой соля­ной или уксусной кислоты, а в другую — раствор аммиака.

Под действием кислоты раст­вор станет розовым, тогда как в присутствии щелочи — в за­висимости от количества и концентрации этой щелочи — зеленым, синим и желтым.

Антоцианы, как и каротиноиды, более устойчивы к низ­ким температурам, чем хлоро­филл. Поэтому они и обна­руживаются в листьях осенью. Исследователи установили, что образованию антоцианов способствуют высокое содер­жание Сахаров в раститель­ных тканях, сравнительно низ­кая температура и интенсив­ное освещение.

Увеличение содержания сахаров в осенних листьях про­исходит за счет гидролиза крахмала. Это имеет важное значение для транспортировки ценных питательных веществ из отмирающих листьев во внутренние части растений. Ведь сам крахмал нетранспор­табелен в растении. Однако скорость оттока образующихся в результате его гидролиза Сахаров из листьев при низких температурах невелика. Кро­ме того, при падении темпе­ратуры ослабляется дыхание растений и, следовательно, лишь незначительное количе­ство Сахаров подвергается окислению. Все эти факторы благоприятствуют накоплению в растительных тканях Саха­ров, которые начинают исполь­зоваться в синтезе других веществ, в частности антоци­анов.

О превращении избытка сахаров в антоцианы свидетель­ствуют и другие факты. Ес­ли у виноградной лозы путем кольцевания (удаление части коры в виде кольца) затруд­нить отток продуктов фотосин­теза, то листья, расположен­ные выше кольца, через две-три недели приобретают крас­ный цвет из-за накопления антоцианов. При этом их об­разуется так много, что зеле­ная окраска хлорофилла ста­новится незаметной.

То же самое наблюдается не только при понижении температуры или кольцевании, но и при недостатке фосфора. Если, например, томаты вы­ращивать на питательном рас­творе, лишенном этого элемен­та, то нижняя часть листьев, а также стебли приобретают синий цвет. Дело в том, что при отсутствии фосфора в рас­тениях не может осущест­вляться процесс окисления Сахаров без соединения с остатком фосфорной кислоты молекула сахара остается не­активной. Поэтому в расти­тельных тканях происходит на­копление избыточных коли­честв Сахаров, которые исполь­зуются на синтез антоцианов. Увеличение содержания этих веществ ведет к посинению стеблей и листьев растений, испытывающих нехватку фос­фора.

Образование антоцианов за­висит также от интенсивнос­ти света. Если осенью вни­мательно приглядеться к яр­кой окраске деревьев и кустар­ников, то можно заметить, что багряный цвет имеют в основ­ном те листья, которые лучше всего освещены. Раздвиньте пылающий огненными красками куст бересклета, и вы увидите внутри желтые, бледно-желтые и даже зеленые листья. Во время дождливой и облачной осени листва дольше сохраняется на деревьях, од­нако она не так ярка из-за недостатка солнца. Преобла­дают желтые тона, обусловлен­ные присутствием каротиноидов, а не антоцианов.

Низкая температура также способствует образованию ан­тоцианов. Если стоит теплая погода, то лес изменяет свою окраску медленно, но едва ударит морозец, как сразу запылают осины и клены.

М. М. Пришвин в миниатю­ре «Светильники осени» писал: «В темных лесах загорелись светильники осени, иной лист на темном фоне так ярко го­рит, что даже больно смот­реть. Липа стоит уже вся черная, но один яркий лист ее остался, висит, как фонарь, на невидимой нити и светит».

# Радуга флоры

Уж коли мы заговорили о пиг­ментах растений, следует рас­сказать и о причинах разно­образия окраски цветков.

Зачем цветкам их яркая, сочная окраска? В конечном счете для того, чтобы привлечь к себе насекомых-опылителей. Многие растения опыляются лишь определенными видами насекомых, поэтому окраска цветков часто зависит от того, для каких именно насе­комых предназначены цвето­вые сигналы. Дело в том, что в отношении цвета насекомые бывают довольно капризны. Скажем, пчелы, шмели, осы предпочитают розовые, фиоле­товые и синие цветки, а около . желтых обычно толкутся мухи. Красный же цвет многие насе­комые, наделенные не слишком совершенным зрением, путают с темно-серым. Поэтому в наших широтах чисто-крас­ные цветки довольно редки. Исключение — мак, но и его лепестки имеют примесь жел­того цвета; обычно именно этот оттенок и замечают пче­лы. Лучше других насекомых красный цвет различают ба­бочки — они-то, как правило, и опыляют красные цветки наших широт, например гвоз­дики. А вот среди тропиче­ских растений красный цвет более распространен, и от­части это связано с тем, что опыляют их цветки не насе­комые, а птицы: колибри или нектарницы, у которых зре­ние более развито.

Бывает, что у одного и того же растения окраска цветков с возрастом изменяется. Это хорошо заметно у ранневесеннего растения медуницы: розо­вый цвет ее молодых цветков сменяется по мере старения синим. Старые цветки меду­ницы пчелы уже не посеща­ют: они, как правило, опылены и нектара не содержат. И в этом случае смена окраски служит сигналом для насеко­мых — не теряйте времени даром!

А вот у гилии (США) — красивого растения из семей­ства синюховых, родственни­цы флоксов, произрастающей в горах штата Аризона (США), цветки первоначально имеют алый цвет, который, как уже отметили, привлекает птиц. Но когда колибри поки­дают горы, гилия меняет окрас­ку вновь появляющихся цвет­ков: они становятся бледно-красными или даже белыми.

Окраска большинства цвет­ков определяется присутствием различных пигментов. Самые распространенные — каротиноиды, растворимые в жирах соединения: каротин, его изо­меры и производные. В раство­ре все они имеют бледно-жел­тую, оранжевую или светло-красную окраску. Названия каротиноидов, содержащихся только в цветках, столь же кра­сивы, как и придаваемая ими окраска: эшшольксантин, пе-талоксантин, газанияксантин, ауроксантин, хризантемаксантин, рубихром...

Наряду с каротиноидами ок­раску цветков определяют и антоцианы. Оттенки этих пиг­ментов очень разнообразны — от розового до черно-фиолето­вого. Несмотря на такое цве­товое многообразие, все анто­цианы устроены по одному ти­пу — они представляют собой гликозиды, то есть соединения сахара с неуглеводной частью, так называемым агликоном. Примером может служить кра­сящее вещество, содержащее­ся в цветках василька,— антоцианин. Его агликон — цианидин — один из самых рас­пространенных, образуется в результате отщепления двух молекул глюкозы от антоциана.

Как уже говорилось, антоциановые пигменты могут из­менять свою окраску в зави­симости от кислотности среды. Вспомните два вида герани, распространенной в средней полосе: герань лесную и герань луговую. У лесной лепестки розовые или лиловые, а у луговой — синие. Различие в цвете обусловлено тем, что сок герани лесной более кис­лый. Если приготовить водную вытяжку из лепестков герани либо лесной, либо луговой — и изменить ее кислотность, то в кислой среде раствор станет розовым, а в щелоч­ной — синим.

Такую же операцию можно проделать и над целым расте­нием. Если цветущую фиалку поместить под стеклянный кол­пак рядом с блюдцем, куда налит нашатырный спирт (он при испарении выделяет ам­миак), то ее лепестки станут зелеными; а если вместо на­шатырного спирта в блюдце будет дымящаяся соляная кис­лота, они окрасятся в красный цвет.

Мы уже говорили, что одно и то же растение медуницы может иметь цветки разной окраски: розовые — молодые и синие — старые. Посинение ле­пестков по мере их старения можно объяснить индикатор­ными свойствами антоцианов. Клеточный сок растения, в ко­тором растворен пигмент, име­ет кислую реакцию, а цито­плазма — щелочную. Вакуоли с клеточным соком отделены от цитоплазмы мембраной, ко­торая обычно непроницаема для антоцианов. Однако с возрастом в мембране возника­ют дефекты, и в результате пигмент начинает проникать из вакуолей в цитоплазму. А поскольку реакция здесь иная, меняется и окраска цветков.

Чтобы убедиться в справед­ливости этой точки зрения, возьмите ярко-красный лепес­ток какого-то растения, на­пример герани, розы, и раз­давите его между пальцами. При этом также произойдет смешение содержимого ци­топлазмы и вакуоли, в резуль­тате лепесток в месте повре­ждения посинеет.

Впрочем, было бы непра­вильно связывать окраску ан­тоцианов лишь с их индикатор­ными свойствами. Исследова­ния последних лет показали, что она определяется и неко­торыми другими факторами. Цвет антоциановых пигментов может меняться, например, в зависимости от того, с ка­кими ионами они находятся в комплексе. При взаимодей­ствии с ионами калия комплекс приобретает пурпурную окрас­ку, а с ионами кальция или магния — синюю. Если срезать цветущий колокольчик и по­местить его в раствор, со­держащий ионы алюминия, то лепестки посинеют. То же самое наблюдается, если соединить растворы антоцианина и соли алюминия.

Многим читателям, возмож­но, знаком роман Александра Дюма «Черный тюльпан», в ко­тором в остросюжетной форме рассказывается о выведении сорта тюльпана необычного черного цвета. Вот как описы­вает его автор романа: «Тюль­пан был прекрасен, чудесен, великолепен; стебель его во­семнадцати дюймов вышины. Он стройно вытягивался квер­ху между четырьмя зелеными гладкими, ровными, как стре­ла, листьями. Цветок его был сплошь черным и блестел, как янтарь».

Почти пять веков преследо­вали неудачи садоводов, пы­тавшихся вывести черный тюльпан. И вот, Фризский ин­ститут цветоводства в Га­аге сделал официальное за­явление о том, что в Гол­ландии черный тюльпан полу­чен в результате последова­тельного скрещивания двух сортов — «Царица ночи» и «Венский вальс». В работе принимали участие шесть гол­ландских исследовательских центров. Полученный цветок идеален по своим классиче­ским размерам.

Садоводы стремятся со­здать также черные розы. Выведены такие сорта, кото­рые при неярком освещении действительно кажутся черны­ми (на самом деле они темно-красного цвета). На Гавай­ских островах растут дикие черные розы.

В честь бессмертного про­изведения Гете «Фауст» са­доводы создали сорт анюти­ных глазок черного цвета под названием «Доктор Фауст». Анютины глазки, как известно, были любимыми цветами- вели­кого немецкого поэта и бота­ника.

Черная или почти черная окраска цветков обусловлена присутствием в околоцветнике антоцианов. Кроме каротиноидов и ан­тоцианов, лепесткам могут придавать окраску и другие вещества, в том числе флавоны и флавонолы. А какой пигмент окраши­вает в молочный цвет вишне­вые сады, превращает в снеж­но-белые сугробы кусты че­ремухи? Оказывается, никаких белых пигментов в их лепест­ках нет. Белый цвет придает им... воздух. Если рассмотреть под микроскопом лепесток че­ремухи или любого другого белого цветка, то можно уви­деть множество прозрачных и бесцветных клеток, разде­ленных обширными пустыми промежутками. Именно благо­даря этим заполненным возду­хом межклетникам лепестки сильно отражают свет и по­тому кажутся белыми. А если раздавить такой лепесток меж­ду пальцами, то на месте сдав-ливания появится прозрачное пятно: здесь воздух будет вы­теснен из межклетников.

И все же в природе есть белая краска, например, ею окрашена в нарядный белый цвет кора нашей любимой березы. Это красящее веще­ство так и называется — бетулин, от латинского назва­ния березы — Betula.

Заблуждаются те, кто счи­тает, что береза — единствен­ное растение с белой корой. Это не так. В Австралии про­израстает эвкалипт зато­пляемый. Он назван так потому, что растет в руслах пересы­хающих рек и в сезон дож­дей оказывается стоящим в воде. Стволы этих эвкалиптов имеют чисто-белый цвет, эф­фектно выделяющийся на фоне окружающих зеленых зарос­лей.

У треххвойной сосны Бунге также белая кора. Это редкий вид, встречающийся в природе в основном в горах Центрально­го Китая. Растение разводит­ся по всей стране возле двор­цов и храмов. Белоствольные сосны производят неизглади­мое впечатление.

Еще много интересного мож­но было бы рассказать об окраске растений и о расти­тельных пигментах, которые давно привлекают внимание исследователей всего мира. Более 30 лет назад известный индийский ученый Т. Р. Сешадри, много занимавшийся изучением природных крася­щих веществ, писал: «Музыка красок более сложна и из­менчива по своей природе, нежели музыка звуков. Воз­можно даже, что в действи­тельности она еще более утонченна, чем мы предпола­гаем...»

# Зеленые животные — реальность или фантазия!

В произведениях фантасти­ческого жанра нередко можно прочитать о человекоподобных существах зеленого цвета. Зе­леная окраска этих организ­мов, обусловленная хлорофил­лом, позволяет им самостоя­тельно синтезировать органи­ческие вещества из неоргани­ческих за счет энергии света. Возможно ли такое в природе?

Прежде всего следует заме­тить, что на Земле имеются животные, питающиеся подоб­ным образом. Например, хоро­шо известная всем биологам эвглена зеленая, часто встре­чающаяся в застоявшихся лу­жах. Ботаники считают эв­глену водорослью, а зоологи до сих пор по традиции от­носят ее к животным. В чем дело?

Эвглена свободно передви­гается в воде при помощи жгутика. Такой способ пере­движения характерен как для ряда простейших животных, так и для некоторых ботани­ческих объектов, например зооспор отдельных видов во­дорослей. Эвглена содержит хлорофилл, поэтому при ин­тенсивном ее размножении во­да в лужах приобретает изум­рудно-зеленую окраску. На­личие хлорофилла позволяет ей питаться углекислым газом подобно всем зеленым расте­ниям. Однако, если водоросль перенести в воду, содержа­щую некоторые органические вещества, то она теряет зе­леную окраску и начинает, подобно животным, питаться готовыми органическими ве­ществами.

Эвглену все-таки нельзя назвать типичным животным, поэтому поищем других пред­ставителей. питающихся, по­добно растениям, при помощи хлорофилла.

Еще в середине XIX века немецкий зоолог Т. Зибольд обнаружил в телах пресновод­ной гидры и некоторых чер­вей хлорофилл. Позднее он был найден в организмах и других животных: гидроидных полипов, медуз, кораллов, гу­бок. коловраток, моллюсков. Выяснено, что некоторые мор­ские брюхоногие моллюски, пи­тающиеся сифоновыми во­дорослями, не переваривают хлоропласты этих растений, а длительное время содержат их в организме в функциональ­но-активном состоянии. Хло­ропласты сифоновых водорос­лей кодиума хрупкого и кодиума па­утинистого , попадая в организм моллюс­ков, не перевариваются, а ос­таются в нем.

Попытки освободить мол­люсков от хлоропластов, по­местив их в темноту на полто­ра месяца, оказались безус­пешными, равно как и выве­дение их из яиц. Бесхлоропластные личинки моллюсков погибали на ранней стадии развития.

Внутри животной клетки хлоропласты плотно упакова­ны и занимают значительный объем. Благодаря им моллюс­ки, не имеющие раковины, оказываются окрашенными в интенсивно зеленый цвет.

Почему же сифоновые водо­росли «полюбились» моллюс­кам? Дело в том. что в отли­чие от других зеленых водорос­лей они не имеют клеточного строения. Их крупное, часто причудливое по форме тела представляет собой одну ги­гантскую «клетку». Слово «клетка» я взял в кавычки не случайно. Хотя клеточные стенки в теле сифоновых водо­рослей отсутствуют, вряд ли можно назвать их одноклеточ­ными организмами, скорее это конгломерат не вполне разде­лившихся клеток. Подтвер­ждением тому служит нали­чие не одного, а множества клеточных ядер. Такое строе­ние назвали сифонным, а сами водоросли — сифоновыми. Отсутствие клеточных стенок, безусловно, облегчает процесс поглощения водоросли живот­ными клетками.

Ну а каковы хлоропласты этого растения? В теле водо­росли содержатся один или несколько хлоропластов. Если их много, они имеют дисковидную или веретеновидную форму. Одиночные обладают сетчатым строением. Ученые считают, что сетчатая струк­тура создается в результате соединения мелких хлороплас­тов друг с другом.

Многие ученые наблюдали усвоение углекислого газа хлоропластами, находящими­ся в животных клетках. У све­жесобранных моллюсков, эли­зии зеленой интенсивность фотосинтети­ческого усвоения углекислого газа составляла 55—67 % величины, определен­ной для неповрежденной водоросли кодиума хрупкого, из которого моллюсками были «приобретены» хлоропласты. Любопытно, что и содержание хлорофилла на 1 грамм сырой массы ткани у водоросли и животного было сходным.

Благодаря фотосинтезу мол­люски фиксировали углекис­лый газ на протяжении всех 93 дней опыта. Правда, ско­рость фотосинтеза постепенно ослабевала и к концу экспери­мента составляла 20—40 % от первоначальной.

В 1971 году ученые наблю­дали выделение кислорода в ходе фотосинтеза хлоро­пластов, налюдящихся в клет­ках тридакны. Тридакны—типичные обитатели тропических морей. Особенно широко они рас­пространены на коралловых рифах Индийского и Тихого океанов. Великаном среди моллюсков выглядит тридакна гигантская, достигающая иногда длины 1,4 метра и общей массы 200 килограммов. Тридакны интересны для нас своим сим­биозом с одноклеточными во­дорослями. Обычно они так располагаются на дне, чтобы их полупрозрачная мантия, выступающая между створка­ми раковины, была обращена вверх и сильно освещалась солнцем. В ее межклеточном пространстве в большом коли­честве поселяются зеленые водоросли. Несмотря на зна­чительные размеры, моллюск питается только теми вещест­вами, которые вырабатывают водоросли-симбионты.

В Средиземном море и у бе­регов Франции в Атлантике встречается червь конволюта, у которого под кожным покровом также оби­тают зеленые водоросли, осу­ществляющие синтез органи­ческих веществ из неоргани­ческих. Благодаря активности своих «квартирантов» червь не нуждается в дополнитель­ных источниках пиши, поэто­му желудочно-кишечный тракт у него атрофировался.

Во время отлива множество конволют покидает свои норы для того, чтобы принять сол­нечные ванны. В это время водоросли под их кожей ин­тенсивно фотосинтезируют. Некоторые виды этих червей находятся в полной зависи­мости от своих поселенцев. Так, если молодой червь не «заразится» водорослями, то погибнет от голода. В свою очередь водоросли, поселив­шиеся в теле конволюты, теряют способность к сущест­вованию вне его организма. «Заражение» происходит с по­мощью «свежих», не живших еще в симбиозе с червями водорослей в момент, когда личинки червя выходят из яиц. Эти водоросли, по всей вероятности, привлекаются какими-то веществами, выде­ляемыми яйцами червей.

В связи с рассмотрением вопроса функционирования хлоропластов в клетках жи­вотных чрезвычайно большой интерес представляют опыты американского биохимика М. Насса, в которых было по­казано, что хлоропласты си­фоновой водоросли каулерпы, харовой водоросли нителлы, шпината и африканской фиал­ки захватываются клетками соединительной ткани (так называемыми фибробластами) мышей. Обычно в фибробластах, заглотавших инородное тело (этот процесс ученые называют фагоцитозом), во­круг поглощенной частицы образуется вакуоль. Посте­пенно чужеродное тело пере­варивается и рассасывает­ся — исчезает. Когда же в клетки ввели хлоропласты, ва­куоли не возникали, а фибробласты даже не пытались их переварить.

Пластиды сохраняли свою структуру и способность к фотосинтезу на протяжении трех недель. Клетки, ставшие из-за их присутствия зелеными, нормально делились. При этом хлоропласты стихийно распределялись по дочерним клеткам. Пластиды, находив­шиеся в фибропластах около двух дней, а затем вновь выделенные, оставались непо­врежденными. Они усваивали углекислый газ с такой же скоростью, с какой фотосинтезировали свежие хлороплас­ты, выделенные из растений.

Предположим, что в ходе эволюции возникнут такие су­щества или их обнаружат на других планетах. Какими они должны быть? Ученые полагают, что в та­ком животном хлорофилл бу­дет сосредоточен в коже, куда свободно проникает свет, необходимый как для синтеза зеленого пигмента, так и для образования органических ве­ществ. «Зеленый человек» должен делать кое-что наобо­рот: днем, подобно сказочно­му королю, ходить в невиди­мой для всех одежде, а ночью, напротив, одеваться, чтобы согреться.

Проблема заключается в том, сможет ли такой орга­низм получать с помощью фотосинтеза достаточно пищи. Исходя из максимально воз­можной интенсивности фото­синтеза растений в самых благоприятных условиях су­ществования, можно подсчи­тать, сколько органического вещества сможет образовать зеленая кожа этого человека. Если принять, что 1 квадрат­ный дециметр зеленого расте­ния за 1 час синтезирует 20 миллиграммов Сахаров, то 170 квадратных дециметров человеческой кожи, доступной солнечным лучам, смогут об­разовать за это время 3,4 грамма. За 12-часовой день количество органического ве­щества составит 40,8 грамма. В этой массе будет концентри­роваться около 153 калорий энергии. Такого количества явно недостаточно для удов­летворения энергетических по­требностей человеческого ор­ганизма, которые составляют 2000—4000 калорий в сутки.

Примем во внимание, что «зеленому человеку» не нужно думать о пропитании и быть слишком деятельным, посколь­ку пища сама поступает в его организм из хлоропластов ко­жи. Нетрудно прийти к заклю­чению, что отсутствие физи­ческой нагрузки и малопод­вижный образ жизни сделают его похожим на обычное рас­тение. Иначе говоря, «зелено­го человека» весьма трудно будет отличить от опунции.

Расчеты исследователей по­казывают: для того, чтобы об­разовать достаточное коли­чество органического вещест­ва, «зеленый человек» в ходе эволюции должен в 20 раз увеличить поверхность своей кожи. Это может произойти за счет возрастания числа складок и отростков. Для это­го ему необходимо будет об­завестись подобием листьев. Если это произойдет, то он станет совсем малоподвиж­ным и еще более похожим на растение.

Таким образом, существова­ние крупных фотосинтезирующих животных и человека на Земле и в космосе едва ли возможно. Ученые полагают, что в любой биологической системе, хотя бы отдаленно напоминающей биосферу Зем­ли, обязательно должны су­ществовать растительноподобные организмы, обеспечиваю­щие пищей и энергией как самих себя, так и животных.

# Заключение

Во второй половине XIX столетия было установлено, что энергия солнечного света усваивается и трансформи­руется при помощи зеленого пигмента хлорофилла.

На основе проведенных опытов можно сказать что, зеленая окраска хлорофилла опреде­ляется наличием в нем ато­ма металла вне зависимости от того, будет ли это маг­ний, медь или цинк.

Современная наука под­твердила правильность взгля­дов К. А. Тимирязева относи­тельно исключительной важ­ности для фотосинтеза именно красных лучей солнечного спектра. Оказалось, что коэф­фициент использования крас­ного света в ходе фотосинтеза выше, чем синих лучей, которые также поглощаются хлорофиллом. Красные лучи, по представ­лениям К. А. Тимирязева, играют основополагающую роль в процессе мироздания и созидания жизни.

Как известно растения поглащают углекис­лый газ, который присоединяется к пятиуглеродному веществу под названием рибулезодифосфат, где потом он в дальнешем участвует во многих других реакциях.

Изучение особенностей фо­тосинтеза у разных растений, безусловно, будет способство­вать расширению возможнос­тей человека в управлении их фотосинтетической деятель­ностью, продуктивностью и урожаем. В целом фотосинтез это один из основополагающих процессов жизни, на котором основана большая часть современной растительной фауны на поверхности земли.

# Список использованных источников

1. *Б. Дижур* «Зеленая лабо­ратория» — М.: Детгиз, 1954.
2. *Артамонов В. И.* «Занимательная физиология растений». – М.: Агропромиздат, 1991
3. *Сергеев И.* *И.* «История фотосинтеза». – М.: Наука, 1989
4. *Пчелов А.* *М.* «Природа и ее жизнь». – Л.: Жизнь, 1990
1. Б. Дижур. Зеленая лабо­ратория. — М.: Детгиз, 1954. С. 6. [↑](#footnote-ref-1)