

ЮРИЙ
ЧИРКОВ

СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ

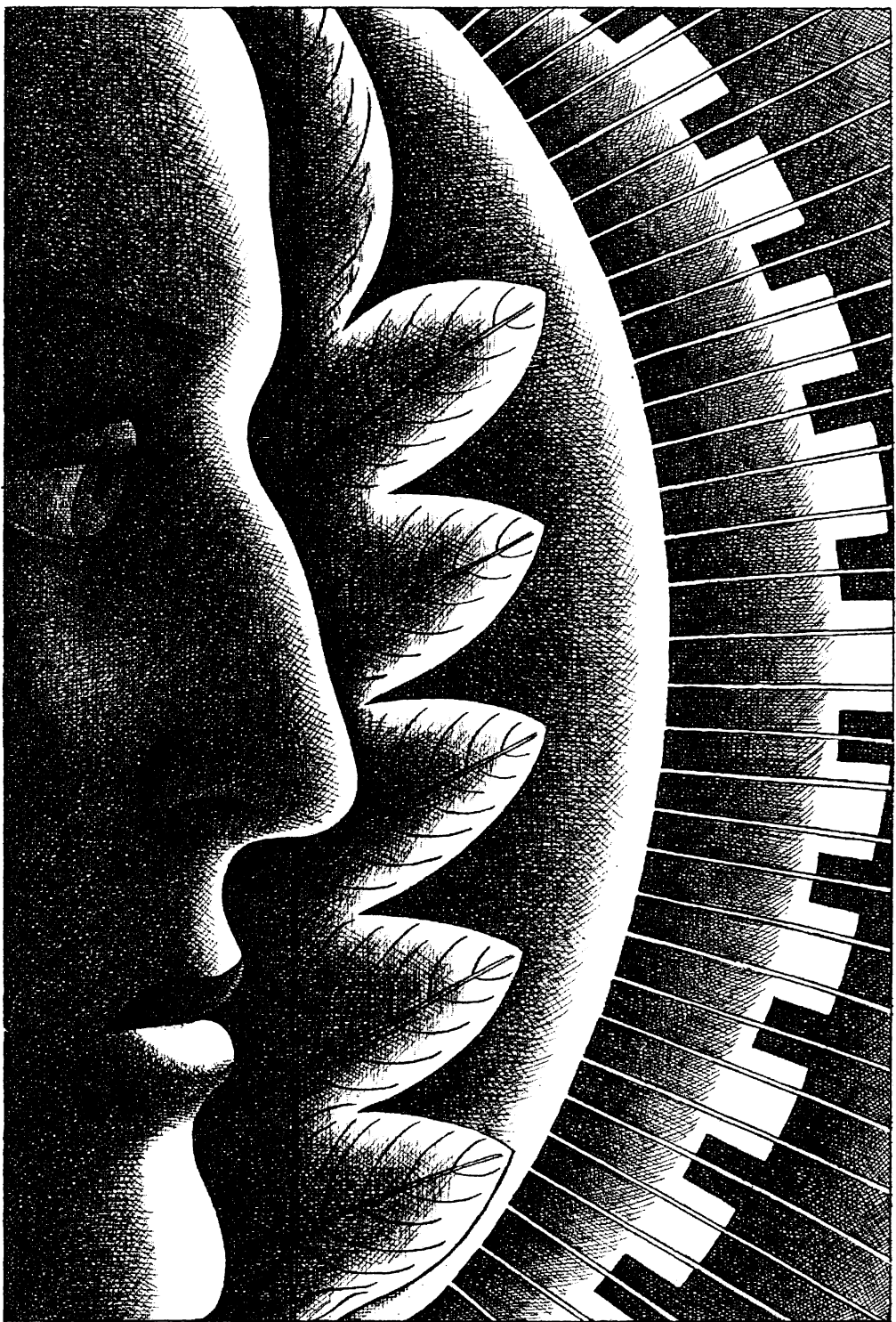
А











ЮРИЙ
ЧИРКОВ **СТЕКЛЯННЫЕ
ЛИСТЬЯ**



МОСКВА «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА» 1985

31.6
Ч65

Рецензенты: зам. председателя
Научного совета «Изыскания новых
путей использования солнечной
энергии», член-корреспондент
АН СССР А. Е. Ш и л о в,
доктор химических наук
Г. Г. Комиссаров.

Оформление О. Файдель

НАУЧНО-ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Чирков Ю. Г.
465 **Стекланные листья: Научно-художественная
лит-ра/Оформл. О. Файдель.— М.: Дет. лит.,
1985.— 127 с., ил.**

В пер.: 70 к.

Автор, доктор химических наук, рассказывает о том, как ученые пытаются
создать Стекланные листья — устройства, которые в будущих пятилетках допол-
нят солнечную и другие виды энергетики.

Ч 4202000000—401 117—84
М101(03)85

ББК31.6
6П2.7

ДОЧКАМ-ШКОЛЬНИЦАМ —
РАДЕ И КАТЕ
ПОСВЯЩАЕТ ЭТУ КНИГУ

Автор

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ	8
------------------------	----------

ГЛАВА 1. ЗАВЕТ ФРЕДЕРИКА ЖОЛИО-КЮРИ

МИР БЕЗ ЭНЕРГИИ	13
ЦАРЬ И МУДРЕЦ	14
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НЕВОДА	16
ГЛАЗАМИ МАРСИАНИНА	17
ФИЗИК ГОЛОСУЕТ ЗА АТОМ	19
ЭКОЛОГ СПОРИТ С ФИЗИКОМ	21
ЭРА СОЛНЦА?	23
СОЗВУЧНАЯ ЧЕЛОВЕКУ	25
КОЛЕСО ЖИЗНИ	26
ПРИЕМАМИ ФАНТАСТОВ	28

ГЛАВА 2. БАЛЛАДА О ЗЕЛЕНОМ ГОЛОВАСТИКЕ

СПОР О ЖЕЛТОМ И КРАСНОМ	35
«ЛИСТОЗЕЛЕНЬ» ПОЛУЧЕНА	38
РАДУГА ПОД ЛЕЗВИЕМ НОЖА	39
ПИГМЕНТЫ ЖЕЛТЫЕ, КРАСНЫЕ, ЗЕЛЕННЫЕ...	40
ГОЛУБАЯ КРОВЬ АРИСТОКРАТОВ	43
ПРОДАВШИЙ ДУШУ МЕФИСТОФЕЛЮ	47

ГЛАВА 3. ХЛОРОФИЛЛ: НАДЕЖДЫ ЭНЕРГЕТИКОВ

ОБЫКНОВЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК	53
ПРИРОДЕ МОЖНО БРОСИТЬ ВЫЗОВ	56
МОЛЕКУЛЫ «МОЛОДЫЕ» И «СТАРЫЕ»	59
ДЕТЕКТИВЫ АТОМНОГО ВЕКА	60
СРАВНЕНИЕ ХРОМАЕТ НА ОБЕ НОГИ	62
ХЛОРОФИЛЛ ПРОТИВ КРЕМНИЯ	64

ПЛАНЕТА — ЧЕРНАЯ, ГОЛУБАЯ, ЗЕЛЕНАЯ? 66

ГЛАВА 4.
ВМЕСТО БЕНЗИНА—ВОДА

ПРОСЧЕТ ПРИРОДЫ	70
БИОМЕМБРАНЫ	71
ХИМИЧЕСКАЯ БИОНИКА	74
КИНОДЕБЮТ СТЕКЛЯННОГО ЛИСТА	77
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ	79

ГЛАВА 5.
ВОДОРОДНЫЕ ПЛАНТАЦИИ

ФАБРИЧКИ ФОТОСИНТЕЗА	84
«ЖИЗНЬ В СКЛАДЧИНУ»	85
ЗЕЛЕННЫЕ ЧЕЛОВЕЧКИ?	89
ПОДВИГ СИНЕЗЕЛЕННЫХ	91
ПРОЕКТ «ФОТОВОДОРОД»	93
ХИМИКИ СОРЕВНУЮТСЯ С БИОЛОГАМИ	95

ГЛАВА 6.
НЕФТЬ ИЗ АТМОСФЕРЫ

БЕЗДОННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ	100
В БИОХИМИЧЕСКИХ ДЖУНГЛЯХ	103
ПОСУЛЫ ГЕВЕИ	106
ВЫРАЩИВАНИЕ... БЕНЗИНА?	108
НЕФТЬ НЕБЕСНАЯ	111

ГЛАВА 7.
ГАЛОБАКТЕРИИ УДИВЛЯЮТ МИР

«ФАВОРИТЫ» ЖИВОЙ ТКАНИ	116
КОГДА ВСКРЫЛИ АМПУЛЫ...	117
ВЫХОДЦЫ ИЗ ПЕРЕСОЛЕННОГО МИРА	119
ПРОСТЕНЬКИЙ ВАРИАНТ	121
«ДУЭЛЬ» БИОХИМИКОВ	123

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

Совершенно непонятно,
Почему трава растёт
Снизу вверх,
А не обратно,
Так,
А не наоборот.

Совершенно непонятно,
Что такое свет и тень.
В общем, есть о чем подумать,
Если думать вам не лень.

Роман Сеф

Один очень любознательный и дотошный Мальчик (а дело было в 30-е годы нашего, XX века) долго не мог заснуть. Мальчугану нездоровилось, и Отец начал рассказывать ему сказку про то, как Солнце людей накормило. Собственно, это была и не сказка — целая лекция. В ней часто поминался Зеленый Лист — посредник между Солнцем и Человеком.

На другой день Мальчик попросил рассказать уже про другое: как Солнышко электрическую Лампочку зажгло. Он хотел всё выяснить в тот же вечер, да не тут-то было! Оказалось: зажечь Лампу можно очень многими способами.

И вот каждый вечер начиналась новая история...

Время шло. Мальчуган превратился в Юношу, окончил институт, стал работать инженером-исследователем. Сам начал рассказывать сказки своим детям — и все не мог исчерпать этой темы.

Однажды Сын обратился к нему:

— Папа, солнечные лучи направляют течение рек, а на ре-

ках строят ГЭС, дающие электроэнергию. Это я уже знаю. Солнце когда-то, миллионы лет назад, создало уголь и нефть. Сжигая их в топках, также можно зажечь Лампочку... Ты говорил мне, что в термоядерных электростанциях будущего все пойдет так, как в недрах нашего светила,—и это я уяснил. Но вот—ты слышишь?..—за окном шумит листва деревьев... Я знаю: листья поглощают энергию—солнечные лучи. Почему же на ветках не растут еще и электрические лампочки? Возможно ли такое? Или это просто электрическая сказка?..

— Возможно,—ответил Отец-инженер.—Это как раз то, чем я и мои товарищи по работе занимаемся все последние годы. Но мы вовсе не собираемся заменить на деревьях груши и яблоки электролампами. Да и листья, которые мы пытаемся сконструировать, будут особыми. У них еще и названия-то определенного нет. Назовем их... Ну, скажем, СТЕКЛЯННЫМИ ЛИСТЬЯМИ. Они диковинны, необычны, но очень-очень многое будет роднить их с зелеными братьями. Тебе непонятно? Ты хочешь подробностей?.. Ну так садись поудобнее, разговор будет долгим. Слушай внимательно...

ЭКСКУРСИЯ
ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ
ЛАБИРИНТАМ.



Глава ЗАВЕТ 1 ФРЕДЕРИКА ЖОЛИО-КЮРИ

Я рассказал им, Кто, Когда,
И Почему, и Отчего,
Сказал Откуда и Куда,
И Как, и Где, и Для Чего;

Что было Раньше, что Потом,
И Кто Кого и Что к Чему
И что подумали о Том,
И Если Нет, то Почему?..

А. А. Милн (перевод Б. Заходера)



нобелевских лауреатов, всемирно известных физиков Ирен и Фредерика Жолио-Кюри, была дочь Элен и (младший) сын Пьер.

Элен, окончив, как и отец, с отличием Школу физики и прикладной химии в Париже, тоже посвятила себя ядерной физике: пошла по стопам родителей. Но Пьер... Он занялся биологией! Его увлекли загадки фотосинтеза, тайны Зеленого Листа.

Каприз? Бунт? Дух противоречия? Вовсе нет! Оказывается, любимой научной идеей его отца, Фредерика Жолио-Кюри — ученого-атомщика, одного из «отцов» атомной энергетики, — была мысль о непосредственном использовании энергии падающего на Землю света.

Фредерик Жолио-Кюри (1900—1958), французский физик и общественный деятель, родился в рабочем квартале Парижа в семье участника Парижской коммуны Анри Жолио, вернувшегося во Францию после амнистии. Учась в лицее, Фред (так ласково называли его в семье, — он был младшим из 6 детей) снискал себе славу талантливого футболиста и страстного рыболова, однако все его помыслы с ранней юности были устремлены к науке (особенно увлекался механикой и химией). В 1925 году он, по рекомендации своего учителя Поля Ланжевена, становится препаратором в лаборатории Мари Кюри в Институте радия (расположена в Париже на улице Пьера Кюри). Здесь он познакомился с Ирен Кюри, дочерью известных ученых, нобелевских лауреатов, и, став ее мужем, изменил фамилию (сыновей у Пьера и Мари Кюри не было, и не хотелось, чтобы славная «династия» ученых Кюри прекратилась!). Вместе с Ирен Фредерик начал исследования в области физики атомного ядра. В 1934 году ими было сделано крупное открытие: «обстреливая» атомы алюминия альфа-частицами, ученые установили, что при ядерных превращениях образуется фосфор, но фосфор особый — радиоактивный. Так было получено первое искусственное

радиоактивное вещество. В 1935 году супруги Жолио-Кюри за открытие искусственной радиоактивности (сейчас многие тысячи искусственных изотопов служат и медицине, и биологии, и промышленности) были удостоены Нобелевской премии по химии. Перед второй мировой войной Фредерик Жолио-Кюри, вместе с другими французскими учеными, показал принципиальную возможность цепной реакции с освобождением атомной энергии, но эти работы прервала война. Во время оккупации Франции стал членом коммунистической партии (1942); он — участник движения Сопротивления. Скрыл от гитлеровцев (и затем тайно переправил в Англию) крупный для того времени (165 литров) запас «тяжелой» воды, ее можно было использовать для создания атомной бомбы. В своей лаборатории изготавливал взрывчатые вещества для французских партизан. После войны приступил к строительству первой французской атомной энергетической установки. Этот реактор, названный «ЗОЭ», был пущен в 1948 году. Фредерик Жолио-Кюри — один из основателей и лидеров Всемирного движения сторонников мира. Возглавлял Всемирный Совет Мира (выступал с пламенными речами в Риме, Бомбее, Стокгольме, Варшаве, Берлине, Вене...). Член Академии наук СССР (1949), несколько раз (и до войны, и после) приезжал в нашу страну. В 1951 году в Москве ему была вручена международная Ленинская премия «За укрепление мира между народами»*.

Как-то в один из приездов в Советский Союз в беседе с нашими учеными Фредерик Жолио-Кюри здесь же, у доски, сделал простейшие подсчеты. Вышло: если бы на малой части пустыни Сахара (скажем, территория Египта) при помощи соответствующего оборудования можно было бы использовать хотя бы 10 процентов солнечной радиации, то этой энергии с лихвой хватило бы для нужд всей планеты!

Но еще поразительнее слова, оставленные Фредериком Жолио-Кюри как завещание будущим поколениям ученых. Вот что он писал в одной из своих статей:

«Хотя я верю в будущее атомной энергии и убежден в важности этого изобретения, однако я считаю, что настоящий переворот в энергетике наступит только тогда, когда мы сможем осуществить массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу или даже более высокого качества...»

Странные все-таки слова для физика-ядерщика! Человека, который одним из первых создал атомный реактор — сердце атомной электростанции. Ведь все знают, энергетика — это многочисленные ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС, ГЭС, АЭС. Это громадные машины из стали и бетона, это горы угля, реки нефти, это мирный атом, который все властнее вторгается в нашу жизнь.

Энергетические исполины и хрупкое, нежное вещество — хлорофилл, пигмент, которым начинена листва деревьев, кустарников, пучки трав. Какое может быть сравнение?..

Однако оставим эмоции в стороне и постараемся рассуждать строго логично. Необычность мыслей французского ученого лучше всего, пожалуй, выявит такой вопрос:

А разве обычной энергетике недостаточно? Так ли необходим еще и «массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу»?

Но допустим, ответ на первый вопрос положителен. Тогда, естественным образом, следует вопрос второй:

Как, спрашивается, подражая природе, построить устройства, которые бы снабжали нас не углеводами, жирами, белками, дровами и прочим, что прекрасно умеют делать растения, а энергией в явном виде? Так, как ею снабжают нас, скажем, электрический ток или нефть?..

* В книге помещены биографии тех ученых, которые имели непосредственное отношение к теме рассказа.

Да, очень хотелось бы выяснить, что же означают слова Фредерика Жолио-Кюри? Что это — причуда гения? Прихоть беспокойного, вечно мятущегося ума? Или трезвый взгляд в будущее?

МИР БЕЗ ЭНЕРГИИ

Каждый месяц Государственный банк СССР публикует в газете «Известия» Бюллетень курсов иностранных валют.

Перечисляется длинный список: албанские леки, тунисские динары, греческие драхмы, голландские гульден, немецкие марки, аргентинское песо, английские фунты... Их курс в рублях постоянно колеблется, отражая условность этих символов богатства или бедности того или иного государства.

Но в мире существует универсальная валюта, которой измеряется истинное богатство всего человечества. Единица этой валюты — не иены, не доллары, а киловатт-часы.

Киловатт-час. Единица энергии (работа, совершаемая за время в 1 час при мощности 1 киловатт). Обычная мера, когда речь заходит о производстве электричества.

Мало киловатт-часов — это тяжелый ручной труд от зари до зари, жизнь впроголодь, жалкие хижины, нищета.

Много киловатт-часов — это механизмы и автоматы, принимающие на себя тяжесть физического труда. Это счетно-решающие устройства, облегчающие умственный труд. Это машины и искусственные удобрения, помогающие удвоить и утроить урожай. Это обогреватели и холодильники, электролампы и лифты, радио и телевидение.

Трудно представить себе наш мир без растений... или без книг... без гравитации... Но мир без энергии? Здесь не надо напрягать воображение.

...В один из зимних холодных вечеров (9 ноября) 1965 года в

Нью-Йорке произошло грандиозное «электрическое затмение».

Небольшая заминка на одной из второстепенных линий электропередач, связывающих США с Канадой, привела к быстро растущей лавине аварий.

Короче: отключились электростанции мощностью примерно в 45 миллионов киловатт. В результате лишились энергии 8 северо-восточных штатов США и две провинции Канады с общим американо-канадским населением в несколько десятков миллионов человек.

И разом остановились все промышленные предприятия, погасли лампы в домах, учреждениях, над хирургическими столами. Померкли экраны телевизоров, остановились лифты в бесконечных небоскребах, замерли поезда метрополитена, электропоезда, прекратилась подача воды. Вскоре замолкли и радиостанции.

В течение 12 часов люди бродили в «энергетических потемках».

Началась паника, произошли многочисленные несчастные случаи, пронеслась волна грабежей...

Такое же «Великое затмение», теперь уже на 25 часов, с еще большим хаосом и драматическими последствиями, повторилось в Нью-Йорке 13 июля 1977 года.

Но вот что примечательно. Говорят, в те тревожные часы единственные электрические лампочки горели в группе домов на Лоуэр-Ист-Сайде (Манхэттен). Жители этого микрорайона получали электричество от маленького ветряка, поставленного на крыше.

Не от централизованного, а от автономного, независимого от общей сети источника электропитания.

Аварии, о которых мы рассказывали, конечно, могли случиться только в наши дни, во второй половине XX века, когда получила такое развитие Большая Энергетика.

А сто лет назад изобретатель электрического освещения наш знаменитый соотечественник Павел Николаевич Яблочков мечтал о времени, когда электричество будут вырабатывать на особых «фабриках» и затем распределять по домам подобно тому, как водопровод распределяет воду.

Эти фабрики электричества — тепловые, гидро- и атомные электростанции — уже построены и становятся все мощнее.

Сегодня только за сутки человечество сжигает столько топлива органического происхождения — угля, нефти, природного газа, — сколько природа может синтезировать в растениях с помощью Солнца лишь за тысячу лет! Но и этого человеку мало.

ЗАЧЕМ нам требуется так много энергии?

ЦАРЬ И МУДРЕЦ

Можно долго перечислять, почему необходимо такое разливное море энергии, отчего трудно обойтись более скромными ресурсами.

Прежде всего, рост населения Земли сам по себе требует увеличения количества продукции, что связано с дополнительными расходами энергоресурсов. Кроме того, процесс индустриализации, происходящий в мире, вызывает дополнительный расход материалов — металла, пластмасс и т. д. — на душу населения, что неминуемо ведет к росту энергозатрат.

Далее, как известно, запасы минерального сырья истощаются. Ис-

точники серебра, олова, меди и других крайне нужных человеку цветных металлов скудеют. Вот и приходится извлекать эти металлы из все более бедных по содержанию руд. Уже сейчас магний добывают из морской воды. И каждая крупинка этого металла обходится энергонедешево.

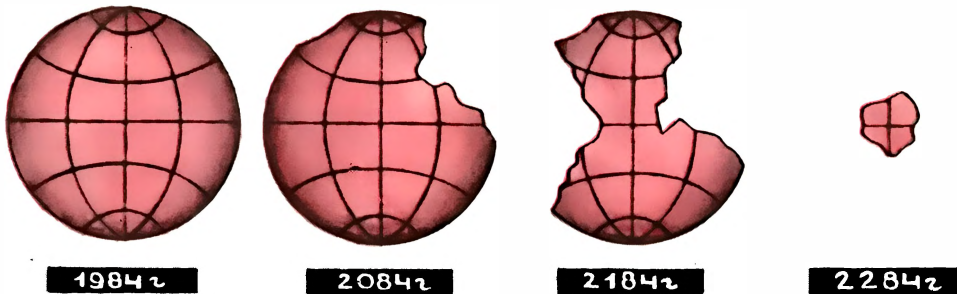
Теперь о загрязнении окружающей среды. Оно достигло глобальных масштабов и требует срочных мер. Лучшее средство здесь — создание циклических, замкнутых производств (по образцу природных процессов), где бы вредные отбросы полностью отсутствовали. Но подобные установки требуют все того же — энергии!

В ней нуждается и сельское хозяйство — для производства во все возрастающих количествах минеральных удобрений, связывания азота воздуха. А, скажем, химическая технология — и ей подавай энергию! Химическая технология обещает нам многое — вплоть до создания искусственной пищи. Но, чтобы скомпоновать из неорганических веществ органику, годную в пищу, к примеру, белки, опять же необходима энергия.

Так вот и получается: к чему бы человек ни притронулся, за что бы он ни взялся, что бы ни затеял — тотчас же незримая «рука» подставляет свою ладонь — плати! И не только за комфорт, но даже за создание хотя бы сносных условий существования постоянно приходится платить, а плата всюду одна — энергия.

И все же пока мы еще не получили ясного представления о той энергетической «гонке», которая совершается на наших глазах. Поможет нам в этом древняя притча.

Один царь, гласит восточная легенда, решил отблагодарить мудреца и предложил ему самому назна-



Если вещество непосредственно превращать в энергию, то при нынешних темпах энергопотребления массы нашей планеты хватит ненадолго.

чить награду. Тот попросил зерна: одно зернышко — на первый квадрат шахматной доски, два — на второй, четыре — на третий, и так далее, удваивая каждый раз предыдущую цифру. Царя поразила скромность просьбы, но... скоро выяснилось: выполнить ее он не в силах. Суммарный вес зерен, если бы заполнить все 64 клетки доски, составил бы около ста миллиардов тонн — более чем десятикратный годовой мировой сбор зерна!

Мы не случайно вспомнили эту историю. Ее горькая мораль близка и созвучна нашему времени. Многие из проблем человечества, оказывается, имеют точно такую же природу.

Математик скажет: число зерен на шахматной доске росло в геометрической прогрессии или, что фактически то же самое, по экспоненциальному закону. Так же, добавит он, растет из года в год добыча руд, и число научных публикаций, и количество автомобилей, и многое иное, что связано с жизнью человека.

К примеру, население планеты. Оно за год возрастает на 2 процента: много это или мало? Вроде бы немного. Однако по прогнозам ООН к 2000 году народонаселение Земли увеличится в 1,5 раза и достигнет колоссальной цифры — при-

близительно 7 миллиардов человек!

Но еще стремительней растет выработка энергии — 5 процентов ежегодно! Это наиболее высокий показатель роста в мировом хозяйстве. Почти во всех странах капиталовложения в энергетику очень велики. Как себе это зримо представить?.. Ну хотя бы так.

Французский энергетик и математик Робер Жибра сделал любопытные подсчеты. Кажется, максимум того, на что человек вправе рассчитывать, — так это на полное превращение вещества в энергию.

Эйнштейн оставил нам соответствующую формулу. Вот она:

$$E = m \cdot c^2,$$

где E — энергия, m — масса, c — скорость света. Согласно этому равенству, каждая пылинка материи — это одновременно и сгусток энергии.

Так вот, если бы способ превращения вещества в энергию был в наших руках и если бы мы захотели им воспользоваться, то, при теперешнем удвоении электрической энергии землян каждые десять лет, даже всего вещества Земли хватило бы ненадолго. Примерно на несколько сотен лет!

Но коль энергетический аппетит жителей нашей планеты столь чудовищен, то КАК его удовлетворить?

16 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НЕВОДА

Где добыть энергию, которой требуется все больше? И человек принимает новые неожиданные решения и вспоминает свои старые, казалось бы, навеки забытые идеи.

Так, к примеру, вдруг вспомнили о торфе — «горючей земле» (о ней писал еще Плиний Старший — древнеримский историк и ученый). Калорий в этом «молодом угле» не бог весть сколько: топливо слишком разбавлено водой. Зато торф в сравнении с углем почти не загрязняет атмосферу.

Поиск источников энергии ведется широким фронтом. Пустить в дело пытаются даже мусор! Сейчас самая крупная европейская установка для сжигания отходов и выработки электроэнергии находится в Мюнхене. Она заглатывает и переваривает в час 108 тонн мусора.

Сила приливов, мощь волн и океанских течений, тепло земных недр (у нас на Камчатке уже действует Паужетская геотермальная электростанция) — все годится для ученых ловцов энергии. Обсуждаются даже те проекты, которые еще вчера показались бы совершенно нереальными.

Скажем, почему бы не пустить в дело еще и кинетическую энергию вращения... планеты?

Вращение небесных тел, имеющих магнитное поле (для земли это 0,1 гаусса), создает электродвижущую силу. Если использовать земной шар в качестве ротора естественного электрогенератора с положительными клеммами на полюсах и отрицательными на экваторе, получим напряжение около 100000 вольт!

Сможет ли человечество изобрести для использования такого генератора технологически осуществимую схему, превратится ли оно в такого «энергетического Гаргантюа» — покажет будущее. Пока же

в погоне за энергией человек обсуждает еще более фантастические проекты.

Так, некоторые ученые называют в качестве потенциального топлива антивещество. Фантазия? Фантастика? А может, наше энергетическое Завтра? А почему бы и нет? Ведь антивещество — это же идеальное горючее!

Известно, что при соприкосновении вещества и антивещества — оба аннигилируют, или, выражаясь проще, исчезают, превращаясь в излучение.

Так на деле проявляет себя формула Эйнштейна, которую мы привели выше: масса частиц и античастиц — словно это подстроенный кем-то ловкий фокус! — как бы «испаряется», проваливается в ничто, зато возникают «бестелесные» электромагнитные волны, обладающие, однако, значительной энергией.

Не трудно прикинуть (простейшая арифметика плюс знание величин физических констант и единиц), что при аннигиляции одного грамма вещества с одним граммом антивещества возникает такая же энергия, как при сжигании 10 тысяч тонн каменного угля!

Таким образом, продолжая подобные расчеты, легко установить, что одной тонны антивещества (а вещество у нас всегда под рукой!) было бы вполне достаточно, чтобы сейчас обеспечить на год энергией весь земной шар.

Ученые полагают, что антивещество в виде отдельных метеоритов могло бы проникнуть из Антимира в наше космическое пространство, ибо оно крайне разрежено. Столкновения с атомами здесь редкость, и антивещество не смогло бы аннигилировать полностью. Улавливая с помощью спутников эти «антиметеориты» и доставляя их на Землю, мы получили бы мощный источник энергии...

А теперь расскажем о другом не менее фантастическом проекте. Оказывается, энергию можно черпать даже из «черных дыр»!

Само словосочетание — «черные дыры» завораживает. Дыры — это куда все проваливается, это понятно, но отчего «черные»?

Физики все объяснили: в этих необычных космических объектах силы притяжения настолько мощны, что «черные дыры» смело можно называть космическими «пылесосами».

В «черной дыре» все и вся безвозвратно исчезает. Отсюда — «дыра», бездонная яма... А черная она оттого, что даже лучи света не могут вырваться из ее чрева: дыра поэтому буквально невидима — черна!

Долгое время существование «черных дыр» лишь предполагалось. Но вот недавно советские математики и астрономы обнаружили «черные дыры» в созвездии Лебедя.

Это космос дальний, добраться туда нелегко, однако попытки (правда, пока мысленные) использовать колоссальную мощь «черных дыр» уже делаются. Высказана простая мысль. Если со звездолета (он облетает «черную дыру» по достаточно удаленной, а потому и безопасной орбите) бросить в направлении «черной дыры» камень, то под действием могучего притяжения камень будет падать все быстрее и быстрее, пока при скорости, близкой к световой, не исчезнет в «дыре».

Осталось немного. Привязываем к камню конец веревки, намотанной на вал динамо-машины, и вот — при падении камня — начинает вырабатываться совершенно бесплатная электроэнергия...

Энергетические невода раскинуты чрезвычайно широко: от торфа до антивещества, от мусора до «черных дыр». Столь необходимая человеку энергия будет непременно

но добыта. Но внимательный читатель легко заметит: все это были рассуждения скорее о завтрашнем дне ЭНЕРГЕТИКИ, а ЧТО в ней происходит сейчас?

ГЛАЗАМИ МАРСИАНИНА

Если бы на Марсе жили мыслящие существа и у них была бы возможность, не вмешиваясь, наблюдать нашу жизнь, некоторые факты сегодняшнего дня их очень бы удивили.

В самом деле, создав гигантские, мощнейшие энергетические устройства, земляне вдруг вспомнили... о ветряных мельницах!

Не память о легендарных сражениях Дон Кихота с ветряными мельницами, не страсть к экзотике заставила испанских инженеров вспомнить про эти древние устройства, а более прозаические соображения.

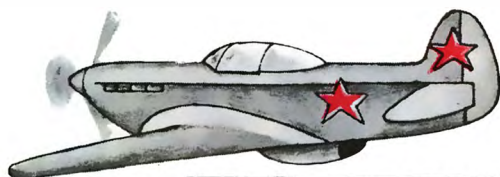
Марсианскому Нестору было бы над чем поразмыслить. Ведь многие новинки наших лет имеют отчетливый привкус «ретро».

В ФРГ полеты между главными городами страны совершают самолеты... с винтовыми двигателями. В Нью-Йорке вдруг вспомнили о троллейбусе. В Великобритании проявляют интерес к локомотивам... с паровыми двигателями!

Говорят, серьезно подумывают даже о возвращении водяного колеса! Устройства, которое было широко распространено по всей Европе, начиная примерно с 1000 года, и затем повсеместно и надолго забыто.

Но, вероятно, более всего летописцев-инопланетян заинтериговало бы возвращение паруса.

В нашей памяти парус — это каравеллы Колумба, это лихие схватки с пиратами, это романтические дали, времена, когда еще многое зависело от силы ветра и крепости парусов.



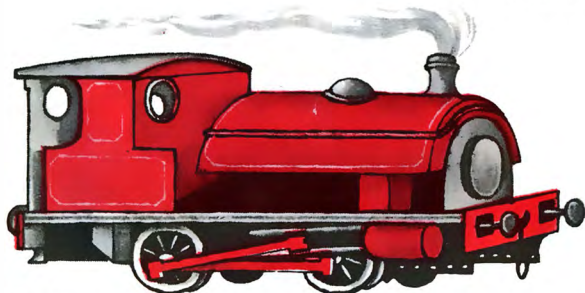
Винтовой двигатель



Дирижабль



Троллейбус



Паровой двигатель



Ветроэлектростанция

Многие «новинки» наших лет имеют отчетливый привкус «ретро».

И вот: на морях ветер снова раздувает паруса. А в небе неожиданно появились... дирижабли, хотя, казалось бы, после взрыва в 1937 году дирижабля-гиганта «Гинденбурга» они должны были исчезнуть навсегда.

Но нам говорят: это не те дирижабли, не те парусники, не те ветряные мельницы. Действительно: старинные ветряки стали теперь ветроэлектростанциями. А на японском танкере, спущенном на воду в 1980 году, привычные паруса заменил... стальной лист специальной конструкции.

Движением современных «бри-

гантин» управляют ЭВМ. Они рассчитывают силу и направление ветра, управляют парусным оснащением.

Все так: отличие несомненное. И все же новый лозунг: на смену старому — еще более старое! — о, его не так-то просто усвоить. Видимо, во всем этом есть какой-то подтекст.

О многом пришлось бы призадуматься марсианину, если б он, в порядке, допустим, обмена опытом, вздумал посетить Землю.

Что же происходит с энергетикой? Откуда дуют эти «ретро-ветры»? Дело, вероятно, не только в

том, что нефть, как говорят, кончается, бензин быстро дорожает, что необходимо всячески экономить горючее и энергоресурсы.

В действиях энергетиков проглядывает желание опереться на так называемые «возобновляемые» источники энергии.

И уголь, и нефть, и делящийся уран после сгорания или распада, считается, исчезают для дела безвозвратно. Потому эти источники энергии и называют «невозобновляемыми».

Иное — энергия солнечных лучей, сила ветра, тепло земных недр. Это источники вечно юные, как бы возрождающиеся вновь, подобно птице Феникс, практически неисчерпаемые.

Понятно, энергия даром не дается. Освоение новых энергетических рубежей — дело не простое. Придется идти на жертвы. Приведем такой пример. В Крыму в 1985 году должна войти в строй первая в нашей стране опытно-промышленная геотермоэлектростанция.

И вот что удивительно. Госплан СССР, утверждая совместно с Госстроем СССР технико-экономическое обоснование строительства первой солнечной электростанции, прекрасно отдавал себе отчет в том, что себестоимость электроэнергии, которую начнет вырабатывать Крымская СЭС, составит 1,5—2 рубля за киловатт-час.

Дороговато? Безусловно. Скажем, на ГЭС в среднем по стране (по данным 1979 года) стоимость электроэнергии в тысячу, примерно, раз меньше — 0,149 копейки! И все-таки энергетики и экономисты одобрили новое дело.

Но почему, спрашивается, не построить вместо солнечной еще одну тепловую электростанцию или атомную? Отчего так желанна именно солнечная электроэнергия?

И тут мы поневоле приходим к

мысли: видимо, киловатт-часы-то бывают разные! Есть, оказывается, «солнечные киловатт-часы», «угольные», «нефтяные», «атомные» (в будущем, вероятно, появятся еще и «термоядерные киловатт-часы»). И там и тут — всюду энергия вроде одна и та же, и все-таки эта наша вольная классификация киловатт-часов имеет определенный смысл.

КАКОЙ? Ответ на этот вопрос не прост.

ФИЗИК ГОЛОСУЕТ ЗА АТОМ

Для ответа на последний вопрос придется войти в некоторые подробности. Обратимся прежде всего за разъяснениями к физики.

Петр Леонидович Капица (1894—1984) родился в городе-крепости Кронштадте (46 верст от Санкт-Петербурга). Отец — царский генерал (военный инженер). Мать — детская писательница. Из третьего класса гимназии будущего академика (стал им в 1939 году) исключили за академическую неуспеваемость («не ладилось с древними языками»), но после перехода в реальное училище, где древних языков не изучали, он сразу становится первым учеником. Его увлечение физикой было настолько сильным, что директор училища, в виде поощрения, назначает ученика 6-го класса Петра Капицу заведовать физическим кабинетом (кроме почета, «заведующий» имел право самостоятельно проводить опыты). В Петербургский университет, на физико-математическое отделение, отличника не приняли (ведь греческого и латыни он не знал!), пришлось поступать (1912) в Политехнический институт, на электромеханическое отделение. В 1918 году Капица, ученик Абрама Федоровича Иоффе (академик Иоффе: «Физика — основа техники»), стал, наконец, инженером. Капица: «Инженер должен состоять из четырех частей: 25 процентов теоретического образования, 25 — художественного (машину нельзя проектировать, ее нужно рисовать!), на 25 процентов инженер должен быть экспериментатором, чтобы уметь исследовать свою машину, и на оставшиеся 25 процентов он должен быть изобретателем. Это, конечно, грубо. Но все эти элементы необходимы». Жизнь готовила Капице

много сюрпризов. В первую мировую войну служил шофером в санитарном отряде на польском фронте. В 1921 году доцент, сотрудник петроградского физтеха Капица отправился в Англию (в Германию и Голландию большевистскую «заразу» не пустили) в научную командировку к Эрнесту Резерфорду и застрял там на... 14 лет. В туманном Альбионе Капица показал свои многочисленные таланты: придумал способ создавать сверхсильные магнитные поля, стал замом директора Кавендишской лаборатории, правой рукой Резерфорда, английским академиком (в 1929 году, он был первым иностранцем, удостоившимся этой чести!). Каждый год ездил в Москву навещать мать (в 1920 г. в голодном Петрограде он потерял сразу отца, жену и двух детей). В 1934 году Капица добровольно навсегда остался в Москве. Для него персонально на глухом тогда берегу Москвы-реки, в районе Калужской заставы, построили Институт физических проблем; Капица перевез из Англии свою научную аппаратуру и стал директором нового института. Какими только проблемами физики Капица не занимался! (За границей его величали «русским атомным царем», немцы и французы именовали его «черным демоном науки».) Открыл сверхтекучесть жидкого гелия (в 1938-м, а в 1978 году удостоился за эти работы Нобелевской премии по физике), показал, как можно из воздуха с помощью особой сконструированной им машины — турбодетандера — получать газообразный и жидкий кислород (1939 г., кислород в больших количествах нужен металлургии, химической промышленности, энергетике). Изучал и предложил гипотезу (1955) о природе шаровой молнии. Разработал мощные сверхвысокочастотные (СВЧ) генераторы нового типа — планотрон и ниготрон. Эти работы (опубликованы в 1966 г.) открыли новые возможности для осуществления управляемого термоядерного синтеза... За научные заслуги Капица был награжден пятью орденами Ленина, двумя Государственными премиями, он дважды Герой Социалистического Труда. Член академий не только Англии и СССР, но и США, Дании, Швеции, Польши и многих других стран. И на девятом десятке лет своей жизни он оставался все так же молод душой и не терял чувства юмора. Вот как охарактеризовал он четыре возраста жизни. До 25 лет человек ведет «животный» образ жизни, являет

собой лишь нечто вроде фидука. С 25 до 50 он постепенно осознает себя, накапливает опыт, знания, но это все еще не совсем полноценный человек. Ибо временами его обуревают животные страсти. Зрелость приходит на третьем этапе, от 50 до 75, только тогда человек становится Человеком. Он может всецело заняться творчеством, стать Руководителем, иметь учеников. Но после 75 человек превращается в икону, он уже не работает, на него молятся... А так приветствовали его однажды студенты Московского физтеха: «И был день, и была ночь. И была земля пуста и безлюдна. И не было на ней ни академий, ни институтов, ни научных работников, ни Большой Советской Энциклопедии. Архимед родил Птоломея. Птоломей родил Галилея. Галилей родил Фарадея. Фарадей родил Резерфорда. Резерфорд родил Петра Леонидовича Капицу. И увидел Бор (Нильс Бор — великий датский ученый), что это хорошо!..»

Капица очень рано стал Руководителем, Творцом и в поздние годы отнюдь не превратился в живую мраморную статую. В последние годы жизни его интересовали прежде всего проблемы глобальные: народонаселения, продовольственная, экологическая. Но особый интерес, конечно, для нас представляют его высказывания об энергетике.

В многочисленных докладах и статьях Петр Леонидович неустанно пропагандировал следующий взгляд.

Энергией, утверждал Капица, земля могут обеспечить лишь делющийся атом или термоядерный синтез. Остальные источники (Капица проводит соответствующие физические подсчеты) не могут решить энергетической проблемы. Ибо они слишком маломощны (мала удельная интенсивность потока энергии).

Получается: ни тепло недр или океана, ни солнечная радиация (Солнце посылает на квадратный метр поверхности Земли всего 100 ватт!), ни ветры, ни приливы... не

насытят энергетические потребности землян. И, казалось бы, заниматься подобными проектами — пустая трата времени и средств.

Мнение академика Капицы крайне ценно. Ведь говорил не только крупнейший ученый современности и умудренный долгим опытом человек — говорил физик! А физика подарила человечеству энергию делящегося атома и сейчас пытается приручить еще и термоядерные реакции. Физик видит мир в особом свете, мыслит строгими количественными категориями.

Вот довод, который трудно оспаривать. Ведь один грамм урана — частица размером с булавочную головку — по запасам энергии эквивалентен почти полутора тоннам высококачественного донецкого антрацита. Это действительно Большая Энергетика! Видимо, физик прав: только Атом насытит нас энергией. Потому-то в нашей стране (да и во всем мире) и придается такое большое значение быстрейшему развитию атомной энергетики.

Но можно ли обойтись строительством только атомных (или, в будущем, и термоядерных) электростанций? Оказывается, все-таки НЕТ! Здесь слово предоставляется экологу.

ЭКОЛОГ СПОРИТ С ФИЗИКОМ

«Экология» — слово новое. Хотя термин этот еще в 1866 году предложил немецкий зоолог Эрнст Геккель как «общую науку об отношениях организмов к окружающей среде...». Однако прежде термин этот имел хождение только в узком кругу специалистов, в основном у ботаников и зоологов.

Но вот пришла «взрывная» вторая половина XX века. Пора, когда всюду, дружно и враз, заговорили о всевозможных кризисах, под-

стерегающих человека. Планета вдруг сделалась маленькой и уязвимой.

А теперь представим себе, что вся планета густо усеяна атомными электростанциями. Преизобилие энергии. Но сохраним ли мы при этом Землю зеленой или хотя бы сносной для жизни на ней?

Хорошо известно, что на пути перевода всей энергетики планеты на атомную имеются трудности чисто экологического характера.

Первая вполне очевидная проблема — радиоактивность. Уже при создании первой АЭС была поставлена сложная задача: станция должна иметь безупречную репутацию с точки зрения радиоактивной безопасности. Нужно было исключить даже намеки на ту цель, ради которой создавалось атомное оружие. И это удалось сделать: на советских АЭС и вокруг них радиационный фон даже ниже, чем, скажем, вокруг обычных промышленных предприятий.

АЭС зарекомендовали себя как самые гигиеничные, самые «чистые» станции. В отличие от тепловых, загрязняющих воздушный бассейн золой, копотью и дымом. При одинаковой электрической мощности ТЭС, работающая на органическом топливе, загрязняет в 500—1000 раз больший объем воздуха, чем АЭС.

Получается так, что развернутое строительство АЭС станет мощным фактором защиты атмосферы от вредных промышленных отходов. И будет также способствовать (ядерная энергетика не нуждается в кислороде воздуха! Термин «горение» тут чисто условный) сохранению неизменного геохимического режима нашей планеты.

Но и у атомной энергетики есть уязвимые места. Одно из них — проблема радиоактивных шлаков.

В отличие от угля, ядерное топливо «горит» гораздо медленнее.

- 22 Ядерное горючее превращается в радиоактивные шлаки лишь по истечении трех лет. Так вот эти шлаки необходимо извлечь из реактора и отправить на хранение.

Обычные отходы мы бросаем в мусоропровод. С ядерными отходами все гораздо сложнее. Их надо захоронить (слово-то какое!) надежно, так, чтобы по прошествии и многих сотен лет они оставались безопасными для землян.

Одни эксперты считают, что самое лучшее было бы отправить радиоактивные шлаки на ракете в космическое пространство. Этакий бездонный «мусоропровод»! Другие авторитеты предлагают на эту роль земные недра. Советуют прятать радиоактивные шлаки глубоко под землей.

Академик П. Капица, обсуждая этот вопрос, предлагал располагать атомные электростанции на небольших незаселенных островах в океане, подальше от жилых мест. Его поддерживал тоже физик и тоже лауреат Нобелевской премии американец Глен Сиборг: он ратует за создание специально выделенных «плутониевых островов».

Что же выбрать?

Хранить радиоактивные отходы на дне океанов, во льдах Антарктиды, в кратерах давно потухших вулканов? Предложений много, однако окончательное решение еще не выработано.

Но допустим, проблему эту удалось решить, станет ли энергетический горизонт безоблачным? Экологи говорят: нет, есть и другие требующие решения вопросы, ведь загрязнить планету могут не только дым, копоть, радиоактивность, но и просто... тепло!

Средняя АЭС берет из реки за сутки что-то около миллиона кубов воды и возвращает ее уже подогретой на десятки градусов. Река утепляется. Если станций много, река,

глядя, и закипит! К примеру, в ФРГ на Рейне есть места, где вода в 30—40 градусов (по Цельсию) никого не удивляет. А в штате Огайо (США) летом вода в речках кое-где прогревается до 50 градусов.

К чему это приводит? Река буквально мертвеет. В ней гибнет все живое.

Но греться могут не только реки, даже целые страны. Вся Япония (территория 600×600 км²) представляет собой очаг сплошной тепловой интенсивности. Такой «остров» тепла уже в состоянии повлиять на динамику региональных атмосферных процессов — существенно изменить местный климат.

Есть, говорят, бактерии, способные жить даже в кипятке... Но человек ведь не бактерия! Что же произойдет, если из-за все более усиливающегося коллективного теплового воздействия фабрик, заводов, ТЭЦ, атомных электростанций, ГРЭС, промышленных объектов и т. п. земному шару станет жарко? И если его температура начнет неуклонно повышаться?

В деталях ответить нелегко, но общая картина ясна. Повышение средней температуры планеты всего на несколько градусов вызовет резкое изменение климата. Скорее всего, благодаря таянию льдов Антарктики и Гренландии, начнется новый всемирный потоп. Впрочем, это лишь первое, что приходит в голову.

Вопрос о перегреве планеты вызывает много споров. Спорят, например, о том, какая именно степень разогрева планеты повлечет необратимые последствия? Единого мнения нет. Кто называет критическим повышение температуры на один градус, кто — на пять.

Спорят и о другом: будет или нет достигнут «тепловой барьер»? И сколько у землян в запасе лет: десятки, сотни?

Еще тема для дискуссий: «тепловой барьер» кладет вроде бы предел развитию земной энергетики. Стал виден потолок для дальнейшего энергетического роста! А что же дальше? Свертывание цивилизации на Земле? Новый, еще более устрашающий, чем теперь (в связи с исчерпанием запасов органики), энергетический кризис?

Не придется ли в этих условиях основное производство энергии выводить за пределы планеты? (Размещать крупные энергетические установки не на Земле, а в космосе предлагал академик А. Благовров.)

Об энергетике высказались физик, эколог, можно было бы пригласить на «консилиум» еще экономиста, политика и других специалистов, чтобы судить о здоровье и хворях энергетики с самых разных точек зрения. И тогда стало бы совершенно ясным: действительно, киловатт-час киловатт-часу рознь! И киловатт-час «атомный» вовсе не равен киловатт-часу «угольному», «солнечному» или «нефтяному».

Если же вновь вернуться к экологии, то она ставит перед энергетиками и такую проблему: а ЕСТЬ ЛИ источники энергии без тепловой грязи? Не является ли таким источником наше СВЕТИЛО?

ЭРА СОЛНЦА!

В Мадриде, пишут, построено восемнадцатизэтажное здание, его южные, западные и восточные стороны «облицованы» солнечными батареями. Проектировщики считают: собранной энергии хватит, чтобы летом в комнатах температура не превышала 25 градусов, зимой — не опускалась ниже 22.

В далекой Австралии построена

«солнечная» изгородь-загон для коров и овец. Точнее: электрическая, но энергию для нее дадут солнечные батареи, смонтированные на высоком столбе.

Во Франции создан «солнечный телефон». На крышах автоматов установлены фотоэлементы...

Люди во всем мире интуитивно, почти чисто биологически тянутся к своему старшему собрату — Солнцу. Придумывают все новые поводы для «сотрудничества» с ним.

Более четверти века назад в стенах Энергетического института им. Г. М. Кржижановского родился проект солнечной электростанции. Ее собирались построить в Армении в Араратской долине (близ озера Айгерлич).

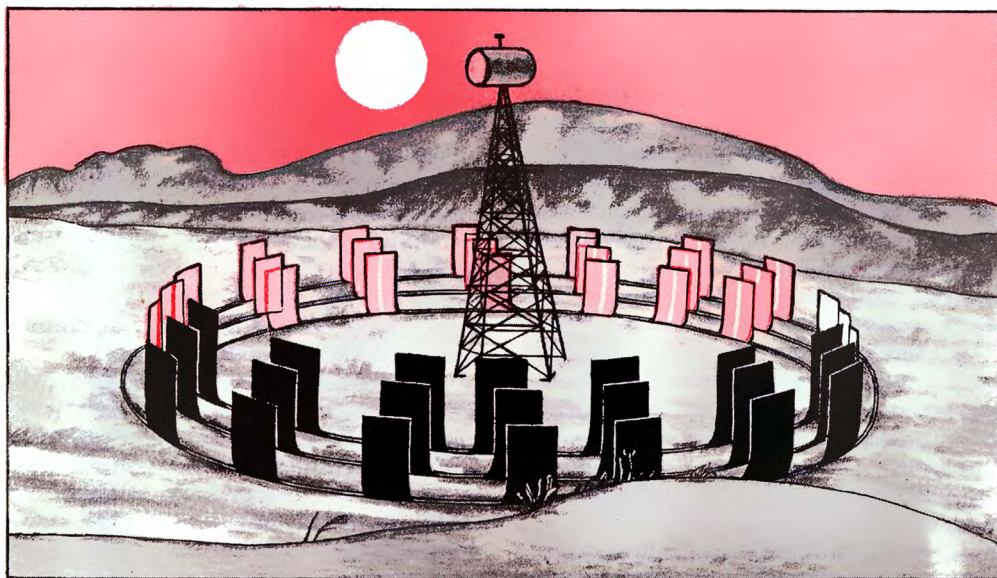
Однако проект этот не был реализован. Не только малость КПД (проводились эксперименты на уменьшенных моделях электростанции) и другие преграды чисто технического свойства зарезали этот проект. Самое главное — для подобных сооружений время тогда еще не пришло.

Но эта заманчивая научно-техническая мечта не умерла. Летом 1980 года в Алуште, где щедрое солнце и ясное небо, началось строительство первой в СССР экспериментальной базы по использованию солнечной энергии. Основой для нее явился проект, так долго пылившийся в шкафу.

Теперь на гелиотехников уже не смотрят как на чудаков, гоняющих своими огромными зеркалами солнечных зайчиков. Сегодня голоса скептиков не слышны — и ученые и инженеры сумели найти хорошие решения для поимки «золотого луча».

Вот какой будет СЭС.

На вершине 80-метровой железобетонной башни установят котел-парогенератор. Вокруг него на земле разместят 1600 гелиостатов —



Установка по использованию солнечной энергии.

огромных зеркал площадью по 25 квадратных метров каждое. Все они будут направлены так, чтобы отражать лучи точно на вершину башни.

Но солнце с утра до вечера движется по небосводу, меняет свою высоту над горизонтом — летом «расписание» у него одно, зимой — другое. Поэтому сложнейшую задачу управления зеркалами возьмет на себя ЭВМ. Специальные устройства будут контролировать точность исполнения команд и держать под «прицелом» разом и дневное светило, и башню.

Собранные со всех сторон солнечные лучи нагреют воду в парогенераторе до 250 градусов. А затем, как обычно, пар отдаст свою энергию турбине, которая приведет во вращение электрогенератор.

Учтена и возможность несолнечных дней. В ненастье поможет тепловой аккумулятор. Часть горячей воды будет запасаться впрок, чтобы при необходимости отдать накоп-

ленную энергию турбине. Запаса хватит на несколько суток.

Мощность этой первой СЭС — 5 мегаватт. Это, конечно, не гигант. Но уже следующая станция, полагают, будет в 40—50 раз мощнее.

Мы рассказали только об одном гелиоэнергетическом проекте, а их в стране много. (К примеру, под Ашхабадом, в местечке Бикрово, находится научно-производственное объединение «Солнце». В него входят Институт солнечной энергии с 25 лабораториями, специальное проектно-конструкторское бюро и строительно-монтажное управление. Работают тут «солнцепоклонники», так в шутку называют себя ученые.)

Струйками, ручейками пробиваются «солнечные проекты» в завтрашний день. Сливаются в «речушки», набирают силы, чтобы стать полноводными «солнечными реками».

Куда они текут? Не в эру ли Солнца?

СОЗВУЧНАЯ ЧЕЛОВЕКУ

Мощь Солнца грандиозна. Какими мерками ее измерить? Тут, очевидно, необходимы особые единицы.

В свое время индийский физик Хоми Баба предложил единицу энергии, которую он обозначил символом Q. Это — 37 миллиардов тонн условного топлива, или, сокращенно, 37 миллиардов т.у.т. (так все формы энергии — атом, нефть, газ — более или менее спорными способами сводятся к их угольному эквиваленту).

Q — это много или мало? Сейчас увидим. Статистики подсчитали: в 1980 году земляне потребили 11 миллиардов т.у.т., то есть всего примерно 0,3 Q.

А ежегодно на поверхность Земли солнечные лучи приносят 1500 Q — в пять тысяч раз больше!

Но и это не предел того, что можно взять от Солнца. Развивая идеи К. Э. Циолковского, американский профессор Ф. Дайсон предлагает такой головокружительный проект.

Соорудить вокруг светила сферу радиусом в 150 миллионов километров с обитаемой оболочкой. На ее строительство уйдет масса одной из планет Солнечной системы. Зато население этой оболочки-поселения сможет пользоваться всей энергией, излучаемой Солнцем, всеми 10^{13} Q!

Второе немалое достоинство солнечной энергии — ее экологическая безопасность.

Солнце — естественный, созданный самой природой термоядерный реактор, предусмотрительно «вынесенный» за пределы Земли на экологически безопасное расстояние. Задача землян в том, чтобы научиться снимать такой «солнечно-термоядерный» урожай. Тут те же проблемы, что возникнут и после создания термоядерных установок.

Как человеку удастся решить эти проблемы, пока не ясно. Но солнечная энергия действительно не «разводит» тепловую грязь!

Солнечная радиация — один из естественных элементов теплового баланса земного шара. Солнце греет Землю своими лучами, но не может ее перегреть: избыток, ненужное ей тепло планета в ходе длительной эволюции научилась сбрасывать в космос в виде инфракрасного излучения. А при разогреве Земли энергетическими установками такой циркуляции тепла нет: его больше приходит, чем уходит.

Вот и возникает дерзкая мысль: нельзя ли, без экологических осложнений и неприятностей, припасть к этому могучему радиационно-теловому потоку? Использовать для целей энергетики этот природный процесс? Перехватить, как это умеют, к примеру, делать растения, энергию «на лету»?

СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ! Фредерик Жолио-Кюри был совершенно прав. Приход особой солнечной энергетики, действующей по образцам, подсказанным природой, совершил бы подлинную революцию.

Физики ядовито замечают, что поток солнечных лучей слаб. Однако в самой этой слабости кроется большая сила.

Солнце дало Земле жизнь. Оно соединяет в себе и космическую мощь, и достаточную мягкость, чтобы не быть губительным для зверей, растений и для человека.

Энергия солнечных квантов (если отбросить ультрафиолет и жесткое излучение) того же порядка, что и энергия электронных переходов, управляющих всеми функциями живой материи.

А вот между человеком, его структурой и недавними созданиями его рук — мощной энергетикой, — как правило, вопиющая раз-

26 ница. Все эти устройства таят в себе опасный «огонь».

Первобытный костер мог вызвать пожар, еще более «огнеопасен» Атом (пока не созданы совершенно безопасные реакторы, которые, даже при неправильном с ними обращении, имели бы «поправку на дурака»).

СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ необходимы, но КАК их сконструировать и **МОЖНО ЛИ?** Для ответа на этот вопрос необходимо прежде рассказать про одно очень важное открытие в науке.

КОЛЕСО ЖИЗНИ

Барон Мюнхгаузен однажды вытащил себя за волосы из топкого болота. На первый взгляд подобные трюки умеет проделывать и Природа.

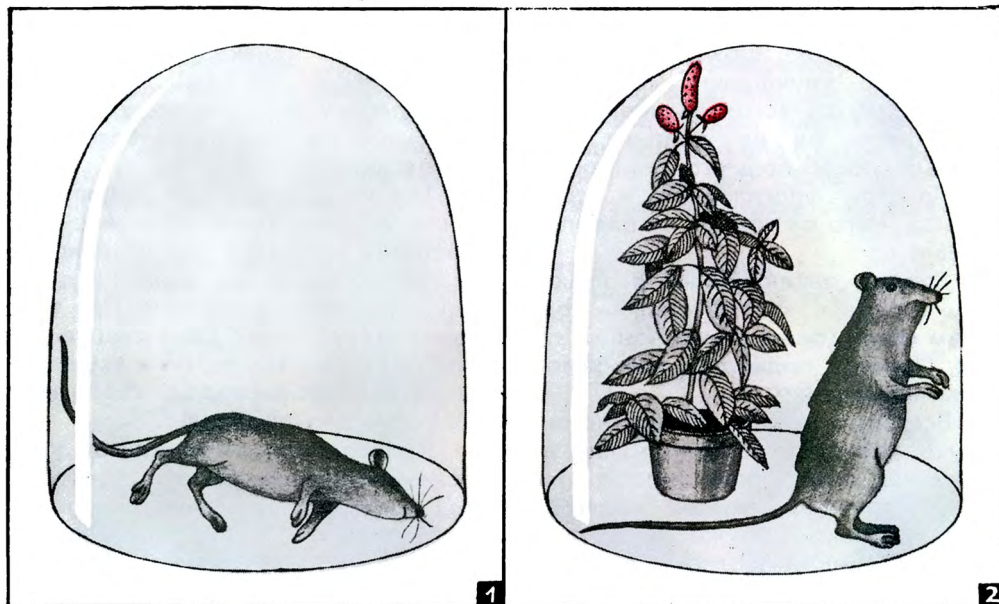
16 раз в минуту человек вдыхает и выдыхает воздух. При этом кислород воздуха частично превращается в углекислый газ. Дышим не только мы. В этом могучем «хоре» вдохов и выдохов слышны «голоса» и слона, и лягушки, и ничтожной бактерии — всем необходим кислород и все обогащают атмосферу углекислотой.

А теперь возьмем в руки карандаш и займемся арифметикой. Получается, что кислорода атмосферы (если его не возобновлять) хватит нам всего лишь на тысячу лет. И однако жизнь на Земле существует вот уже по крайней мере многие сотни миллионов лет!

Этот парадокс давно разрешен наукой. Очищают, «омолаживают» атмосферу, делают воздух вновь пригодным для дыхания растения. И обнаружено это было два века назад Джозефом Пристли.

Джозеф Пристли (1733—1804) — английский химик, философ-материалист, общественный деятель. Сын бед-

ного ткача-суконщика, в 7 лет лишился матери, воспитывался до 19 лет у богомольной тетки. (По воскресеньям, вернувшись домой из церкви, мальчик обязан был по памяти восстановить текст проповеди, которую читал местный священник, и записать ее. Эта многолетняя практика очень обогатила его язык. Впоследствии Пристли очень легко и быстро писал на самые различные темы: был автором сочинений по грамматике, лингвистике, истории, ораторскому искусству, религиозным проблемам, психологии, философии. Изучал Пристли в детстве и стенографию. И даже вступил в переписку с авторами руководств по стенографии, предлагая свои усовершенствования этого метода скорописи.) Слабый, болезненный, заикающийся, Пристли обнаружил непреодолимую склонность к наукам: еще в школе самостоятельно изучал философию, логику, математику, языки (знал греческий, латинский, французский, итальянский, немецкий, древнееврейский, арабский, ассирийский, халдейский). Собираясь стать клерком в конторе (для этого и штудировал новейшие языки), но, получив высшее теологическое образование (духовная академия, город Девентри), стал священником-диссидентом (не признающим узаконенной господствующей церкви, в средние века за это просто отправляли на костер). В 1761 году его обвинили в свободомыслии и запретили читать проповеди, тогда он стал преподавателем языков в Уоррингтонском университете. Там Пристли впервые прослушал курс химии: эта наука произвела на него такое большое впечатление, что он, в возрасте 30 лет, будучи человеком с определенным положением, решил приступить к изучению естествознания и проведению химических экспериментов. По предложению Бенджамена Франклина, американского ученого, Пристли в 1767 году написал монографию «История учения об электричестве». За этот труд он был избран членом Лондонского Королевского общества (Академия наук Великобритании) и иностранным почетным членом Петербургской Академии наук (1780). Однако главную научную славу Пристли принесло изучение химии газов воздуха (толчком к исследованиям послужило посещение пивоварни, находившейся неподалеку от дома Пристли. Ученый заинтересовался «воздухом», не поддерживающим дыхание и горение, который выделялся в изобилии при брожении сусла.



Открытие Дж. Пристли явления фотосинтеза:

- 1) мышь задохнулась под стеклянным колпаком;
- 2) спасительное растение, дающее кислород.

То был углекислый газ, его химический состав позднее, в 1789 году, установил француз Антуан Лавуазье). Открытие кислорода (1774) — важнейшее достижение Пристли в химии, но до конца своих дней Пристли упрямо защищал отживавшую свой век теорию флогистона. В общественных делах Пристли проповедовал веротерпимость, одобрял борьбу североамериканских колоний за независимость, приветствовал Великую французскую революцию (был удостоен звания французского гражданина и депутата Национального собрания Франции), выступал против работорговли и религиозного фанатизма всех мастей. Когда почти шестидесятилетний Пристли вступил в общество «Друзей французской революции» (1791), толпа разъяренных обывателей Бирмингема устроила погром: дом ученого (а в нем и его лаборатория) был разгромлен и сожжен, Пристли потерял все свое имущество и едва спасся от расправы. Ученый бежал сначала в Лондон, потом (в 1799 году королевская Англия вступила в войну с республиканской Францией) в США, где в изгнании и нищете и скончался.

Джозеф Пристли, хоть и не был новичком в науке, совсем не помышлял о том, что мы сейчас называли бы загадками фотосинтеза. В сферу интересов Пристли совершенно не входили биологические науки, в частности ботаника.

У Пристли была другая цель — найти способ очистки воздуха, который ежедневно, ежесекундно загрязняется дыханием людей и животных, горением топлива, гниением растительных остатков. Мы-то знаем, что при этом выделяется углекислота, которая, в отличие от кислорода, не поддерживает горение, — но Пристли это было неизвестно.

Пристли упорно искал тот природный регулятор, который вечно обновляет воздух, восстанавливая его способность поддерживать горение (возвращающий в воздух кислород, сказали бы мы).

Вначале Пристли полагал, что

28 роль «обновителя» играет вода океанов. Чтобы проверить это предположение, он проводит эксперименты по улучшению «испорченного воздуха» встряхиванием с водой. Цели он не добился, зато открыл способ получать газировку...

Пристли упорствовал в своих опытах. Чего он только не перепробовал!

Воздух, заключенный в замкнутом сосуде и «испорченный» горением свечи (она в конце концов гасла), Пристли подвергал всевозможным испытаниям.

Все было тщетно. Воздух не очищался, свеча в нем гасла, мышь, посаженная под колпак (подопытные мыши служили живым индикатором: сколько их уже погибло от удушья), жила недолго.

Но однажды случайно, вопреки всякой логике (он ведь считал, что растениям, как и животным, нужен чистый воздух), Пристли поместил под стеклянный колпак растение — мяту в горшочке.

И забыл об этом, отвлекся, занялся другим...

Спустя неделю, в полной уверенности, что растение завяло, он подошел к сосуду. О чудо! Ученый не верил собственным глазам: никаких признаков увядания, растение выглядело свежо, словно в первый день творения! Никаких изменений.

Пристли вновь охватила исследовательская лихорадка: он понял, что это открытие, счастливая находка, удача, которая так долго ускользала от него.

Эксперименты продолжались. Теперь ученый поместил под колпак рядом с мятой белого мышонка. Выживет ли он? День, другой, третий... неделя...

Мышонок как ни в чем не бывало бегал в своей стеклянной клетке, ел корм, принюхивался к мяте, к ее острым запахам пряного масла,

удивленно разглядывал своими блестящими бусинками-глазами молодого уже чудака, с изумлением наблюдавшего за ним.

Теперь уже сомнений у Пристли не было: он сделал удивительное, потрясающее открытие!

Так в 1771 году был открыт фотосинтез. Так было показано, что растения кормятся тем углекислым газом, который при дыхании выделяют человек и животные. При этом растения не только дают пищу всему живущему на земле, но и выделяют живительный кислород, столь нужный нам для дыхания.

Колесо жизни — замкнутый круг, основу которого образуют фотосинтез растений и дыхание животных. А движет этот цикл, запускает его космический источник энергии — Солнце, доходящие от него к нам лучи. Углекислый газ, кислород и лучи Солнца — вот ключи к вечной молодости всего сущего на нашей планете.

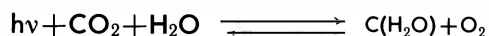
ПРИЕМАМИ ФАНТАСТОВ

200 лет ученые исследуют фотосинтез.

Потребовались усилия очень многих выдающихся умов. Над загадками фотосинтеза задумывались греки — Аристотель и Теофраст, размышляли швейцарцы Сенебье и Соссюр, его исследовали голландцы Гельмонт и Ингенхауз, англичане Гейлс и Пристли (о том, как он по существу открыл фотосинтез, мы уже рассказывали), в этих изысканиях принял участие и Михаил Васильевич Ломоносов — гений русской науки; швед Шееле, немец Майер и многие другие ученые. Поэтому фундамент этого учения воистину интернационален.

Но что же конкретно происходит при фотосинтезе? Для ответа надо написать основное Уравнение фотосинтеза:

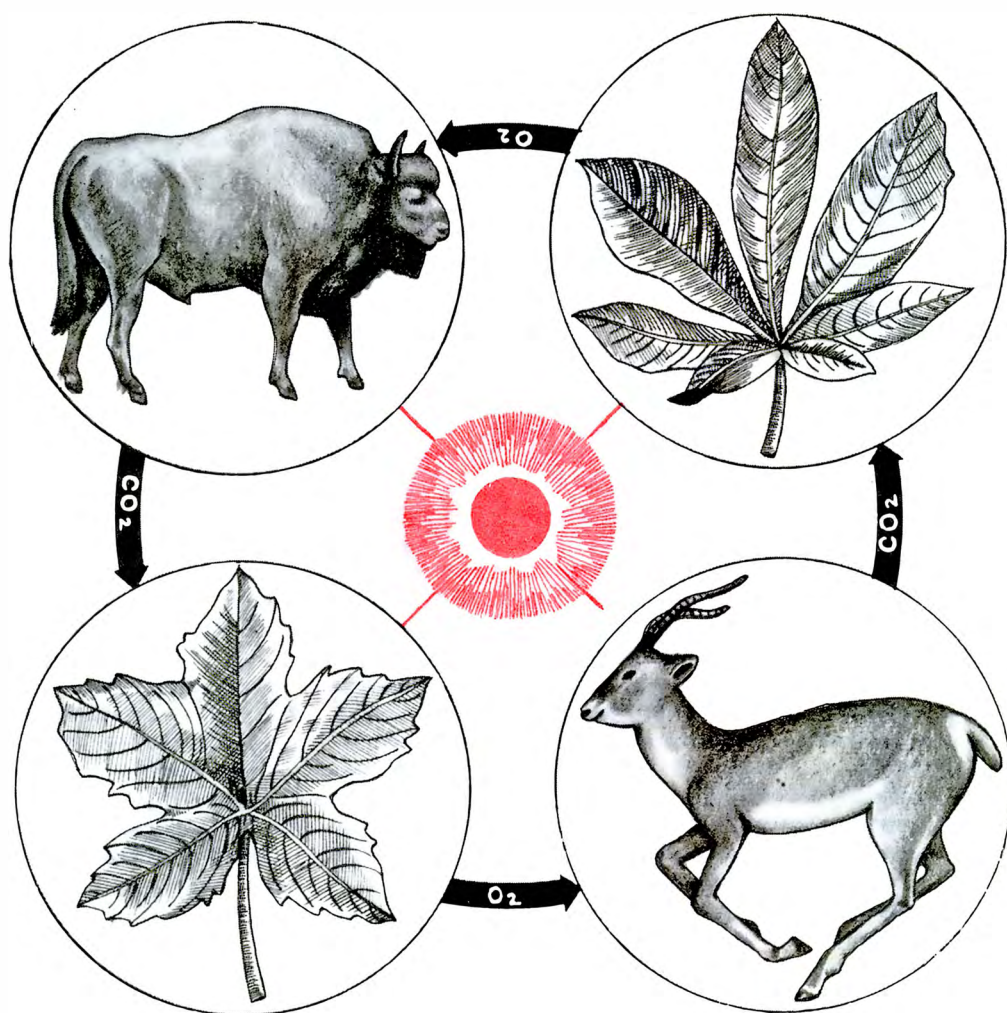
зеленый лист



Это если записать уравнение на языке химии и физики. Ну, а если снизить до обыденного языка, повторить то же, но словами «презренной прозы», то получим:

свет + углекислый газ + вода (энергия)	$\xrightarrow{\text{фотосинтез}}$ $\xleftarrow{\text{дыхание}}$	углеводы + кислород (пища)
---	--	-------------------------------

Вот оно, уравнение фотосинтеза, итожащее усилия многих поколений ученых. Сколько споров, трудов, волнений, напряженных раздумий, победных криков, даже зависти и вражды вобрало оно в себя! Столько усилий, и все это только для того, чтобы хотя бы ответить на вопросы



Кругооборот жизни на Земле, основа которого — фотосинтез растений и дыхание животных.



Фотосинтез лежит в основе многих явлений, происходящих на планете.

ЧТО? и **КТО?** Что происходит при фотосинтезе и кто его участники.

Но обратим внимание на стрелки, вставленные в Уравнение фотосинтеза. Так химики обычно указывают направление хода реакции. В растении энергия света содействует соединению воды и углекислого газа, при этом в зеленых листьях образуются углеводы и кислород. Этот ход событий (стрелки, указывающие направо) и есть, собственно, **фотосинтез**.

Однако процесс может идти и в обратную сторону. В клетках животных пища (ее источником в конечном итоге служат растения) «сгорает», соединяясь с кислородом, — так возвращаются в мир углекислый газ и вода (попутно в этом процессе живые твари получают и необходимую им энергию). Обратный ход событий (стрелки, указывающие налево) и

есть **дыхание**. Так же, как и **фотосинтез**, это один из универсальнейших жизненных процессов.

200 лет напряженных поисков не пропали даром. Теперь ученые могут частично ответить и на вопрос, **КАК** идет процесс фотосинтеза. И тут начинается главная тема этой книги.

Есть такой известный прием фантастов. Писатель задается вопросом «а если...» (что было бы, если бы весь углерод мира заменить на родственный ему кремний... Как чувствовала бы себя космическая экспедиция землян, попав на планету, населенную мыслящими медузами, и так далее) и пытается нарисовать соответствующую картину. А что если и мы, взяв за основу Уравнение фотосинтеза, тоже поиграем в эту увлекательную игру? Но в отличие от фантастов, которым все дозволе-

но, мы всегда будем отталкиваться от строгих, добытых наукой фактов. Придерживаться, так сказать, правил игры, которые предлагают нам законы, управляющие процессом фотосинтеза.

Итак, начнем с хлорофилла. Это типичный полупроводник, скажет нам ученый. Лучи света «выбивают» из этой молекулы один из ее электронов. И в листе по особой «электронно-транспортной цепи», словно по медной проволочке, течет микроток.

Так отчего бы (начинается «а если...») технически не воспроизвести этот процесс? Фантазия? Бесполезная игра в бирюльки? А вот и нет! Сейчас ученые настойчиво пытаются добиться этого. Об этих попытках мы расскажем в главе «Хлорофилл: надежды энергетиков».

Взглянем снова на Уравнение фотосинтеза. Что делают лучи света с водой? Они, оказывается, дробят ее на водород и кислород. Но ведь сейчас столько говорят и пишут про водородную энергетику, про ее соблазны. Вот если бы по рецептам зеленого листа научиться извлекать водород из воды!.. И вновь — никакой фантастики, а сугубо техническая задача. Рассказ о ней будет в главе «Вместо бензина — вода».

Еще новое «а если...». Растения выделяют кислород, им дышит все живое. А почему не водород — это топливо будущего? Эк, куда хватил, скажет читатель, это уж слишком!.. И тем не менее в СССР существует посвященный этой, казалось бы, фантастической проблеме научный проект «Фотоводород». Рассказ о

нем будет в главе «Водородные плантации».

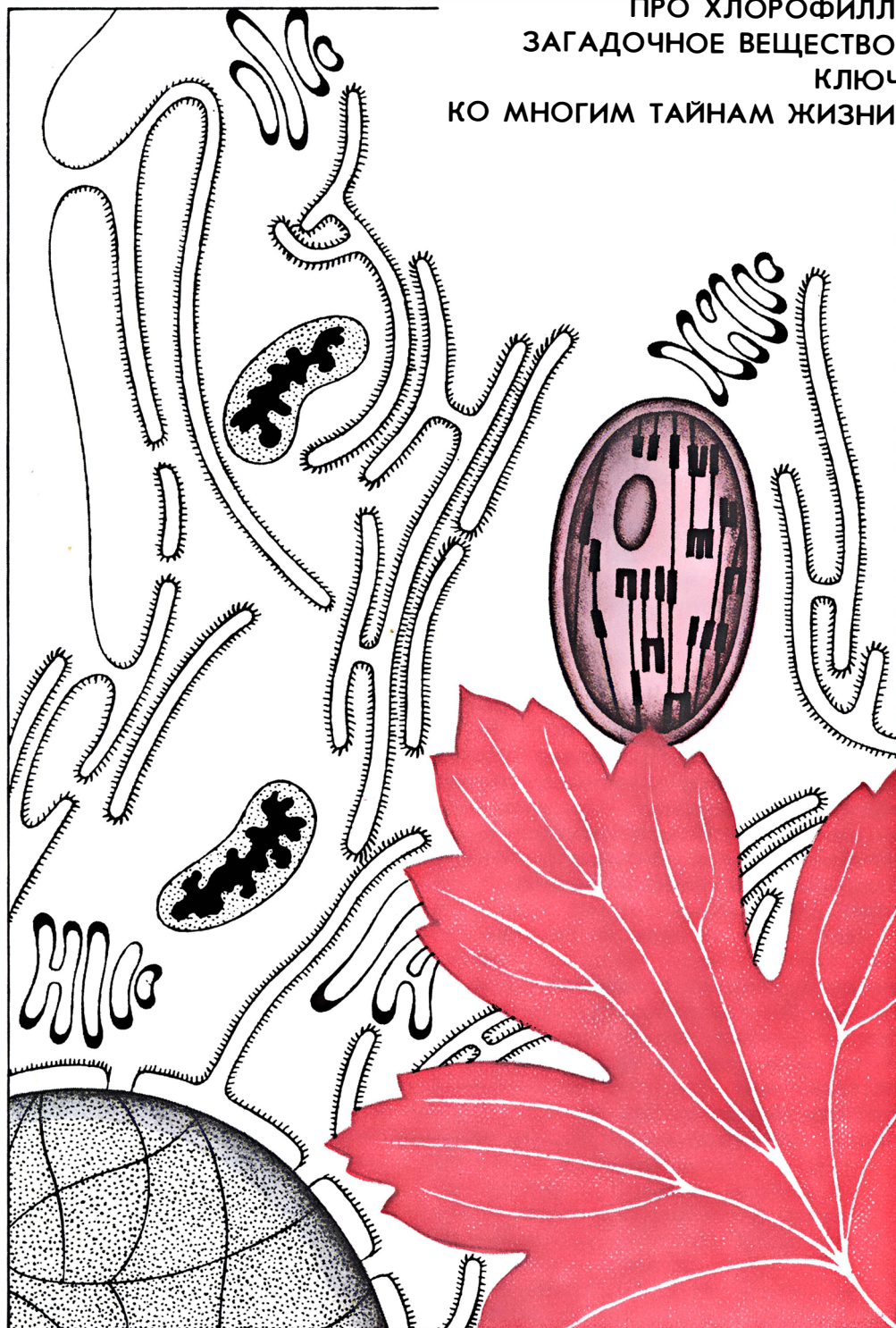
Пойдем дальше. В зеленом листе, мы знаем, углекислый газ атмосферы преобразуется в углеводы (смотри Уравнение фотосинтеза). А почему не в углеводороды? Вещества, из которых соткана нефть? В главе «Нефть из атмосферы» будет рассказано про дерзкий замысел ученых, попытку осуществить и этот процесс.

Вновь вернемся к хлорофиллу. Эта молекула может по праву служить символом жизни на Земле. Она дает листу зелень, ласкающую глаз, успокаивающую душу. Фотосинтезирующие живые создания без хлорофилла? Чушь! Научный бред! И опять не будем столь категоричными. Ученые обнаружили особые бактерии, использующие энергию света и начисто лишенные хлорофилла. Этой теме будет посвящена последняя глава «Галобактерии удивляют мир».

Вот теперь-то наконец мы в должной мере можем оценить слова, сказанные Фредериком Жолио-Кюри. Какой неожиданный поворот научной мысли! Веками люди связывали с фотосинтезом лишь одну надежду — накормить человечество. Ведь фотосинтез — это уникальное умение растений, их ключевая особенность, а растения — основа сельского хозяйства... И вдруг такой зигзаг!

В последние десятилетия наметился еще один путь. Сейчас ученые хотят сконструировать аппараты особого рода — СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ. Фотосинтез захотел породниться с энергетикой!

ПРО ХЛОРОФИЛЛ,
ЗАГАДОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО,
КЛЮЧ
КО МНОГИМ ТАЙНАМ ЖИЗНИ.



Глава БАЛЛАДА 2 О ЗЕЛЕНОМ ГОЛОВАСТИКЕ

Дайте самому лучшему повару сколько угодно солнечного света и целую речку чистой воды и попросите, чтобы из всего этого он приготовил вам сахар, крахмал, жиры и зерно — он решит, что вы над ним смеетесь. Но то, что кажется совершенно фантастическим человеку, беспрестанно совершается в зеленых листьях растений.

К. А. Тимирязев

З

еленый лист! Кто из нас не держал тебя в руках, рассеянно или пристально не разглядывал. Это чудо обесценивает сама природа, тиражируя его каждым летом в миллиардах миллиардов экземпляров.

Чудеса обыденности не так-то просто разглядеть. Это под силу только поэтам или ученым.

В изучении тайн зеленого листа огромную роль сыграли исследования русского ученого Климента Аркадьевича Тимирязева.

Тимирязев (1843—1920) — один из основоположников русской школы физиологов растений, ученый-революционер, талантливый популяризатор науки. Родился в Петербурге в старинной дворянской семье, мать — англичанка, начальное образование получил дома (вечерами, когда родители располагались поудобнее в мягких креслах, у их ног усаживались четыре сына и дочь. Такие «собрания» приносили большую радость и детям и взрослым. По очереди читали Лермонтова и Пушкина. Звучали английский, немецкий и французский языки. В домашнее образование входили не только литература и история, но и физика, химия, география. Дома была небольшая химическая лаборатория). Тимирязев был исключен из Петербургского университета за участие в студенческих сходках, окончил его вольнослушателем. Уже на студенческой скамье добывал средства к существованию литературным трудом (переводы, статьи о Гарибальди, Дарвине, научные обзоры). Два года находился за границей (для подготовки к профессорскому званию): работал в Германии — у химика Бунзена, у физика Кирхгофа, ботаника Гюфмейстера, во Франции — у физиолога Клода Бернара, химика Бертло, агрохимика Буссенго. В 1871 году после защиты диссертации «Спектральный анализ хлорофилла» был избран профессором Петровской сельскохозяйственной академии (ныне академия имени Тимирязева), в 1875 году защитил докторскую диссертацию на тему «Об усвоении света растением». Преподавал также в Московском университете. Отношения с властями у Тими-

рязева не сложились — труды его давали ему несомненное право на звание академика, но, как и Менделеев, Сеченов, Столетов, за «непокорство» он до конца жизни так и не стал действительным членом Российской Академии наук: царизму не могли понравиться страстные проповеди ученого, считавшего, что должно стремиться к достижению наибольшего блага для наибольшего числа людей и что не та демократия, которая стреляет в рабочих, а та, которая осуществляет власть трудящихся! Октябрьскую революцию Тимирязев встретил восторженно; рабочие вагоноремонтных мастерских Московско-Курской железной дороги избрали его депутатом Московского Совета; принимал деятельное участие в организации Социалистической (впоследствии Коммунистической) академии. Большую часть жизни Тимирязев посвятил исследованиям хлорофилла. В 1903 году в Лондоне он прочел блестящую лекцию «Космическая роль растений». В ней он шутиливо сравнивал себя с одним из героев известного романа Свифта: «Когда Гулливер в первый раз осматривал академию в Лагадо, ему прежде всего бросился в глаза человек сухопарого вида, сидевший, уставив глаза на огурец, запаянный в стеклянном сосуде. На вопрос Гулливера диковинный человек пояснил ему, что вот уже восемь лет, как он погружен в созерцание этого предмета в надежде разрешить задачу улавливания солнечных лучей и их дальнейшего применения...» Обращаясь к аудитории, Тимирязев продолжал: «Должен откровенно сознаться, что перед вами именно такой чудак. Более 35 лет провел я, уставившись если не на зеленый огурец, закупоренный в стеклянной посудине, то на нечто вполне равнозначное — на зеленый лист в стеклянной трубке, ломая себе голову над разрешением вопроса о запасании впрок солнечных лучей...» В этой книге уже были и еще не раз будут помещены ссылки на слова Тимирязева, и это не случайно. «С первых же шагов своей умственной деятельности,— писал Тимирязев,— я поставил себе две параллельные задачи: работать для науки и писать для народа, то есть популярно...» Его блестящие лекции и книги: «Жизнь растения» (1878 г., выдержала десятки изданий на русском и иностранном языках; один английский критик писал о ней: «Книга Тимирязева на целую голову с плечами в придачу выше своих товаров»), «Солнце, жизнь и хлорофилл», «Наука и демократия» и многие другие воспитывали целые поколения... В Москве сооружен памятник Тимирязеву, имя его носит район Москвы, Институт физиологии растений Академии наук, ежегодно проводятся Тимирязевские чтения, установлена Тимирязевская премия за лучшие работы по физиологии растений.

«Почему и зачем растение зелено?» — так называлась одна из научных статей К. А. Тимирязева. Ответ на этот вроде бы незамысловатый вопрос не так прост, как кажется.

Уместно спросить: а почему растение не черно? Ведь если белые поверхности отражают почти все лучи, то черные — наоборот, поглощают весь солнечный спектр. Казалось бы, растения с черными листьями были бы в более выгодном положении!

Увы, черная листва быстро бы перегрелась. И если бы температура листа поднялась выше плюс 50 градусов, это означало бы смерть для растения. Белки — основная составляющая часть клетки — гибнут уже при температуре, лишь несколько превышающей плюс 40 градусов.

Итак, ни белые, ни черные листья растениям не подходят. Но отчего Природа выбрала из промежуточных — зеленый цвет? Ведь мыслима еще и желтая или, скажем, синяя листва?

(Кстати, есть основания думать, что когда-то при зарождении жизни на Земле листва перворастений вовсе не была зелена!)

Листья зелены (теперь это азбука), потому что содержат зеленое красящее вещество — хлорофилл.

Этот зеленый пигмент прекрасно приспособлен для выполнения своей задачи. Он пропускает и отражает те лучи, которые могли бы слишком перегреть растительный организм, и ловит те из них, что наиболее необходимы растениям. КАКИЕ именно? Сейчас узнаем.

СПОР О ЖЕЛТОМ И КРАСНОМ

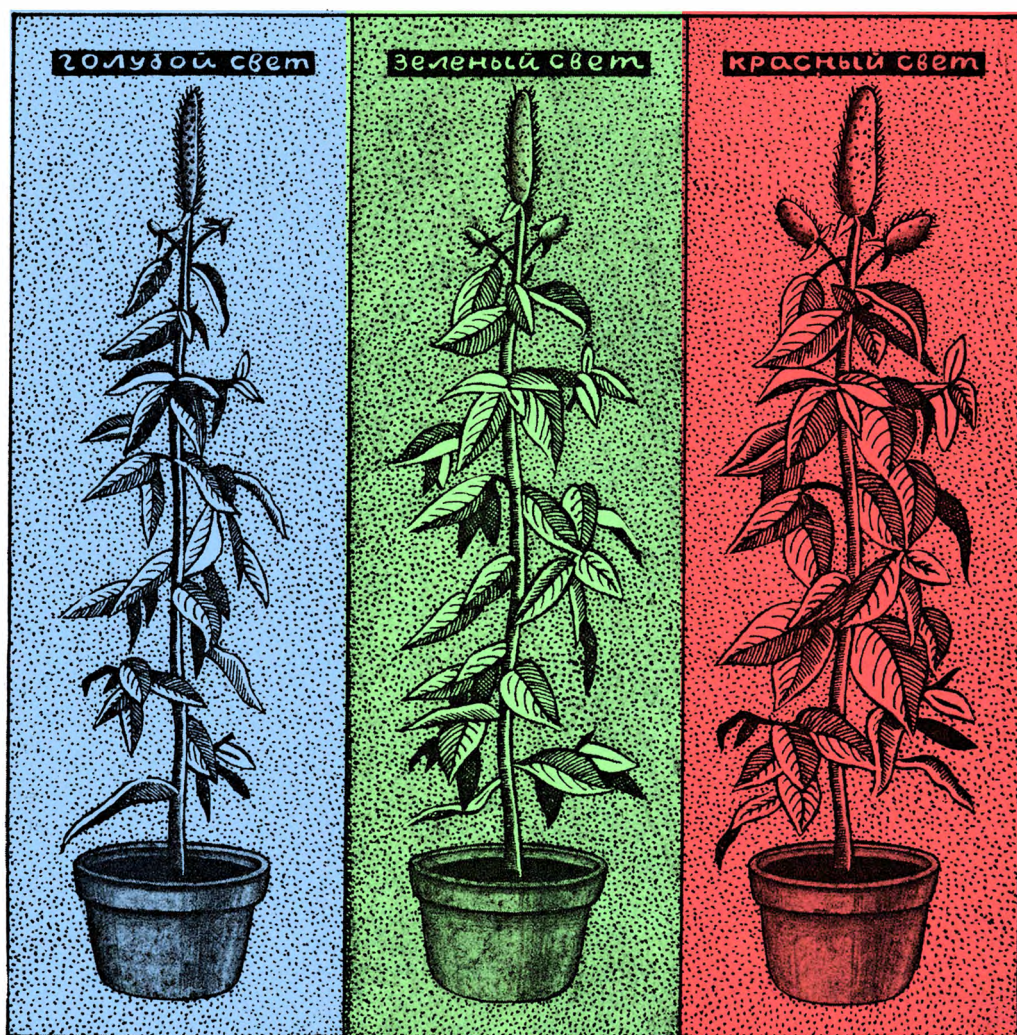
Французский ученый Фламарион поставил серию изящных опытов. Растения росли у него в оранжевых под светофильтрами, пропускавшими только определенные лучи солнечного спектра.

Под голубыми лучами растения развивались хуже всего, лучше при зеленом, и наиболее пышный рост

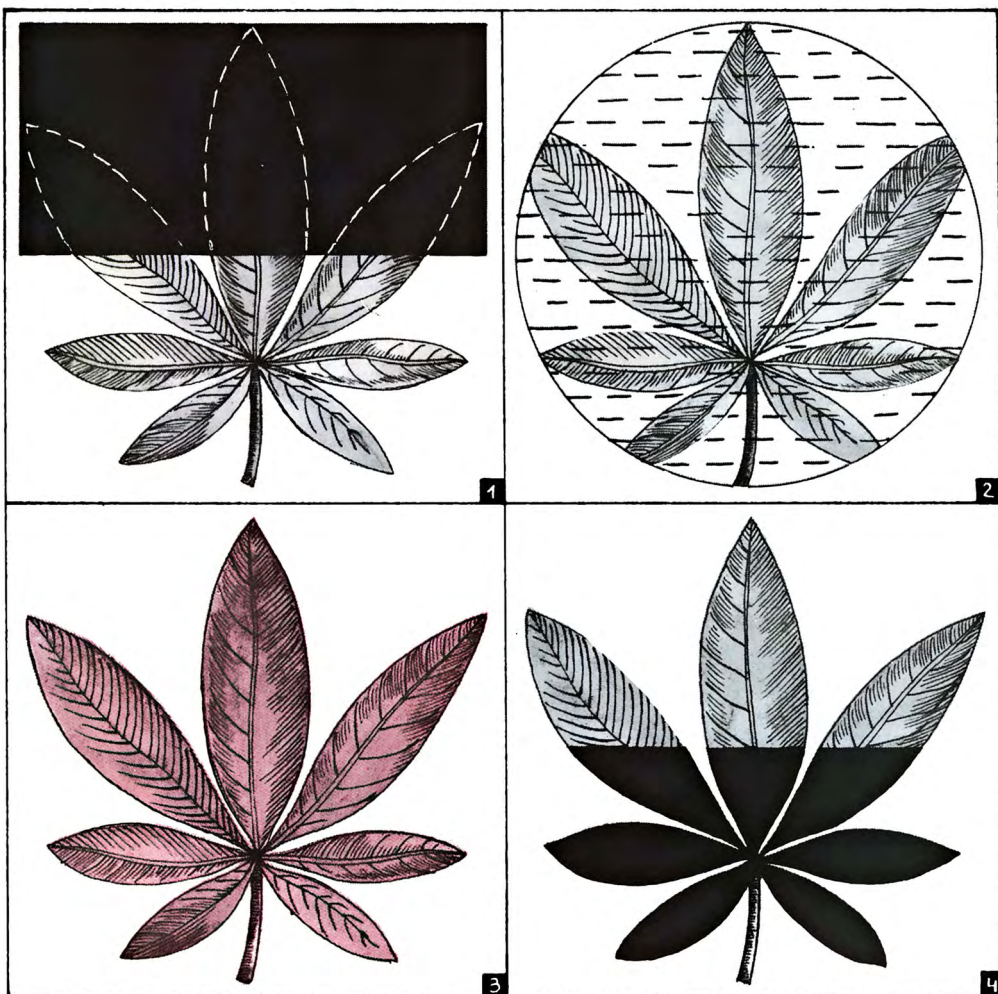
наблюдался при красном освещении.

Мнение Фламариона — красные лучи наиболее нужны растениям — оспаривали немецкие ученые. Их глава профессор Юлиус фон Сакс считал: ростки в основном поглощают желтые лучи.

В то время все восхищались тем, как просто продемонстрировал Сакс факт образования в листе



Рост растения при воздействии различных лучей солнечного спектра.



Опыт с листом:

- 1) одна половина закрыта для лучей, вторая освещена солнцем;
- 2) помещен в спирт;
- 3) обработан йодом;
- 4) часть, освещенная солнцем, стала черной, что указывает на наличие крахмала.

крахмала. Углерод, взятый растением из углекислого газа воздуха, откладывается в крахмал, учил Сакс и доказывал это положение экспериментально.

Он брал зеленый лист, выставлял одну его половину на солнечный свет, другую же закрывал непроницаемым экраном. Спустя некоторое время он, опустив лист в

спирт, обесцвечивал его (лишал хлорофилла), затем обрабатывал весь лист йодом. И в той половине листа, которая была выставлена на свет, обнаруживался крахмал: она синела или чернела от йода. Однако другая, затемненная часть листа цветной реакции с йодом не давала: крахмала в ней не было!..

Но вот в спор Фламариона с

Саксом вмешался К. А. Тимирязев.

Он разрезал лист на пять одинаковых кусков и поместил их в пять пробирок: первую освещал синим светом, вторую — зеленым и так далее. Выяснилось: наиболее действенен для растений красный цвет. Ученый публикует свои результаты.

— «Нет, желтый! — быстро следует возражение из Германии. — Кусочки листа — это еще не целый лист!...»

Тимирязев заставил растение, так сказать, собственноручно «расписаться» в том, что прав был Фламарион. Он использовал оружие своих научных противников — «крахмальную пробу» Сакса.

Тимирязев сумел-таки уложить на отдельном листе весь солнечный спектр, целиком! После обработки йодом он получил амилограмму (по-гречески «амил» — крахмал, «грамм» — отпечаток, запись).

На листе был виден ряд полосок. Среди них выделялась одна, наиболее темная: она была расположена не в том месте, куда, пройдя сквозь призму, падали желтые лучи, а там, где должна была бы красоваться красная полоска спектра.

Все-таки красные! — таков был окончательный, уже не подлежащий отмене (это показали все последующие исследования) научный вердикт.

Но в спектр электромагнитных волн входит не только видимый свет — также инфракрасное излучение, ультрафиолет, космические лучи гигантских энергий... Отчего же растения обходятся лишь видимым светом?

Ответ прост: инфракрасные лучи несут фотоны (световые корпускулы) очень малых энергий. Крошеч-

ных — они не способны вызвать химических изменений в молекулах.

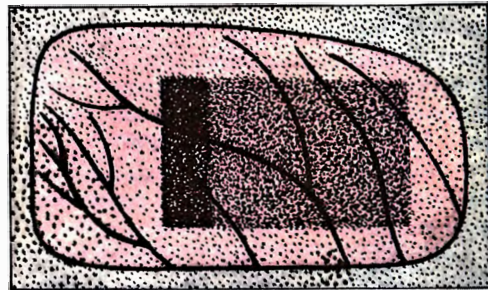
На другом полюсе — ультрафиолетовое излучение настолько богато энергией, что способно погубить зеленый росток: эти лучи вызывают ионизацию и разрушение химических связей. Это «дубинка», все сокрушающая на своем пути.

К счастью для всего живого, слой озона в атмосфере почти полностью задерживает ультрафиолетовую часть солнечного спектра.

Вот и получилось: «питаться» растения могут лишь энергией видимого света. Но и этот участок электромагнитного спектра не прост: есть желтые, зеленые, как мы знаем, и другие лучи... Отчего же растение предпочитает красные?

И тут есть ответ. Красные лучи наиболее интенсивны (они слабее всего рассеиваются атмосферой). Так, в процессе длительной эволюции, растения постепенно выбрали для себя наиболее подходящий участок энергии.

Когда наблюдаешь это удивительное соответствие, невольно рождается мысль: хлорофилл — это избранник природы, ее «любимчик». В нем чувствуется даже нечто мистическое. Словно эта мо-



Амилограмма на листе гортензии (эксперимент К. А. Тимирязева). На лист отброшен спектр лучей; максимальное накопление крахмала там, где расположены красные лучи.

38 лекула — ключ к разгадке многих глубоких тайн живого.

Вот тому пример. Даже при минус 269 градусах хлорофилл, оказывается, не теряет своих удивительных свойств — к такому выводу пришла группа эстонских исследователей, которую возглавляет кандидат физико-математических наук Р. А. Авермаа.

Фотохимические превращения в хлорофилле не прекращаются даже при температурах, близких к абсолютному нулю! Этот факт позволяет несколько иначе взглянуть на эволюцию жизни на Земле.

Вполне возможно, что фотохимические процессы могли протекать в жестких условиях низких температур, в те отдаленные эпохи, когда, по традиционным понятиям, на планете еще не было условий для возникновения жизни...

«ЛИСТОЗЕЛЕНЬ» ПОЛУЧЕНА

Голландец Антони ван Левенгук (1632—1723) не был ученым в строгом, нынешнем смысле этого слова. Занимался торговлей (мануфактура и галантерея), а свой досуг использовал для шлифовки оптических стекол.

В деле этом он достиг такого совершенства, что изготовленные им линзы, которые он вставлял в металлические держатели с прикрепленной к ним иглой для насыщения объекта наблюдения, давали 150—300-кратные увеличения.

Так, в 1674 году, примерно триста лет назад, Левенгук смастерил первые образцы микроскопа.

И тут страсть разглядывать скрытую дотоле от глаз человека часть Вселенной всецело овладела голландским купцом. А человек это был пылкий и неутомимый.

Все, что попадалось ему под руку, Левенгук тут же тащил к микро-

скопу. И волос, и крылышко мухи, и кусочек ткани, и бумагу, и капельку дождевой воды...

Свои наблюдения-открытия Левенгук описывал в научных статьях-письмах, посылая их в Лондонское Королевское общество, членом которого он стал с 1680 года.

Естественно, Левенгук не прошел мимо зеленого листа. В растительной ткани, ее клеточках, он разглядел крохотные зеленые скопления частиц.

В 1698 году, говорят, когда Левенгука посетил Петр Первый, голландец и русскому царю дал поглядеть через линзу на таинственные зеленые шарики...

Левенгук одним из первых наблюдал хлорофилл. Но получили его и, главное, дали ему имя французские химики Пельтье и Каванту. Именно они нарекли «листозелень» (словечко, придуманное Тимирязевым) хлорофиллом (от греческих «хлорос» — зеленый и «филлон» — лист).

Пельтье и Каванту были профессиональными фармацевтами, а значит, и химиками. Из листьев растений, из трав, коры деревьев, из корней они извлекали исцеляющие начала. Особенно прославило их открытие хинина: верного средства против малярии.

Так, возясь с листьями, видимо попутно, не придавая этому слишком большого значения, Пельтье и Каванту открыли хлорофилл.

Опыт с выделением хлорофилла прост и доступен каждому. Стоит залить свежие зеленые листья спиртом, и вы заметите, что спирт окрасится в зеленый цвет, а листья станут бесцветными.

Эту нехитрую операцию и проделали Пельтье и Каванту. Но кроме того, они промыли полученную полужидкую зеленую массу водой (удалив при этом водорастворимые примеси), а затем просуши-

ли ее и получили зеленый порошок. Увы, последующие исследования установили, что этот порошок представляет собой сложную смесь пигментов. Как их разделить?

Сделать это удалось русскому ученому Михаилу Семеновичу Цвету.

РАДУГА ПОД ЛЕЗВИЕМ НОЖА

Цвет (1872—1919) — ботаник, физиолог и биохимик. Его отец — украинец, уроженец Черниговской губернии, высокопоставленный чиновник, значительную часть времени живший за границей; мать — Мария де Дороццо — итальянка турецкого происхождения, воспитанница известного поэта М. А. Жемчужникова. Родился Цвет в Италии (город Асти, неподалеку от Турина), учился в Швейцарии (окончил Женевский университет, 1903), долгое время жил в Польше (она была тогда частью Российской империи), умер в России (в Воронеже). Цвет почти наш современник, но подробностей о его жизни мы знаем немного. Отчасти это связано с тем, что судьба бросала Цвета из страны в страну, из города в город (Лозанна, Женева, Симферополь, Петербург, Варшава, Тарту, Казань, Москва, Нижний Новгород), из одного учебного заведения, где ему приходилось работать, в другое. Он был поэтом (магистерская диссертация его начиналась словами: «Своеобразный таинственный процесс, происходящий в хлорофилловом зерне под прибоем световых волн...»), а дал толчок изобретению приборов, которые можно найти и сейчас на любом заводе, связанном с химической промышленностью. В 1906 году, защитив в Женеве диссертацию («Этюды по физиологии клетки», ее центральная глава посвящена хлорофиллу), Цвет неожиданно (для окружающих!) решает уехать в Россию. Там он вначале работал у Фаминцина, в его фитофизиологической лаборатории (изучал все тот же хлорофилл). Но на птичьих правах в одном из отчетов лаборатории суть исследований Цвета изложена после таких характерных слов: «Посторонними лицами произведены следующие работы...»: ни дипломов, ни ученых степеней, полученных за границей, в России не признавали, а

без них получить штатное место ни в одном учреждении Цвет не мог. Выходил заколдованный круг: чтобы получить степень доктора, надо было иметь университетский диплом, а его не давали без гимназического аттестата (гимназия это в тридцать-то лет?)... Это запутанное дело закончилось переездом в Варшаву и получением сверхскромной должности сверхштатного лаборанта в тамошнем университете. В 1910 году Цвет защитил (уже второй раз, первый — 15 лет назад в Женеве) докторскую диссертацию «Хромофиллы в растительном и животном мире». Цвета удручает непонимание, недооценка ученым миром его работ. Предложенный им хроматографический метод разделения растительных пигментов был слишком смел (ботаников раздражала простота опытов Цвета: проведение их под силу и школьнику!). Ученого тяготит преподавательская деятельность, он хлопочет о создании специальной кафедры, где бы он мог продолжить свои эксперименты, однако влиятельные и сановитые его не поддерживали, мечты великого ученого не сбылись. (Сохранилось письмо жены Цвета на имя товарища министра, она писала: «Вопрос времени, надо сказать, имеет для мужа немаловажную роль. Если хотеть спасти его от тяжелых условий, в которых он прямо гибнет физически, надрываясь от непомерного, не по силам — муж не крепок здоровьем — труда, то это надо сделать, не откладывая! Энергия уходит на преподавание, нравственного удовлетворения — никакого; запас научных идей — мертвый капитал... Личная научная работа сводится к минимуму. И так уходят лучшие годы. Ведь это же гибель!..»)

1915 год. Дивизии кайзера Вильгельма вторглись в Польшу. Цвет вместе с Варшавским политехническим институтом оказался в Нижнем Новгороде. Его избрали (наконец-то!) профессором Юрьевского (Тарту) университета, который в те годы из Эстонии был эвакуирован в Воронеж. Здесь (голод, неустroенность, врожденная болезнь сердца: последние лекции Цвет мог читать только сидя за столом) на 47-м году жизни его настигла смерть. В 1943 году известный женевский ботаник Дэре писал, что Цвет за свое открытие, несомненно, достоин Нобелевской премии, ибо без его хроматографии значительная часть нынешних Нобелевских лауреатов по химии не получила бы столь значительных результатов.

В 1903 году Михаил Семенович Цвет прочел доклад со сложным (для ботаников) и отпугивающим названием: «О новой категории адсорбционных явлений и о применении их к биологическому анализу».

Но суть была проста.

Цвет показал, что при пропускании растворенных в жидкости растительных пигментов через слой бесцветного (пористого) сорбента отдельные пигменты располагаются в виде окрашенных (каждый пигмент имеет собственный цвет или хотя бы оттенок) зон.

Порошок сорбента (это может быть мел, сахарная пудра...) адсорбирует (поверхностно поглощает: латинское «sorbere» значит «глотать») разные пигменты с неодинаковой силой: одни могут «проскочить» с током раствора дальше, другие окажутся задержанными ближе.

Полученный таким образом послойно окрашенный столбик сорбента Цвет назвал хроматограммой, а метод — хроматографией.

На фоне тех усилий, которые уходили на эту процедуру прежде, манипуляции, проделываемые исследователем при хроматографии, похожи на фокус, волшебство.

Вот исследователь в стеклянную трубку, плотно набитую хорошо измельченным мелом, через воронку льет темно-зеленый хлорофилловый экстракт.

И происходит обыкновенное (научное) чудо: медленно спускаясь вниз, жидкость окрашивает порошок в разные тона. Пояски — желтый, зеленый, сине-зеленый, оранжевый...

Осталось немного: столбик мела извлекается из стеклянной рубашки и кладется на стол. И ножом (!) разрезается на отдельные цветные части. В каждой — чистейший пигмент.

Осталось лишь с помощью растворителя вымыть, извлечь нужный исследователю пигмент из соответствующего кольца сорбента...

Хроматографический метод Цвета позволил ученым открыть для себя красочную и загадочную Страну Пигментов.

ПИГМЕНТЫ ЖЕЛТЫЕ, КРАСНЫЕ, ЗЕЛЕННЫЕ...

Листва зелена — эту аксиому разрушает осень с ее желтой, красной и оранжевой листвой.

Хлорофилл хрупок и недолговечен: лучи солнца убивают его, но на смену погибшим молекулам лист синтезирует новые. Однако осенью образование хлорофилла прекращается: лист теряет свою зеленую окраску, обнажая до того скрытые под зеленью другие пигменты.

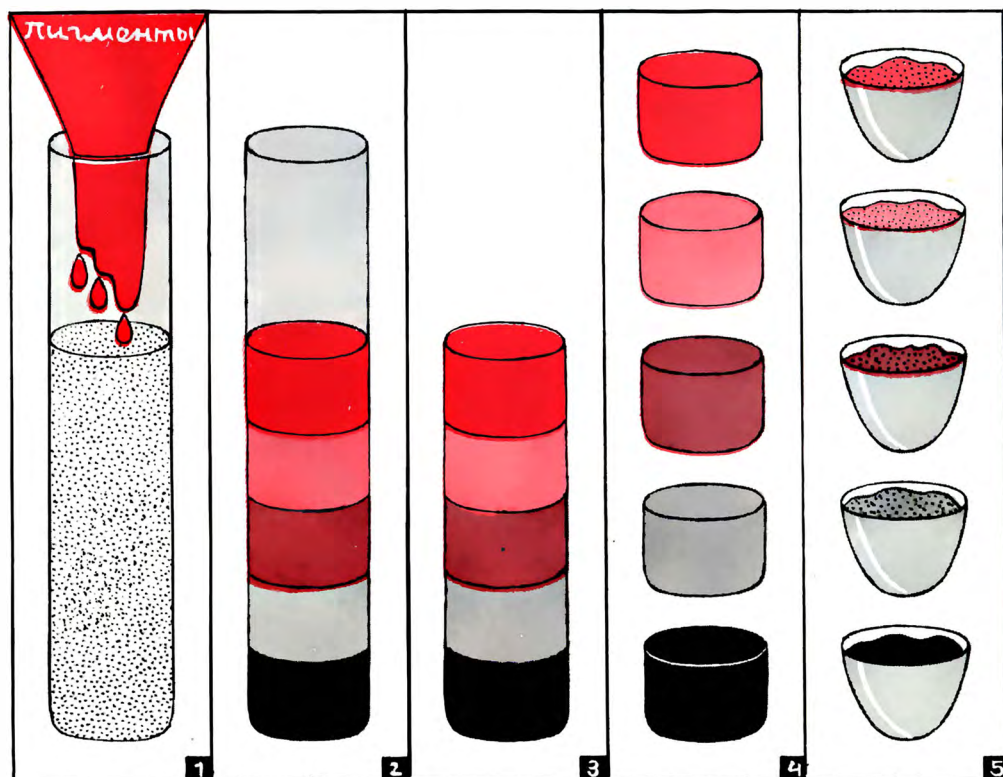
Так гибель и распад рождает красоту, столь восхищавшую поэтов!

Семья растительных пигментов, уже и сейчас довольно многочисленная, растет с каждым годом. Число одних только хлорофиллов подошло к десяти: есть хлорофиллы (словно витамины) а, b, c, d, e — у высших растений, у водорослей, у бактерий.

(Цвет первым показал, что кроме хлорофилла а — он главный! — в зелени растений присутствует еще и хлорофилл b. Ученый, правда, называл их иначе: хлорофилл альфа и хлорофилл бета. Увы! Латынь вытеснила греческий.)

Но особенно «плодовиты» каротиноиды.

Всем хорошо известна эта группа пигментов, окрашивающих морковь, апельсины, лимоны и другие плоды и овощи. И желтая окраска оперения канареек и желтка яйца



Опыты М. С. Цвета с окраской растительными пигментами порошка сорбента. Последовательность операций, позволяющая разделить пигменты.

также обусловлена каротиноидами. (Они же, образуя пигментный слой год жировой оболочкой кожи у обитателей юго-восточной Азии, создали понятие «желтой» расы.)

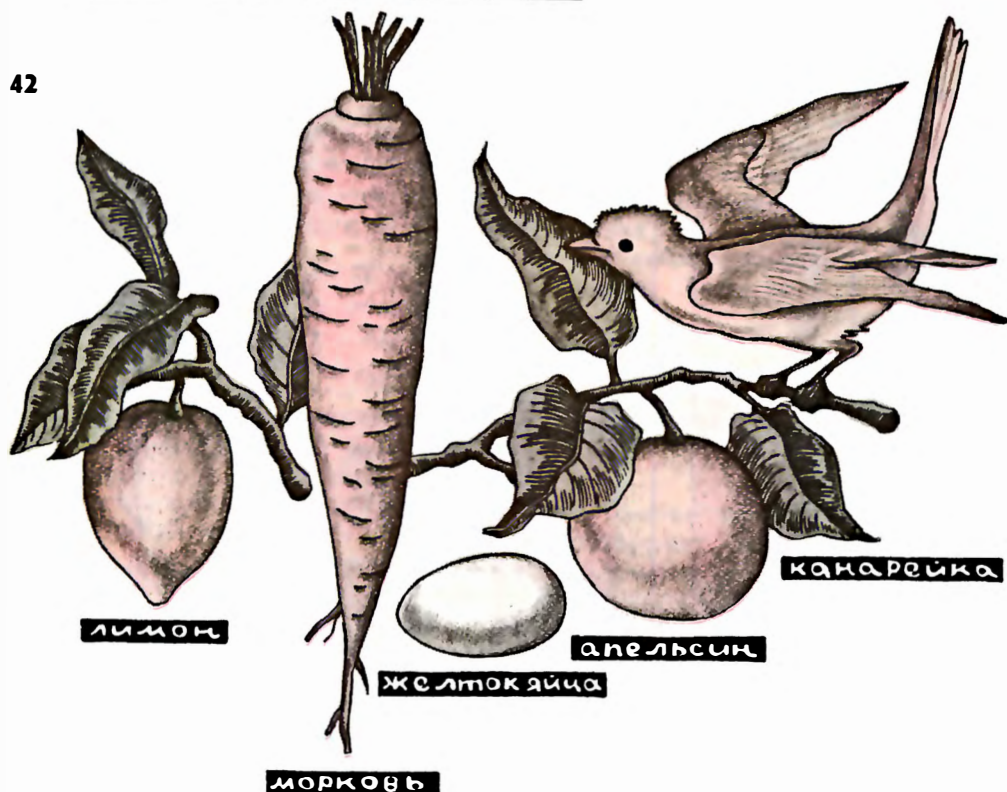
Животные и человек сами не могут синтезировать каротиноиды, которые они используют в качестве предшественника витамина А. Желтки яиц, снесенных курами, получавшими мало зеленого корма, еле окрашены, в то время как оперение канареек, в пище которых было много красных каротиноидов, приобретает яркую красноватую окраску.

Число различных каротиноидов — каротинов (они желты), ксантофиллов (красны) — быстро растет. Если в 1947 году каротиноидов на-

считывалось около 70, то к 1970 году — более 200! Здесь все обстоит также, как в ядерной физике.

Когда-то были только атомы (Демокрит), затем ученые стали говорить об электронах, протонах и нейтронах. Но вскоре, орудуя мощными ускорителями, физики-экспериментаторы начали обнаруживать все новые и новые ядерные частицы. Их стали обозначать просто буквами. Так появились Δ -частицы, Σ -частицы и многие другие.

Сейчас их уже набралось несколько сотен: эпитет «элементарные» был окончательно скомпрометирован. Чтобы наконец разобраться в этом хаосе, физики-теоретики ввели кварки — сверхэлементарные частицы, различными комбинация-



Каротиноиды дарят яркий цвет плодам, яичному желтку, оперению птиц.

ми которых вроде бы являются все остальные. Однако физики-экспериментаторы ну никак не могут их обнаружить!

И пигменты тоже: множатся и множатся, подобно элементарным частицам... И специалисты по фотосинтезу, как и ядерщики, недоуменно разводят руками, силясь объяснить подобную многоликость щедрой на выдумки Природы.

К чему такое изобилие? Когда-нибудь это станет ясным. Пока же известно немного.

Так, ученые установили, что каротин охраняет молекулы хлорофилла от окисления особым синглетным кислородом: он образуется как побочный продукт в процессе фотосинтеза и крайне агрессивен.

Другая функция желто-красных пигментов — видимо, расширить интервал эффективных для фотосинтеза длин волн света. Те лучи, которые хлорофилл не в состоянии ассимилировать, поглощают каротиноиды и «передают» на переработку молекулам хлорофилла.

Растительные пигменты преподносят ученым еще немало сюрпризов. Но, как и прежде, наиболее интригующим среди них остается зеленый пигмент — хлорофилл.

Вот уже полтора столетия ученые многих стран мира упорно исследуют это загадочное вещество. Если перебрать все химические соединения, то среди них хлорофилл по числу посвященных ему публикаций, вероятно, занимает

первое место. И длинный список этих работ непрерывно пополняется.

ГОЛУБАЯ КРОВЬ АРИСТОКРАТОВ

Целое поколение ученых билось над тем, чтобы разгадать строение молекулы хлорофилла, его структуру.

Как ее определить? Химическая практика тех времен предлагала одно: разбить молекулу хлорофилла, так сказать, вдребезги, на кусочки, а затем, исследуя структуру отдельных фрагментов и постепенно усложняя, увеличивая их размер, построить (если повезет!), восстановить целое.

Как в головоломке, перебирая вариант за вариантом, нащупывая удачные комбинации из всяких там «хвостиков», «уголков», обрывков молекулярных «цепочек», ученые наконец (1939 год) нашли искомое.

Сейчас в любом учебнике по физиологии растений можно найти «портрет» этой молекулы. Структурная формула хлорофилла занимает целую страницу. Хотя истинные его размеры предельно скромны — 30 ангстрем (ангстрем — одна стомиллионная доля сантиметра).

Молекула хлорофилла похожа на... головастика. У нее плоская квадратная «голова» (хлорофиллин) и длиннющий «хвост» (фитол). В центре головы, словно глаз циклопа или алмаз в царской короне, красуется атом магния.

Присутствие в хлорофилле углерода, водорода, кислорода и азота ожидалось. Но атом магния — это был для ученых сюрприз! Хлорофилл оказался первым соединением в живой ткани, содержащим этот элемент.

В молекуле хлорофилла а содержится 137 атомов, у хлорофилла в — 136. Химическая формула пер-

вого — $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$, второго — $C_{55}H_{70}N_4O_6Mg$, где химические символы C, H, N, O, Mg означают углерод, водород, азот, кислород и магний, а цифры — количество этих атомов в соединении.

Но каким образом все это скопище атомов связано меж собой?

137 атомов! С учетом валентности атомов, возможных химических связей между ними, расположением в пространстве: астрономическое число комбинаций можно получить!

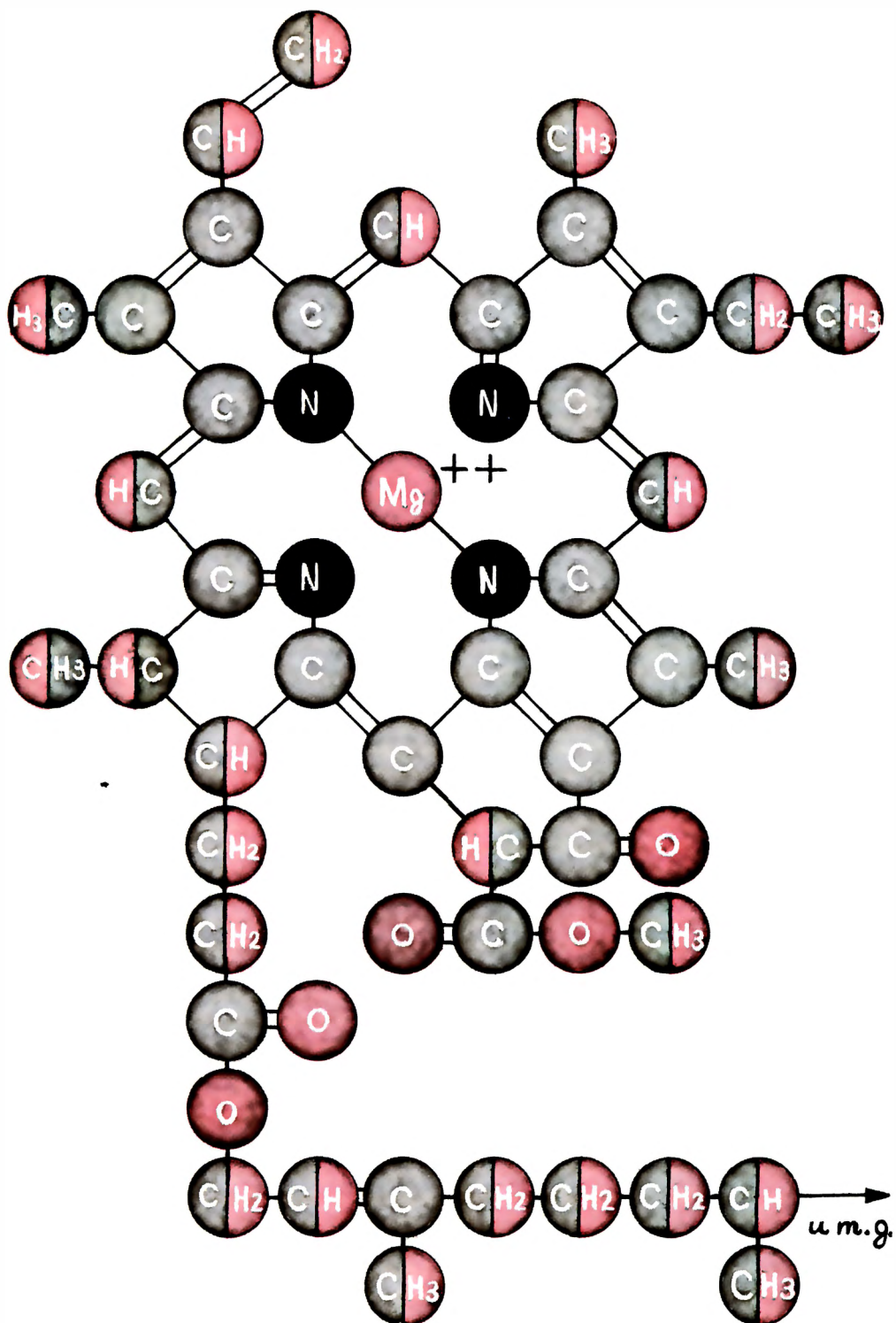
Многие годы ученые нащупывали наиболее эффективные подходы к решению этой задачи. Наиболее плодотворным оказался метод последовательного расщепления молекулы хлорофилла действием крепких щелочей, кислотами и другими реактивами — на холоде и при повышенных температурах — с последующим анализом образующихся при этом продуктов распада.

В этих исследованиях — начал их немецкий биохимик Рихард Вильштеттер (1872—1942), продолжали другие ученые и закончил немецкий химик-органик Ханс Фишер (1881—1945) — удивительным образом научная судьба хлорофилла переплелась с научной судьбой другого не менее замечательного соединения — гема.

Когда мы думаем о растениях, то прежде всего вспоминаем их зеленый цвет.

А кровь человека красна: ее окрашивает гем. Растениям же зеленую окраску, как мы уже знаем, придает хлорофилл.

Казалось бы, все естественно: гем переносит кислород в артериях из органов дыхания в ткани, а хлорофилл помогает растениям запасать энергию солнечных лучей — разные функции, различна и окраска! И ожидать какого-то соответ-



Структурная формула молекулы хлорофилла. Длинный «хвост» (фитол) даже не поместился на рисунке.

ствия между хлорофиллом и гемом трудно. Но в том-то и фокус, что на деле эти молекулы почти близнецы. Многие исследователи (Вильштеттер, Тимирязев, поляки — Марцелл Ненцкий и Леон Мархлевский и другие) отмечали (и доказывали!) «кровное» родство хлорофилла и гема. Одно время даже пытались лечить хлорофиллом малокровие!

В основе и гема, и хлорофилла (и многих других важных биологических соединений: это еще одна из ценных находок природы) лежит порфин — структура из четырех колечек (пиррола), соединенных углеродными мостиками в большое кольцо.

...Ханс Фишер вначале изучал гем. Дробя эту молекулу, он вскоре убедился: ее основу составляет порфин. Кольцо из колечек.

То же было и у хлорофилла; отличие заключалось лишь в «хвостиках», коротких цепочках атомов, прикрепленных к восьми «углам» порфина.

Дальнейшие исследования Фишера и его сотрудников показали, что у гема эти хвостики могут быть с одним, двумя и тремя углеродными атомами.

А всего возможных способов прикрепления хвостиков трех сортов к восьми углам, как установил Фишер, было ровно пятнадцать.

Вопрос стоял так: как надо прикрепить хвосты, чтобы получилась молекула гема?

Фишер поступил просто: он разбил своих студентов на 15 групп: каждая группа получила свое задание — синтезировать вполне определенную (одну из пятнадцати) комбинаций порфина и хвостов.

И каждую из этих синтезированных молекул Фишер сравнивал с порфином (хвостатым), выделенным из гема.

Искомое решение дал порфин IX.

Ну а гем синтезировали тогда, когда в центральную часть порфина IX (кольцо колец) встроили атом железа.

Труд Фишера по расшифровке и синтезу гема был увенчан Нобелевской премией. Но ученый не захотел успокоиться на достигнутом: теперь его увлекла загадка хлорофилла.

Быстро было установлено: основу хлорофилла составляет все тот же порфин IX, однако вместо атома железа в него «вкраплен» атом магния (присутствие последнего доказал еще Вильштеттер).

Железо и магний. Небольшая вроде бы замена, но кровь (гем) имеет алую окраску, а листья (хлорофилл) зеленую.

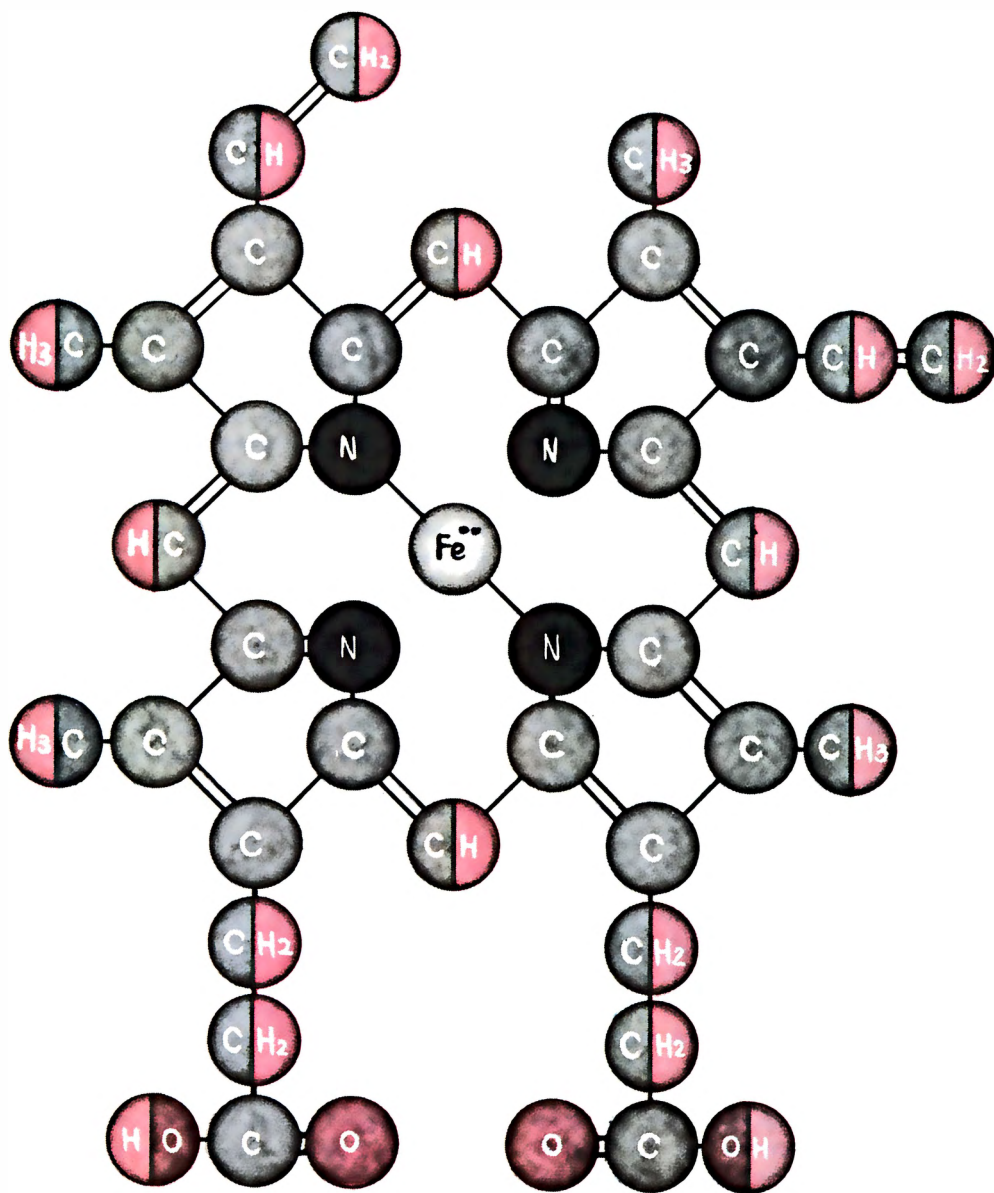
(Кстати о цвете крови: она вовсе не обязательно должна быть алой. У червей-аннелид, к примеру, хлоркруорин — пигмент, придающий окраску крови у этих созданий, — отличается лишь малой деталью от гема крови высших животных: первый содержит альдегидную группу атомов в том месте, где у второго — винильная группа. В результате: кровь у аннелид не красного, как мы привыкли, а зеленого цвета!

Еще пример. Гемоцианин — пигмент крови некоторых моллюсков. В окисленном состоянии он окрашен в синий цвет. Это потому, что в гемовой оправе — порфин IX — он содержит атом меди, а не железа.

Голубая кровь аристократов... Надо бы биохимикам заняться этим вопросом!..)

Но вернемся к хлорофиллу. Его химическая формула (смотри выше) отличается от химической формулы гема ($C_{34}H_{32}O_4N_4Fe$) не только магнием.

Продолжая свои научные розыски, Фишер убедился: в том месте, где у молекулы гема висит трехуглеродный хвостик, у молекулы



Структурная формула гема.

хлорофилла торчит громадный хвостик — двадцатиуглеродная цепь, названная фитолом...

Может возникнуть естественный вопрос: зачем хлорофиллу фитол? Ну а если ставить вопрос шире:

к чему все эти сложности, переплетения десятков атомов? Зачем такая громоздкая конструкция?

Если здоровый, способный к фотосинтезу, зеленый лист растения, лежащий на стекле, легко прокатать

стеклянной палочкой, то, сохранив в себе все химические компоненты, лист все же теряет способность к фотосинтезу.

Этот простой опыт демонстрирует важность структуры в живых тканях. Все физические и химические ингредиенты должны быть собраны, упакованы вместе в совершенно определенную целостную структуру.

Так, гем без несущего его на себе белка — глобина — теряет свои замечательные свойства. Точно так же и хлорофилл: его дееспособность теснейшим образом связана с белковыми и иными структурами.

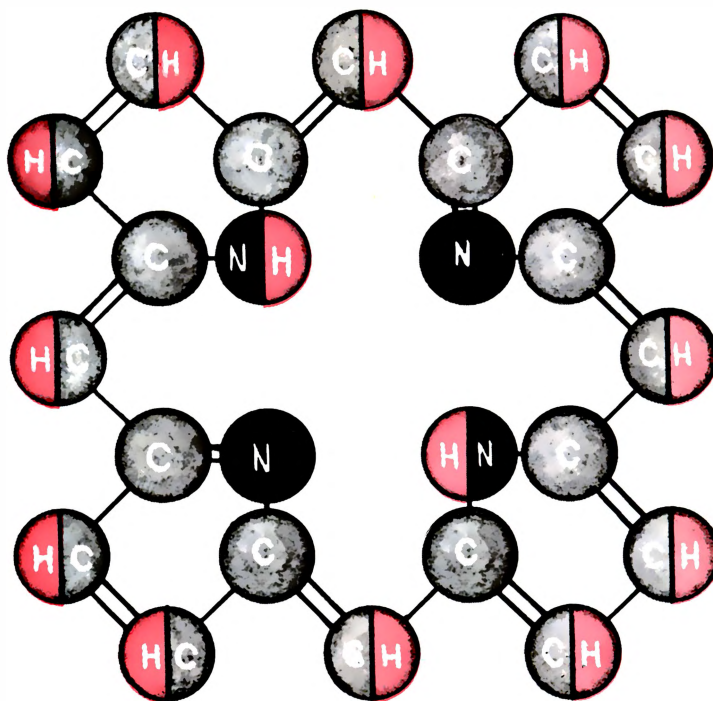
Головка молекулы хлорофилла гидрофильна, как и белки, она хорошо смачивается водой. А его фитильный хвост, напротив, гидрофобен — отталкивает воду, хорошо растворяясь в жирах, липидах.

Собственно, гидрофобный хвост хлорофилла и нужен ему, чтобы с его помощью внедриться, встроиться в липидную часть биологических мембран, повернув свою головку к белковым структурам.

Если бы гем, неустанно перемещающийся по руслам кровеносных артерий, не был бы таким бродягой, а сидел на одном месте, он, вероятно, также бы обзавелся фитильным хвостом!

ПРОДАВШИЙ ДУШУ МЕФИСТОФЕЛЮ

Однажды известного химика-органика Д. Бартона спросили, чего бы он пожелал, явись к нему Мефистофель. Ученый ответил: «Я думаю, этот вопрос следовало бы за-



Порфин — структура из четырех колечек, соединенных углеродными мостиками в большое кольцо.

48 дать не мне, а доктору Вудворду, потому что я совершенно уверен: он продал свою душу дьяволу лет двадцать назад за право стать гением органической химии...»

Вудворд (1917—1979)—американский химик-органик, химией увлекся с детства: имел дома химическую лабораторию, где проводил всевозможные опыты. В 16 лет поступил в Массачусетский технологический институт и был бы исключен в 17 лет за неуспеваемость, если бы преподаватели не успели разглядеть его недюжинные способности. Для него одного была организована специальная программа занятий: по сути дела, ему предоставлялась полная свобода и самостоятельность. И эта мера оправдала себя: когда в 1936 году сокурсники 20-летнего Вудворда получали степень бакалавра, он сам удостоился степени доктора философии (эта ученая степень эквивалентна степени кандидата наук в СССР). В 21 год он уже был в числе сотрудников Гарвардского университета. Здесь им были синтезированы сложные и биологически очень важные органические соединения: хинин (1944), кортизон (1951), резерпин (1956), хлорофилл (1960), тетрациклин (1962)... В 1965 году за эти работы он был удостоен Нобелевской премии.

Сенсация!! «Ученые покорили фотосинтез!..», «Конец голоду и нищете: теперь каждый сможет готовить себе пищу на любой вкус и в любом количестве!..»

Возможно, примерно такими словами газеты США и других стран могли бы оповестить в 1960 году мир о том, что Роберт Бёрнс Вудворд добился небывалого — осуществил синтез хлорофилла.

Да, конечно, это был крупный успех. Одно дело — разгадать состав и структуру этой знаменитой молекулы, совсем иное — синтезировать ее искусственно!

Вудворд готовился к подобному подвигу буквально с детских лет. Искусство, артистичность — вот, что характеризует стиль его работ. Его подходы, методы так же отличают-

ся от традиционных, как дедуктивный метод Шерлока Холмса от приемов инспектора Лейстрейда.

И все же над синтезом хлорофилла Вудворду пришлось изрядно потрудиться. Он возглавил громадный коллектив ученых-химиков. Ведь полный синтез хлорофилла включал в себя до 30 стадий!

Это дело потребовало долгих четырех лет. Вудворд как-то признался: «Мы не просто играем, а напряженно и упорно трудимся. Этот труд требует от нас не только большого экспериментального мастерства, но и железных нервов...»

Да, это была научная сенсация. В популярной литературе того времени это замечательное достижение приравнивалось к решению (и окончательному!) всей проблемы фотосинтеза. И даже революции в производстве пищи!

Вспоминали, в частности, слова К. А. Тимирязева, некогда писавшего: «Тогда явится находчивый изобретатель и предложит изумленному миру аппарат, подражающий хлорофилловому зерну,— с одного конца получающий даровой воздух и солнечный свет, а с другого подающий печеные хлебы».

Однако революция не состоялась. Почему? Отчего инженеры до сих пор не создали аппарата, «пекущего хлебы» из воздуха и солнечных лучей?

Все очень просто. Хотя природа, надо полагать, не случайно использует хлорофилл как универсальный фотосинтетический пигмент всюду, начиная от простейших одноклеточных водорослей и кончая высшими растениями, листу необходимо и многое другое: различные ферменты, особая структура, хитрые комплексы из белков, пигментов.

Ученые—знатоки фотосинтеза—давно уже поняли всю неизмеримую сложность этой грандиозной проблемы. Двухсотлетний опыт исследований показывает: не существует одной загадки фотосинтеза, а есть целый ряд ключевых вопросов. И механизм действия хлорофилла — лишь один из них.

Поэтому-то блестящий синтез хлорофилла, осуществленный американцем Вудвордом (справедливости ради следует отметить, что почти одновременно с Вудвордом хлорофилл был синтезирован в ФРГ Марином Штрель и его сотрудниками), ничего не решал окончательно.

ОТЧЕГО БЫ
В СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ
НЕ ЗАМЕНИТЬ КРЕМНИЙ
ХЛОРОФИЛЛОМ?



Глава ХЛОРОФИЛЛ: 3 НАДЕЖДЫ ЭНЕРГЕТИКОВ

Свет — это вечно натянутая пружина, приводящая в действие механизм земной жизни.

Юлиус Роберт Майер

Всущности, что бы ни производил сельский хозяин или лесовод, он прежде всего ПРОИЗВОДИТ ХЛОРОФИЛЛ и уже через посредство хлорофилла получает зерно, волокно, древесину и т. д.» — так писал К. А. Тимирязев. Писал еще в прошлом веке.

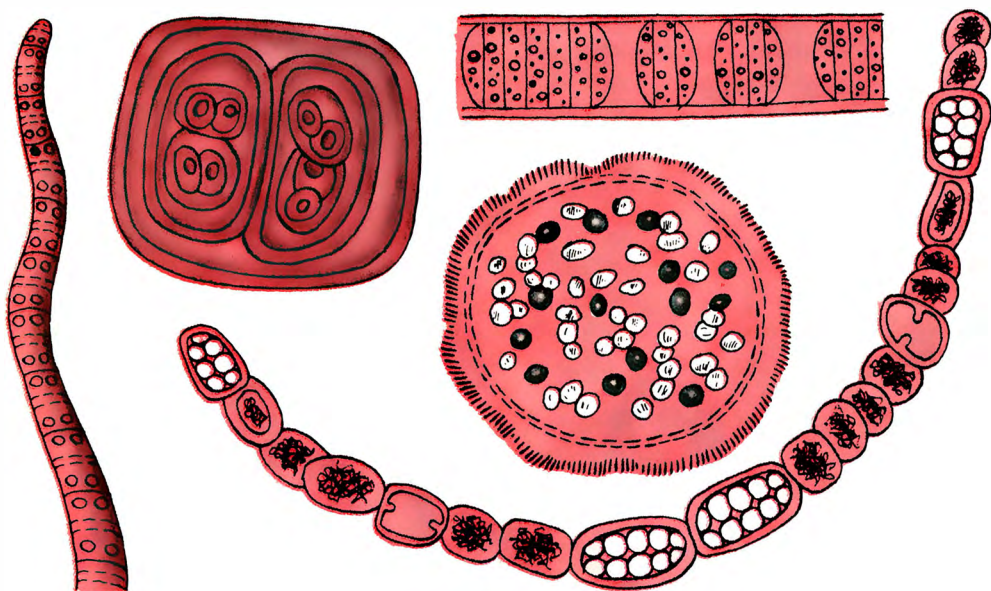
А в наши дни хлорофиллом заинтересовались энергетики. Вот характерная заметка, промелькнувшая в одном из научно-популярных журналов.

«В Японии проводятся исследования по преобразованию солнечной энергии в электрическую с помощью синезеленых водорослей. Выращенные в культурной среде водоросли тонким слоем наносят на прозрачный электрод из окиси олова и вместе с противоэлектродом погружают в буферный раствор. При освещении водорослей солнечным светом в цепи идет ток. Пока всего лишь несколько микроампер...»

Зеленые фотоэлементы? Экзотика, прихоть исследователей? Или эскиз техники завтрашнего дня? Скорее второе.

В нашей стране вопросы технического использования хлорофилла и других растительных пигментов впервые начал изучать академик Александр Николаевич Теренин.

Теренин (1896—1967) — советский физико-химик, академик (1939), Герой Социалистического Труда (1966), родился в Калуге, интерес к науке проявился у него уже в реальном училище (занимался в физическом кружке, знал К. Э. Циолковского лично, знаменитый земляк привлекал внимание юноши к проблемам реактивного движения, но обратить Теренина в свою веру ему не удалось), в 1914 году Теренин в Петрограде начинает учебу в Психоневрологическом институте (заинтересовавшись проблемами интеллекта и контактов между людьми, хотел было даже стать режиссером, но в конце концов увлекся моле-



Синезеленые водоросли. Жизнь на Земле во многом обязана этим хлорофиллоносным созданиям.

кулами, осознав, что с ними можно разыгрывать не менее яркие «спектакли», чем с актерами!). В 1915 году учеба прервалась: Теренина мобилизовали в армию, в лаборатории военного ведомства он проводит спектральные и фотометрические исследования трофейных светосоставов, окончил Петроградский университет (1922), одновременно с учебной работой с 1919 года в только что созданном Оптическом институте лаборантом при мастерских. (Его руководитель — будущий академик Д. С. Рождественский, — давая ему первую тему для студенческой работы, писал: «До Вас этой темой безуспешно занимались уже два Александра Николаевича — Заборовский и Захарьевский. Вы — третий. Постарайтесь дотянуть чувствительность фотопластинки до длины волны в 1 микрон, где находится линия спектра ртути. Вот Вам последние остатки импортного дицианина, позволяющего на пределе достигнуть длины волны в 0,9 микрона, но расходуйте его только в случае крайней необходимости. Желаю Вам успеха». Наметив столь мрачные перспективы предстоящей работы, Рождественский отбыл в длительную зарубежную командировку. Уже в этой первой своей научной работе Теренин проявил блестящее мастерство экспериментатора. Не потратив и грана драгоценного дицианина, он нашел нестандартное решение. Его выводы исправили ошибочные результаты Мак Леннана.) Теренин проработал в Государственном оптическом институте почти 50 лет (руководил им в 1945—1956 годах), одновременно вел кафедру в Ленинградском университете. Главная тема работ Теренина — воздействие света на вещество. Им владело страстное желание решить проблему химического использования энергии Солнца, создать искусственные светоприемники, способные конкурировать с естественными (прозорливо отмечал, что нет смысла полностью копировать системы, сложившиеся в результате сложной эволюции). В дело это Теренин вкладывал всю свою удивительную энергию и страсть (в 1964 году на Международном конгрессе по фотобиологии, представляя Теренина, профессор Боуэн так его характеризовал: «...доктор Теренин сам есть устойчивое, крайне энергетичное, активное и ярко светящееся состояние материи...»). Теренин создал большую школу советских фотохимиков, наука для него была единственной целью и главным смыслом жизни (уже тяжело больной, находясь в больнице, он потребовал пристроить к кровати специальный пюпитр, на котором написал последнюю книгу «Фотоника молекул красителей»). Он — инициатор создания Инсти-

тута фотосинтеза Академии наук СССР, был первым председателем Научного совета Академии наук СССР по фотосинтезу, награжден четырьмя орденами Ленина, Государственной премией СССР (1946), Золотой медалью имени С. И. Вавилова (1953) за работы по люминесценции, Золотой медалью Болонского университета (1959), Золотой медалью имени Финзена (1964) и другими почетными научными наградами.

ОБЫКНОВЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК

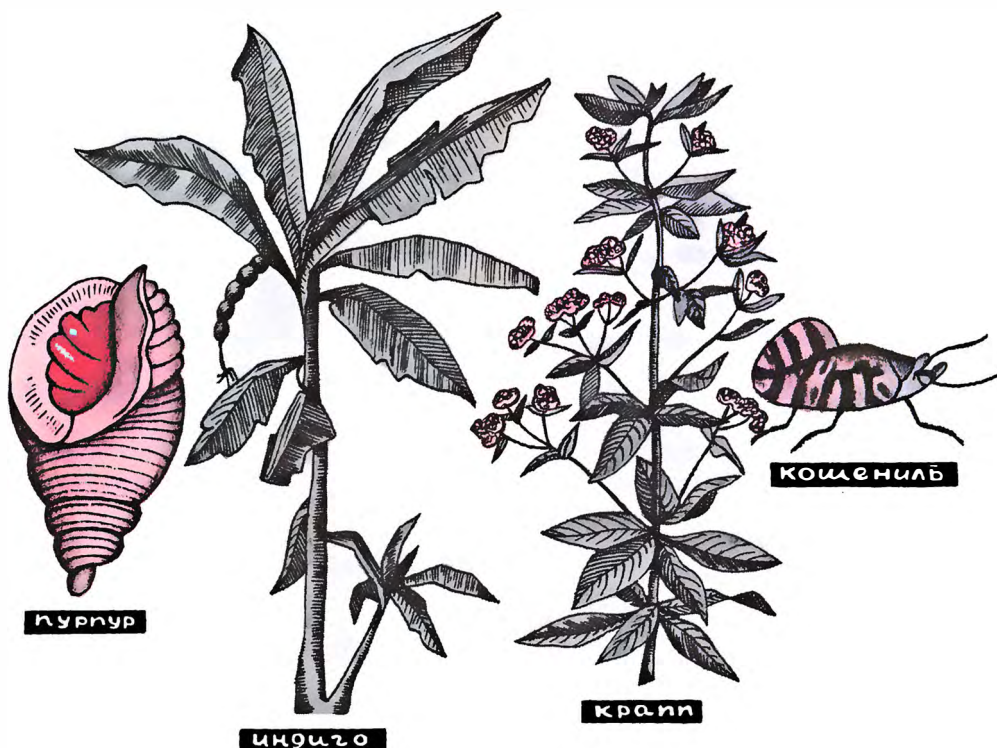
А началось все с практического вопроса: как помочь промышленности в борьбе против выцветания красителей?

Вещества, которыми красят, например, ткани, поглощают свет. Мельчайшие порции световой энергии — фотоны — разбивают молекулы красителя, и он разрушается, выцветает.

Когда в первые послевоенные

годы в лаборатории академика Александра Николаевича Теренина в Ленинграде стали изучать эти процессы, неожиданно выяснилось: красители — это типичные полупроводники.

Но если на минуту отвлечься от проблем собственно фотосинтеза и взглянуть на дело широко, то все пигменты, которыми наполнены листья растений, также предстанут перед нами как рядовые великой армии КРАСИТЕЛЕЙ!



В древности красители получали из желез улитки, листьев тропических растений, корней марены, из насекомых, паразитирующих на кактусах.

Среди многообразных соединений органической химии красители выделяются интенсивным поглощением лучей видимого света. Это и обуславливает их яркие цвета: поэтому они и используются с давних пор (в Индии и Китае этим делом занимались уже 4000 лет назад) для крашения.

Так, знаменитый краситель, используемый древними греками и римлянами, — пурпур — добывался из желез улиток пурпурниц. Из десятков тысяч этих моллюсков удавалось извлечь всего около 1 грамма пурпура. Потому и стоил он дороже золота и слоновой кости. В Древнем Риме только император и его семья имели право носить багряницу — ткань, окрашенную пурпуром.

Естественными красителями в древности были также индиго — прежде его получали из листьев тропических растений — и крапп: его добывали из корней растения марена. Краситель кошениль извлекали из насекомых, паразитирующих на кактусах. Кошениль была составной частью дани, которой Кортес обложил ацтеков после завоевания Мексики...

К красителям у человека отношение пристрастное. Мир, лишенный красок, утратил бы многое. Но кроме эстетики, тут кроется и глубокая физика: красители — мощные приемники солнечной радиации, способные превращать ее в иные формы.

А. Н. Теренин, всю жизнь изучавший взаимодействие света и вещества, не мог не увлечься красителями и пигментами. Эта тема на долгие годы становится одной из ведущих на его фотохимических семинарах.

Энергию растению дает свет — это теперь азбука. Но как все происходит?

Прежде всего, как молекулам

удается поймать и — главное — удержать энергию световых лучей? Удержать (ведь хлорофилл, как и красители, может просто высветить энергию, и она потратится впустую) достаточно время, в течение которого будут реализованы полезные для растения процессы.

Молекула красителя способна поглотить только один фотон. При этом она приходит в так называемое возбужденное состояние. Это значит, что один из ее электронов изменяет свой статус: перескакивает на более высокий энергетический уровень.

Тут начинаются варианты: возбужденное состояние молекулы называется синглетным, если переход электрона вверх по энергиям не сопровождается изменением знака его спина (от английского spin — вращаться, вертеться) — характеристики собственного момента импульса.

Синглетному состоянию (или просто синглету) в спектре поглощения соответствует лишь одна линия (отсюда и английское название single — один, единственный).

Другой вариант — триплетное возбужденное состояние молекулы красителя или пигмента. Теперь электрон при переходе меняет знак спина (волчок переворачивается вниз головой!). В спектре появляются не одна, а сразу три характерные линии (отсюда и название — триплет).

Синглет и триплет различаются и временем жизни. Синглетные молекулы живут в возбужденном состоянии очень мало, примерно 10^{-9} секунды, а триплетные уже порядочно — 10^{-3} секунды (разница на шесть порядков!).

В 1943 году Теренин обосновал ныне общепринятые представления о том, что у молекулы хлорофилла фотохимически активным состоя-

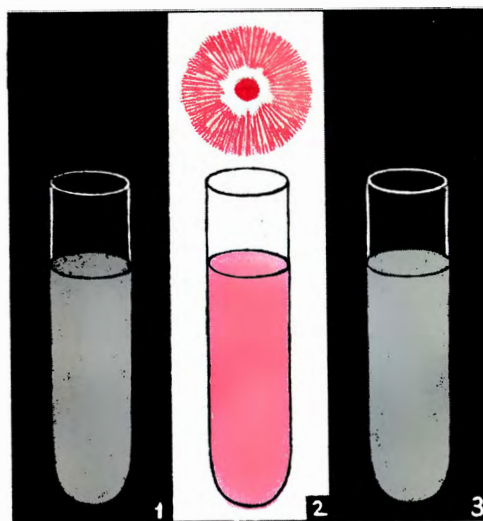
нием является именно долгоживущее триплетное состояние. Что молекула хлорофилла (ее порфириновое кольцо) так и «сконструирована» специально природой: в триплетном состоянии (для молекулы время 10^{-3} секунды не так уж и мало) хлорофилл может удерживать энергию кванта света достаточно долго, чтобы смогла совершиться ее дальнейшая утилизация.

Годом позже, в 1944 году, американский физико-химик Дж. Льюис независимо от Теренина высказал ту же мысль. Любопытно, что после окончания войны, ознакомившись с советскими работами, Льюис обратился к Теренину с письмом, в котором признавал его приоритет.

Неожиданным итогом этой большой работы, проводившейся долгие годы советскими учеными, явилось то, что постепенно флёр таинственности, пелена мистики, ореол избранности начали спадать с хлорофилла. А что если хлорофилл тоже всего лишь типичный полупроводник? И действует в зеленом листе по тем же принципам, что и его технические собратья? Но как это доказать?

Дело, начатое Терениным, было продолжено уже в Москве в Институте биохимии Академии наук СССР его сотрудником — ныне академиком Александром Абрамовичем Красновским.

Красновский (родился в 1913 году в Одессе) — советский биохимик и биофизик, академик (1976), ученик А. Н. Теренина. Путь в науку для Красновского начался в 1928 году, когда, окончив в Москве школу-семилетку (школу II ступени, как говорили тогда), он поступил на химические спецкурсы, реорганизованные вскоре в III Московский химический техникум Всехимпрома. С 1931 года работал химиком на Бутырском химическом заводе № 3 Анилтреста в Москве, а по вечерам учился в Московском химико-технологическом институте имени Д. И. Менделеева, который окончил с



Стадии проводимого А. А. Красновским опыта, подтвердившего, что хлорофилл является полупроводником.

отличием в 1937 году, получив диплом инженера химика-технолога. (Всю жизнь овладевая знаниями, Красновский щедро делился ими с окружающими: еще школьником проводил занятия в кружках по ликвидации безграмотности, на заводе вел курсы повышения квалификации мастеров, став после окончания института аспирантом, читал лекции по химии для инженерно-технических работников...) В предвоенные годы между Терениным, жившим в Ленинграде, и находившимся в Москве Красновским установилось тесное научное общение. Эта интеллектуальная, крайне плодотворная для советской науки, связь (частые встречи, обширная переписка) продолжалась около 30 лет до самой смерти Теренина. В 1945 году Теренин вместе с Красновским (он был тогда докторантом Теренина) организуют в Институте биохимии Академии наук СССР имени А. Н. Баха лабораторию фотобиохимии. В ней Красновский работает и до сих пор. Мысль о том, что хлорофилл способен инициировать окислительно-восстановительные реакции, впервые (1893) высказал русский ученый и революционер Алексей Николаевич Бах, но это надо было доказать прямыми и неопровержимыми экспериментами, что и сделал в 1948 году Красновский. Он показал, что возбужденный светом хло-

рофилл может испытывать обратимые превращения. Теперь все это стало классикой, освящено известными во всем мире словами «реакция Красновского». Ученый открыл также существование в зеленом листе различных форм молекул хлорофилла (номерные, агрегированные, комплексы с белками), им предложен и ряд моделей химической эволюции фотосинтеза. Особенности своего научного стиля — стремление к однозначному решению задач простейшими экспериментальными средствами — Красновский обучил и своих многочисленных учеников, которых он воспитал в основном на биофаке МГУ. Его прямыми учениками являются многие видные советские ученые — фотосинтетика и фотобиологи — В. Б. Евстигнеев, Ф. Ф. Литвин, С. В. Конев, Ю. А. Владимиров, А. Б. Рубин, Н. В. Карапетян, Ю. Е. Ерохин, В. А. Шувалов и многие другие.

Надо было прежде всего создать простейшие модели тех сложных явлений, которые идут в живом листе. Это и сделали советские ученые.

И внешне эксперимент выглядел весьма эффектно. Одной из первых моделей живого листа для ученых, как это ни удивительно, служил раствор хлорофилла в пробирке.

А теперь — главное. (Научные тонкости и подробности мы опускаем.) Поставим пробирку на окно, на солнце — она вскоре начинает приобретать красный цвет. Минут через десять жидкость становится совсем красной (это состояние хлорофилла позже стали называть «красная форма Красновского»).

Убрали пробирку снова в темноту — и (о чуде!) красный цвет раствора постепенно вновь сменяется зеленым...

В этих превращениях заключен глубокий смысл. В долгой серии этих и других более поздних экспериментов советские ученые показали: хлорофилл может действовать как полупроводник. Это, если упростить дело, и есть тот «насос», который в зеленом листе, повинуюсь

энергии солнечных лучей, «перекачивает» электроны. (В тех опытах, о которых было только что рассказано, хлорофилл, понукаемый светом, отбирал у находящейся также в растворе аскорбиновой кислоты электрон, переходя в восстановленную форму, это и есть «реакция Красновского».)

В сказке про глупых жителей одного города говорится, будто они сначала построили дом без окон, а потом долго и упорно таскали в него мешками солнечный свет.

Абсурд, нелепица! Но хлорофилл и другие пигменты как раз и являются такими «световыми мешками» или, лучше, «антеннами», способными улавливать излучение Солнца и преобразовывать его в химическую энергию продуктов фотосинтеза.

И структура молекулы хлорофилла прекрасно приспособлена для этого дела. Эта молекула обладает очень развитой системой сопряженных связей. Поэтому-то для возбуждения электронов молекулы хлорофилла достаточно квантов красного света со скромным запасом энергии.

Вот это замечательное свойство — способность хлорофилла быть посредником между космосом (излучением Солнца) и земной жизнью — и удалось искусственно воспроизвести Теренину и Красновскому.

То был крупный успех советской науки. Не случайно работа Теренина и Красновского демонстрировалась в 1958 году в Брюсселе на всемирной выставке.

ПРИРОДЕ МОЖНО БРОСИТЬ ВЫЗОВ

Декабрь 1975 года. Американец Джозеф Кац публично демонстрирует сконструированный им «искусственный лист».

Размером со спичечный коробок — стекло, металл, пластмасса — лист даже отдаленно не напоминал своего зеленого родича. Однако во многом копировал его функции.

Устройство было несложным: две стеклянные камеры со встроенными в них платиновыми электродами заполнены веществами, соответственно поставляющими и принимающими электроны. Камеры разделены мембраной, начиненной выделенным из живых листьев хлорофиллом.

Вот и все. При освещении видимым светом — и только им — в стеклянном листе возникал электрический ток.

Крошечный — 23 миллионных доли ампера при напряжении 0,4 вольта. С ничтожным КПД использования энергии солнечного света — 0,0025%.

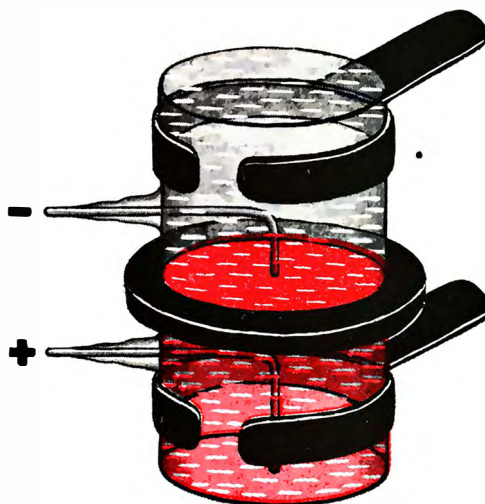
«...Нелегко воспроизвести фотосинтез, — писал позднее доктор Кац. — Но даже эти скромные результаты обнадеживают: природе можно бросить вызов. Утилизация солнечной энергии с помощью устройств, имитирующих природу, вполне достижима...»

Что ж! Первые паровозы, автомашины, самолеты также были поначалу неуклюжи. Однако это обстоятельство, как известно, не останавливало мысль изобретателей и инженеров!

Фредерик Жолио-Кюри скончался в 1958 году. А в 1959-м американские исследователи В. Арнольд и Е. Маклей впервые предложили и сконструировали батарею, содержащую пигменты растений — хлорофилл и каротин. Это устройство уже умело преобразовывать свет в электричество.

Правда, оно было еще очень и очень несовершенным, а результаты плохо воспроизводились.

В том же направлении велись



Опыт Дж. Каца с искусственным листом. Под действием видимого света в нем возникал электрический ток.

работы и в СССР, в Институте химической физики Академии наук СССР, под руководством доктора химических наук Геннадия Германовича Комиссарова.

Фактически Комиссаров начал эти исследования еще в 1958 году, будучи студентом химического факультета МГУ, после того как прослушал лекции А. А. Красновского о фотосинтезе. Прослушал и усомнился в том, что, как тогда полагали, отдельные молекулы хлорофилла (мономолекулярный слой) могут проявлять полупроводниковые свойства.

К 1963 году аспирант МГУ Комиссаров экспериментально доказал: только в агрегатах, в скоплениях хлорофилла, состоящих из многих сотен и тысяч молекул, зеленый пигмент ведет себя как истинный полупроводник. И молодой ученый пишет об этом статью и посылает ее в журнал «Доклады Академии наук СССР».

Представлять статью в этот авто-

58 ритетнейший журнал мог только ученый в ранге академика или члена-корреспондента. Статью передали Теренину. И он учинил ей разнос! Подверг критике выводы молодого ученого — слишком они шли вразрез с общепринятым. Академик написал в отзыве, что в семи пунктах статья неверна.

Однако Комиссаров отстаивал свою правоту. Убеждал, доказывал, ставил новые убедительные опыты и в конце концов отстоял 6 из 7 пунктов. Теренин согласился, статья появилась в печати, и вскоре Комиссаров защитил кандидатскую диссертацию.

В 1968 году группа ученых, которую возглавил Г. Г. Комиссаров, построила «фотовольтаическую батарею». Это был сосуд, в который опущены (в раствор электролита) два электрода, на один из них был нанесен слой молекул хлорофилла.

Это была модель зеленого листа, способная осуществлять трансформацию световой энергии в электрическую. Ее параметры год от года улучшались. Сейчас КПД преобразования энергии в фотовольтаической батарее уже достиг нескольких процентов.

Любопытно, что — в соответствии с заветом Ф. Жолио-Кюри — советские исследователи часто вместо хлорофилла использовали его аналог — фталоцианин. Молекулы эти менее капризны, чем хлорофилл, более доступны и лучше вписываются в технику, совместимы с ней.

Интересные результаты в этой области лет десять назад получил известный американский химик М. Калвин. Он и его сотрудники обнаружили, что хлорофилл способен под действием света отдавать свои электроны некоторым полупроводникам, находящимся с ним в контакте.

Используя в качестве полупро-

водника окись цинка, ученые создали хлорофилловый фотоэлемент, в котором на свету возникает ток плотностью около 0,1 микроампера на квадратный сантиметр поверхности элемента.

Немного! Да и хлорофилл уже через несколько минут «выдыхался» — десенсибилизировался: терял способность отдавать электроны.

Тогда, чтобы продлить действие зеленого фотоэлемента, ученые добавили в электролит (вода с примесью солей, в которую был погружен хлорофилл) еще и дополнительный источник электронов — гидрохинон.

Считается, что в такой системе хлорофилл действует как «электронный насос»: он отнимает электроны у гидрохинона, переводит их на более высокий уровень и отдает полупроводнику.

По оценкам Калвина, такой вариант зеленого фотоэлемента площадью в 10 квадратных метров мог бы уже дать мощность около киловатта.

Подобные работы ведутся также в Японии. Эта страна практически лишена своих горючих ископаемых и вынуждена импортировать их. Поэтому столь настойчиво японские ученые стремятся создать устройства, собирающие солнечную энергию.

Вот одна из таких работ.

Японский профессор Фудзиро Такахаши, работающий в университете города Уцуномия, что на острове Хонсю, проводит в настоящее время интересные опыты с необычным источником электрической энергии, широкое использование которого, по его словам, может в какой-то мере помочь разрешению энергетической проблемы наших дней.

Свою батарею профессор Такахаши назвал... шпинатной. И это на-

звание довольно точно, поскольку в батарее действительно используются листья шпината. Они укладываются рядами между тонкими пластинками платины, при этом их заливают крепким раствором соли фосфорной кислоты. Хлорофилл в листьях шпината и способствует превращению энергии солнечного света в электричество.

Правда, такой элемент дает напряжение всего лишь 0,35 вольта — заметно ниже, чем, скажем, широко распространенные так называемые «сухие элементы». Но последнее обстоятельство японского профессора не смущает.

Он полагает, что в его элементе пока не используется еще большая часть электронов. Теоретически, считает он, его батарея должна обеспечивать напряжение до одного вольта.

Одним словом, лиха беда начало. Опыты продолжаются.

Ученые полагают: лет через 20—30 может стать реальностью промышленное производство хлорофилла и стеклянных листьев. И те, кто ходит сейчас в школу, возможно, пойдут работать на фабрики, производящие дешевые (раз в сто, чем нынешние кремниевые батареи) зеленые фотоэлементы.

Подобный прогноз может показаться слишком смелым. Однако не следует забывать, что синтезировать искусственно хлорофилл мы уже умеем.

Зеленые фотоэлементы — их так ждет техника! С их приходом не станут ли пустыни и расположенные на них страны самыми богатыми областями Земли? И не сбудется ли тогда пророчество академика Абрама Федоровича Иоффе, который некогда говорил и писал: «Солнце, в течение тысячелетий бывшее проклятием пустыни, сделается ее благословением».

МОЛЕКУЛЫ «МОЛОДЫЕ» И «СТАРЫЕ»

Конечно, можно создавать СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ, в которых природа и техника будут, так сказать, на паях: хлорофилл и другие растительные пигменты сойдутся здесь с металлами и пластмассой. Но можно действовать иначе — стараться подсмотреть у природы ее хитрости, чтобы затем воспроизвести их в машинах и аппаратах. Именно об этом и пойдет дальше речь.

«Мы, изучающие фотосинтез, похожи на путешественников в незнакомой стране, вокруг которых сквозь медленно поднимающийся утренний туман едва начинают просвечивать очертания ландшафта. Какая же это будет волнующая картина при ярком дневном свете!» Так поэтично писал большой знаток фотосинтеза американский ученый Евгений Рабинович.

Да, фотосинтез демонстрирует нам чудеса обыденности. Например, такое. Известно, что фотонный «дождь» разрушает часть молекул пигментов. Солнечные «снаряды» подчас губят даже хлорофилл. Отчего же листва до осени сохраняет свой цвет и свойства?.. Ответ на этот и многие другие вопросы автор книги получил в Минске.

Минск, Академическая улица, 27. Здесь находится Институт фотобиологии Академии наук Белоруссии. Рассказывает его директор член-корреспондент АН СССР Александр Аркадьевич Шлык:

— Еще каких-нибудь лет 40 назад считалось, что клетки живого и составляющие их молекулы неизменны. Но теперь никого не удивляет мысль о том, что, например, у человека в течение каждых 80 дней половина всех тканевых белков распадается и строится заново. И что с химической точки зрения

60 сегодня мы с вами уже совсем не то, чем были вчера!

Если теперь обратиться к биосинтезу хлорофилла — основной теме наших исследований, — то и тут за последние десятилетия взгляды резко изменились. Прежде хлорофиллом интересовались в основном лишь как фотокатализатором, так сказать, «приводным ремнем» фотосинтеза. Считалось, что от весеннего зеленения до осеннего пожелтения листьев, когда хлорофилл разрушается, обнажая до того скрытые другие пигменты, пигментный аппарат остается неизменным. Теперь так не думают...

В 1950 году выпускник химфака Белорусского государственного университета, Сталинский стипендиат Саша Шлык (родился в Минске в 1928 году) начал свою научную карьеру в Институте биологии АН БССР (Минск). Первые работы он делал под руководством академика Тихона Николаевича Годнева, создателя советской школы исследователей биосинтеза хлорофилла. Трудное то было время: разрушенный войной город, убогое научное оборудование. Начинать приходилось с починки, отладки, а то и просто самодельного конструирования простейших приборов. Но все эти преграды только подстегивали волю, ибо тайны хлорофилла неудержимо влекли к себе все помыслы молодого ученого. Прошло всего несколько лет, и Шлык доказал: хлорофилл в листе непрерывно обновляется, а значит, есть молекулы хлорофилла «молодые» и молекулы «старые»...

Во время одной из бесед я спросил у Александра Аркадьевича:

— Сколько же времени живет хлорофилл? Как долг век этого пигмента?

— Вопрос законный, — ответил ученый, — его часто задают, но ответить на него не просто. Природа в фотосинтезе проявила чудеса экономности и изобретательности. Она не только создала замечательного ловца световых квантов — хлорофилл, но и сумела одну и ту

же молекулу использовать на самых разных «специальностях».

Молекулы хлорофилла «поспевают» всюду, участвуя в самых различных процессах, связанных с фотосинтезом. А чтобы все эти роли им удавались, заботливая природа пошла на всякие хитрости: объединила молекулы хлорофилла в ансамбли и агрегаты, обладающие полупроводниковыми, проводящими и иными свойствами, создала комплексы этого пигмента с белками и липидами (жирами), ловко встраивая хлорофилл в стенки биологических мембран. Так, по сути обходясь лишь одной деталью, которую она непрерывно штампует, ловко манипулируя ею, природа добивается очень многого.

Вот теперь, надеюсь, понятно, — продолжает Шлык свой рассказ, — отчего так трудно определить срок жизни хлорофилла. Средние цифры — несколько недель — мало о чем говорят. Хуже всего, видимо, приходится молекулам, образующим особую светособирающую антенну. Пигменты — те же красители: под действием света они быстро выцветают, разрушаются, поэтому здесь «омоложение» молекул поневоле идет наиболее быстро, а «старички-долгожители» обосновались в реакционных центрах, где происходит переработка световой энергии и где условия жизни не столь напряженные...

ДЕТЕКТИВЫ АТОМНОГО ВЕКА

Еще сравнительно недавно ученые, изучающие фотосинтез, находились в положении тех, кого просят узнать, как работает мотор автомобиля, не разрешая при этом поднять капот. Исследователи видели, что машина потребляет углекислоту и воду, накапливает химическую энергию и выделяет «вы-

хлопные газы» (кислород). Они могли взглянуть на приборы и узнать, в какой мере скорость вращения мотора зависит от потребления горючего, температуры охлаждающей жидкости и других внешних факторов, но вряд ли можно было надеяться таким косвенным путем узнать, как все-таки устроен мотор и какие реакции идут в цилиндрах.

...В комнате, где мы находимся,— крошечная тьма. Изредка, как в грозную ночь при блеске молний, все озаряется ярким светом: это включаются мощные лампы-светильники. В отличие от молний они действуют точно, по заданной программе. Яркая вспышка—и свет выхватывает из темноты еще совсем юные ростки ячменя.

— В какой-то мере эти опыты с прерывистым освещением растений,— поясняет старший научный сотрудник Института фотобиологии кандидат биологических наук Аркадий Борисович Рудой,— символизируют целую эпоху в изучении процессов биосинтеза в растениях. Раньше эксперименты велись в основном с этиолированными (буквально по-французски — «бледными», «хилыми») растениями.

Побеги, выросшие в темноте, отличаются белой (вспомним цвет внутренних листьев в кочане капусты или почек на клубнях картофеля, хранившегося в темноте погреба) или желтоватой окраской. В их листьях нет хлорофилла, этот пигмент синтезируется, если этиолированные растения выставить на свет. Что очень удобно для исследователей, желающих наблюдать аппарат биосинтеза хлорофилла в действии.

— Споры нет,— продолжает свой рассказ Рудой,— удобно, наблюдая, показательно. Только вот беда: этиолированные растения трудно назвать нормальными, элементы патологии тут неизбежны, ибо живое подвергается насилию.

Но что же делать! Ведь в обычных зеленых листьях возникновение новых молекул хлорофилла происходит на фоне больших количеств уже имеющегося пигмента, поэтому биосинтез почти «невидим», его нелегко исследовать.

Рудой щелкнул выключателем — и темнота уступила место потоку зеленых лучей, льющихся из специальной лампы. Фотолюбители, чтобы не засветить пленки, работают при красном свете. Ученые-фотосинтетики предпочитают свет зеленый: он делает предметы видимыми и в то же время совершенно не воспринимается растениями.

— Конечно, можно начать дробить зеленую материю,— говорит Аркадий Борисович,— на все более мелкие части в надежде дойти до первоисточков биосинтеза. Дробить листья в ступе под слоем жидкого азота, быстро пропускать хлоропласты — нафаршированные хлорофиллом органеллы — через мельчайшие отверстия из камер с высоким давлением: при этом внутреннее давление буквально разрывает хлоропласты на мельчайшие фрагменты; разрушать мембраны зеленых клеток с помощью детергентов или, проще говоря, ПАВов — поверхностно-активных веществ, «резать» их ультразвуком. Однако тут исследователь стоит перед выбором «все — или ничего», ибо он, отвлекаясь от изучения живой клетки, осуществляющей нормальный фотосинтез, получает в руки груды безжизненных «деталей», отдельных химических компонентов, о роли которых в фотосинтезе можно только гадать. К счастью, эта довольно безрадостная ситуация изменилась к лучшему, когда ученые начали исследовать живое с помощью радиоактивных изотопов — этих настоящих детективов атомного века. Только теперь можно было, не разрушая зеленой ткани,

62 следить за происходящими в ней процессами...

Открытие искусственной радиоактивности, сделанное в 1934 году, связано с именами Ирен и Фредерика Жолио-Кюри. Изотопы произвели переворот в исследованиях, ведущихся в самых разных областях. С помощью этих методов была установлена истинная причина смерти Наполеона, доказана подлинность картины Поля Гогена «Таитянка», нобелевский лауреат М. Калвин установил, как в зеленом листе происходит синтез углеводов и других продуктов фотосинтеза. Эти же приемы позволили Шлыку и его сотрудникам доказать непрерывность обновления хлорофилла: отличить меченые радиоактивным углеродом C^{14} молодые молекулы от старых.

После взрыва первой советской атомной бомбы в августе 1949 года, когда монополии американцев на ядерное оружие пришел конец, Советский Союз сразу же взял курс на мирное использование ядерных процессов. В 1954 году в Обнинске вступила в действие первая в мире АЭС, в те же годы была снята секретность со всех работ с радиоактивными изотопами и ученые, изучающие фотосинтез, получили мощное подспорье для своих исследований.

В это же время академик Т. Н. Годнев, поверив в исследовательские таланты своего аспиранта А. Шлыка, поручил ему работу с изотопами. Дело было новым и трудным. В Минск из центра доставляли источники радиоактивного излучения всего лишь на 2—3 милликюри в год! Каждая радиоактивная кроха была на счету. Шлык перед экспериментом много раз мысленно и руками «проигрывал», репетировал, отшлифовывал все детали предстоящего опыта, продумывал еще и еще раз даже мельчайшие подробности. Нельзя было допустить никакой осечки: каждая крупница изотопов должна была давать научный урожай! Это рвение, тщательность работы, изобре-

тательность, необходимость уметь обходиться самыми скромными средствами окупилась позднее сторицей. Уже в 1966 году 37-летний ученый за выдающиеся исследования по биосинтезу хлорофилла был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР (тогда он был в Белоруссии единственным членом большой Академии). И сейчас Александр Аркадьевич Шлык и возглавляемое им научное направление имеют в своем активе немало важных открытий: особый интерес представляют исследования локализации и механизма действия в зеленом листе центров биосинтеза, тех мастерских, где природа изготавливает все необходимое для фотосинтеза оборудование.

СРАВНЕНИЕ ХРОМАЕТ НА ОБЕ НОГИ

Фотосинтез способен заинтриговать и химика, и физика, и инженера, и энергетика. Все они сойдутся на том, что это «хитрый фокус» природы, «ловкая работа».

Если бы мы знали химический секрет фотосинтеза, то давно бы смогли обходиться без растений как источника пищи и производить сахар непосредственно из углекислоты воздуха и воды. Если бы мы знали его физический секрет, то смогли бы получать химическую и электрическую энергию непосредственно из солнечного света. Могли бы... Но пока не умеем, ибо все еще слишком упрощенно представляем себе истинную суть этого таинственного процесса.

Всякое сравнение хромает — гласит пословица. Добавим: сравнение может хромать сразу на обе ноги. Говоря о растениях, мы часто сравниваем их с химическим комбинатом, с электростанцией, с заводом, цехом. Однако какой же это завод, если он действует без... металла? И где, скажите, находится производство, которое бы, подобно растению, из простейших отбросов

живого готовило сложнейшие химические вещества, так сказать, на любой вкус?

Чем детальнее сравниваешь растения с изделиями рук человеческих, тем больше ощущаешь, что технология нашей цивилизации все еще очень далека от совершенства.

Прежде всего растение, как и все живое, построено из хрупкой и нестабильной, но зато простой и легкодоступной (углекислота воздуха!) органики. Уязвимое и к перегреву, и к сильному электрическому току, и к действию кислот и щелочей, растение все же проявляет поразительную жизнестойкость и чудеса производительности.

Химические и энергетические производства действуют обычно при высоких параметрах: давлениях в сотни атмосфер и больших температурах (в термоядерных реакторах — сотни миллионов градусов!), им нужны особые агрессивные среды.

Все это, естественно, сопровождается необходимостью строить технические сооружения грандиозных размеров, крайне металло- и материалоемких. Эти причины делают технологию человека малоэффективной. Энергетики мирятся с тем, что две трети добываемой с таким трудом энергии теряется впустую, бесполезно греет атмосферу. Химики вынуждены допускать существование многих побочных продуктов, которые к тому же загрязняют биосферу.

Совсем иначе ведут себя «живые машины» (если уместно подобное словосочетание!). Тут химические реакции идут со стопроцентным выходом без побочных продуктов. Но еще больше, пожалуй, впечатляют следующие обстоятельства.

Если бы, скажем, химику понадобилось синтезировать два продукта, например, аминокислоту и

липид, то он и не подумал бы синтезировать их одновременно из одних и тех же веществ и в общем реакционном сосуде. Он проводил бы оба синтеза независимо один от другого, в отдельных сосудах и, скорее всего, в разное время.

А в простейшей бактериальной клетке (не говоря уж о таких шедеврах природы, как растения) одновременно синтезируется более 3000 (!) различных типов белковых молекул в строго определенных молярных соотношениях. И каждая из этих молекул содержит в своей цепи минимум 100 аминокислотных единиц. Показательно и то, что при 37 градусах по Цельсию (не многие сотни!) бактериальная клетка синтезирует белковую молекулу всего за несколько секунд.

В отличие от этих технологических чудес искусственный синтез белка в лаборатории — подвиг, который удалось осуществить впервые лишь совсем недавно. Этот подвиг потребовал участия высококвалифицированных химиков, множества дорогих реактивов, сотен различных операций, сложного автоматического оборудования и долгих месяцев напряженного труда, затраченного на предварительную подготовку и непосредственную работу по синтезу.

И все же, видимо, наибольшее впечатление на инженера должен произвести тот факт, что живое способно к самовоспроизведению. Только попробуйте представить себе завод или конвейер, который бы изготавливал и станки, и всё необходимое оборудование и обходился бы без рабочих и без обслуживающего персонала!

При этом точность и стабильность процессов биосинтеза или биогенеза неподражаемы. Лишь немногие древние надписи, сделанные рукой человека, пережили столетия, даже если они были выбиты

64 на меди или камне и защищены от воздействия стихий. Между тем есть все основания утверждать, что многие современные растения имеют почти те же размеры, форму, внутреннюю структуру и содержат те же типы строительных блоков и ферментов, что и растения, существовавшие миллионы лет назад!

Самовоспроизводство, безотходность, замкнутость «технологических» циклов, умение обойтись простейшими материалами, параллельность функционирования множества процессов, высокие КПД, способность использовать даровую солнечную энергию — все это заманчивые ориентиры для грядущей техники, наш завтрашний день. Пути к этому будущему подсказывают человеку растения.

ХЛОРОФИЛЛ ПРОТИВ КРЕМНИЯ

Растения еще долго будут вдохновлять ученых и инженеров, подсказывая им свежие и оригинальные идеи. Вот, например, послушайте, как изящно решает растение проблему сбора солнечного «урожая» и его последующей переработки.

Пигментный аппарат растений прошел долгий путь эволюционных изменений. Постепенно происходило «разделение труда» между различными молекулами хлорофилла, которые, когда их было еще мало (в примитивных перворастениях), возможно, все выполняли одинаковые функции, совмещая непосредственное улавливание световой энергии и фотохимический катализ.

Однако немногочисленные активные молекулы хлорофилла, действующие по принципу «и швец, и жнец, и на дуде игрец», не могли обеспечить в достаточной степени снабжения организма растения световой энергией. Пришло время спе-

циализации. И с возрастанием мощи фотосинтетического аппарата все большая часть молекул хлорофилла получала вспомогательную роль.

В пчелином улье на одну матку трудятся многие десятки тысяч рабочих пчел. Они собирают нектар, пыльцу, выкармливают личинок...

Нечто подобное наблюдается и при фотосинтезе. Подавляющее большинство молекул хлорофилла выполняет лишь обслуживающие функции — «сборщиков» квантов света.

Перебрасывая фотоны словно мячики, хлорофиллы-сборщики практически без потерь (механизм передачи световой энергии от одной молекулы хлорофилла к другой еще окончательно не раскрыт, и здесь также есть чему поучиться у природы) доносят поглощенную энергию до так называемых «реакционных центров».

И вот в этих-то центрах несколько молекул хлорофилла (химически они ничем не отличаются от молекул-сборщиков) способствуют стоку и переработке энергетического «урожая».

Зачем нужно было образовать и закрепить в ходе эволюции фотосинтетиков реакционные центры? Ответ прост.

Каждый центр может в секунду переработать около 50 квантов света. Их надо собрать, что непросто, ибо даже при ярком освещении на каждую молекулу пигмента приходится лишь один поглощенный квант в секунду, а при слабом освещении — даже за десятки секунд.

Если бы фотохимическая реакция шла в той же молекуле хлорофилла, которая только что поглотила фотон, то подобная система работала бы очень неэффективно, «простаивая» большую часть времени.

Оттого-то каждый реакционный центр и обслуживают многие сотни

(а бывает, что и тысячи) молекул-сборщиков.

Возможно, в будущем этот опыт растений как-то сумеют использовать строители солнечных электростанций.

Полезно сравнить кремниевые и иные сделанные из неорганики полупроводники с растениями. Первые могут (и неплохо) превращать солнечную энергию в электричество. Но этим их умение и ограничивается.

А вот у растений тут все только начинается! Фотосинтетическую структуру растений можно рассматривать как особую фотоэлектрохимическую батарею, заряжаемую солнцем до разности потенциалов в 1,2 вольта (значения, характерные для гальванических элементов). Небольшая величина напряжения компенсируется огромностью тока — освещаемые солнцем «пластины» занимают значительную часть планеты.

Но это лишь первое, на что способны растения. Они еще могут превращать электричество в энергию химических связей.

В 1898 году немецкий цитолог Бенда, используя красители, обнаружил в живой клетке крошечные гранулы. Он дал им имя — митохондрии. Долгое время роль этих малюток была абсолютно неизвестна. Но вот в тридцатые годы мощные ультрацентрифуги взломали клетку: удалось выделить митохондрии в чистом виде. В сороковые годы на помощь стареньким микроскопам пришли электронные. Тут-то наконец и разглядели эти микронного размера тельца с двойной мембраной и замысловатыми складками — кристами.

Вскоре выяснился и важнейший факт: митохондрии оказались силовыми станциями клетки, именно они снабжают организм энергией. Как? В митохондриях образуются бога-

тые энергией фосфорные соединения АТФ (аденозинтрифосфорная кислота, если расшифровать).

Молекулы АТФ служат основным энергетическим источником («валютой») для самых разнообразных процессов обмена веществ и в растительных, и в животных клетках.

Но и этого мало. В отличие от кремния (его надо вначале изготовить!) вся сложная система пигментов в растении как бы содержит в себе все «станки», все «детали» зеленого «конвейера», и более того: оно — это «оборудование» — производится тут же, в растении!

Об этом и многом другом рассказал мне Александр Аркадьевич Шлык во время наших бесед.

Как-то я спросил его:

— А как вы оцениваете то, что еще в 1960 году Вудворд в США и Штрель в ФРГ независимо и почти одновременно осуществили химический синтез хлорофилла? Что это сулит практике? Не пора ли заменить кремний хлорофиллом?

— Пока этого сделать нельзя, — ответил Александр Аркадьевич. — Ну хотя бы потому, что сама по себе молекула хлорофилла не многого стоит. Весь опыт исследований нашего института и других научных центров показывает: энергетике нужны не просто молекулы хлорофилла, а молекулы на своем месте, в определенном окружении! В комплексе с биологическими мембранами, белками-ферментами и другим молекулярным антуражем. Природа действует тоньше и сложнее, нежели нам кажется. Поэтому Жолио-Кюри явно упрощал (что простительно для тех далеких лет) ситуацию: одного даже массового синтеза молекул, подобных хлорофиллу, недостаточно...

Шлык рассказал далее о том, что искусственный синтез хлоро-

66 филла все еще крайне сложен и идет совсем не так, как в зеленом листе, ибо принципы биосинтеза только начинают открываться исследователям. Лишь постепенно *paper-chemistry*, «бумажная химия» (как пишется на бумаге — комбинируется из соображений простоты и изящества! — так и должно быть в живом — наивно рассуждали прежде) уступает место тонкому эксперименту. И тут-то выясняется: природа не только блестящий химик. Для регулирования своих процессов она использует все доступные ей средства, и главное — структурную организацию всех реагирующих компонентов. Это и позволяет ей (сшивая, окисляя, декарбоксилируя молекулы в специальных гидрофильных и гидрофобных участках, на стенках и в глубине биомембран) создать «конвейер» операций и добиться столь поразительных результатов.

— В какой-то мере созданные радиоэлектронщиками большие интегральные схемы (с многими тысячами элементов, но уместающихся на площадках микронных размеров, способных пролезть в игольное ушко, схемы, где полупроводниковые кристаллы формируются с помощью лазеров и под руководством ЭВМ, она следит, чтоб синтез элементов шел по строго определенной программе), — говорит Шлык, — напоминают те процессы, которые мы наблюдаем при биосинтезе в зеленом листе хлорофилла и других необходимых составляющих фотосинтетического аппарата. Отсюда понятно, что путь овладения принципами биосинтеза не прост. Но ясно и другое: путь этот будет человеком пройден и техника будущего получит в свои руки средства поразительной эффективности и силы...

До воспроизведения процессов биосинтеза, идущих в зеленой клетке, пройдет еще, возможно,

немало времени, но, несомненно, энергетика имеет еще один надежный ориентир (хлорофилловый) для получения в будущем дешевой и изобильной энергии.

ПЛАНЕТА — ЧЕРНАЯ, ГОЛУБАЯ, ЗЕЛЕНАЯ!

«Когда человек будет утилизировать не часть, как теперь, а всю солнечную энергию, тогда вместо изумрудной зелени лугов и лесов наша планета покроется однообразною, погребально-черною поверхностью искусственных поглотителей света... Земля представит тогда очень грустное зрелище» — так в начале нашего века писал К. А. Тимирязев. К счастью, этот мрачный прогноз вряд ли сбудется.

Да, величина поверхности фотопреобразователей, покрывающих тело Земли, неуклонно растет. Мы начинаем все полнее использовать солнечную энергию. Однако применяемые человеком «искусственные поглотители света» имеют, как правило, вовсе не черный — сюрприз техники! — а темно-синий и голубой цвета.

Голубая планета? Это нам более подходит! Синие, голубые тона — это цвета неба, рек и озер, морей и океанов. Эта цветовая гамма знакома нам с детских лет.

И все же какова будет окраска планеты в будущем — об этом пока можно только гадать. Голубизна обходится людям еще слишком дорого!

Скажем, за каждый квадратный метр голубых солнечных батарей, устанавливаемых на спутниках Земли, управление космонавтикой США платит от 10 до 20 тысяч долларов. Недешево!

И это несмотря на то, что кремний (исходный материал для солнечных батарей) — одно из самых

распространенных веществ на планете: ведь кремний получают из... песка.

Увы, в песке содержатся соединения кремния с кислородом. Технология извлечения и переработки кремния — операция долгая и дорогостоящая.

Сначала кремний при высоких температурах освобождают от кислорода, затем тщательно очищают от всех примесей, потом расплавляют в платиновых тиглях и начинают, опустив в расплав «затравку» — крохотный кристаллик кремния, — выращивать кристалл кремния, обладающий нужными для фотоэлементов полупроводниковыми свойствами.

Кристалл получен, но дело не закончено. Теперь специальные алмазные пилы делят кристалл сперва на диски, а потом — на аккуратные прямоугольные плиточки.

Плиточки должны быть тщательно отполированы, покрыты особыми (многослойными!) оптическими покрытиями и соединены

между собой миниатюрными контактами — проводниками тока.

Ювелирные операции! Речь идет о поделках микронных (10^{-4} сантиметра) и ниже размеров. Не технология, почти искусство! Потому и обходятся кремниевые фотопреобразователи крайне дорого. И чтобы нарядить планету в голубые одежды, стоимость изготовления фотоплиток надо уменьшить, как считают специалисты, по крайней мере в тысячи и даже в десятки тысяч раз.

Не черная, не голубая (пока?) Земля, может, все же останется зеленой? Сохранит цвет, который, по выражению того же К. А. Тимирязева, стал «эмблемой жизни и надежды»?

Что ж, и этот вариант вполне возможен, если в будущем, как об этом мечтал Фредерик Жолио-Кюри, будет налажен массовый синтез молекул хлорофилла и если эти молекулы станут основой фотоэнергетики. Вот тогда-то окраску глобуса не надо будет менять!

В ВОДЕ —
ДОЖДЕВОЙ, РЕЧНОЙ,
МОРСКОЙ, ОКЕАНСКОЙ —
СОДЕРЖИТСЯ
ЛУЧШЕЕ В МИРЕ ГОРЮЧЕЕ?



Глава ВМЕСТО 4 БЕНЗИНА — ВОДА

Я уверен, что в один прекрасный день воду будут использовать в качестве топлива, что водород и кислород, из которых она состоит, станут вместе или в отдельности неисчерпаемым источником света и тепла.

Жюль Верн, «Таинственный остров», 1874 год.

...**С**разу за поворотом стена деревьев расступилась, обнаружив маленькую веселую речку. Это было очень кстати, мотор барахлил, машина отказывалась ехать. Степаныч схватил ведро и побежал к воде. Залил ею бак, и авто бодро зарысало дальше... Шутка? Авторозыгрыш? Навязчивые видения, навеянные трудностями с нефтью и бензином? Увы, да. Ни в кислороде ни, тем более, в воздухе вода гореть не может. Факт!

Но как заманчива эта энергетическая мечта-фантазия! Ведь Земля обладает совершенно неисчерпаемым количеством идеального горючего — водорода.

И это горючее не скрывается в залежах, глубоко запрятанных в недрах и труднодоступных. Нет, оно на виду, на поверхности планеты: в озерах, морях, океанах — всюду, где есть вода. А значит, не надо строить шахт, рудников, не надо бурить скважины...

Только — вот досада! — вода — это всего лишь «пепел» от уже сгоревшего водорода, а пеплом костер не разожжешь! Чтобы вновь извлечь из воды горючее — водород — необходима энергия, ради которой все дело-то и затеяно!

Стоп. Оглянемся вокруг. Ведь мы стоим под энергетическим солнечным дождем. Из года в год, из века в век изливает Солнце на Землю $4\text{--}5 \cdot 10^{13}$ больших калорий (килокалорий) каждую секунду. И самое удивительное здесь, может быть, то, что в каждом крохотном растении солнечные лучи разлагают воду на водород и кислород. И вода становится, в сущности, горючим!

70 ПРОСЧЕТ ПРИРОДЫ

В последние годы, пожалуй, самым «модным» словом в научно-популярной литературе стало слово «кризис».

Энергетический... Экологический... Климатический...

Источник всех бед один — использование и истощение запасов угля, нефти и газа.

Но не следует считать, что эти неурядицы — результат каких-то ошибочных действий человечества, его явный просчет. Отнюдь. Люди могли строить свою цивилизацию, лишь используя заготовленное природой «сырье». И не их вина, что этого «сырья» оказалось мало.

А теперь немного фантазии. Представьте себе, что природа умела бы готовить и запасать впрок для человека не уголь и нефть, а водород. Вот тогда-то проблем у человека не было бы, видимо, никаких.

В самом деле, источник водорода безграничен — это вода океанов и морей. Кроме того, соединяясь с кислородом воздуха и отдавая энергию, водород вновь превращается в воду — стало быть, источник этот самовосстанавливающийся, а значит, и вечный!

Далее: продукт сжигания водорода — чистая вода — не может загрязнить атмосферу. Следовательно, нет экологического кризиса, а также климатического, ибо при этом исчезнут и огромные количества углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу при сжигании угля, нефти и газа.

Итак, природа допустила явный просчет. Конечно, ей было невдомек, что на планете появится разумное существо, которое будет не эффективно транжирить ископаемую органику и мечтать о водородной энергетике.

Впрочем, быть может, природа в данном вопросе не так уж и наивна, наивны мы, люди, полагающие, что свои сокровища природа обязательно должна держать у всех на виду.

Согласно гипотезе советского ученого, сотрудника Института геологии Академии наук СССР В. Ларина, недра Земли на большой глубине буквально заполнены водородом. А значит, в будущем человек сможет черпать его из недр вместо нефти и газа.

Вулканологи давно установили: во время извержений вулканы выбрасывают в атмосферу большие массы водорода. Выброс этого газа подчас происходит и при бурении глубоких скважин. Наконец, в Исландии обнаружены очаги, где водород свободно выходит на земную поверхность из неведомых глубин.

В. Ларин полагает: в период образования планеты из пылегазового облака металлы (словно губка водой!) обильно насыщались водородом, самым распространенным элементом во Вселенной.

Водород обладает поразительной способностью растворяться в металлах.

Почти любой из металлов может «впитать» количество этого газа, превосходящее его собственный объем в сотни и даже тысячи раз! При этом образуется качественно новое химическое состояние — гидрид.

Так вот, находящиеся в центре Земли, где давления грандиозны, металлы сосуществуют с водородом в виде гидридов. Но у поверхности, где давления слабеют, а температуры еще достаточно высоки (повышение давления способствует образованию гидридов, а рост температуры их разложению), эдак на границе ядра Земли и мантии, гидриды разлагаются, тут-то и выделяется газообразный водород.

И он легко просачивается через мантию к поверхности планеты. (Физикам хорошо известно, что через горячие металлы водород проходит, как вода сквозь сито.)

Многие факты подкрепляют гипотезу Ларина. С ее помощью легко удастся объяснить, почему, например, Земля замедляет свое вращение: она расширяется! Выделяющийся водород «раздувает» ее.

Становятся понятны и процессы образования гор, движение материков и многое другое, что исстари волнует и дразнит воображение геофизиков.

Ну, а если эта гипотеза неверна, то возможен еще один шанс: что если природа допустила «промашку» лишь в нашем уголке Вселенной? Если не повезло лишь землянам? А в других мирах водорода, что называется, «навалом»?

Недавно было выдвинуто предположение (его высказал советский инженер-химик Ф. Назаров), что знаменитый Тунгусский метеорит в основном состоял из... водорода.

Уж сколько гипотез наслوилось вокруг тунгусского пришельца! И инопланетный звездолет, и всякие иные версии. По числу гипотез, пожалуй, только легендарная Атлантида может соперничать с тунгусским дивом. И все эти догадки не выдержали проверки.

Теперь на испытании — «водородная» гипотеза. Полагают, что этот гость Земли размерами в несколько сот метров, состоявший в основном из жидкого и частично твердого водорода, врезался в нашу планету со скоростью 10—20 километров в секунду и мгновенно сгорел в атмосферном кислороде. Отсюда и все последствия...

Так что, возможно, есть целые миры, во всяком случае в нашей Галактике, обильные даровым водородом. К тому же и «расфасованные» в самом удобном виде. Вот

только как до него добраться?..

Нет, проще спросить совета у растений. Последовать их примеру.

БИОМЕМБРАНЫ

Как получить водород? Какой способ самый оптимальный, самый выгодный для нас? Может быть, электролиз?

В этом электрохимическом процессе электрический ток разлагает воду на водород и кислород. Казалось бы, то, что нужно. К сожалению, путь этот имеет явный недостаток. И не надо быть специалистом, чтобы его заметить.

Для получения электричества, идущего затем на электролиз воды, необходимо сжигать становящиеся с каждым годом все дороже ценные уголь и нефть. Это накладно! Конечно, электричество могут вырабатывать также солнечные батареи. Но и тогда цепочка: Солнце — электричество — электролиз воды — будет чересчур длинной. Насколько же заманчивей сокращенный вариант: прямой фотолиз воды, когда энергия солнечных лучей сразу делит воду на составляющие.

Простые вычисления показывают: энергии одного кванта зеленого света достаточно для расщепления молекулы воды на одну молекулу водорода и половину молекулы кислорода.

Кванты синего и фиолетового света обладают даже, большей энергией. А вот фотоны желтые или красные уже не способны к расщеплению воды: нужно «объединить» энергию двух таких фотонов, и это удастся растениям.

Впрочем, растения получают и используют водород не в виде газа, а в атомарной форме: газообразный водород быстро бы улетучился и был бы потерян.

Попытку частично воспроизвести

72 процесс фотосинтеза в модельных системах (с использованием хлорофилла в качестве фотокатализатора) сделал советский академик А. А. Красновский.

Опыты были успешными: под действием света водород удалось перенести от одного химического соединения к другому.

Однако Красновский и его сотрудники работали с органическими соединениями (растения же в фотосинтезе в качестве источника водорода используют воду). Кроме того, к сожалению, выход водорода в подобных экспериментах пока еще очень низок.

Причины этого явления достаточно ясны. Разложение на водород и кислород — процесс сложный, состоящий из многих стадий.

Вначале образуются нестабильные промежуточные продукты. Они с большой вероятностью могут вступить в обратную химическую реакцию, образуя вновь воду. Так становится понятным, отчего в итоге в однородном растворе количество образующегося водорода столь ничтожно.

Этим, кстати, и объясняется, почему вода в океанах под действием солнечного света не «закипает» с образованием гремучего газа — смеси водорода с кислородом...

Как же удастся растениям осуществить разложение воды? В чем тут секрет? Ответы на эти вопросы становятся все более и более ясными для ученых.

Поскольку вода прозрачна для видимого света, он сначала должен быть поглощен «фотокатализатором» — в растении эту роль играет хлорофилл.

Вот молекула хлорофилла поймала квант света — фотон. И перешла в возбужденное состояние: один из ее электронов поднялся на более высокий энергетический уровень, а на основном уровне оста-

лась электронная недостаточность, называемая электронной «дыркой» (она, естественно, в отличие от электрона заряжена положительно).

Есть два пути возвращения хлорофилла в исходное состояние.

Либо возбужденный электрон сразу же «заткнет» «дырку», а его энергия бесполезно высветится (флюоресценция), либо электрон, пройдя сложный путь по цепочке, построенной из других молекул, также вернется на круги своя.

Но его избыточная энергия, полученная им от солнечного света, теперь будет с пользой потрачена на совершение различных процессов (разложение воды на водород и кислород, синтез богатых энергией химических связей и так далее).

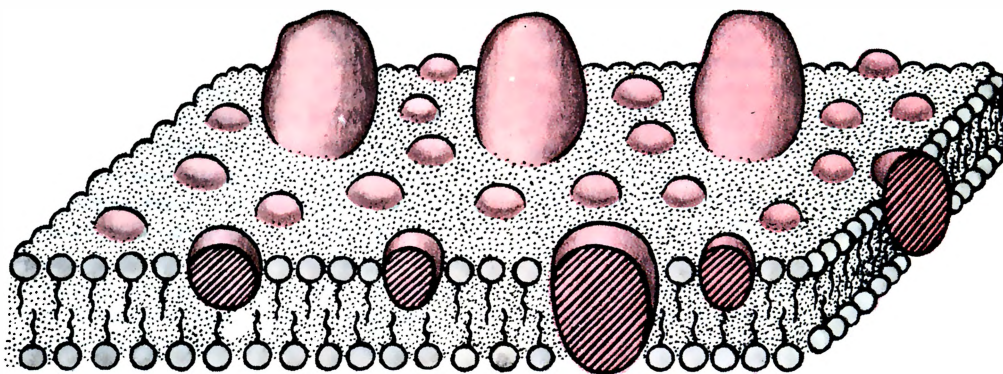
Хлорофилл будет действовать успешно, если «что-то» на достаточное время разъединит электрон и «дырку». Точно также, если говорить о следующей стадии фотосинтеза — фотолизе воды, — то необходимо, чтобы какая-то «сила» развела нестабильные первичные продукты этой реакции, не допустила их встречи.

Что же это за чудодейственный механизм, так выгодно отличающий живые устройства от технических? В чем здесь секрет?

Природу этих таинственных обстоятельств ученые, изучающие энергетические процессы в живых организмах, начали «нащупывать» лишь в последние десятилетия.

Что делали прежде? Брали живую ткань и начинали разрушать ее, дробить, чтобы затем из полученной таким образом «кашицы» выделить чистые белки — ферменты, катализаторы, выражаясь техническим языком, ответственные за реализацию той или иной функции.

Вновь и вновь проводили очистку ферментов, а затем, комбинируя



Модель биомембраны. В нее частично или полностью погружены белковые молекулы.

их, пытались воспроизвести те или иные процессы, идущие в живой клетке. И неизменно терпели неудачу.

Тысячи и тысячи опытов заканчивались крахом. Постепенно возникло ощущение: пропущен какой-то важный аспект, упущен некий ключевой момент в жизни клеток.

Истина открывалась постепенно. До 50-х годов клетку представляли таким химическим «котлом», «фабрикой», отграниченной клеточной оболочкой от внешней среды.

Затем выяснилось, что клетка разделена мембранами на отсеки: что ж, концепцию единого «котла» заменили схемой из нескольких «котлов», сосуществующих в одной клетке. Но это еще не было решительным разрывом с прежними представлениями.

Важный этап наступил тогда, когда четко осознали: многие ферменты не «плавают», как это казалось прежде, в едином «супе», а связаны с внутренними мембранами клетки. Они погружены, крепко «вмонтированы» в эти мембраны, удерживаясь на них столь же определенно, как штепсель в розетке.

Истинное значение, роль, «лицо» мембран сейчас начинает представляться во всей своей полноте. Это не просто «перегородки», «стенки» в клетке, но и организаторы, участники идущих здесь процессов. Последнее, видимо, и есть главная функция мембран.

Вот то недостающее звено, объясняющее, в частности, удивительную эффективность процесса фотосинтеза.

Вероятно, решение задачи технического фотоллиза воды и состоит в создании подходящих мембран. Они должны «разводить» нестабильные первичные продукты разложения воды. Не допустить, чтобы они оставались в опасной зоне, обеспечить их химическую стабилизацию, прежде чем эти продукты могли бы встретиться и прореагировать между собой.

Такие мембраны пока еще не созданы ни в промышленности, ни в научных лабораториях. Однако не существует законов, запрещающих построение подобных мембран. При достаточных усилиях и изобретательности эти мембраны могут быть реально созданы.

И это — одна из серьезнейших задач современной науки.

74 ХИМИЧЕСКАЯ БИОНИКА

Некоторые разновидности асцидий — морских животных с бочкообразным, студенистым, прикрепленным ко дну телом — обладают уникальной особенностью: в их крови содержится ванадий. Асцидии поглощают его из морской воды и концентрируют в своем теле в количествах в 200 тысяч раз больших, чем содержится ванадия в окружающей асцидии водной среде. (Кстати, говорят, и сам ванадий был обнаружен сначала именно в асцидиях, а уж потом в морской воде.)

Ванадий незаменим в металлургии при легировании особо прочных сталей. Но концентрация этого металла в рудах обычно очень невысока, так что его добыча представляет собой весьма трудоемкий процесс.

В Японии разводят асцидий на подводных плантациях, собирают

урожай, сжигают и получают золу, в которой ванадий содержится в более высокой концентрации, чем в руде многих его месторождений.

А нельзя ли создать промышленную установку, которая извлекала бы ванадий из морской воды по тому же образцу, что и асцидии? К сожалению, этот принцип еще не разгадан наукой. Огромные запасы ценного металла, содержащегося в Мировом океане, остаются неиспользованными.

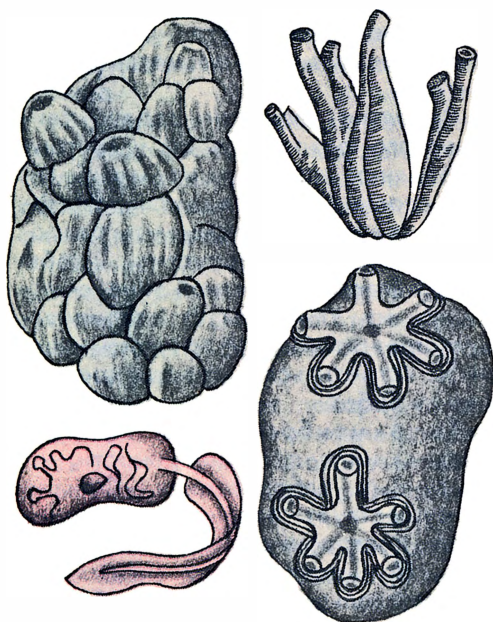
Асцидии вовсе не уникальны. Некоторые виды морских водорослей жадно поглощают йод, планктон извлекает из морской воды кадмий, ртуть, свинец. (Вообще надо заметить, что океанические воды — 34 грамма солей в каждом литре, где содержится все химические элементы в самых разнообразных соединениях и формах, — ученые справедливо называют «жидкой рудой».)

Еще один интересный пример дает нам гемоглобин. Все знают: он, передвигаясь вместе с током крови, переносит кислород — захватывает его в органах дыхания и отдает в клетках.

Промоделировать такое обратимое присоединение кислорода было бы очень полезно. Вообразим, например, подводные города будущего, о которых много говорят футурологи. Как доставлять туда кислород, необходимый для дыхания и многих технологических процессов, скажем, сварки?

В баллонах высокого давления? Нет, гораздо проще было бы использовать твердые вещества, способные поглощать кислород, а когда нужно — отдавать (допустим, при нагревании).

Разрабатывать такие вещества можно по образу и подобию природных переносчиков кислорода — гемоглобина или сходного с ним по строению миоглобина.



Разновидности асцидий. Некоторые из них умеют накапливать в своем теле ванадий.

Как же этого добиться? Как, следуя примеру природных образчиков, поставить на службу техники невиданные доселе технологии?

Неужели воссоздавать точную копию живой асцидии? Рабски дублировать биомембраны? Повторять их в мельчайших деталях?

Очевидно, необходим новый взгляд на вещи. Иная неожиданная точка зрения. Ее в последние годы неустанно пропагандирует лауреат Нобелевской премии академик Николай Николаевич Семенов.

Семенов — советский физик и физико-химик, академик с 1932 г., (родился в г. Вольске Саратовской обл. в 1896 г.), учился в Самаре (ныне город Куйбышев) в реальном училище. Уже тогда увлекался химией (начал с приготовления бенгальских огней, затем последовали, сопровождаемые не всегда приятными запахами и неожиданными взрывами, химические опыты «из головы»). Никогда не мог понять — а учителя и книги не объясняли, — почему обыкновенная соль, состоящая из едкого металла натрия и ядовитого газа хлора, столь отлична от своих составных частей. С детским стремлением проверить все самому, Коля Семенов сжег у себя дома кусочек натрия в хлоре и, получив осадок, посолил хлеб и съел: ничего не скажешь — это была действительно соль. В 15—16 лет зачитывался трудами Я. Вант-Гоффа и С. Аррениуса (позднее писал: «С ранней юности моей мечтой было посвятить свой первый труд двум моим великим заочным учителям, книги которых заставили меня заняться физикой со специальной задачей, научиться ее применять к химическим проблемам...»). Окончил Петроградский университет (1917), научную работу начал вести еще будучи студентом второго курса. С 1920 года работал в Ленинградском физико-техническом институте, руководимом академиком А. Ф. Иоффе (учреждение это в кругах «академистов» называлось в шутку «детским садом» Иоффе, ибо на девять десятых оно состояло из юношей, у которых еще не было за душой ничего, кроме самоотверженной любви к науке и решимости безгранично служить ей). Заведовал (с 1920) Лабораторией электронных явлений (трудные были го-

ды, зимой мороз был одинаково силен и снаружи и внутри здания, где работали трое сотрудников Семенова, студенты 2-го курса, будущие академики Ю. Харитон, В. Кондратьев и А. Вальтер; приборов не было, трамваи не ходили, часто ночевали тут же, в лаборатории, на старом диване. «Маленький и худой Харитон, — вспоминает Семенов, — был в двадцатиградусный мороз одет в один брезентовый плащ и доходящий ему до пят длинный-длинный шарф... Как сотрудник института он получал в месяц несколько миллионов рублей, но гораздо важнее для него была возможность обедать в студенческой столовой, хотя обед там состоял из жидкого супа и неизменной пшенной каши на воде...»). Главный научный труд Семенова, принесший ему мировую славу, — исследования химических цепных реакций (всем известно, что фосфор светится в темноте — вспомни хотя бы про баскервильскую собаку Конан Дойла! — но не все знают, что это свечение — результат окисления паров фосфора кислородом воздуха. Данный процесс и начал изучать Семенов вместе со своими молодыми сотрудниками, при этом был обнаружен каскад совершенно непонятных явлений-парадоксов, для их объяснения Семенов и предложил теорию цепных самоускоряющихся химических реакций: тут число участвующих в реакциях атомов увеличивается столь же быстро, как размножаются бактерии или как взрывообразно растет число нейтронов, обуславливающих взрыв атомной бомбы). В 1931 году для развития работ Семенова в Москве был создан Институт химической физики Академии наук СССР. В 1934 году выходит монография Семенова «Цепные реакции» (за эти работы в 1956 году Семенову была присуждена Нобелевская премия, он стал третьим русским, после И. П. Павлова (1904) и И. И. Мечникова (1909), и первым советским ученым, удостоенным этого высокого международного научного отличия). Семенов воспитал не одно поколение советских ученых (известны многие его научные афоризмы: «природа стремится к простоте», «явления природы ничего не знают о том, что мы поделили наши знания на науки...»). Семенов дважды удостоивался Государственных премий СССР (1941 и 1949), Ленинской премии (1976), дважды — звания Героя Социалистического Труда (1966 и 1976), награжден 8 орденами Ленина, был председателем

правления Всесоюзного общества «Знание» (1960—1963), вице-президентом Академии наук СССР (1963—1971), кандидатом в члены ЦК КПСС (1961—1966), явился инициатором многих перспективных научных начинаний, в частности, он возглавляет специализированный научный совет АН СССР по комплексной проблеме «Изыскание новых путей использования солнечной энергии».

Каждая клетка, утверждает Н. Н. Семенов, представляет собой миниатюрный химико-энергетический завод со множеством специальных «цехов». Природа устроила этот минизавод с таким совершенством, к которому мы на наших заводах еще только стремимся. И на первый взгляд кажется, что использовать такой сложный механизм невозможно.

Но вот тут-то и кроется ошибка. Дело в том, что в живом организме все взаимосвязано. И каждый элемент в той же клетке действует, так сказать, с оглядкой (обратные связи) на другие «узлы». А значит, и не очень эффективно.

Чтобы не быть голословными, приведем такой пример.

Вот растение—одно из чудес природы. Каков же КПД преобразования солнечной энергии растением? Оказывается, он ничтожно мал—жалкие доли процента!

Отчего так? Да потому что растение—это сложное целое, страдающее и от капризов погоды, и от недостатка влаги, от трудностей с минеральным питанием и так далее. Но если мы захотим вне растения осуществить какую-либо одну его функцию, например, получить какое-то синтезируемое растением вещество, то задача может значительно упроститься. И эффективность процесса будет велика. Но если мы захотим вне организма осуществить какую-либо одну функцию, например, получить определенное вещество, которое синтезируется в организме, то задача

может значительно упроститься.

Не копируя природу, не стремясь буквоедски, школярски точно ей следовать, но используя некоторые ее принципы, человек сможет со временем в гораздо более простом виде реализовать любой химический процесс, идущий в живых системах. И тогда химическая технология и химическая промышленность претерпят подлинную революцию.

(Но прежде, конечно, ученые, подобно известному Сальери, должны «поверить алгеброй гармонию», разъяв природу, в частности растение, на отдельные слагаемые.)

Этот новый подход к вещам академик Н. Н. Семенов назвал химической бионикой. Одна из первоочередных ее задач—фоторазложение воды для получения ценнейшего топлива—водорода. И сделать это хотелось бы методами, схожими с теми, которыми пользуются растения.

Почему живое устроено с такой пугающей сложностью? И на этот, странный на первый взгляд, вопрос можно ответить уже сейчас.

Анализируя структуру таких ключевых молекул жизни, как, например, хлорофилл, ученые постепенно постигают принцип их устройства. Обычно это комбинация иона какого-нибудь металла и органического «довеска» в тысячи и десятки тысяч раз большего, чем сам ион.

Подобное устройство напоминает спрута: маленькая головка и длинные многочисленные щупальца, раскинутые во все стороны. Эти щупальца в биокомплексе, видимо, сортируют молекулы, отбирая только то, что необходимо для строго определенных химических реакций, идущих в живом организме и удаляющих продукты этих реакций. Поэтому-то живые устройства и действуют так целесообразно.

но, точно, споро, без отходов, химически «чисто».

И вот на первый взгляд кажется, что, пока ученые не воспроизведут всю эту невообразимую сложность, ничего путного из подражания природе не выйдет.

Однако это не так. Многочисленные попытки промоделировать живое многому научили. При детальном изучении молекулярных блоков, из которых построена клетка, был установлен поразительный факт — «бедность воображения природы!» Она одни и те же когда-то найденные ею за миллиарды лет химической и биологической эволюции комбинации атомов использует в самых различных процессах.

Создается впечатление: природа применяла для самых разнообразных целей те материалы, которые имелись «под рукой». Она, так сказать, не конструировала, а, как правило, брала уже готовое.

Это и понятно. Природа ограничена в средствах, когда создает живые организмы. Так, она вынуждена работать при атмосферном давлении и в очень узком интервале температур (свыше 50 градусов по Цельсию свертываются белки, ниже нуля градусов замерзает вода). Далее, она должна до предела экономить имеющиеся у нее материалы.

Не то у химиков; они могут готовить свои соединения при весьма высоких температурах и давлениях или, напротив, при сильнейшем охлаждении и разрежении. Под рукой у химика и «дефицитные» (для природы!) материалы.

Природа применяет лишь один растворитель — воду, химик же может взять и ацетон, и бензол, и этанол, и толуол, и еще множество других.

Природа в отличие от химика ни на одной стадии своего производст-

венного процесса не в состоянии использовать сильно кислые или щелочные среды, так как для живых тканей они губительны.

Наконец, очень ограничен у нее и выбор «реактивов»: аминокислоты, фосфорная и некоторые карбоновые кислоты, азотистые основания, сахара, липиды — вот почти и все. А у современного химика в запасе более миллиона реактивов!

Теперь все становится понятным. Весьма стесненная в средствах, природа просто вынуждена создавать соединения с необходимыми ей свойствами ценой усложнения биологических структур. (Вспомним химического спрута!) Напротив, химик с его широкими возможностями вправе рассчитывать, что тех же целей он сможет достичь с помощью других более простых по конструкции соединений.

И успехи на этом пути уже имеются. Помянем лишь один — синтетические волокна.

Образцом для подражания здесь служили белковые цепочки, из которых состоят и шерсть, и шелк. Моделью же стали особые полиамидные молекулы.

И первые же синтезированные по природному образцу волокна — нейлон, капрон — по прочности не знали себе равных среди волокон, созданных природой.

КИНОДЕБЮТ СТЕКЛЯННОГО ЛИСТА

В стеклодувной мастерской Института химической физики привыкли к сложным заданиям. Но этот заказ вызвал удивление.

На чертеже был изображен самый обыкновенный зеленый (на ватмане он был белым) лист! Все это было похоже на детский рисунок или на розыгрыш, пришедший в го-

78 лову одному из институтских шутников.

Но нет — шутки не было, и стеклодувы принялись за дело. И вскоре среди пузатых колб, стройных пробирок, всевозможных трубочек, изогнутых в хитрые, замысловатые спирали, возник еще и стеклянный листок...

В 1977 году, выступая на заседании Президиума Академии наук СССР, академик Н. Н. Семенов сделал такое заявление.

«Мне кажется,— сказал он,— что ситуация, сложившаяся сейчас в проблеме овладения солнечной энергией, близка к ситуации, которая была в атомной физике непосредственно перед открытием процесса деления ядер. В известном смысле наше теперешнее положение даже лучше, чем у физиков-атомщиков в то время. Ведь на опыте природного фотосинтеза мы знаем, что катализаторы выделения кислорода, работающие по четырехэлектронному механизму, действительно существуют. Это — важное соображение в пользу того, чтобы развивать работы в этом направлении с надеждой на успех...»

Это был 1977 год, а несколькими годами раньше директор Института химической физики Н. Н. Семенов обратился к своему заместителю, тогда только доктору химических наук, ныне члену-корреспонденту АН СССР, профессору, заведующему лабораторией комплексных катализаторов Александру Евгеньевичу Шиллову с предложением заняться новой тематикой — искусственным фотосинтезом.

Кандидатура Шилова оказалась не случайной. Он был уже известен как автор очень интересных работ. Прежде его интересовала инертность азота, этого химического «ленивца», который при обычных температурах реагирует только с металлическим литием. Но вот азот-

фиксирующие бактерии как-то справляются с этим упрямым и с легкостью добывают нужный им азот прямо из воздуха.

Повторения этого чуда ждет сельское хозяйство. Растения на полях нуждаются в сотнях миллионов тонн азотных удобрений. И советские химики показали, как в принципе можно без вмешательства больших давлений и температур, с помощью специально подобранных катализаторов — комплексов из переходных металлов, действующих как ферменты микробов, — организовать этот хитроумный процесс.

И вот теперь — новая, не менее сложная задача. Поэтому, уподобляясь искусному полководцу, Шиллов на сей раз сформировал две «армии» исследователей: одна группа ученых стала заниматься выделением из воды кислорода, другая — водорода.

В чем трудность выделения молекулы кислорода? Надо у двух молекул воды отнять 4 электрона. Но как отнимать: по одному, по два? Ясно, что чем длиннее цепочка превращений, тем менее эффективным становится процесс.

А у растений? В природном фотосинтезе роль активного центра катализатора выделения кислорода, вероятно, играют ионы марганца, образующие так называемый «четырёхядерный кластер».

Эта совокупность атомов и служит своеобразным «переключающим» устройством между одноэлектронным актом разделения зарядов в хлорофилле, происходящим под действием света, и четырехэлектронным процессом образования кислорода из воды.

В процессе этом еще много неясностей, всяческих иксов. Но вот факт: стоит исключить марганец из процесса фотосинтеза, как растение прекращает выделение кислорода.

С оглядкой на живое, с подсказ-

ками зеленого листа, колдуя с «марганцовкой», сотрудники Шилова добились желаемого. Была найдена система, состоящая из комплексов марганца и рутения: в водном растворе под действием света выделялся кислород. Происходил одновременный перенос четырех электронов!

Теперь настала очередь водорода.

Здесь ученые сделали ставку на другой металл — ванадий. Водно-спиртовой раствор соли ванадия при освещении ультрафиолетом действительно стал выделять водород.

Успех? Увы, неполный. Хотя работа и вызвала огромный интерес в среде фотохимиков, торжествовать было рано: раствор совершенно не реагировал на видимый свет.

Тогда началось «колдовство» с фотосенсибилизаторами. Эту роль в природе играет хлорофилл, но объект он очень капризный. Поэтому на роль фотосенсибилизатора стали подбирать синтетические красители.

И удивительно, чем дальше шел поиск, тем проще становилась модель. Оказалось, и без переходных металлов (типа ванадия) можно обойтись!

Конечная система была такова: донор (поставщик) электронов, целый набор красителей, платина (очень известный в технике катализатор) и вода. И эта полностью неживая «компания» делала то, что умеет живое, — выделяла из воды водород.

Для демонстрации этого эффекта и был заказан стеклодувам стеклянный лист, о котором мы говорили вначале. Почему не пробирка, не колба? А потому, что в институт должна была приехать кинопленка. Чтобы снимать фильм о моделях фотосинтеза.

Речь шла о кинодебюте СТЕ-

КЛЯННОГО ЛИСТА, да и киношников надо было удивить!

И вот съемки. Установили аппаратуру. Взяли стеклянный листок, осторожно заполнили его желтым раствором и поднесли к окну.

Свет обошелся с моделью, как с живым листком, давно не видевшим солнца: желтизна уступила место зеленому. А из глубин зеленого раствора поднимались крошечные пузырьки газа — то был водород...

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

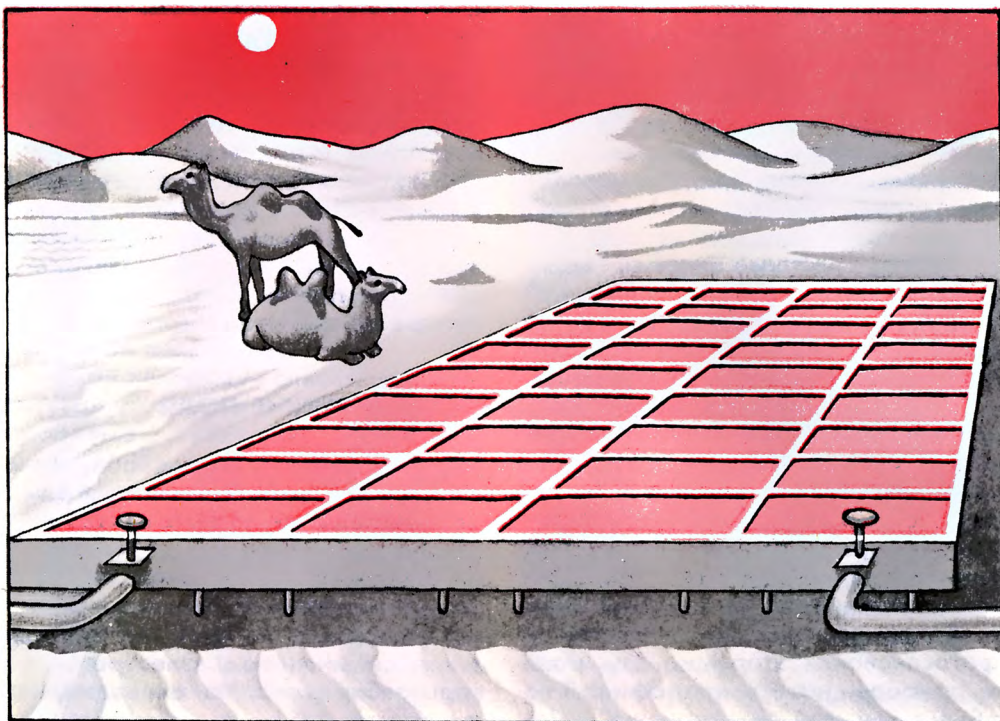
Кислород и водород получены, однако желаемая модель фотосинтеза все еще не создана. Пока есть две половинки, но нет целого.

В модели, синтезирующей водород, электроны передаются молекулам воды, в системе же, где выделяется кислород, электроны от воды забираются. Но, очевидно, если просто слить два раствора, то не получится ни кислорода, ни водорода.

Две подсистемы надо соединить так, чтобы они одновременно были бы и соединены, и разъединены! Нужна перегородка, которая стала бы в то же время и каналом для переноса электронов от одной части к другой. Словом, нужно нечто вроде биологических мембран.

И опыты продолжают. Успеха добилась группа ученых в Сибирском отделении Академии наук СССР под руководством члена-корреспондента АН СССР, доктора химических наук, профессора Кирилла Ильича Замараева. Под действием света удалось «протащить» через мембрану электроны, хотя и с малым квантовым выходом — другими словами, не очень эффективно, если сравнивать с умением, которого добилась природа...

Итак, допустим, человеку удаст-



Сбор энергетических «урожаев» под щедрым солнцем пустыни (заявка в будущее).

ся воссоздать фотосинтез искусственно и добиться при этом хорошего КПД, скажем, в 20 процентов. Тогда большие пластмассовые касеты, содержащие водный раствор исходных веществ, будут располагаться на огромных пространствах энергетических полей.

Под действием солнечной энергии в кассетах образуются богатые химической энергией продукты реакции. Эти растворы будут медленно циркулировать, попадая на соответствующие подстанции, где будут извлекаться богатые энергией конечные продукты и добавляться исходные. Таким путем может осуществляться непрерывный сбор энергетического урожая...

Это, конечно, лишь схема, набросок, эскиз нашего возможного завтра. Могут уточниться цифры

КПД, размеры энергетических полей и многое другое.

Кстати, грандиозность площадей энергетических полей не должна отпугивать. Ведь использование солнечной энергии для целей синтеза пищи — в сельском хозяйстве — требует также огромных площадей, больших капиталовложений и расхода труда и средств на их эксплуатацию. Причем тем больших, чем выше мы хотим получить урожай.

Не следует также забывать, что при принятом КПД в 20 процентов для преобразования солнечной энергии в химическую урожайность энергетических полей будет более чем в 10 раз превышать лучшие возможные урожаи полей сельскохозяйственных (15 тонн сухого вещества с гектара).

Ну, а если говорить о более уз-

ких целях, о водородной энергетике, основанной на фоторазложении воды, то при КПД преобразования солнечной энергии в 28 процентов (по оценке академика Н. Н. Семенова, эта величина близка к предельному КПД для полупроводниковых солнечных батарей) «урожай» полезной энергии в виде химической энергии водорода составит около 50000 киловатт с одного квадратного километра.

При такой урожайности все энергетические поля, необходимые для удвоения современного уровня производства энергии в нашей стране, разместились бы внутри квадрата с размером 70×70 километров.

Такую площадь легко найти, например, в пустынных районах вдоль восточного побережья Каспийского моря. А просторов пустыни Каракум достаточно для увеличения

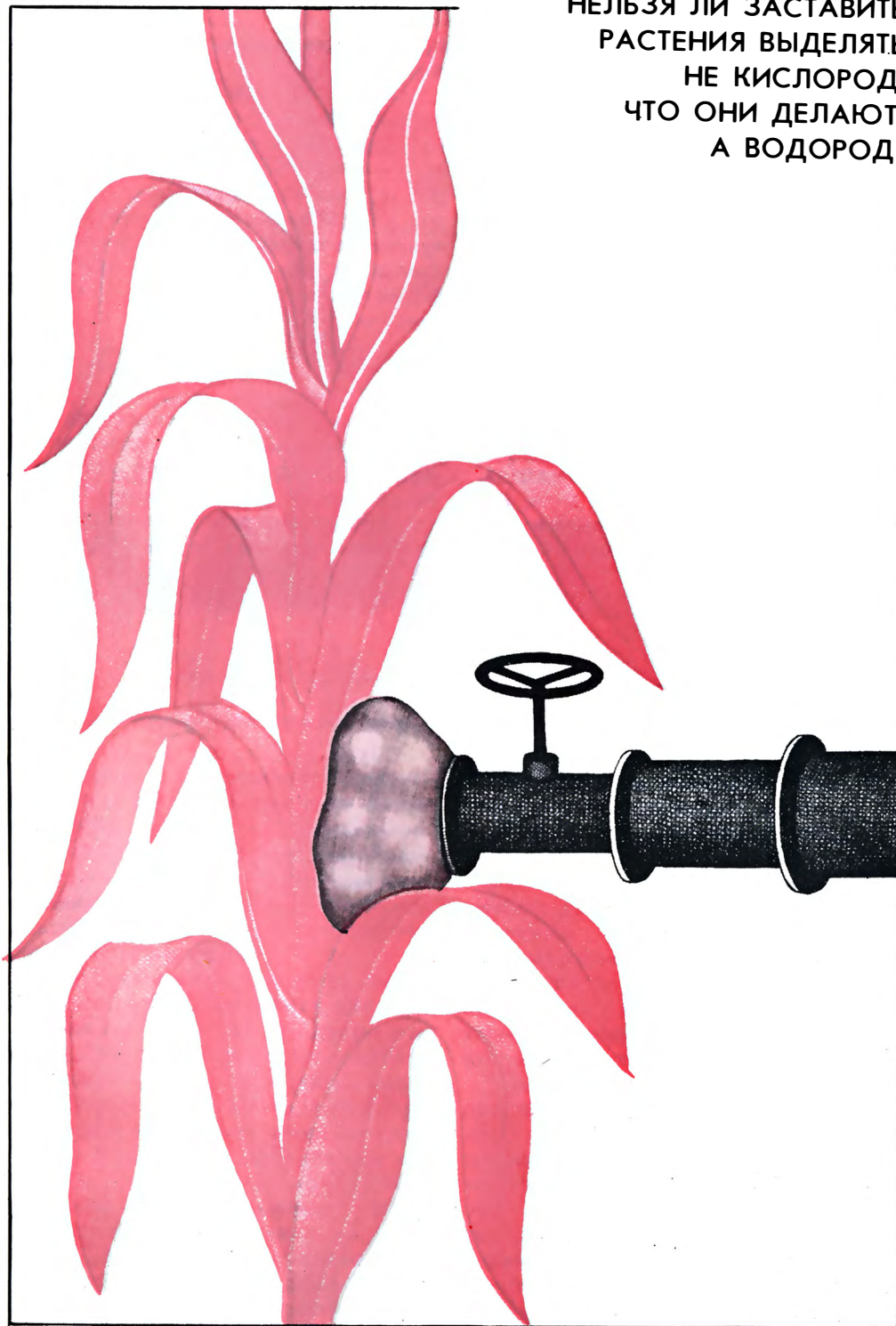
производства энергии в десятки раз.

Опыты по искусственному воспроизведению фотосинтеза знаменательны. Ведь все мы путешествуем на огромном космическом корабле, имя которому Земля. Здесь мы уподобляемся космонавту, живущему в замкнутом цикле воспроизводства всех необходимых ему веществ — кислорода, пищи, воды, энергии.

* * *

Так что, овладев искусственным фотосинтезом, человек сдаст экзамен на зрелость и, имея источник экологически чистой энергии, будет способен выйти в открытый Космос, как когда-то вышли из океана и расселились по суше наши далекие биологические предки.

НЕЛЬЗЯ ЛИ ЗАСТАВИТЬ
РАСТЕНИЯ ВЫДЕЛЯТЬ
НЕ КИСЛОРОД,
ЧТО ОНИ ДЕЛАЮТ,
А ВОДОРОД?



Глава 5 ВОДОРОДНЫЕ ПЛАНТАЦИИ

...Вступать в борьбу с природой и силой своего ума, своей логики вымогать, выпытывать у нее ответы на свои вопросы для того, чтобы завладеть ею и, подчинив ее себе, быть в состоянии по своему произволу вызывать или прекращать, видоизменять или направлять жизненные явления.

К. А. Тимирязев

В

ечерний экстренный выпуск газет не на шутку взбудоражил читателей.

«Жизнь людей в опасности!»... «Сенсационное открытие доктора Рея»... «Растения-убийцы!»...— кричали, стреляли в читателя заголовки огромных статей.

Красочно, с захватывающими подробностями сообщались детали.

Австралийский ботаник Дональд Рей случайно обнаружил совершенно новый вид растений: они выделяли в атмосферу не кислород, как это обычно испокон века делали растения, а водород.

Эти неведомые ранее пришельцы (видимо, растения-мутанты) развиваются и растут удивительно быстро, захватывая все новые и новые территории и вытесняя своих менее расторопных собратьев.

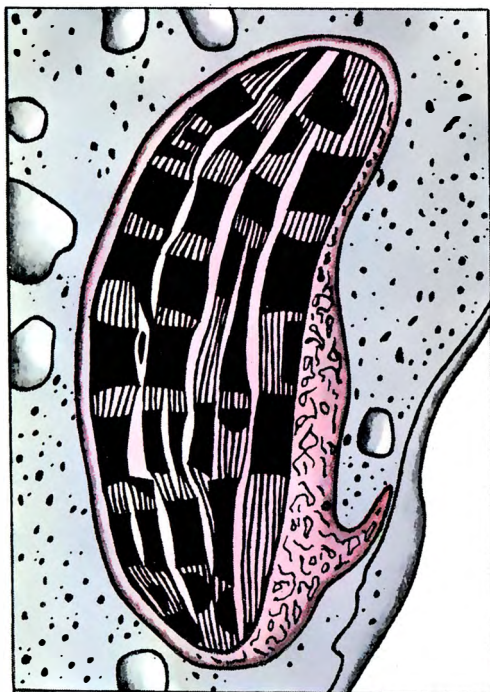
— Растения долгие века умело поддерживали постоянство состава воздуха,— рассказал корреспондентам доктор Рей.— Теперь же концентрация кислорода стала неуклонно снижаться. Животным и человеку грозит удушье... Зато дельцы,— с печальной иронией продолжал ученый,— могут порадоваться: есть шанс на чужой беде (после нас — хоть потоп!) погреть руки. Выделяемый растениями водород — прекрасное топливо, и в условиях энергетического кризиса нетрудно нажить кругленькие суммы. Это обстоятельство крайне осложняет борьбу за чистоту биосферы...

84 Примерно так мог бы начать свой рассказ какой-нибудь писатель-фантаст.

Как говорится, сказка ложь, да в ней намек! Что, если фантазии нашего воображаемого писателя не так уж и беспочвенны? Давайте попробуем более пристально рассмотреть, как в клетках зеленого листа идет фотосинтез.

ФАБРИЧКИ ФОТОСИНТЕЗА

При слове «фотосинтез» мы сразу вспоминаем зелень листьев, а стало быть, и хлорофилл, этот катализатор фотосинтеза. Но разве дело только в нем? Кстати, где он, вместе с десятком других пигментов, находится? Как встроен в живую клетку? Ведь это вопросы первостепенной важности, но до не



Структура хлоропласта: так он выглядит под микроскопом.

столь давних времен они оставались в тени.

Лист зелен, но красящий пигмент — хлорофилл — не распределен равномерно в его клетках, а локализован в крошечных тельцах — «хлоропластах».

Зачем они? — это стало понятным не сразу.

Наблюдая хлоропласты в микроскоп, ученые давно догадывались: это, видимо, и есть те микроскопических размеров живые «машины», где происходит фотосинтез. Но как это доказать?

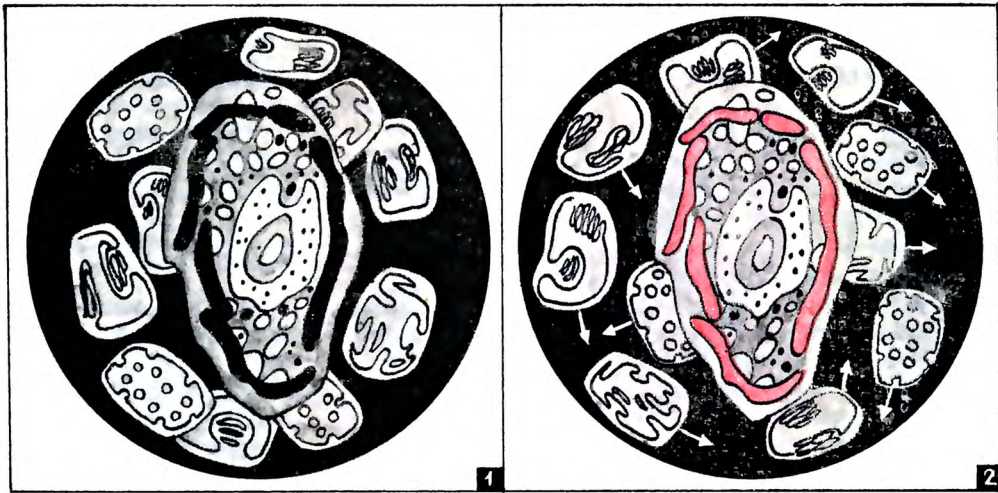
В 1865 году немецкий ученый Сакс опытным путем (окрашивая йодом различные части клетки) показал: под влиянием света крахмал — этот продукт фотосинтеза — образуется именно в хлоропластах. Но, может быть, эти органеллы — просто «склады» для хранения крахмала, а фотосинтез идет совсем в другом месте?

Число хлоропластов в отдельной клетке высших растений может быть большим: до нескольких сотен. И каждое из этих живых образований имеет очень сложное строение.

Внешне (на микрофотографиях, полученных с помощью электронного микроскопа) отдельный хлоропласт напоминает... огурец или половинку его: так обычно изображают хлоропласт, чтобы можно было хорошенько разглядеть его «требуху».

Внутри хлоропласт перегороден (от одной его стенки — внешней мембраны-оболочки, до другой) тонкими мембранами, называемыми «ламеллами». В отдельных местах ламеллы утолщаются, образуя «граны».

Под электронным микроскопом удастся разглядеть: граны — это стопка уже совсем мелких, едва видимых, аккуратно уложенных круглых плиток (словно кафель для ванны!). И в каждой такой стопке



Опыт Т. Энгельмана с каплей воды, в которую поместили бактерии и растительную клетку:
 1) в темноте бактерии неподвижны;
 2) при освещении хлоропластов бактерии начинают охоту за выделяющимся кислородом.

сосредоточено от 250 до 300 молекул хлорофилла.

Нет никаких сомнений: хлоропласт — это созданный природой аппарат для фотосинтеза, а доказал это (теперь очевидное положение) в 1881 году немецкий физиолог, ровесник Тимирязева, Теодор Энгельман.

Решение задачи было чрезвычайно остроумным.

Помогли бактерии. У них нет фотосинтеза, зато они, как люди и животные, нуждаются в кислороде. А кислород выделяют клетки растений. В каких именно местах? Вот это и есть то, что надо выяснить!

Энгельман рассуждал так: бактерии соберутся в тех частях растительной клетки, где выделяется кислород, это будут центры фотосинтеза.

В капле воды поместили «плавающих» в ней бактерий и растительную клетку. Все это закрыли стеклом, края тщательно замазали вазелином: чтоб воспрепятствовать доступу кислорода под стекло из воздуха.

Если теперь все это устройство немного поддержать в темноте, то бактерии, потратив кислород, растворенный в жидкости, перестанут двигаться.

Теперь решающее: перенесем наше устройство на столик микроскопа и будем освещать растительную клетку так, чтобы лучи света падали на различные ее части (а остальное находилось в тени). И вот — легко убедиться: бактерии начинают двигаться лишь тогда, когда луч света упадет на один из хлоропластов...

Так, наконец, было четко показано: хлоропласты — это те фабрички, где растение умело «переплавляет» луч света в химические вещества, а содержащийся в хлоропластах хлорофилл катализирует этот процесс.

«ЖИЗНЬ В СКЛАДЧИНУ»

Хлоропласты кажутся с первого взгляда естественной неотъемлемой частью клеток растений, одна-

86 ко есть ученые, полагающие, что это — пришельцы, когда-то они проникли в клетку, может быть, даже завоевали ее.

Какие к этому основания? А вот: хлоропласты держатся в растительной клетке очень автономно. Это словно отдельные квартирки в общем доме. В этих «квартирках» можно найти многие «детали обстановки» — например, знаменитые молекулы ДНК и РНК, — все необходимое для самостоятельного существования.

Спрашивается, зачем такое дублирование тех систем, которые есть в каждой клетке? Понять все это можно, только если считать, что когда-то на заре жизни хлоропласты были самостоятельными организмами, позже отчего-то внедрившись в клетку.

Этого взгляда придерживался и Андрей Сергеевич Фаминцын, много лет отдавший фотосинтезу.

Фаминцын (1835—1918) — русский ботаник и общественный деятель, родился в Москве, его отец — отставной офицер лейб-гвардии драгунского полка, мать — немка, баронесса Местмахер. Детские годы Фаминцына прошли в имении отца, местечке Алешино, где он получил хорошее домашнее образование (перед поступлением в гимназию уже владел французским и немецким языками). С 1847 года семья переезжает в Петербург, здесь Фаминцын заканчивает гимназию с серебряной медалью, будучи студентом физико-математического факультета Петербургского университета увлекся ботаникой (водоросли, лишайники, грибы), по окончании университета в 1860 году напечатал сочинение «Организмы на границе животного и растительного царства» (приходит к категорическому выводу: границы между этими царствами не существует!). На собственные средства совершенствовался в науках за границей (изучал не только физиологию растений, но и химию и физику, работая у таких известных ученых, как Г. Кирхгоф и Р. Бунзен). Его магистерская диссертация (1861) — о созревании винограда, докторская (1866) — о действии

света на водоросли. Академик (1884), тайный советник, инициатор (вместе с Вернадским) создания комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС), президент вольного экономического общества, основоположник петербургской школы физиологов растений (среди его учеников — основатель вирусологии Д. И. Ивановский, автор открытия хемосинтеза у бактерий и создатель почвенной микробиологии С. Н. Виноградский, изобретатель хроматографического метода М. С. Цвет и многие другие видные русские ученые), почетный президент (пожизненно!) Русского ботанического общества, основатель Кабинета анатомии и физиологии растений (1890, сообщение об этом начиналось словами: «Господину Экстра-ординарному Академику Императорской Академии наук, Действительному Статскому Советнику А. С. Фаминцыну...»). Однако, несмотря на эту пышность, Кабинет не имел даже собственного помещения, находился в частной квартире). Ныне этот Кабинет разросся в крупнейший в мире Институт физиологии растений Академии наук СССР. Полемизируя с Тимирязевым, Фаминцын считал: политика не дело ученого (только наука!); противореча самому себе, активно выступал в защиту студентов (в 1899 году студенты освистали ректора, явившиеся полицейские избили их нагайками, возмущенный Фаминцын составил энергичный протест и получил... строжайший выговор, и это был не последний случай), боролся с засильем иностранцев в Академии, с замалчиванием заслуг в науке русских ученых... Основные труды посвящены фотосинтезу: доказал, что этот процесс может идти при искусственном освещении (усиленный свет керосиновой лампы!) — сейчас это кажется всем само собой разумеющимся (Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот, школьная истина, но и ее пришлось когда-то отстаивать!), пытался дополнить эволюционную теорию Дарвина: жизнь не только борьба видов, но, может быть, в первую очередь, симбиоз, сожительство различных организмов. Какое-то время роль Фаминцына в развитии русской науки и общественной мысли недооценивалась, сейчас, к счастью, взгляды начали изменяться — как хорошо выразился один из почитателей Фаминцына украинский академик Е. Ф. Вотчал: «Каждая нация должна знать тех, кем она справедливо гордится».

Фаминцын, хотя и родился в Москве, казался истинным северянином-петербуржцем: холодный, немногословный, замкнутый, тщательно одетый...

Студенты, должно быть, считали его барином, сухарем, педантом — после лекции, часто никого не замечая, он сразу же спешил домой...

А торопился профессор к себе на Васильевский остров (угол Седьмой линии и Николаевской набережной, ныне Набережная лейтенанта Шмидта) просто потому, что там была его лаборатория (в университете тогда не было сносного ботанического кабинета), место его ежедневных напряженных (сначала по вечерам при свечах, затем при электрическом освещении) исследований и раздумий.

...Вот эвглена — одноклеточный организм, видимый лишь в микроскоп. Странное создание. Ни животное, ни растение!

У нее есть нечто вроде глотки для захвата пищи, глазок — животное! Но есть и хлорофилл!

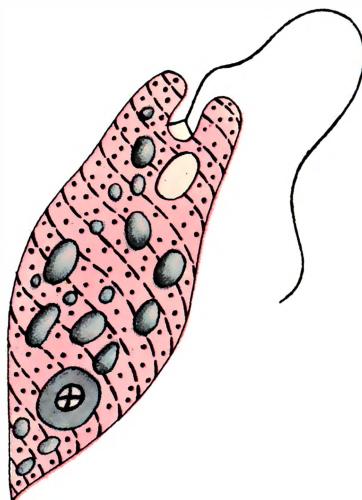
В темноте эвглена быстро теряет хлорофилл и питается, как грибы и бактерии: за счет мертвого органического материала. Но на свету — удивительно! — она вновь приобретает хлорофилл и способность к фотосинтезу...

Еще любопытнее кажутся Фаминцыну лишайники — диковинная комбинация из водоросли и гриба. Природа соединила тут, казалось бы, несовместимое.

Грибам (трифели растут под землей) не нужен свет, а вот водоросли без света погибают.

Но от совместного житья (симбиоза) выгадывает каждый: водоросль дает грибу пищу — образующийся в процессе фотосинтеза сахар, гриб же снабжает водоросль минеральными солями и водой.

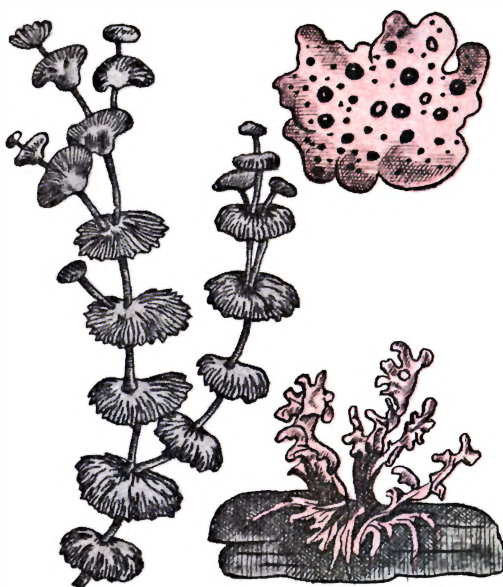
Должно быть, поэтому лишайни-



Эвглена под микроскопом.

ки — это чемпионы неприхотливости: их найдешь и в тундре (олений ягель — вовсе не мох, а лишайник), и в Антарктиде, и в пустыне.

(Кстати, лишайники — это также



Разновидности лишайников.

88 и легендарная «манна небесная», которой Моисей, согласно библейскому сказанию, накормил евреев в Синайской пустыне. В странах Ближнего Востока манна иногда действительно опускается с неба. Эти белые лишайники — легкие сухие корки манны — ветер пустыни подхватывает и переносит на большие расстояния. Когда выпадает «манный дождь», кочующие в пустынях бедуины толкут манну в ступах и пекут из нее лепешки.)

Эвглена, хламидомонада (тоже одноклеточная водоросль, зеленеющая наши лужи и пруды), всевозможные лишайники, радиолярии (микроскопические простейшие, живущие в теплых морских водах)... — каких только дикувинок не перепробовал студент, магистр, профессор, академик Андрей Сергеевич Фаминцын. Он хотел утвердиться в заветной мысли, что клетка — это симбиоз нескольких простейших организмов.

А нельзя ли (если считать, что хлоропласты когда-то жили самостоятельно и лишь затем, позднее, проникли в клетку и стали сущест-

вовать в ней), нельзя ли совершить и обратное — выделить хлоропласты из клетки и создать им такие условия, чтобы они, как на заре жизни, развивались уже самостоятельно?..

Исследователи счет опытам не ведут: регистрируются лишь положительные результаты! Сколько их, впустую потраченных усилий, кривых дорожек, уводящих все дальше от цели, ложных шагов, блестящих, казалось, замыслов, безжалостно разбитых легким движением стрелки прибора, капризностью живой ткани, да просто ошибочностью положенной в основу эксперимента гипотезы!..

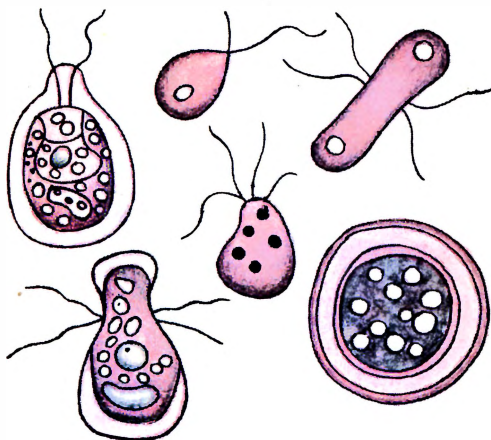
До последнего дня своей жизни, терпя неудачу за неудачей, упорствовал Фаминцын, но так и не достиг заветной цели — разделить и принудить жить в одиночку части растительной клетки, и прежде всего хлорофилловые зерна (читай — хлоропласты).

Добавим в конце, что эта спорная точка зрения выдающегося русского ученого получает в последние годы все новые и новые подтверждения (хотя пока еще и не является общепризнанной).

Заметим еще: мечта Фаминцына все-таки была осуществлена. Сделал это американский биохимик Даниел Арнон. Он наконец заставил жить обособленно выделенные из растительной клетки хлоропласты, эти клеточные органеллы, целиком «специализирующиеся» на фотосинтезе.

Многие ученые пытались заставить функционировать изолированные хлоропласты. В 1937 году большого успеха добился англичанин Р. Хилл. Его хлоропласты при освещении выделяли кислород. Но поглощать углекислый газ упорно отказывались.

Изолированные хлоропласты оказались очень капризным объек-



Одноклеточные водоросли.

том. Их выделяют обычно (стандартная процедура) из листьев шпината.

Даже начальные стадии выделения хлоропластов — растирание листьев и их промывание — требуют большой осмотрительности: среда должна быть щелочной, содержать сахарозу и ионы хлора...

Важно также было добиться, чтобы хлоропласты не «старели» быстро: не теряли свою фотосинтетическую активность. Тут также нужны особые условия: соответствующая температура, присутствие ионов магния и так далее.

«Ублажив» хлоропласты полностью, Арнон в 1954 году одержал полную победу: его изолированные хлоропласты «исполняли» весь фотосинтетический цикл превращений, целиком!

Отныне ученые, изучающие фотосинтез, могли экспериментировать не с растительными клетками, а с отдельными хлоропластами, что было гораздо удобнее и давало больший научный «урожай».

ЗЕЛЕННЫЕ ЧЕЛОВЕЧКИ!

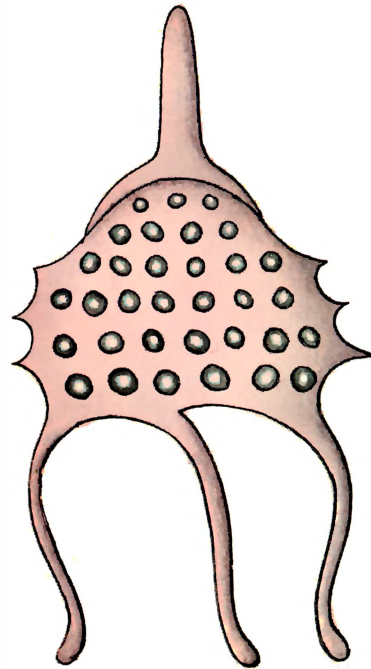
Тему симбиоза различных существ легко перенести совсем в иную, но очень интересную область.

Растения и животные. Два полюса жизни, две ее половинки, дополняющие друг друга.

Эвглена, лишайники — здесь животное и растение объединили свои силы, дав образцы жизнестойкости. Отчего же не пойти дальше: не соединить, скажем, в едином существе мозг людей и способность к фотосинтезу растений?

Зеленые человечки уже давно гуляют по страницам научной фантастики.

А почему бы и в самом деле где-нибудь в тропиках, среди красот ботаники, не сидеть под горя-



Радиолярия.

чим солнышком этакому мыслящему созданию с зеленой кожей, клетки которой наполнены хлорофиллом? Без трудов и забот о хлебе насущном! Читай себе газеты да телевизор смотри!..

Не тут-то было: все это сплошные фантазии. Расселившись по планете, подобные ленивцы с зеленым цветом кожи быстро сами себя уничтожили бы. Ведь кроме энергии солнечных лучей, необходим еще и строительный материал — углекислый газ (его углерод!), а его нельзя только потреблять, не возобновляя! Значит, растениям столь же необходимы животные (они возвращают в атмосферу углекислоту), как и животным — растения.

Вот и получается, что в масштабе планеты можно говорить о чудесном симбиозе **всех** растений и **всех** животных. Это — единый жи-

90 вой организм (подобный водоросли и грибу в лишайнике!), как нельзя лучше приспособленный для жизни на Земле.

Пусть так, скажет критик, а зеленые человечки, чем все-таки плохо это решение? Допустим, что мыслящие растения, или как там их еще назвать, научились извлекать углерод из карбонатов, которых на Земле полным-полно, что тогда?..

Любопытен взгляд на эти вещи К. Э. Циолковского. В 1919 году он написал работу «Начало растений на земном шаре и их развитие».

По мнению Циолковского, «на первой стадии жизни на Земле оба царства — растительное и животное — были смешаны, имели один источник, шли параллельно и обнаруживали изумительное сходство».

Теперь же, продолжал ученый, «хлорофилльным образованиям трудно перейти разделяющий их от животных провал. Чересчур велика разница между их строением, обра-

зовавшаяся в течение сотен тысяч лет, чтобы можно было ее пере-шагнуть».

Но если бы животные и люди стали бы регрессировать и исчезли, то растениям был бы предоставлен простор совершенствоваться. Они могли бы дойти до приобретения более совершенных чувств, разума и движений. Может быть, они постепенно оставили бы свою привязанность к земле и застраивали по ней, как странствуют их семена и зооспоры».

Итак, Циолковский оставлял для зеленых человечков право на существование.

Что ж, придется продолжить наш диспут. Поставив в качестве тезисов вопросы типа: чем отличается скунс от фиалки? (Конечно же, не только запахом!) Или майский жук от розы?.. А для ответа придется более детально сравнить растения и животных, убедиться воочию, какие они разные.



Животные и растения — они такие разные!

Человек, например, или, скажем, кролик, устроены так, что поверхность их тела минимальна. Эта эволюционная тенденция преследует многие цели: облегчается передвижение, сенсорное восприятие, оптимизируется термодинамика теплового обмена, животное менее уязвимо для повреждений...

У растений — наоборот. Над землей торчит густейшая шевелюра зеленых листьев, в почве, словно борода Черномора, протянулись во все стороны нити корней.

И здесь тенденции ясны. В воздухе углекислого газа мало, добыть его нелегко: вот и нужны громадные поверхности (к тому же не просто поймать и солнечные лучи: КПД фотосинтеза невелик!). Поэтому и пышна крона растений.

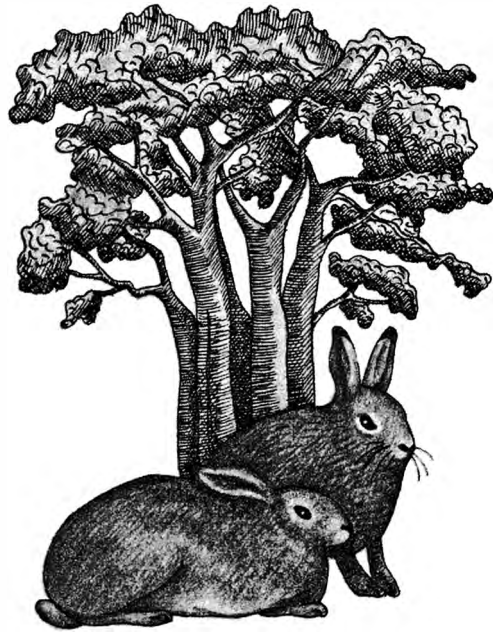
С корнями вопрос обстоит еще более остро.

Они должны поглощать из почвы калий, кальций, магний, азот, фосфор, серу, хлор, кремний.

Но этих веществ в почве микроскопические количества: типичная концентрация фосфора, к примеру, один атом на миллион!

Вот какая пропасть разделяет животное и растение! И ясно: если мы теперь будем наделять животное свойствами растений (фиалка, как всякое растение, из простейших неорганических веществ готовит для себя все «строительные камни», скунс же, как любое животное, нуждается в «готовой пище», «находится на чужом обеспечении»), то в конце концов зеленый человечек неизбежно превратится у нас просто в... растение! И мозг вряд ли ему будет нужен.

И наоборот — конструируя мысленно растение, которое было бы и подвижно (майский жук летает, бегает, крутит усики), — розовый куст ведет сугубо неподвижный «образ жизни»), и целеустремленно, и могло бы мыслить, мы вы-



Растения «привязаны» к земле, а животные обладают свободой передвижения.

нуждены будем убрать листву, обрезать корни, и рано или поздно придем к... человеку!

Растения и животные. Их союз и противоборство. Так, сама жизнь наглядно дает нам урок диалектики: показывает в деле закон единства и борьбы противоположностей.

ПОДВИГ СИНЕЗЕЛЕНых

Многие сложные вопросы жизни нельзя понять, не обратившись к временам древним, когда жизнь на Земле еще только зарождалась.

Здесь исследователей подстерегает множество коварных проблем. Ну, хотя бы такая. Что появилось первым — растения или животные?

Хочется быстро ответить: конечно же, растения! Ведь существование всего современного животного

92 мира на Земле зависит от зеленых кормильцев, если их убрать, исчезнут и земные твари.

И все же дело это не столь просто, как кажется. Если развитие жизни — неуклонное движение от простого к сложному, то почему, спрашивается, вначале могли возникнуть крайне сложные образования — растения, а уже потом создания более примитивные — животные, явно паразитирующие на растениях...

Но когда-нибудь все эти вопросы будут решены. И тогда, усилиями какого-нибудь талантливого режиссера, будет снят фильм, в котором вся история Земли промелькнет перед нами на экране за какой-то час. Все 4,6 миллиарда лет, или гигаlet (еще короче 4,6 глет).

Это будет захватывающее зрелище. Особенно интересные будут кадры о том, как первые живые существа научились использовать энергию Солнца.

Эпизод № 1. Земля еще безжизненна. Ее атмосфера состоит из метана, аммиака, углекислого газа. Кислород отсутствует.

Эпизод № 2. В первичном «супе» под влиянием ультрафиолетовых лучей и электрических разрядов возникли первые сгустки живой материи — белки, нуклеиновые кислоты...

Живое требует энергии. Ультрафиолет тут уже не годится: он вызывает ионизацию, рвет химические связи (так, топором трудно отточить карандаш!).

Древняя атмосфера была прозрачна для ультрафиолета. Поэтому первые организмы жили в глубинах океана: под защитой водной толщи.

Эпизод № 3. Наиболее примитивные существа — это бактерии. Их энергетические потребности еще столь мизерны, что они могут «кормиться» даже наиболее бедными энергией инфракрасными лучами.

Любая плоть в основном состоит

из комбинации атомов углерода, кислорода и водорода. Бактерии научились формировать углеводы из углекислого газа (источник углерода и кислорода) и сероводорода или ему подобных веществ, поставляющих необходимый водород.

Цветные серные бактерии, бесшело размножаясь, быстро израсходовали запасы веществ, служащих поставщиками водорода. Наступил кризис. Развитие жизни зашло в тупик.

Эпизод № 4. На экране череда памятников — первым мореплавателям, авиаторам, космонавтам, первопроходцам, открывшим новую эру.

Когда-нибудь, возможно, поставят памятник и синезеленым морским водорослям. В конечном итоге человек обязан им своей жизнью.

Они нашли выход из кризиса. Живя в океане, эти простейшие сумели использовать в качестве донора водорода воду!

Это был подвиг. Можно сказать, научно-техническое достижение: разлагать с помощью видимого света воду на водород и кислород — заманчивый проект, о котором уже говорилось и еще будет разговор.

В чем трудность? В том, что фотосинтез с участием воды требует 115 килокалорий энергии: в 7 раз больше, чем в реакции с сероводородом.

Бактериям было достаточно одного красного кванта света, чтобы запустить механизм фотосинтеза. Иное дело — вода, очень прочное химическое соединение. Растащить водород и кислород тут не просто.

Синезеленые водоросли решили эту проблему. Они научились использовать последовательно два кванта света: сначала красный фотон, затем более энергоемкий — синий.

Подробности этого сложного процесса еще не очень ясны. Уче-

ные до сих пор ломают над ним головы...

Эпизод № 5. Вода нужна была первым фотосинтетикам лишь как поставщик атомов (точнее, ионов) водорода. Кислород, как побочный продукт, выделялся в атмосферу.

И вот — жизнь на Земле радикально изменилась. В кислородной атмосфере возник слой озона, поглощавший практически всю ультрафиолетовую часть солнечного излучения.

Под защитой озона живые организмы, обитающие прежде только в океанах, начали завоевание суши.

Эпизод № 6. В обновленной атмосфере все существа должны были найти пути борьбы с возрастающим количеством агрессивнейшего, все сжигающего на своем пути вещества — молекулярного кислорода.

И вновь живая жизнь обернула поражение в победу. Появились организмы, способные потреблять кислород для производства нужной им энергии.

Собственно, в этом и состоит суть дыхания, которая одинакова у всех населяющих Землю существ.

Наш воображаемый фильм про эволюцию жизни на Земле подошел к концу. Необходимую для нашей темы мораль можно уложить в краткий тезис: растения, используя воду, не могут (зачем им это?) выделять в атмосферу молекулярный водород. Тем более, что водород в виде атомов идет на строительство углеводов, запасаящихся в растительных тканях, которые и кормят животных и человека.

Общий итог: то, с чего начата эта глава — растения-де, выделяющие водород, доктор Рей, его прогнозы — все это может быть только фантазией ума.

Точка! Так сказать, обжалованию не подлежит.

ПРОЕКТ «ФОТОВОДОРОД»

После того как мы в пух и прах разбили мысль о водородовыделяющих, водородонесущих, что ли, растениях, самое время открыть один научный секрет: растения действительно умеют это делать!

Да, в 1942 году американский исследователь Г. Гаффрон обнаружил, что наши знакомцы, синезеленые водоросли (эти рекордсмены среди растений по длительности существования на Земле — 3 миллиарда лет! И за это время они крайне мало изменились) в особых условиях начинают под действием света выделять вовсе не кислород, а водород.

Как же так? — удивится читатель, а рассуждения об эволюции растений, о воде — поставщике водорода?..

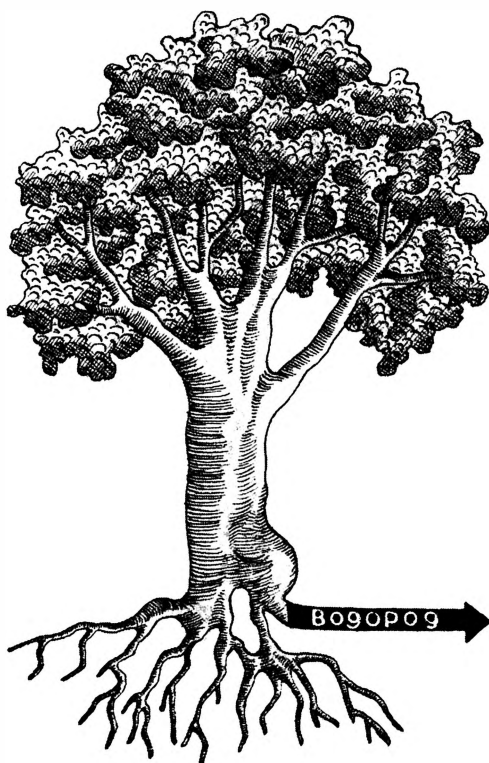
Все так, и все правильно. Однако если синезеленые водоросли поместить в искусственную атмосферу из инертного газа (без углекислоты и кислорода воздуха), то они начнут выделять чистейший водород.

Отчего да почему? Тут наука еще не пришла к единому мнению. Но, видимо, накопившиеся в результате разложения воды излишки водорода (напоминаем, что в естественных условиях этот водород соединяется с углекислотой воздуха) требуют выхода, удаления. И водоросли «извергают» их.

Водородный цех может работать не только в синезеленых водорослях, но и в некоторых видах фотосинтезирующих бактерий. А также в искусственных системах, содержащих выделенные из растений хлоропласты.

Мысль о возможности получения водорода с помощью растений взволновала многих.

Фантастика! Брать из растений не только плоды или клубни, но и



«Водородное дерево», наросты на стволе — галлы — вырабатывают водород, побочный продукт фотосинтеза.

топливо. Однако не в виде дров, как встарь, а по-иному. Остановить фотосинтез на стадии разложения воды и вывести водород из недр растений (или водорослей, или бактерий) до того, как он будет израсходован на восстановление углекислоты воздуха (нормальный ход событий).

Все эти вопросы (и ответы на них) требуют фундаментальных исследований. Основой для успешного продвижения на этом пути может быть только изучение механизма фотосинтеза на молекулярном уровне.

Подобные исследования начаты во многих странах. В Международном институте прикладного и сис-

темного анализа (МИПСА) в Лаксенбурге (Австрия) Чезаре Маркетти разрабатывает, казалось бы, фантастическую идею — идею «водородных деревьев».

Водородные деревья, полагает ученый, дадут людям чистейший водород. У этих деревьев гипертрофированные растительные ткани, так называемые галлы, наросты, расположенные на стволе дерева, будут генетически запрограммированы на выработку водорода в газообразном состоянии, как побочного продукта фотосинтеза. Этот водород будет накапливаться в галлах и откачиваться по трубам в центральную систему хранения.

Основные элементы такой системы можно наблюдать и в природе. Многие насекомые и бактерии вызывают образование галлов у различных типов растений. Эти виды галлов, число которых достигает десятков тысяч, служат затем убежищем и пищей для организмов, вызвавших их образование. По крайней мере в одном случае, а именно в случае бактерии *Rhizobium* (она сосуществует в симбиозе с бобовыми растениями), в галлах вырабатывается значительное количество водорода, хотя сейчас он просто улетучивается в атмосферу.

Подсчитано, что плантации бобов в США выпускают таким образом в атмосферу около 30 миллиардов кубических метров водорода в год. Возможность включения этих богатств в какую-то систему сбора будет зависеть от успехов генной инженерии.

Подобного же типа исследования, правда, с ориентацией не на зеленые плантации, а на заводские установки, в которых основным рабочим элементом будут выделенные из растений хлоропласты, ведутся и у нас в стране. Так возник проект «Фотоводород», объединяющий многие организации.

Его совместно осуществляют находящийся в подмосковном городе Пушкино Институт почвоведения и фотосинтеза АН СССР, химический и биологический факультеты Московского государственного университета и другие заинтересованные участники.

Конечная цель проекта «Фотоводород» — подобрать биологические системы, которые бы использовали солнечную энергию для извлечения из воды не только кислорода, но и водорода.

ХИМИКИ СОРЕВНУЮТСЯ С БИОЛОГАМИ

Итоги проекта «Фотоводород» подводить рано. Изучение растений, их новой роли — поставщика водорода — началось сравнительно недавно. Не углубляясь в научные тонкости, обрисуем основные этапы исследований.

Наиболее развит аппарат фотосинтеза у высших (не случайный эпитет!) растений. Но «запрячь» эти высокоразвитые создания в водородную «повозку» совсем не просто. Поэтому выбрали обходный путь — модельные системы.

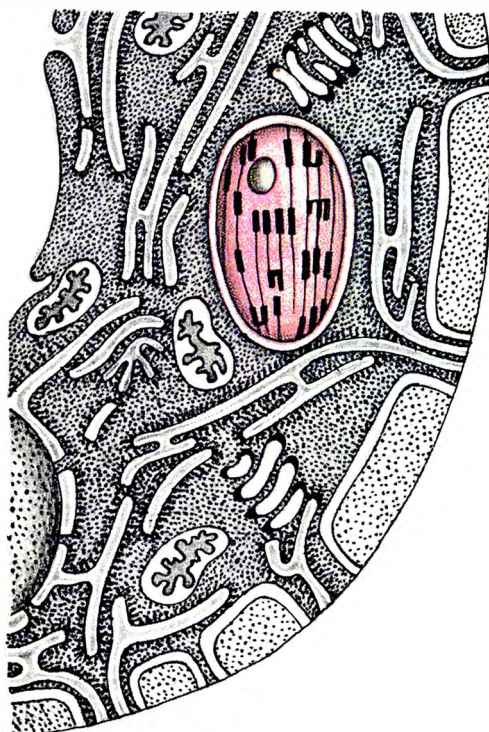
Решили разрушить клетки растений, выделить хлоропласты — органеллы, в которых идет фотосинтез — в чистом виде и поместить их в специально приготовленный раствор — среду, удобную для их функционирования.

В помощь хлоропластам приданы еще два необходимых компонента: ферредоксин — «профессиональный» переносчик электронов, образующихся при поглощении хлорофиллом квантов света, и гидрогеназа — биологический катализатор, способствующий быстрейшему выделению водорода.

Первая установка такого типа была создана в 1973 году в США.

Она давала 15 микролитров водорода на миллиграмм хлорофилла и работала всего четверть часа. Дело в том, что ее составляющие части — ферредоксин и гидрогеназа — оказались очень нестойкими.

Тогда за дело взялись совместно советские и английские ученые (работники Института фотосинтеза в Пушкино сотрудничали с лабораторией Лондонского университета, которой руководил профессор Дэвид Холл). Их установка выделяла уже литр водорода в час на грамм хлорофилла и работала 6 часов. Ученые сумели найти правильное соотношение частей, подобрали стойкие к окислению ферменты... Но



хлоропласт в клетке

Клетка с хлоропластом под микроскопом.

96 через шесть часов погибает хлоропласт!

И в зеленом листе «срок службы» хлоропластов и молекул хлорофилла недолог. Но живая клетка непрерывно заменяет выбывшие из строя «детали» новыми — идет непрерывная регенерация рабочих частей. А в искусственной системе этого нет. Поэтому здесь задача — постараться превзойти природу: сделать хлоропласты долгожителями, которые и с возрастом не теряли бы своих рабочих качеств.

Ученые многих стран мира пытаются продлить жизнь всех трех главных элементов: хлоропластов, ферредоксина и гидрогеназы. Это один путь. Но есть и другой. Можно заменить живые элементы системы их синтетическими аналогами.

Работа ведется в обоих направлениях. Химики стараются подыскать или создать подходящие аналоги, а биологи — повысить стойкость живых участников реакции.

Гидрогеназа, например, встроенная в твердую матрицу (стекло или сажа), работает со 100-процентной эффективностью. И уже не минуты, даже не часы, а год!

Кто выиграет в этом соревновании, сказать трудно. Системы могут быть и «живые», и синтетические, и комбинированные...

Очень интересны работы, которые в США ведет М. Калвин. Прежде всего этот ученый занялся подсчетами. Получилось, что у естественного хлоропласта коэффициент полезного действия при выработке водорода в самом лучшем случае — 4 процента. Что вовсе не удивительно: природа совершенствовала растения миллиарды лет не для производства водорода, а как «машину», синтезирующую углеводы.

А вот у искусственного хлоропласта, продолжал свои подсчеты Калвин, можно надеяться на КПД в

30 процентов, в семь раз больше! Да при этом и продолжительность жизни хлоропластов будет гораздо выше.

Эти оценки обнадеживали, и Калвин взялся за изготовление искусственного хлоропласта. И они — миниатюрные масляные шарики, диаметром в сотые доли микрона, размером примерно с самый маленький из естественных хлоропластов, — уже плавают у него в лаборатории, выделяя микроскопические пузырьки водорода и кислорода.

И хлорофилл Калвин заменил синтетическими красителями, типа «порфиринов». Да и вообще, в системе нет ни одного естественного компонента.

Устройство, в котором выделяют и отдельно собираются газы, представляет собой стеклянный цилиндр, наполненный водой и содержащий сотни полых трубок. Каждая — тоньше человеческого волоса, а длиной — сантиметров 15.

Материалом для этих полых волокон послужили мембраны, используемые в аппаратах «искусственная почка». Но функция у них теперь иная. Теперь фотоны солнечного света, попадая на красители и катализаторы, — элементы типа платины и рутения и органические вещества вроде виологенов, которые «внедрены» в стенки мембран, — создают поток газообразного водорода на одном конце и кислорода — на другом.

«Мы еще не усовершенствовали систему, — рассказывал Калвин журналистам, — но никаких особых сложностей я не вижу».

...И еще один неожиданный вывод следует из последних работ Калвина. Все дело было затеяно ради водорода, однако вполне возможно, что первым коммерческим — так полагает ученый — применением искусственного хлоро-

пласта может стать производство кислорода.

Но кислорода особого. Ведь искусственный хлоропласт у Калвина выделяет кислород не в молекулярном виде (O_2), а в крайне неустойчивом (а потому и ценном!) атомарном состоянии (O).

Такой кислород нужен при производстве синтетических волокон, пенопласта и других ценных материалов. И Калвин надеется, что его устройства смогут производить атомарный кислород за четверть обычной цены. «И потому,— говорит Калвин,— те, кто будет производить всякие полезные вещи при помощи кислорода, начнут вкладывать деньги в строительство заводов по производству искусственного хлоропласта...»

Будущее проблемы «Фотоводород» (или его химического варианта), как и всякой фундаментальной проблемы, предсказать трудно. Но вот что пишет большой энтузиаст этого дела, один из создателей проекта «Фотоводород», директор Института биохимии АН СССР, член-корреспондент Академии наук СССР И. В. Березин:

«Представим себе, что водородные реакторы установлены где-нибудь в пустыне, где Солнце светит почти весь год. Тогда за день с квадратного метра поверхности удастся добывать 9 молей водорода—18 граммов, или 18 тонн с квадратного километра. Расчет показывает, что абсолютно все энергетические нужды нашей страны может удовлетворить урожай водо-

рода, снимаемый с участка пустыни размером 140×140 километров...»

* * *

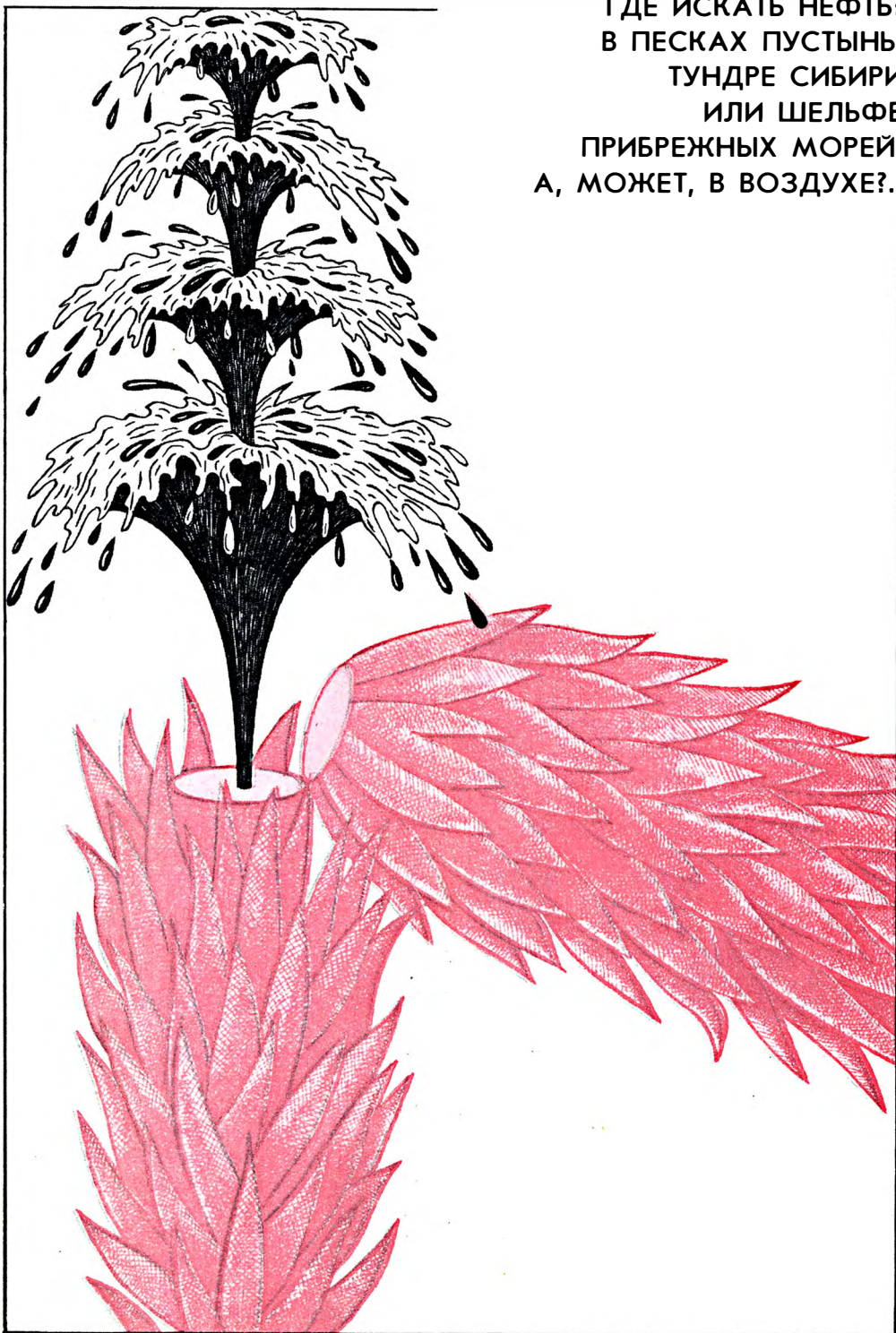
Водородные плантации — мечта, явь? Фантастика, дерзко врывающаяся в мир обыденности? Примета Времени, которое, словно ветер, проносится мимо нас? Будни, начинающиеся фантазией, а заканчивающиеся грандиозными проблемами?..

Очень хочется заглянуть в Будущее.

Может быть, будут сооружены гигантские водоемы, расположенные в областях, богатых солнечным светом. Их наполнят микроскопическими водорослями... Сюда придут люди в белых халатах, следящие за тем, чтобы добавленные к водорослям бактерии активно вырабатывали гидрогеназу... Возникнут и длинные магистрали трубопроводов, отводящих наработанный фотосинтетическими «цехами» водород и кислород и подающих живительную воду и другие необходимые элементы... Будут построены и дворцы-дома для ученых. В тех местах, где кочевали лишь стада овец да верблюдов...

Снова фантастика, но, право, ее здесь, может быть, не больше, чем в ныне горячо обсуждающихся проектах заселения Космоса, в работах, нацеленных на создание термоядерных электростанций и во многих других вчера еще, казалось, совершенно нереальных дерзаниях.

ГДЕ ИСКАТЬ НЕФТЬ?
В ПЕСКАХ ПУСТЫНЬ,
ТУНДРЕ СИБИРИ
ИЛИ ШЕЛЬФЕ
ПРИБРЕЖНЫХ МОРЕЙ,
А, МОЖЕТ, В ВОЗДУХЕ?..



Глава НЕФТЬ 6 ИЗ АТМОСФЕРЫ

Вся техническая фантазия человека состоит в том, чтобы взяться за дело не с того конца, с которого берется природа.

Карел Чапек



Главный герой этой главы — газ, всем нам хорошо знакомый.

Мрачные легенды о злых духах, которые убивают смельчаков, посмевших посягнуть на подземные богатства, известны были еще в глубокой древности. Люди оставляли рудники недовыработанными: они боялись «яда, возникающего в некоторых местах», страшились «человекоубийственных демонов».

Этим демоном был углекислый газ, скапливающийся в шахтах. Он значительно тяжелее кислорода и азота. Поэтому в пещерах, где нет движения воздуха, углекислый газ может образовать «лужи», «пруды» и даже целые «озера».

В маленьких дозах газ этот абсолютно безвреден, но вдыхать его долго и в больших концентрациях опасно: это может стать причиной смерти.

Все эти подробности стали известны сравнительно недавно. Одним из первых, кто исследовал углекислый газ, был уже знакомый нам по первой главе англичанин Джозеф Пристли.

Пристли начал с изучения растворимости этого вещества в воде. При этом он получил, по его словам, «стакан чрезвычайно приятной газированной воды, мало чем отличавшейся от сельтерской» (вода знаменитого в Европе минерального источника).

Освежающий напиток (та «газировка», которая так радует нас в жаркие деньки) пришелся по вкусу многим. Пристли получил за это открытие Золотую медаль общества врачей, а британское морское ведомство даже пыталось использовать новый напиток как средство против цинги...

Но и Пристли еще не знал химической формулы углекислого газа. Установлена она была позже: французом Антуаном Лавуазье.

Чтобы определить состав «злого духа», Лавуазье не поспешил в затратах: он сжег образец наичистейшего углерода — драгоценный алмаз! Затем он проанализировал образовавшийся при этом сжигании газ и выявил наконец его состав.

Первые исследователи называли его «связанным воздухом». Лавуазье же, поставив дело на крепкую химическую основу, вывел химическую формулу углекислого газа — CO_2 .

БЕЗДОННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Современная атмосфера состоит в основном из азота (78,1%) и кислорода (20,9%). Углекислого газа в ней мало 0,03%. Однако эта малая примесь дарит жизнь всем растениям и животным.

А когда-то давно на нашей планете все было иным.

Первая атмосфера Земли состояла преимущественно из аммиака, метана и водяных паров. Это был свод над гигантскими океанами, содержащими много аммиака.

Постепенно картина изменилась. Вторую атмосферу планеты уже составляли главным образом азот, углекислый газ и водяные пары. Теперь в океанах было много углекислого газа. Все это было очень похоже на нынешние атмосферы Марса и Венеры.

Сегодняшний состав земной атмосферы мог возникнуть только после того, как на Земле развилась жизнь. Большой вклад в это дело внесли и растения. Только благодаря процессу фотосинтеза на Земле смогли появиться и мы с вами, читатель.

Миллионы лет понадобились растениям, чтобы наработать столько кислорода, сколько нас окружает сейчас. В результате «поедания» растениями концентрация углекислоты в воздухе неуклонно снижалась.

Растения сформировались в условиях атмосферы, более богатой

углекислым газом в сравнении с современной. При уровне концентрации, равной нескольким десятым процента. Это были оптимальные условия для процесса фотосинтеза.

Ясно: с уменьшением концентрации углекислого газа продуктивность фотосинтеза приближается к нулю. При этом ставится под угрозу само существование Колеса Жизни!

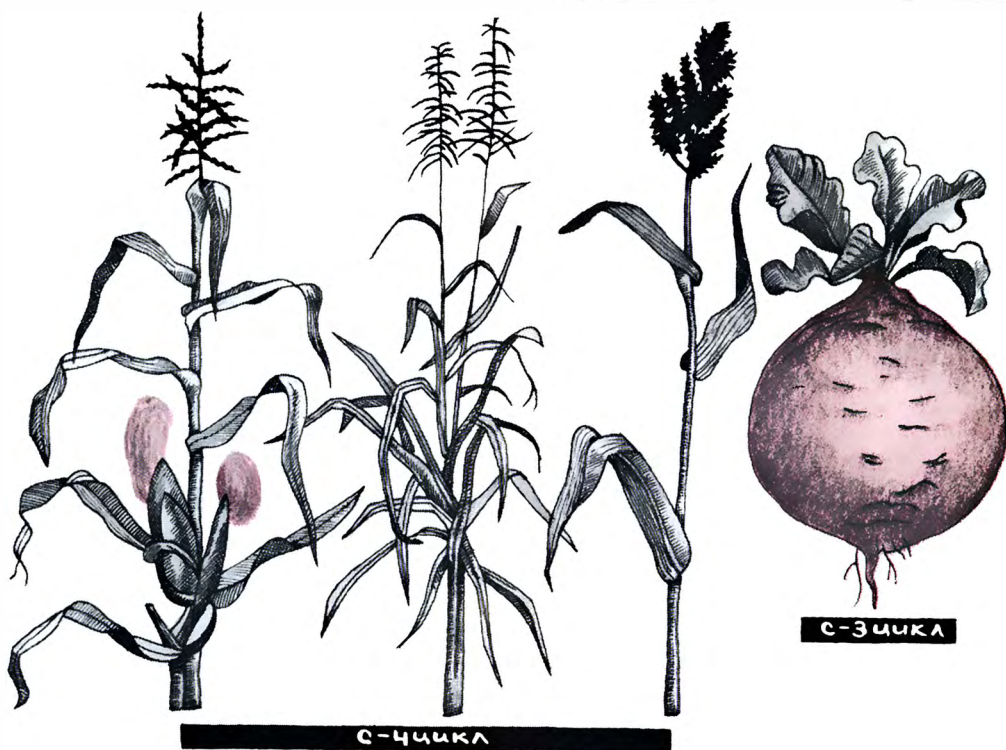
Однако произошло непредвиденное. Возник новый мощный фактор в истории нашей планеты — человеческая цивилизация.

Сжигая огромные количества органических веществ (дрова, уголь, нефть, газ), скопившиеся в недрах Земли и на ее поверхности за миллионы лет, человек начал восстанавливать древний состав атмосферы.

Темпы этого процесса были и остаются потрясающими. 90% израсходованного кислорода и такая же доля вновь образовавшегося углекислого газа приходится на последние 50 лет!

Сегодняшний растительный мир — всего лишь один кадр из длинной киноленты, кадр, в котором одни действующие лица уже готовы уйти, другие только пришли и останутся надолго.

Задача ученых — определить, какие растительные формы и почему уходят со сцены. Еще важнее — выявить виды растений, наиболее подходящие к данным климатическим условиям.



Виды растений с C_3 и C_4 — циклом.

Недавно советский ученый Ю. Карпилов и австралийские исследователи М. Хэтч и К. Слэк показали, что у целого ряда растений, преимущественно тропических злаков (кукуруза, сахарный тростник, сорго), вместо обычного процесса фотосинтеза (C_3 — цикл) имеется так называемый C_4 — цикл.

Выражаясь проще, кукуруза способна энергично усваивать углекислый газ воздуха даже при его очень низких концентрациях, там, где у обычных растений (скажем, сахарной свеклы), «вооруженных» лишь C_3 — циклом, наступает «углеродная одышка».

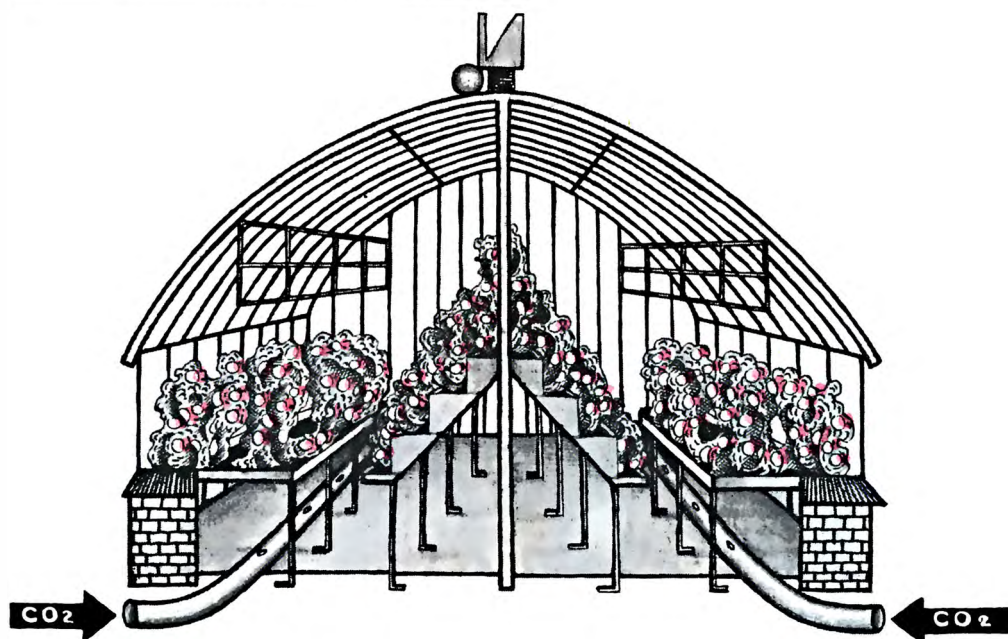
Видимо, растения пытались приспособиться к изменяющимся на планете условиям, выжить в атмосфере, в которой концентрация углекислого газа постепенно сни-

жалась (до появления человека и его дымящихся фабрик).

Быть может, ученым удастся найти (или генетически вывести) и типы растений, способных гораздо более эффективно, чем по типу C_3 — цикла, усваивать излишки углекислого газа в атмосфере.

Любопытен и проект, который выдвинул и настойчиво пропагандирует член-корреспондент Академии наук, председатель Научного совета АН СССР по фотосинтезу Анатолий Александрович Ничипорович. Он предлагает углекислый газ индустриального происхождения подавать непосредственно к растениям — прежде всего в теплицы и парники, ибо при повышенных концентрациях углекислоты в воздухе растения лучше растут.

И все же регулирование состава



Ученые предлагают использовать вырабатываемую промышленностью углекислоту в теплицах.

воздуха с помощью растений — крайне сложная задача. Нет, в деле оздоровления атмосферы, видимо, более целесообразно действовать иным, техническим путем.

Вспомним давнюю историю, случившуюся без малого сто лет назад, когда охрана окружающей среды еще не была делом государственной важности.

Представьте: на окраине небольшого западноевропейского городка дымят коксовые батареи. И вдруг появляется чудак, который скупает дым!

Дым исчез — жители городка облегченно вздохнули. А потом ахнули: переработка отходов дала большую прибыль, чем производство кокса.

Эта история стала хрестоматийной. Сейчас повсеместно коксовые батареи — только часть коксохимических комплексов, а разумное использование отходов — чуть ли не

самая актуальная задача любой отрасли промышленности.

Ежегодно превращаются в дым, преимущественно в углекислоту, миллионы и миллиарды тонн угля, дров, нефти, природного газа. В планетарных масштабах пока это не так уж и много: один приличный вулкан за одно извержение выбрасывает в атмосферу больше углекислого газа, чем весь живой мир планеты за год (включая человека со всей его производственной деятельностью).

Надеть колпак на вулкан сегодня нам не по силам. Но уловить и использовать нами же произведенную углекислоту — от топок тепловых электростанций, от доменных печей, от бродительных цехов спиртозаводов — задача вполне реальная.

Да, подобная мысль привлекает ученых все больше.

С древнейших времен и до на-

ших дней человек использует для своей производственной деятельности сырье, взятое из земных недр или с поверхности Земли. Из литосферы и биосферы.

Начали потихоньку извлекать и из гидросферы — воду, соли, некоторые металлы. Что же до атмосферы — технически вроде самой доступной из сфер, то в производственных целях ее компоненты мы используем реально лишь в процессе горения.

Чуть меньше века назад впервые промышленным методом был связан атмосферный азот. Кислород и благородные газы, выделенные из воздуха, в промышленности стали применять лишь в двадцатом веке.

Но это месторождение бездонное! Одного только углекислого газа 2000 миллиардов тонн (и он непрерывно возобновляется). А осваиваются эти «заледи» куда медленнее тех далеко не бездонных месторождений, которые в газетах часто называют подземными кладовыми.

Научиться разумно, то есть экономически и экологически целесообразно, эксплуатировать небесные клады нам еще предстоит. И сделать это хотелось бы, следуя подсказкам природы. Идеальным решением было бы, овладев тайнами фотосинтеза, создать СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ, способные перерабатывать углекислый газ.

Хотелось бы, используя углекислый газ воздуха как химическое сырье, одним выстрелом, как говорится, убить сразу двух зайцев — предотвратить (или затормозить) опасные изменения в атмосфере и наладить производство ценных химических продуктов практически из «ничего», из «дыма», к тому же еще и вредного!

В БИОХИМИЧЕСКИХ ДЖУНГЛЯХ

Пришла пора более подробно познакомиться с теми метаморфозами, которые претерпевает в зеленом листе углекислый газ.

Исследование этого вопроса имеет долгую и сложную историю. Главное, над чем бились ученые, — было найти метку, следя за которой можно было бы определить и судьбу углекислоты.

Молекула углекислого газа — CO_2 — содержит один атом углерода и два атома кислорода. Вот если бы один из этих атомов сделать радиоактивным!

Успех пришел в 1940 году. Тогда ученые получили (с кислородной меткой дело не пошло) радиоизотоп C^{14} — цифра вверх означает, что масса этого изотопа углерода не 12, как обычно, а 14.

К великому изумлению и не менее великой радости, этот изотоп неожиданно оказался долгожителем — период его полураспада 5770 лет!

5 тысяч лет — срок достаточно долгий: теперь можно было следить за любым, даже самым «неповоротливым» процессом, идущим в живой ткани. И в то же время этот период полураспада был и не слишком длинен: число распадов в единицу времени оказалось достаточно большим: их удавалось уловить с помощью существующих тогда приборов (а ведь можно вообразить и столь медлительный радиоактивный процесс, такой, что его просто трудно обнаружить!).

Углерод C^{14} изменил лик биохимии: с его «легкой руки» было сделано не одно важное открытие. Успешно использовала его и группа исследователей из Калифорнийского университета (США), которую возглавил Мелвин Калвин.

Калвин — американский биохимик (родился в 1911 году), сын русского иммигранта, окончил Мичиганский колледж горного дела и технологии (1931), с 1937 года — в Калифорнийском университете. С 40-х годов работает над проблемами фотосинтеза, вместе с возглавляемой им группой исследователей в 1946—1957 годах изучал происходящие в растительной клетке темновые процессы, в результате которых углерод углекислого газа откладывается в растениях в виде сахаров и других веществ, за расшифровку этого цикла превращений (восстановительный карбоновый цикл или просто — цикл Калвина) ученый в 1961 году был удостоен Нобелевской премии по химии. Калвин известен также своими работами по химической эволюции (происхождение жизни на Земле) и новыми идеями по использованию растений как источников энергии. Вначале это было желание получать электроэнергию по образчикам, указанным растениями (вспомним главу 3 этой книги), затем Калвина заинтересовала проблема получения газообразного водорода (глава 5), и на страницах данной главы вновь заблещат «зарницы» мыслей Калвина: его идеи столь же неистощимы, как неисчерпаемы возможности наук. Вот что по этому поводу он сам пишет в своей книге «Химическая эволюция»: «Когда Фарадей открыл электромагнитную индукцию, что было всего лишь отдельным наблюдением, никто не мог себе представить, что это явление в конечном счете приведет к перенаселенности современного города. Когда Пастер открыл микробы, было понятно, что это в конечном счете и довольно скоро приведет к облегчению страданий от болезней; однако то, что это может привести к регуляции рождаемости, было не столь очевидно. Наконец, когда были вторично открыты законы Менделя, трудно было предугадать, что они помогут нам наполнить зерном элеваторы...»

В 1946 году Калвин сформировал научную команду (многие из ее участников теперь стали известными учеными: Дж. Бассам, Э. Бенсон и другие) и поставил цель — проследить в растительной клетке судьбу меченых углеродом C^{14} молекул углекислого газа.

Вначале приемы работы были незатейливы. Брали лист растения, помещали его в камеру с меченым углекислым газом, выжидали некоторое время (конечно, лист был освещен: в нем шел процесс фотосинтеза), а затем лист погружали в спирт.

Эта мера по мысли ученых должна была остановить течение биохимических процессов в листе, «заморозить» их на какой-то вполне определенной стадии.

И тут возникло первое осложнение. Мгновенно «убить» лист, сразу и одновременно выключить (как свет в комнате) все процессы в нем никак не удавалось.

Пока спирт проникнет в лист... дойдет до центров фотосинтеза — хлоропластов!.. Несколько секунд — вроде бы немного, но за это время успевают совершиться множество биохимических реакций, меченые углеродом продукты фотосинтеза по инерции вступают в новые связи с другими молекулами, стройная картина фотосинтеза оказывается смазанной...

Не сразу созрела спасительная мысль: взять объектом исследований одноклеточную водоросль — хлореллу.

Эту крошку (ее едва удастся разглядеть в обычный микроскоп) уже можно «укокошить» одним, так сказать, ударом: спирт (расстояния малы: диффузия идет быстро) тотчас выводит из строя ее ферменты, дезактивирует их — и процесс фотосинтеза замирает.

Теперь исследователям предстояло выяснить, какие же химические соединения в «замороженной» клетке хлореллы окажутся помеченными углеродом C^{14} .

И вновь — проблемы! Уже через минуту радиоактивный изотоп составлял часть «плоти» по крайней мере 15 (!) различных молекул. Среди них были не только сахара,

но и аминокислоты — составные части белков.

Ученые попали в настоящие биохимические джунгли: заблудиться в них было очень просто!

Оставалось одно — максимально сокращать время до того момента, когда процесс фотосинтеза останавливается. До секунд и даже долей секунд! Только тут была надежда обнаружить самые первые продукты фиксации $^{14}\text{CO}_2$ — меченого углекислого газа.

Работу группы Калвина смело можно сравнить с археологическими раскопками. По отдельным меченым молекулам предстояло восстановить всю сложную цепь, последовательность фотосинтетических превращений.

Исследователи убивали хлореллу, дробили ее клетки в центрифугах, с помощью бумажной хроматографии, изобретенной А. Мартином и Р. Сингом, разлагали молекулярные смеси на составляющие, идентифицировали их, а автордиография указывала те молекулы, где в момент остановки фотосинтеза «застревал» меченый углерод.

По мнению Калвина и его сотрудников, самым первым продуктом фотосинтеза оказалась фосfogлицериновая кислота. В ней три атома углерода (C), атом фосфора (P), атомы водорода (H) и атомы кислорода (O).

И снова загадки. Чтобы из молекулы углекислого газа — CO_2 , содержащей один атом углерода, получить трехуглеродные соединения, требовался двух- или хотя бы одноуглеродный предшественник. Но вот их-то никак не могли найти!

Зато обнаружили довольно сложные пяти- и даже семиуглеродные соединения...

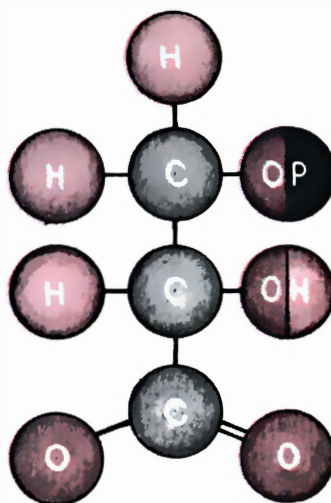
Долго и непросто вспоминать все перипетии исследований (они длились целое десятилетие!) Кал-

вина и его многочисленных сотрудников, как, когда, с каким трудом был преодолен каждый барьер, устранены «подводные камни», нащупаны, наконец, верные пути...

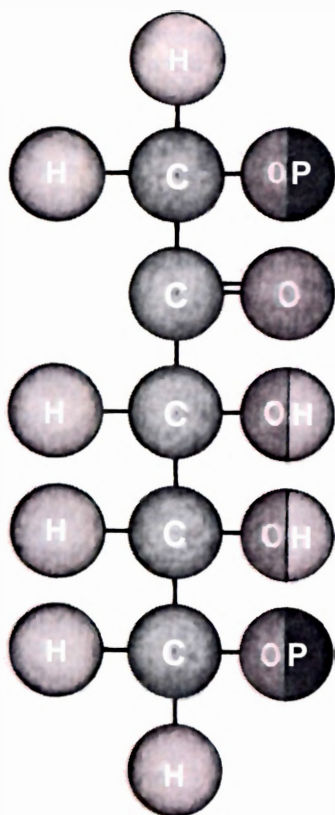
Изложим сразу конечные результаты. То, что сейчас в энциклопедиях, монографиях, учебниках стало историей науки и фигурирует под многими «вывесками»: углеродный цикл, цикл Калвина, цикл регенерации рибулозодифосфата...

Принцип работы этого цикла в следующем: углекислота прежде всего связывается с акцептором (по биохимической терминологии это слово означает вещество, принимающее в свой состав различные атомы или атомные группы) — рибулозодифосфатом. Или кратко — РДФ (биохимикам трудно обойтись без сокращений). В этой молекуле пять атомов углерода и два атома фосфора.

Соединяясь с молекулой углекислого газа, РДФ образует уже



Структурная формула фосfogлицериновой кислоты.



Структурная формула рибулозодифосфата.

шестиуглеродное соединение, которое затем разваливается, распадается на две трехуглеродные (вот она разгадка!) молекулы фосфоглицериновой кислоты (смотри выше).

Далее шествует сложная цепь превращений, в которую включают и отщепленный от воды водород (мы помним, что на свету растение расщепляет воду, выделяя в атмосферу кислород). Образуются последовательно триозофосфат, гексозофосфат и сахара — конечные продукты, выходящие из цикла.

Часть же промежуточных соединений сложными путями возвращается в цикл. Что и приводит к регенерации исходной молекулы РДФ.

И восстанавливается исходная позиция этого биохимического «танца». Цикл готов «прокрутить» еще один оборот: обновленная молекула РДФ готова принять новую, только что поступившую из воздуха молекулу углекислоты...

ПОСУЛЫ ГЕВЕИ

Возможности растений еще далеко не изучены. Ясно лишь, что аппарат фотосинтеза у растений довольно могуч: миллиарды лет, потраченные на обработку, совершенствование, отладку и шлифовку не пропали даром.

Уголь, нефть — это, как всем известно, законсервированная солнечная энергия. По современным данным количество экономически доступного угля равно $7,6 \cdot 10^{12}$ тонн, нефти — $0,6 \cdot 10^{12}$ тонн.

Громадное количество! Однако при современной скорости фиксации углерода растениями и другими фотосинтезирующими организмами для создания таких вроде бы гигантских запасов угля и нефти хватило бы пятидесяти (для угля) и пяти (для нефти) лет!

Читатели должны правильно понять эту мысль. Растительность планеты способна чрезвычайно быстро накопить грандиозные запасы органики — но до нефти и угля тут еще далеко!

Собственно, способ получения сырой нефти до смешного прост: необходимо набрать побольше органики — остатков деревьев, кустарников, травы — и зарыть все это поглубже. А затем, прежде чем бурить нефтяные скважины, подождать... несколько миллионов лет. Именно эту нехитрую технологию использовала природа.

Фотосинтетический аппарат нынешних растений не только могуч, но и удивительно гибок.

В свое время ученые долго бились над проблемой превращения углеводов в углеводороды (соединения, состоящие только из атомов углерода и водорода, о чем свидетельствует и само название этих соединений).

Углеводороды (из них в основном соткана нефть) не только хорошее горючее, но и ценнейшее сырье для химической промышленности и основа для создания искусственных материалов — полимеров.

Так вот, ученые задали себе вопрос: а нельзя ли подыскать растения, которые вырабатывали бы не углеводы, как обычно, а прямо углеводороды?

Есть такой пример! — вспомнили ученые. Это гевея, знаменитый бразильский каучуконос. Дерево, млечный сок которого (латекс) является готовым углеводородом.

История с каучуком очень назидательна.

Растущую на берегах Амазонки гевею обнаружил в 1738 году французский исследователь Кондамин. Он отправил в Париж, в Академию наук образцы каучу (по-индейски «кау» — дерево, «учу» — течь, плакать).

Промышленное применение каучука началось после открытия (середина XIX века) процесса вулканизации — способа превращения каучука в резину.

Урожаи каучука были невелики (кстати, его основные экспортеры сейчас не Бразилия, а Малайзия — свыше 40% мирового производства — и Индонезия), а потребность в нем огромна.

Одно из наиболее замечательных достижений науки XX века — получение синтетического каучука. Впервые этот синтез был осуществлен в СССР, в 1932 году, по способу, разработанному академиком С. В. Лебедевым.

Производство синтетического каучука (его готовят из продуктов, получающихся при переработке нефти — бутадиен, изопрен, стирол) росло столь стремительно, что после окончания второй мировой войны плантации гевеи почти полностью утратили свое значение в поставке этого ценного сырья.

Однако повышение цен на нефть на мировом рынке в несколько раз снова заставило пересмотреть экономические показатели синтетического каучука. Преимущества вдруг обратились в недостатки. Ведь на производство одной тонны этого продукта в среднем расходуется три с половиной тонны нефти!

Другая серьезная проблема — ужесточение законодательства об охране окружающей среды. Дело в том, что технология получения перспективных синтетических каучуков повышает токсичность сточных вод.



Гевея — бразильский каучуконос.

108 Загрязняется и воздушная среда. А высокие затраты на очистные сооружения делают синтетический каучук еще дороже.

Конкуренция между натуральным и синтетическим каучуком вновь резко обострилась. А результат соперничества таков: американские шинные компании «Гудьир» и «Файрстон» начали в последние годы в спешном порядке расширять плантации каучуконосов в Либерии и странах Латинской Америки.

В ближайшие годы начнется сбор каучука и в Мексике, где обнаружен новый каучуконос — кустарник гуайюла. Он имеет ряд преимуществ перед бразильской гевеей: хорошая урожайность, высокое качество латекса и, главное, скороспелость — уже через два года после посадки эти кустарники могут давать первый урожай.

Растения, производящие в процессе фотосинтеза ценные углеводороды, не ограничиваются гевеей. Есть гуттаперченосы (деревья, источающие смолу — гуттаперчу), терпентинные деревья, из смолы которых можно добывать эфирные масла, близкие к скипидару, есть и другие естественные поставщики полезных продуктов.

ВЫРАЩИВАНИЕ... БЕНЗИНА?

Безудержный рост цен на горючее заставил многие зарубежные фирмы вплотную заняться поисками альтернативных источников топлива, способных хотя бы в какой-то степени заменить ставший остродефицитным бензин.

Наиболее известные на сегодняшний день заменители бензина — спирты, этиловый и метиловый. Их можно получать из угля и природного газа.

Спирты могут применяться и в

смеси с бензином — в виде так называемого «гэзохола».

Чтобы привлечь внимание к новому топливу, сторонники этого направления в течение двух дней заправляли гэзохолом автомобили чиновников государственного департамента энергии США.

В стране отменен налог на гэзохол, намечены меры по стимулированию капиталовложений в производство спирта.

Но наиболее впечатляет национальная программа производства топливного спирта в Бразилии. Еще бы: в этой стране затраты на импортную нефть превышают все доходы от традиционного экспорта сахара и кофе.

И вот бразильцы поставили перед собой цель — к середине 80-х годов заменить спиртом и другими альтернативными источниками энергии половину всей потребляемой нефти. И даже вывозить «зеленую нефть» на внешний рынок.

Конечно, опыт Бразилии уникален и во многом обусловлен климатическими особенностями страны.

Влажный и теплый климат способствует большим урожаям сахарного тростника и других продуктивных растений, из которых можно получать этанол. Кроме того, топливные смеси здесь не будут расставаться даже в наиболее холодное время года.

Неожиданный поворот этому делу дал все тот же неутомимый пропагандист возможностей, скрытых в фотосинтезе, — Мелвин Калвин. Растущая нефть! — вот его новый конек.

Не спирт, получаемый после переработки биомассы, а вещества типа нефти или бензина, которые стали бы такими же естественными продуктами фотосинтеза, как глюкоза, жиры и белки.

В самом деле: ведь умеют же растения вырабатывать углеводороды. И высокого качества! В латексе гевеи углеводородные цепочки более длинные, чем в нефти. Беда только в том, что они на две трети разбавлены водой.

Итак, почему бы не поискать растения, которые бы непосредственно производили нефтепродукты? Вдохновленный этой новой идеей, Калвин, что называется, засучил рукава и принялся за дело.

В серии многочисленных опытов он доказал, что густой белый сок, выделяемый рядом тропических деревьев, представляет собой, по существу, легкий углеводород, из которого можно получать жидкую нефть, если удалить воду из эмульсии. Этот сок может стать превосходным сырьем для изготовления высококачественного бензина.

А добывают сок просто из надразезов на коре деревьев. При этом древесина, естественно, не повреждается и может быть при необходимости использована в строительстве или для производства бумаги.

Где же растут эти чудо-деревья? Во многих областях земного шара. В Бразилии, Индонезии, Африке.

Сегодня Калвин стал одним из главных энтузиастов идеи «энергетических ферм»: он путешествует по всему миру в поисках растений, которые можно было бы специально выращивать ради их топливного потенциала.

В Бразилии ученый наблюдал, как подсекают стволы деревьев копаиба и добывают сок. По его словам, каждые 6 месяцев одно такое дерево дает от 20 до 30 литров сока, являющегося, по сути, нефтью.

«Поскольку молекулярный вес и химические характеристики сока копаибы схожи с характеристиками дизельного топлива,— утверждает Калвин,— эту «нефть» можно прямо



«Сусликовое дерево», или, по-научному, эйфорбия.

из ствола дерева заливать в бак дизельного двигателя».

На сегодняшний день копаиба, возможно, остается самым лучшим из известных в природе прямых поставщиков так называемой «био-нефти». Но Калвин нашел хотя и не столь поражающий воображение, но обильный ее источник... во дворе собственного дома в Калифорнии.

Он обратил внимание на высокое ярко-зеленое растение с заостренными листьями, известное ботаникам как эйфорбия латирис. Большинство фермеров называют его «сусликовым деревом», полагая, что оно отпугивает сусликов и других грызунов. А с точки зрения садовников—это просто крупный, надоедливый сорняк.

В сущности, «сусликовое дерево»—представитель того же семейства, что и каучуковые. Калвин высушил несколько таких растений, истолок их и получившуюся пудру залил растворителем. Экстракт это-



Плантация деревьев, вырабатывающих «бионефть».

го раствора внешне похожий на сырую нефть, но и при разложении на фракции вел себя как добытое из недр «черное золото».

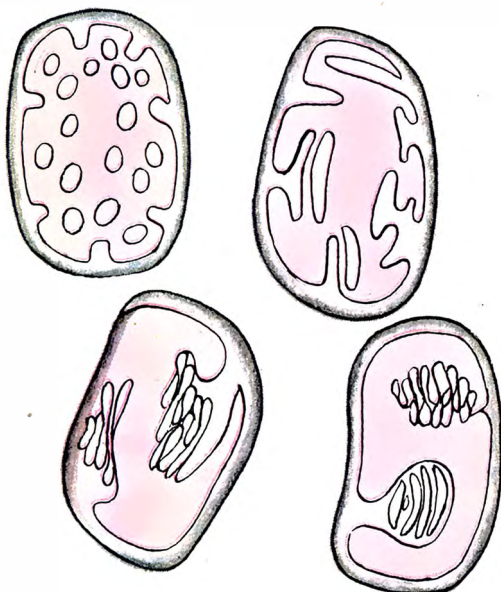
Это подтвердила и тщательная проверка, проведенная нефтяной корпорацией «Мобил».

Чтобы убедить скептиков, Калвин устроил демонстрационный пробег.

Используя бензин, полученный им в лаборатории из сока бразильских деревьев, он около ста километров колесил по дорогам Америки.

А круг потенциальных поставщиков зеленого бензина все расширяется. Поиски ученых увенчались новыми успехами. Стало известно, что искусственный бензин удалось получить и из сока других растений — лиан и некоторых видов кустарников и деревьев, произрастающих не только в тропиках, но и во многих других регионах. Например, в полупустынных и даже пустынных районах. Общее число таких растений достигает уже около семи сотен!

Их сок также весьма напоминает сырую нефть и в сгущенном виде прекрасно горит. И что немаловажно — он не загрязняет при сгорании



Пурпурные бактерии способны вырабатывать углеводороды.

окружающую среду двуокисью серы или какими-либо другими токсичными компонентами.

Из этого сока уже вырабатывают смазочные материалы для моторов самолетов и точных машин, а также защитные средства против обледенения.

Теперь у профессора М. Калвина появились и последователи, например, агроном из Франции Сан де Персево.

Он также намеревается культивировать бразильские деревья и уже подсчитал, что каждый год с одного гектара плантации сможет получать железнодорожную цистерну жидкого топлива.

Крайне важно, что растительный бензин при этом будет значительно дешевле обычного.

Не только растения проявляют, так сказать, нефтеносные свойства. Важное открытие сделали канадские ученые: в подземных соленых водах они обнаружили нефтепроизводящие бактерии.

Две бактерии: одна — пурпурная, а другая — прозрачная работают как своеобразный тандем, превращая в жидкие углеводороды содержащийся в воздухе углекислый газ.

Размножаются эти микробы исключительно быстро: их «урожай» можно снимать каждые два дня. Поэтому резервуар с такими бактериями площадью в одну квадратную милю способен дать за год до 1400 миллионов литров «бионефти».

История с «бионефтью» крайне знаменательна. Если могут растения и микробы, значит, сможем и мы! Значит, стоит — с большой верой в успех — браться за создание еще одного типа СТЕКЛЯННЫХ ЛИСТЬЕВ.

НЕФТЬ НЕБЕСНАЯ

И все же выращивание нефти вряд ли станет повсеместным. Ведь потребовались бы архигигантские территории. Вспомним: КПД фотосинтеза мал, процесс этот очень непроизводителен.

Нефть из атмосферы! Нефть небесная — вот слова, которые все чаще встречаются сейчас в научных и популярных журналах.

Этот взгляд, к примеру, пропагандируют ленинградские профессора В. Цысковский и Л. Эфрос. Развивая идеи грузинского академика Ф. Давитая, они предполагают сделать сырьем для технологических процессов ту углекислоту, которая поступает в атмосферу из труб фабрик и заводов.

Но как выделить из воздуха углекислый газ — это сырье будущего? Прежде ведь только живая природа умела столь естественно, при нормальных температурах и давлениях, при малых затратах энергии использовать небесные богатства.

Да, прежде умением этим владела только природа, однако теперь кое-что может и человек. Сейчас есть много физических и химических способов выделения углекислоты из воздуха. Например, вымораживание или разделение газов с помощью пористых мембран.

Возможно, воздух, содержащий углекислоту, после осушки будет соединяться в определенных условиях с газообразным аммиаком. Аммиак, вступая в химическое взаимодействие с углекислотой, образует такое соединение, как углекислый аммоний.

Это вещество представляет собой белый кристаллический порошок, который легко отделяется от газообразных компонентов. Эта операция будет осуществляться в

112 аппаратах типа циклонов или центробежных сепараторов. Воздух, уже не содержащий углекислоты, из циклонов возвратится в атмосферу.

Следующий этап — выделение углекислого газа из углекислого аммония. Последний, как известно, — соединение, термически нестойкое, легко разлагается на аммиак и двуокись углерода под действием тепла.

Очевидно, химики в будущем легко найдут условия, исключющие обратимость реакции, и добьются разделения этих двух газобразных веществ. Тогда аммиак снова будет возвращен на повторное использование, а углекислота — на дальнейшую переработку.

Итак, углекислота, считаем, получена — что делать с ней?

Здесь следует напомнить, что добыча нефти не из земных недр, а синтез ее из углеродных газов — это предложение отнюдь не ново, оно было актуально еще на заре нашего века.

Немецкие ученые Франц Фишер и Ганс Тропш, опираясь на исследование русского химика-технолога Е. И. Орлова, впервые показавшего в 1908 году возможность синтеза нефтяных углеводородов из окиси углерода и водорода (эта смесь называется водяным газом), создали крупное производство синтетической нефти.

Источником для получения водяного газа явились бурые угли. Сам синтез нефти был осуществлен при контактировании водяного газа при 180—200 градусов Цельсия и атмосферном давлении с окисными железо-цинковыми катализаторами.

В течение десятков лет Германия успешно эксплуатировала заводы по производству искусственного жидкого топлива.

Танковая и авиационная мощь фашистских армий держалась на синтетическом бензине (синтине),

полученном из бурого угля в печах Лурги.

Но вот пришла Большая нефть. После окончания второй мировой войны заводы по производству синтетического бензина были демонтированы, процесс Фишера-Тропша забыт. Теперь искусственная нефть уже не могла конкурировать на рынке с нефтью, поступающей из подземных кладовых.

Однако сейчас положение меняется. Мысль о синтетическом бензине становится все более соблазнительной.

Но, возразит внимательный читатель, синтин готовят из окиси углерода — CO , а не из углекислоты — CO_2 .

Да, совершенно верно, однако переработка двуокиси углерода в окись возможна. Для этого требуются только мощные источники тепла.

Ими могут послужить, скажем, высокотемпературные атомные реакторы.

Согласно схеме, которую сейчас разрабатывают ученые, в специально оборудованном атомном реакторе вместе с получением окиси углерода пойдет также и термохимическое разложение воды на водород и кислород.

Далее последует приготовление газовой смеси (так называемого «синтез-газа»), используемой как сырье для получения углеводородов, метилового спирта и многих других продуктов, которые химики обычно извлекают из нефти.

Но длинна цепочка, слишком много в ней стадий! Ясно: гораздо привлекательней получать нефтепродукты непосредственно из углекислого газа воздуха. Как это умеет делать зеленый лист. Это был бы достойный венец всей этой химической затеи.

И тут появилась надежда. Ее дали нам ученые-электрохимики. «Не-

бесную нефть» можно, видимо, будет в будущем получать посредством электролиза — процесса, при котором под действием электрического тока в особых реакторах произойдет соединение углекислого газа воздуха (его и выделять не придется) и водорода, содержащегося в самой обыкновенной воде (и водород не надо будет извлекать).

Образующиеся в процессе электролиза простейшие углеводороды, заменив нефть, вполне смогут стать сырьем для химической промышленности, для производства искусственной пищи и других целей.

Советские ученые из Института электрохимии Академии наук СССР и научно-исследовательских институтов уже начали эту важную и интересную работу.

МОЖЕТ ЛИ БЫТЬ
ФОТОСИНТЕЗ
БЕЗ ХЛОРОФИЛЛА?



Глава ГАЛОБАКТЕРИИ 7 УДИВЛЯЮТ МИР

Подлинный ученый скорее стремится установить факты, нежели искать подтверждения своему пониманию истины, ибо истина существует независимо от того, будет она открыта или нет.

Мелвин Калвин

В

научной жизни академика А. А. Красновского однажды был такой характерный эпизод.

Рассказывают, что он как-то на семинаре задал вопрос своим ученикам:

— Какой самый простой признак фотосинтеза?

Его молодые коллеги дружно и быстро (не задумываясь и не сговариваясь!) ответили:

— Присутствие хлорофилла...

Зеленый цвет вовсе не обязателен для каждого фотосинтезирующего организма. Водоросли, к примеру, в большинстве случаев бывают желтые, бурые, оливковые, красные или синие, но не зеленые, ибо в их жизни каротиноиды играют важную роль. И на суше некоторые растения имеют желтые или красные, а не зеленые листья.

Еще более удивляют некоторые синезеленые водоросли: они, как хамелеон, меняют окраску, реагируя на изменения силы света...

Но в какие бы одежды ни рядились фотосинтетики, ключевую, доминирующую роль в них играет зеленый пигмент — хлорофилл. Всякий раз, когда пигментная система «цветного» фотосинтетика подвергалась анализу, в ней, в замаскированном виде, обязательно находили и хлорофилл.

Надо полагать, природа не случайно использует хлорофилл как универсальный фотосинтетический пигмент во всех растениях, начиная от простейших одноклеточных водорослей и кончая высшими растениями. Видимо, в нем как бы сконцентрированы некие принципы, которые природа исповедует, создавая свои лучшие творения.

116 «ФАВОРИТЫ» ЖИВОЙ ТКАНИ

Вот парадокс! Поставить вопрос часто значительно труднее, чем ответить на него.

Хороший вопрос тот, на который можно дать однозначный ответ и который оставляет за собой цепочку (чем длиннее, тем лучше) новых проблем-вопросов.

Биологов и химиков давно интригует, почему природа отобрала для своих целей (и материализовала их в живых системах) вполне определенное и небольшое число химических элементов, игнорируя множество других.

Около 99% тканей живых организмов построено лишь из четырех элементов: водорода, кислорода, азота и углерода. Почему именно из них? — вот тема для плодотворных дискуссий.

Небольшая статистика обнаруживает поразительные контрасты.

Во Вселенной 99, а то и почти все 100 процентов вещества приходится на водород и гелий.

В земной же коре 98% всех атомов — это кислород (47%), кремний (28%), алюминий (8%), железо (4,5%), проценты кальция, натрия, калия, магния...

В состав живых организмов входят 18 необходимых химических элементов — в земной коре их обнаружено 90.

Живое игнорирует алюминий, кремний, титан, хотя эти элементы можно встретить повсюду. Но такой редкий элемент, как молибден, играет важную роль в биохимических процессах, входя в состав нескольких металлоферментов.

Еще парадокс. Хотя большинство клеток в таблице Менделеева заполнено металлами (из 105 примерно элементов 85 металлы), природа использует в качестве материалов для строительства живых организмов главным образом неметаллы.

Выходит: эволюция при отборе руководствовалась вовсе не доступностью тех или иных элементов или их распространенностью, а какими-то иными принципами.

Действительно, возьмем, к примеру, углерод и кремний. Кремния во всех доступных для живых организмов частях Земли в 135 раз больше, чем углерода.

Кремний располагается в периодической системе непосредственно под углеродом: по своим свойствам подобен углероду, также имеет тенденцию к присоединению четырех электронов и образованию четырех ковалентных связей. Почему же жизнь на Земле базируется на относительно редком элементе — углероде, а не на кремнии, которого гораздо больше?

Сейчас наука уже довольно уверенно отвечает на подобные нелегкие вопросы. Оказывается, живая ткань требует, чтобы ее мельчайшие строительные блоки удовлетворяли двум условиям: минимальности размера и устойчивости электронной конфигурации при соединении 1, 2, 3 и 4 электронов. Этот суровый экзамен удалось выдержать водороду, углероду, азоту и кислороду.

Разнообразие веществ живой природы огромно. Одних только белков многие тысячи. А между тем все это богатство создано из весьма однотипного сырья.

Не надо быть химиком, чтобы это увидеть. Вглядитесь в формулы органических соединений живого: у вас перед глазами замелькают цепочки букв C, по бокам их будут выскакивать H, да кое-где — O и N.

Углерод (он в жизни главный!), водород, кислород, азот, а также фосфор и сера (они входят в состав наиболее важных биополимеров: белков и нуклеиновых кислот) — вот основные шесть элементов жизни.

В этом просто убедиться. Возь-

мом организм человека. Мы на 63 процента состоим из атомов водорода, на 25,5 процента из атомов кислорода (эти атомы образуют молекулы воды, поэтому они и дают наибольший вклад!), на 9,5 процента — из атомов углерода и, наконец, на 1,4 процента из атомов азота.

Осталось, вооружившись арифмометром, сложить эти цифры. В сумме получается 99,4 процента — основная масса.

Продолжая подобный анализ, некоторые ученые пришли к любопытному выводу: возможно, что не только химические элементы, но и, так сказать, химическая конституция организмов должна быть одинаковой во всей Вселенной.

Но это уже несколько иная тема.

КОГДА ВСКРЫЛИ АМПУЛЫ...

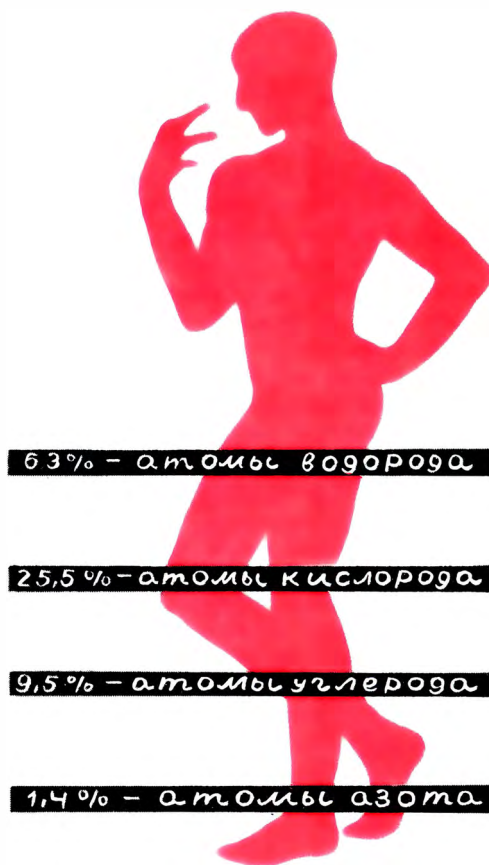
В расчете, который мы проделали выше, у нас еще остались 0,6 процента. Эта часть тканей человеческого организма по большей части представлена неметаллами. И все это наводит на мысль, что металлы не играют никакой роли в жизненных процессах.

Однако такой вывод был бы в корне неверен: отсутствие металлов в рационе приводит к тяжелым и даже губительным заболеваниям.

Неоценимую роль металлов (мал золотник — да дорог!) лучше всяких слов подтверждает опыт, проведенный недавно японским ученым Ф. Эгами.

Он заполнял ампулы морской водой такого состава, который она имела в пору зарождения жизни на Земле.

Рецепт соответствовал геологическим данным. И только содержание шести металлов — цинка, молибдена, железа, меди, марганца, кобальта — было повышено в десятки тысяч раз.



Тело человека на 99,4 процента состоит всего из четырех химических элементов.

В воде были также растворены гидроксиламин и формальдегид — два сравнительно простых вещества, которые с большой вероятностью могли образовываться в земной атмосфере древнейших времен при извержении вулканов или от грозových разрядов.

Свободное пространство в ампулах было заполнено азотом. Раствор выдерживали несколько месяцев при нагреве до 105 градусов по Цельсию. Высокая температура ускоряла течение химических процессов, а также исключала присутствие микроорганизмов.

Когда ампулы вскрыли, в воде были обнаружены несколько важнейших для жизни аминокислот: глицин, аланин, серин, глутамин, аспарагин, пролин...

В этом убедительном эксперименте металлы решительно заявили о себе как организаторы жизни.

Выяснение биологической функции металлов на атомно-молекулярном уровне составляет главную задачу особой науки — бионеорганической химии (иногда ее называют и так: неорганическая биохимия). Эта наука — она перебрала новые мосты между неорганической химией, биохимией и медициной — возникла недавно, в начале 60-х годов.

(В становлении этой науки у нас в стране велика заслуга украинского академика Константина Борисовича Яцимирского, директора Института физической химии имени Л. В. Писаржевского Академии наук УССР, который очень успешно ведет подобные исследования в Киеве. Эти работы уже отмечены многими премиями.)

Бионеорганическая химия прежде всего занята поисками «металлов жизни», тех металлов, биологическая роль которых неоспорима.

Уже составлен список (словно это ведущие спортсмены) из десяти важнейших металлов. Вот они:

НАТРИЙ, КАЛИЙ, МАГНИЙ, КАЛЬЦИЙ, ЖЕЛЕЗО, МЕДЬ, ЦИНК, КОБАЛЬТ, МАРГАНЕЦ, МОЛИБДЕН.

Необходимые «дозы» первой четверки элементов в организме человека исчисляются десятками и сотнями граммов. Для следующей пятерки — это уже граммы и его доли. Особняком — его требуется совсем немного — стоит молибден.

Специалист по бионеорганической химии может буквально часами рассказывать о замечательных свойствах этих металлов.

Скажем, калий и натрий. Ион

натрия почти в полтора раза меньше иона калия и в условиях лабораторных экспериментов легче диффундирует сквозь клеточные мембраны. Казалось бы, так оно должно быть и в организме: внутри клеток натрий должен преобладать по сравнению с калием.

Нет же! Калий в организме находится главным образом внутри клеток, а натрий — во внеклеточных областях. Например, в кровяных клетках калия в 10,5 раза больше, чем натрия, а в плазме крови, наоборот, почти в 30 раз меньше.

Зачем нужно столь резкое различие в концентрациях, понятно. Благодаря ему возникает разность электрических потенциалов между жидкостями внутри и вне клеток, создаются условия для передачи нервных импульсов.

Да, о металлах жизни можно говорить долго. О кальции (он составляет арматуру костной ткани; в теле человека, весящего 70 килограммов, кальция содержится примерно 1,5 килограмма). О незаменимости железа (оно входит в состав крови), о чудесах, которые творят для жизни цинк, медь, марганец... Но чтобы вполне оценить их похвальные свойства, нам пришлось бы изъясняться на особом молекулярном языке, трудном для непосвященных.

Мы не будем входить в эти тонкости. Но заметим еще, что металлы жизни можно называть также металлами здоровья, ибо недостаток биометаллов в организме вызывает ряд заболеваний.

Дефицит железа приводит к анемии, нехватка кальция тянет за собой костные болезни, недостатка меди влечет деструкцию (нарушение нормальной структуры) сосудов. Столь же губителен, впрочем, и избыток биометаллов...

Итак, в последние десятилетия химики-бионеорганики познали

один из важных секретов жизни. Хвостатые порфины в комплексе с металлами чрезвычайно «популярны» в природе. Это гем, хлорофилл, многие витамины, такие важные ферменты, как каталаза, пероксидаза; это биологические переносчики электронов в клетках — цитохромы.

И если вновь вернуться к хлорофиллу, то использование его в процессах, идущих с поглощением света, это, казалось бы, проторенная дорожка, укатанная колея. Если живое захочет утилизировать свет, оно непременно обратится к услугам хлорофилла. Однако изобретательность природы, ее творческая выдумка, видимо, еще далеко не исчерпаны. Сейчас мы в этом убеждаемся.

ВЫХОДЦЫ ИЗ ПЕРЕСОЛЕННОГО МИРА

В марте 1976 года американский ученый, доктор Уолтер Стокениус, возглавлявший бригаду исследователей из Калифорнийского университета, сделал на пресс-конференции сенсационное сообщение. Рассказал про изученную им (открыта она была еще в 1965 году) морскую бактерию (*Halobacterium halobium*, или, проще, галобактерию), которая использует энергию солнечных лучей и при этом начисто лишена хлорофилла!

До сих пор в природе не было известно ни одного случая фотосинтеза в отсутствие хлорофилла. И вдруг такое: обнаружен живой (не ископаемый) фотосинтетик, полностью лишенный «зеленого пигмента». Этот пигмент отныне теряет свою, как прежде казалось, неограниченную монополию.

Вместе с ним монополию теряли и комплексы металлопорфирины. (В вопросе этом ученых, видимо,

ждут новые неожиданности. Биологи еще мало знают о назначении многих пигментов, окрашивающих живые организмы, особенно микробов...)

Галобактерии между тем преподносили сюрприз за сюрпризом. Прежде всего необходимо отметить, что Стокениус вел работу по программе НАСА (Национальное управление по аэронавтике и исследованиям космического пространства).

Ученого интересовали формы земной жизни, живые существа, способные выносить экстремальные условия. Например, в какой мере биологические виды могут приноситься к чрезвычайно суровым и сложным условиям, которые встретятся, по мнению специалистов (задание НАСА), на других планетах.

И тут галобактерии показали себя. Поистине инопланетные организмы, они прекрасно чувствуют себя там, где бастует все живое.

Эти существа-клетки — выходцы из очень «пересоленного» мира. Они обитают в засоленных лагунах, озерах и даже... в Мертвом море. Вопреки представлениям о том, что среда здесь совершенно не приспособлена для жизни.

(Для справки скажем, что вода озера Байкал близка к дистиллированной. Воды Балтийского моря по степени засоленности напоминают слезу. А в Мертвом море вода в 50 раз более солона, чем на Балтике.)

Исследователей поразило еще и то, что устроены галобактерии необычайно оригинально. Все в них не так, как в привычной жизни: потому и неудивительно, что они «расцветают» в среде, в которой прочую живность можно лишь законсервировать.

Живучесть галобактерий — результат чрезвычайного упрощенче-

120 ства. Они обходятся минимумом средств. Их одежки-мембраны есть донельзя упрощенный вариант уже знакомых нам универсалов внутриклеточной деятельности — биомембран.

Биологи привыкли иметь дело со структурной организацией невообразимой сложности — биомембранами, буквально начиненными, напичканными белками очень сложной природы, а тут все так просто. Мембраны галобактерий, как выяснилось, содержали всего один-единственный белок.

И вновь неожиданность: эти белки, вмонтированные в мембраны («фиолетовые бляшки»), по своей структуре были очень близки к родопсину — зрительному пигменту сетчатки глаза высших животных. Выяснилось, что животный и бактериальный родопсин прямо-таки близнецы, молекулярные двойняшки!

Тут необходимо пояснение. Исследователей поразило близкое структурное родство между белками таких далеких по организации и по обязанностям живых тел, стоящих на разных концах эволюционной лестницы.

Вроде бы одно дело — родопсин, содержащийся в палочках нашего глаза, и совсем другое — бактериородопсин у галобактерий, примитивнейших из существ.

Конечно, мысль о том, что могущество природы базируется на конечном (и небольшом) числе основных «кирпичиков» жизни, кажется разумной. Поэтому, быть может, и неудивительны параллели между деятельностью мембран галобактерий и глазной сетчатки.

И возможно, в будущем эта связь поможет понять пока еще малоизученные зрительные процессы...

Все это так. И все же вопрос о связи бактериородопсина и со-

державшегося в ретине наших глаз и отличающего свет от тьмы родопсина продолжает интриговать ученых.

Конечно, бывает, что близнецы выбирают разные профессии, но для этого (как показали специальные обследования людей-близнецов) нужно давление чрезвычайных обстоятельств.

Американский ученый Стокениус высказал такую гипотезу. Два реагирующих на свет пигмента — хлорофилл и родопсин — были созданы природой не случайно: у каждого из них свое назначение.

Хлорофилл собирает солнечную энергию, запасает ее, а «призвание» родопсина иное — освещать нервную систему живого существа о сигналах видимого мира.

Первый пигмент более действен в плане количественном (обслуживает, так сказать, материальные нужды организма), второй же берет на себя качественную сторону дела, способствуя переработке поступающей информации.

Ну а вот найденный у галобактерий бактериородопсин — это исключение, подтверждающее правило: жизненная цепкость этих созданий — видимо, следствие удачного совмещения различных функций в одном и том же пигменте.

У этих бактерий родопсин не только поставляет энергию, но и как-то регулирует действие жгутиков — особых органов, благодаря которым галобактерии перемещаются в воде, следуя за Солнцем, располагаясь по отношению к нему наиболее оптимальным образом.

Эта двуликость бактериородопсина предлагает исследователям счастливую возможность заглянуть в самые сокровенные тайны природы: в механизм видения и одновременно в фотосинтез, который гораздо более упрощен (в сравнении с процессами, разыгрывающимися с участием хлорофилла).

ПРОСТЕНЬКИЙ ВАРИАНТ

Интенсивное изучение галобактерий, уникальных свойств их мембран ведется сейчас во многих лабораториях мира.

Их исследует уже упоминавшийся выше У. Стокениус, Э. Рэкер в США, К. Мак-Клэр в Англии и другие. В СССР в Московском государственном университете больших успехов добился коллектив ученых под руководством члена-корреспондента Академии наук СССР Владимира Петровича Скулачева.

Скулачев — советский биохимик и биоэнергетик, родился в Москве (1935), окончил Московский университет (1957), где и работает с 1960 (в 1965—1973 заведовал отделом биоэнергетики межфакультетской лаборатории биоорганической химии, с 1973 года заведующий этой лабораторией), член-корреспондент АН СССР (1974). Основные работы посвящены биохимии (первая научная монография Скулачева «Аккумуляция энергии в клетке», 1969 г., начиналась словами: «Биохимию в наши дни можно сравнить с географией во времена Колумба. Не проходит месяца, чтобы на карте, изображающей пути превращения веществ и энергии в клетке, не появились бы новые острова точного знания. Капитаны многих наук, собравшись под флагом молекулярной биологии, снаряжают экспедиции в глубь неизвестных пространств, чтобы искать элементарные проявления жизни в свойствах отдельных молекул...») митохондрий (крошечных гранул, присутствующих в каждой живой клетке, сейчас доказано, что это как бы «электростанции» клеток, снабжающие их энергией в виде особых химических соединений — молекул аденозинтрифосфорной кислоты, сокращенно — молекул АТФ). Скулачев — один из первых лауреатов премии Ленинского комсомола, удостоен также премии имени А. Н. Баха (1972) и Государственной премии СССР (1975). Им написана популярная книга «Рассказы о биоэнергетике» (издательство «Молодая гвардия», серия «Эврика», 1982), где очень ярко и поэтично воссоздана обстановка напряженных научных поисков как советских, так и зарубежных биоэнергетиков.

Мембраны галобактерий — очень благодарный объект для исследований. Содержащийся в них бактериородопсин, этот белок-малютка (молекулярный вес бактериородопсина примерно 27000 килодальтон, он состоит всего из одной полипептидной цепи) действует, так сказать, «в одиночку». И это создает уникальные возможности для применения учеными ряда экспериментальных подходов, использование которых было бы затруднительным в других, более сложных системах.

Кажется, природа здесь сама идет навстречу чаяниям ученых, всегда стремящихся максимально упростить объект своих исследований.

Скажем, процедура выделения бактериородопсина. Обычно очистка мембранных ферментов — долгий, многостадийный процесс. При этом есть опасность, что фермент изменит свои свойства, а то и вовсе утерять их — инактивируется.

Для бактериородопсина подобных проблем нет. Хотя бы потому, что он очень устойчив к высоким температурам, кислотам, щелочам и другим химическим агентам.

Оно и понятно: этот молекулярный «стойк» проводит жизнь в крайних условиях — жара пустынь, соленость тамошних озер. Потому-то ему все нипочем. В холодильнике, к примеру, он может храниться годами без потери биологической активности.

А выделяют бактериородопсин так. Галобактерии подвергают осмотическому шоку. А если выражаться проще, то их переносят из привычного для них насыщенного раствора поваренной соли в чистую воду.

Этого достаточно. Внутреннее давление распирает их, и они буквально лопаются, при этом их мембраны крошатся на отдельные кусочки.

Теперь надо отцентрифугировать эту смесь (молекулы бактериородопсина, как самые крупные из фрагментов, окажутся в центрифуге на самом краю) — и в руках исследователя оказывается паста фиолетового цвета. Это — почти чистый бактериородопсин (75 процентов в смеси с фосфолипидами, жирными кислотами, которые способствуют деятельности этого пигмента в мембране). Можно заняться изучением его свойств.

Несколько лет напряженных исследований принесли богатые научные плоды. В двух словах механизм функционирования мембран галобактерий таков.

Бактериородопсин в них служит генератором тока, он переносит заряды с одной стороны мембраны на другую. А энергию для этого дает свет.

А если точнее, то главная задача этой молекулы — обеспечить транспорт ионов водорода (протонов) сквозь мембрану.

Упавший на бактериородопсин фотон света способствует деформации этой молекулы, что, в свой черед, и приводит к удалению протона.

Каждый отдельный пигмент обеспечивает за секунду прохождение сквозь мембрану приблизительно двух сотен ионов.

А образующаяся при этом разность потенциалов между внутренней и внешней (по отношению к клетке) сторонами мембраны иницирует (как в эстафете) прохождение следующих стадий: биохимических превращений, столь необходимых для жизнедеятельности галобактерий...

Кроме того, черпая энергию из того же источника (солнце), галобактерии могут эффективно бороться с засоленностью той среды, где они работают. Оказывается: внутри эта бактерия не так уж и «солонка»! Так

что галофильной, что значит буквально «солелюбивой», эту бактерию называли словно бы в насмешку.

Результаты научных изысканий сразу же подсказали практическую мысль: использовать мембраны галобактерий или их модели для опреснения морской воды. Сейчас делаются попытки реализовать эту заманчивую идею: сконструировать биологический насос-опреснитель...

Изучение галобактерий продолжается. Сами по себе эти эксперименты можно было бы демонстрировать публично, как одно из чудес современной науки.

И в СССР, и в Америке работали с микропузырьками из фосфолипидов — сложных жиров, являющихся одним из основных компонентов мембран клеток животных, растений и микроорганизмов.

Эти жировые микрокапельки ученые начиняли мембранами с бактериородопсином.

Сначала удалось доказать, что такие пузырьки действительно поглощают протоны. Это сделал Рэкер (США).

В лаборатории МГУ у Скулачева пошли дальше: показали, да, действительно образуются разные концентрации ионов на сторонах мембраны и одновременно поперечное (относительно мембраны) электрическое поле.

Удалось даже непосредственно промерить разность электрических потенциалов...

Так фотосинтетики преподнесли еще один (уже который!) сюрприз: они, оказывается, умеют преобразовывать энергию солнечного света еще и в энергию электрического поля.

И по всей вероятности, это одно из наиболее фундаментальнейших свойств, характеризующих жизнедеятельность любой клетки.

«ДУЭЛЬ» БИОХИМИКОВ

Для понимания того, как действует бактериородопсин, очень важно вызнать его структуру. О том, как непросто было провести «дешифровку», изложено на страницах книги В. П. Скулачева «Рассказы о биоэнергетике».

С виду бактериородопсин крайне прост. Это совокупность ретиналя (одна из форм витамина А) и белка. Считалось, понимание структуры последнего не доставит больших хлопот. Увы! Видимость оказалась обманчивой.

Для начала надо было выяснить, как в белковой части бактериородопсина 248 аминокислотных остатков образуют линейную цепочку. А полная задача требовала знания пространственных координат всех составляющих его атомов, а их около 4 тысяч!

Нелегко пришлось исследователям. Подобного рода работу в одиночку не совершишь. Нужна координация усилий большого коллектива ученых. И даже тут на это уходят многие месяцы, а то и годы напряженного труда.

А самое обидное: труды эти могут остаться втуне, неоцененными в должной степени. А почет, слава, лавры достанутся тому, кто первым опубликует результаты исследований. В отличие от спорта в научных «соревнованиях» серебряные и бронзовые медали не присуждаются, только золото!

Более счастливый, наконец, более расторопный конкурент «обскачет» вас на самом финише — и все ваши мучительные усилия окажутся напрасными. Будут интересоваться разве лишь историков науки.

Можно, конечно, публиковать в научных журналах отдельные этапы долгой работы. Но это путь опасный, если заботиться о приоритете. Что, если ваша статья будет на руку

конкуренту? Быть может, у него трудности как раз в том, что для вас давно уже пройденный этап! И вы лишь облегчите его усилия.

При расшифровке структуры бактериородопсина основными соперниками оказались советские биохимики, работу которых возглавил вице-президент Академии наук СССР академик Юрий Анатольевич Овчинников, и биохимики американские.

Хар Гобинд Корана, американский биохимик, индус по происхождению, был лидером американской группы. Знаменитый Корана, лауреат Нобелевской премии (1968), прославившийся тем, что ему первому удалось синтезировать простейшие гены.

Серьезный конкурент! Однако на этот раз он был лишь вторым.

Осенью 1978 года работы в Москве были закончены. Группа Овчинникова опубликовала полную структуру бактериородопсина в ноябрьском номере журнала «Биоорганическая химия». И только в январе 1979 года в первом номере «Трудов Академии наук США» появилось сообщение Кораны. Да и то речь шла пока только о частичной структуре бактериородопсина, лишь об одном из этапов еще долгого пути.

Видимо, эта публикация была жестом отчаяния человека, который осознал, что первым ему не быть. Эмоциональный отклик на тот факт, что выиграть гонку у русских биохимиков не удалось.

И лишь примерно через год после появления статьи советских авторов в «Биоорганической химии» Корана публикует полную структуру бактериородопсина.

Данные двух лабораторий практически совпадали на протяжении всей 248-членной полипептидной цепи белковой части бактериородопсина. Лишь местами обнаружи-

124 лись единичные различия. Видимо, советские и американские биохимики работали с различными разновидностями галобактерий.

«Дуэль» биохимиков закончилась, однако работы было еще непочатый край! Пока известна только последовательность аминокислот, но, спрашивается, какова укладка этой длиннющей цепи в мембране, как она упакована?

Цепь может образовать петли, клубки, может прихотливо закручиваться в спираль. Тут уже за дело должны взяться специалисты по рентгеноструктурному анализу.

Кристалл исследуемого белка надо облучать пучками электронов, и по отклонению этих пучков ядра-

ми атомов определять места этих атомов в кристалле. Так, в конечном итоге, можно построить модель молекулы белка.

Работа продолжается. И сулит она многое. Главное: станут понятны основные принципы структуры и механизм действия галобактерий. А это в будущем приведет к возможности сконструировать новые типы **СТЕКЛЯННЫХ ЛИСТЬЕВ**.

Это могут быть и установки для опреснения морской воды, и молекулярные генераторы электрического тока, соединенные в батареи невиданной мощности, и многое другое, что сегодня сулят растения и что завтра обязательно будет работать на человека.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Да здравствует время!
Да здравствует путь!
Рискуй. Не робей. Нерасчетливым
будь.

Павел Антокольский

1981 год. Подмосковный научный центр Черноголовка. Идет Первая Всесоюзная конференция «Пути использования солнечной энергии». Выступает академик Жорес Иванович Алферов.

Академик просит показать первый слайд. Гаснет свет — и присутствующие видят на экране картину миллионолетней давности.

Земля покрыта пышной тропической зеленью, в зарослях бродят динозавры — гигантские ящеры. Ярко светит солнце, одаряя все теплом и светом. Закладываются основы энергетики наших дней — копятся запасы угля, нефти, природного газа.

Следующий слайд — вторжение современности. Панорама огромного ночного, залитого светом тысяч огней города. Торжество могучей цивилизации, всюю использующей «солнечные консервы».

А свой доклад Алферов завершил неожиданным аккордом. Показывает слайд с уже совсем древней флорой и фауной. По голой Земле ползают перворептилии. Все только начинается.

«Мы рискуем возвратиться в эти времена, — сказал академик, — если наша конференция не справится со своими функциями...»

126 Это была, конечно, шутка, но в ней, по пословице, была изрядная доля истины.

Да, переход в солнечную эру крайне необходим человечеству. Энергетика землян на пороге больших перемен. Проблемы, которые еще вчера казались фантастическими, ставятся на повестку дня. И в этом нашем, надеемся, солнечном завтрашнем дне **СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ** займут свое достойное место.

Какой простор для оригинальных решений, смелого поиска, неожиданных, ошеломляющих находок, простор для безграничного творчества и дерзаний!

И возможно, читатели этой книги — завтрашние студенты, послезавтрашние инженеры и ученые, — став взрослыми, займутся научной и практической разработкой подобных увлекательных проблем.

При написании данной книги использованы различные материалы: монографии, научные публикации, статьи газет и научно-популярных журналов. Обширная библиография, насчитывающая многие сотни книг и статей, не дает возможности, за редким исключением, указывать в тексте источники. Их авторам я приношу глубокую благодарность. Я крайне признателен также академикам А. А. Красновскому и М. А. Стыриковичу, члену-корреспонденту АН СССР А. А. Шлыку, докторам наук Ф. Ф. Литвину, Г. Г. Комиссарову, Ю. И. Корякину, А. Х. Лайску, кандидатам наук Г. П. Брин, А. Б. Рудому и многим другим, чьи рекомендации, советы, замечания помогли мне написать эту книгу.

АВТОР

К ЧИТАТЕЛЯМ

Отзывы об этой книге просим
присылать по адресу:
125047, Москва, ул. Горького, 43.
Дом детской книги.

ДЛЯ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Юрий Георгиевич Чирков

СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ

Научно-художественная литература

Ответственный редактор Л. А. Чуткова
Художественный редактор Г. Ф. Ордынский
Технический редактор Т. П. Тимошина
Корректоры И. Н. Мокина и Э. Н. Сизова

ИБ № 7205

Сдано в набор 27.07.84. Подписано к печати 26.06.85.
А10740. Формат 70×100¹/₁₆. Бум. офсетная № 1.
Шрифт журнально-рублиный. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,4. Усл. кр.-отт. 22,75. Уч.-изд. л. 9,54.
Тираж 100 000 экз. Заказ № 2915. Цена 70 коп.

Орден Трудового Красного Знамени и Дружбы
народов издательство «Детская литература»
Государственного комитета РСФСР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли.
103720, Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1.

Калининский ордена Трудового Красного Знамени
полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия
СССР Росглавполиграфпрома Госкомиздата РСФСР.
170040, Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.





Прежние способы добычи энергии не удовлетворяют Человека.
И он, взяв за образец энергетику зеленого листа,
построил СТЕКЛЯННЫЕ ЛИСТЬЯ.

С их помощью он хочет получить электричество,
водородное горючее, искусственную нефть.
Но так, чтобы сохранить планету в чистоте и порядке,
чтобы предотвратить кризисы — климатический,
экологический, энергетический...

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

