

Ю. Чирков

ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ

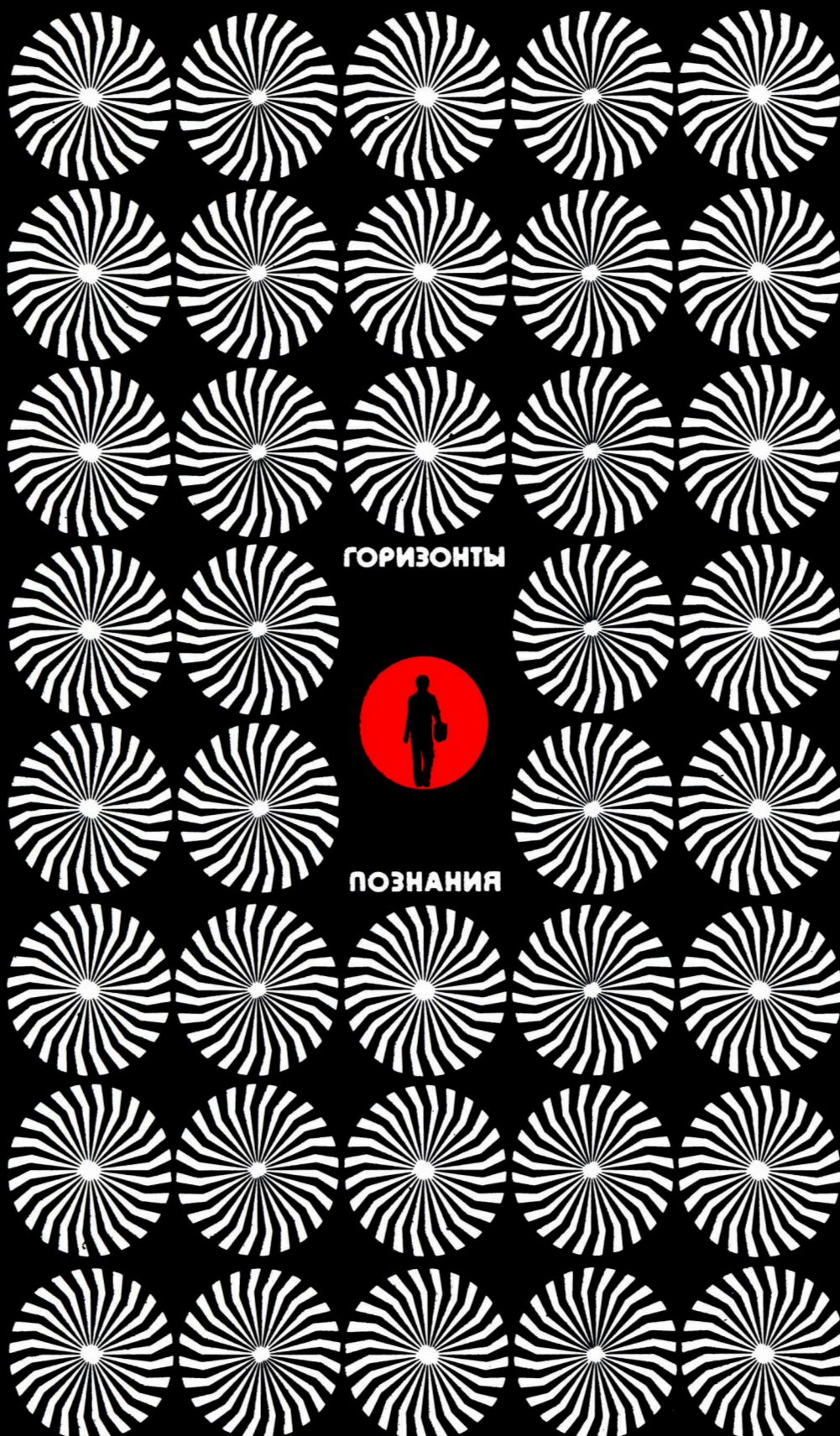


Ю. Чирков



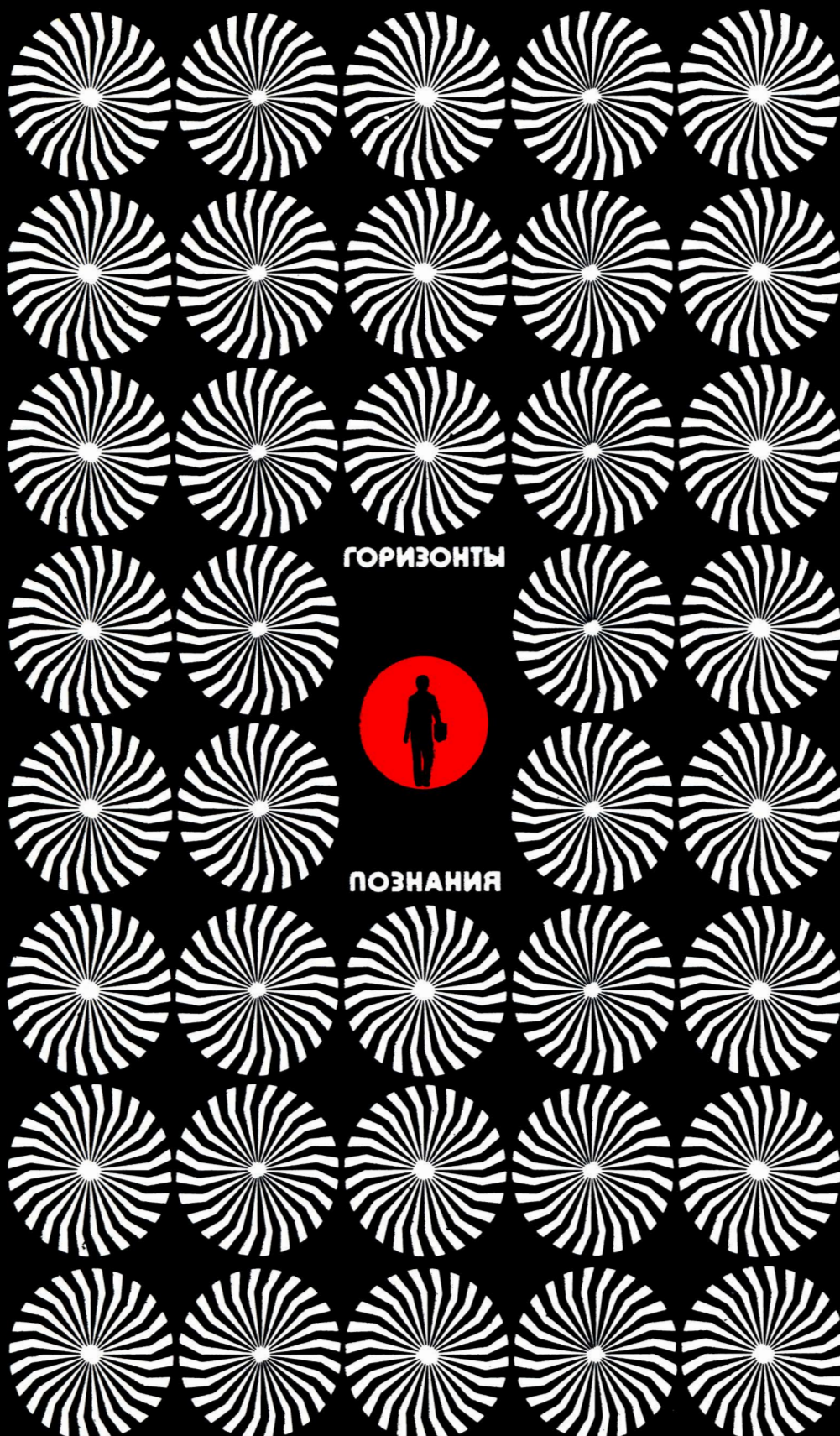
**СУММА
ЖИЗНИ**





ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



ГОРИЗОНТЫ



ПОЗНАНИЯ

ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



Ю. Чирков



**СУММА
ЖИЗНИ**

**Москва
«Детская
литература»
1987**

28.57
Ч-65

Рецензенты:

зав. лабораторией Института химической физики АН СССР,
доктор физико-математических наук, профессор
Л. П. КАЮШИН,

доктор биологических наук
Ю. И. НОВИЦКИЙ

Оформление серии
Б. ЧУПРЫГИНА

Иллюстрации
О. ФАЙДЕЛЬ

Фотоиллюстрации
А. КЛЮЕВА

Фотографии
Н. ЗИМИНА

Слайд на переплете
А. КЛЮЕВА

Чирков Ю. Г.

Ч-65 **Сумма жизни: Научно-художественная лит-ра/**
Оформл. Н. Зими́на, А. Ключева, О. Файдель,
Б. Чупрыгина.— М.: Дет. лит., 1987.— 143 с., ил.—
(Горизонты познания).

В пер.: 1 р. 20 к.

Автор, доктор химических наук, рассказывает о том, как ученые исследуют процесс фотосинтеза, ищут ключ ко многим тайнам в жизни растений. Что же реально дадут эти исследования сельскому хозяйству, какую помощь окажут в выполнении Продовольственной программы в нашей стране, вы узнаете, прочтя эту книгу.

Ч 4802000000—531 092—87
М101(03)87

ББК 28.57
581.4

Сидящим пока
за школьными партами
будущим Тимирязевым,
Докучаевым, Мичуриным,
Прянишниковым, Вавиловым...

ВВЕДЕНИЕ

Я всегда говорил
и не устаю повторять,
что мир не мог бы существовать,
не будь он так просто устроен.
Эту злополучную землю
обрабатывают уже тысячелетиями,
а силы ее все еще не иссякли.
Небольшой дождь, немножко солнца —
и каждую весну она вновь зеленеет
и будет зеленеть вечно.

И. Гете

На стенах храма богини Дианы в Эфесе (разрушенный ветрами истории древнегреческий город на западном побережье Малой Азии) была начертана надпись:

СОЛНЦЕ СВОИМ ЛУЧИСТЫМ СВЕТОМ ДАЕТ ЖИЗНЬ.

Давно догадывались люди об истинной роли Солнца, о том, что без него жизнь на Земле была бы невозможна. Об этом (позднее) говорили поэты. Один из них — Джордж Байрон:

Блестящий шар, кумир
Природы юной и могучей расы
Людей первичных...
Тебе все поклонялись,
Не зная твоего происхождения.
Лучами радости светил ты на вершинах
И грел сердца халдейских пастухов.
Светило первое и центр других светил,
Ты нашу землю сделал выносимой,
И только ты всему даешь окраску,
Всему, что ходит при твоих лучах...

Поэтам вторили ученые. Климент Аркадьевич Тимирязев писал:
«Человек вправе, наравне с самим китайским императором, величать себя сыном Солнца».

Постепенно зрела в человечестве и другая глубокая мысль о месте растений в жизненной круговерти. До нас дошли древние сказания об умирающих осенью и воскресающих весной божествах.

Богиня Афродита, гласит легенда, полюбила смертного красавца Адониса. Недолго длилось их счастье. Однажды во время охоты собаки Адониса напали на след громадного кабана. Уже готовился юноша пронзить разъяренного зверя копьем, как вдруг кинулся на него кабан и клыками смертельно ранил.

Горько плакала Афродита. И Зевс-громовержец сжалился над ней: повелел каждый год отпускать Адониса из царства теней. С той поры все расцветает и ликует в ярких лучах солнца, когда Адонис возвращается на землю...

СУММА ЖИЗНИ на Земле — ее создают (светило всходит и заходит,

светит то жарче, то холоднее; листья распускаются, опадают, вновь начинают зеленеть...), оберегают, хранят растения. Испокон веков каждодневно из неживого — воды, углекислого газа да солнечных лучей — ткут растения пищу и энергию для всего сущего.

СУММА ЖИЗНИ. Как ее приумножить? Об этом неустанно заботится человек — **ЗЕМЛЕДЕЛЕЦ.** Пашущий, сеющий, выращивающий урожаи зерновых, картофеля, овощей. Борющийся с засухами, с несвоевременными морозами, с бесплодием земли.

Так было многие тысячи лет назад, так, по существу, все остается и теперь. И в нашей стране, просторы которой бескрайни, стране, занимающей шестую часть суши планеты, стране, где климат в целом неблагоприятен, где погодные условия и почвы часто затрудняют получение высоких и устойчивых урожаев, роль **ЗЕМЛЕДЕЛЬЦА** особенно велика (в СССР разработана и осуществляется величественная по масштабам и замыслу Продовольственная программа). И роль эта становится все значительнее.

Но цепочка **СОЛНЦЕ — РАСТЕНИЯ — ЗЕМЛЕДЕЛЕЦ** была бы не полна, если не включить в нее еще и фигуру **УЧЕНОГО.** Все надежды на небывалый расцвет **СУММЫ ЖИЗНИ** на Земле связаны сейчас с наукой. Все самые крупные достижения физики, химии, биологии, все успехи исследований о Земле и космосе человек ныне пытается поставить на службу сельскому хозяйству. Именно **НАУКА** дала возможность получать рекордные урожаи, выводить невиданные ранее по продуктивности породы скота, она нашла средства борьбы с вредителями полей, вооружила село мощнейшей техникой.

Эта книга расскажет о многом. О том, как непросто накормить человечество и что в идеале могут дать людям зеленые кормильцы (героями повествования станут кукуруза, подсолнух, хлорелла и многие другие растения).

Поведает она о математиках и физиках, которым на удивление близки заботы о грядущих урожаях.

Речь в книге пойдет о фотосинтезе и его тайнах, об инженерных подходах к сельскому хозяйству, о шагающих растениях и прочих диковинах. И о радостном и нелегком труде ученых, старающихся всемерно увеличить **СУММУ ЖИЗНИ** на нашей планете.

Тот, кто сумел бы
вырастить два колоса там,
где прежде рос один,
две былинки травы,
где росла одна,
заслужил бы благодарность
всего человечества.

Дж. Свифт



ГЛАВА 1



**МЕНЮ
2000 ГОДА**

Мы живем в необычное время. Население Земли стало чрезмерно большим и умножается невиданными темпами. В 1850 году на земном шаре жил 1 миллиард человек, к 1930 году землян стало 2 миллиарда, в 1960 году — 3, в 1987 (этот факт был торжественно отмечен) — 5 миллиардов. Если рост населения пойдет с той же скоростью, то к 2000 году (нас привораживает этот срок: стык тысячелетий!) Землю будут населять 6—7 миллиардов человек — огромное количество!

Грозный смысл этих цифр лучше всего проиллюстрировать таким образом. Ежегодно на планете появляется 72 миллиона новых жителей, ежедневно — около 200 тысяч, ежесекундно — 2 человека, которых **нужно кормить**. Прежде Земля худо-бедно, но справлялась с этой задачей, а что будет в будущем? Скажем, в ближайшем, к 2000 году? Что станет тогда привычной для обитателей Земли пищей? Какое меню предложат человеку НАУКА и ТЕХНИКА?

МНОГО ЛИ ЧЕЛОВЕКУ ЗЕМЛИ НУЖНО!

...Все человечество можно было бы свалить в кучу на самом маленьком островке в Тихом океане.

А. Сент-Экзюпери. «Маленький принц»

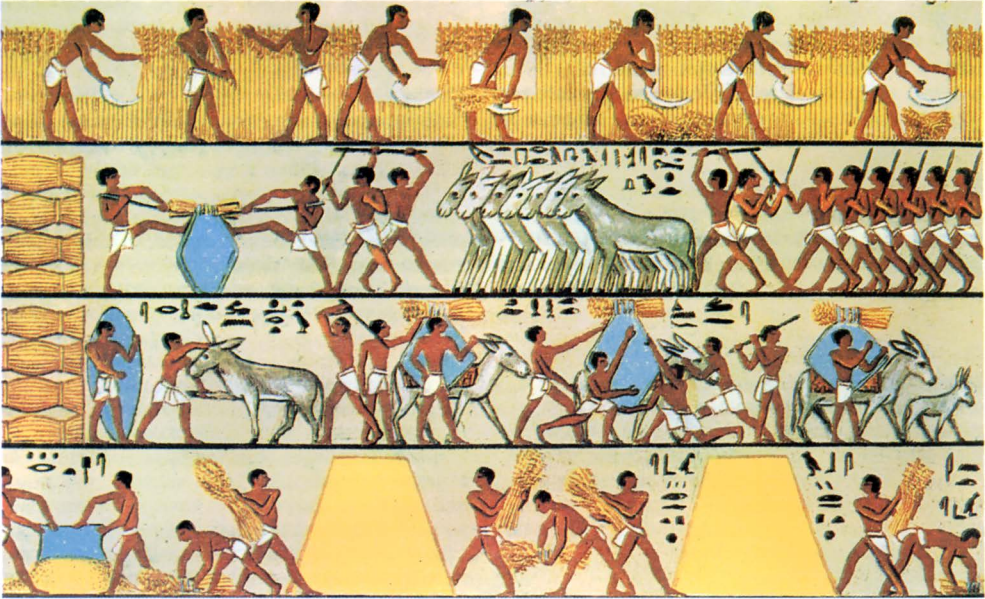
Много ли человеку земли нужно? Еще Л. Н. Толстой в известном рассказе-притче размышлял об этом. В философском плане. Нас же будет интересовать статистика.

Первобытный человек был охотником и собирателем дикорастущих растений. Он употреблял в пищу их плоды, семена, нежные листья, побеги и корни — всё, что было съедобным. При таком образе жизни требовались большие пространства, территория, равная примерно 25 квадратным километрам на одного человека. Неудивительно, что население Земли росло тогда крайне медленно. Но вот приблизительно 10 тысяч лет назад, в эпоху неолита, люди начали переходить к оседлости. Тогда зародилось земледелие и растениеводство... Среди первых культурных растений уже были пшеница, ячмень, лен. Теперь Земля могла прокормить гораздо больше людей. Одному человеку необходимо было лишь 0,25 квадратного километра ее поверхности. И население планеты стало расти вместе с ростом урожая.

Ну а сколько земли человеку нужно сейчас? Ответить на это попытался голландский физиолог растений Корнелиус де Вит. Он полагает, что максимум того, что могут дать растения в идеале, это 500 центнеров в год с гектара земли. Далее этот ученый перевел центнеры в калории и пришел к выводу: в Нидерландах на площади в один гектар (квадрат сто метров на сто) могут, питаясь довольно умеренно (растительная диета), прокормиться 50 человек. Для тропиков, где урожаи снимают круглый год, число 50 уже можно заменить на число 120.

Еще немного арифметики — и, оказывается, суша планеты (без океанов, поскольку они, по мнению де Вита и некоторых других авторитетов, не столь уж перспективны, как принято думать) способна прокормить 1000 миллиардов человек! Оглушительный вывод, но не очень привлекательный.

Вспоминается научно-популярный фильм: показательная птицеферма, громадные постройки, где



На древнеегипетской фреске изображена уборка урожая пшеницы: жатва, вязание снопов, их перевозка, укладка в скирды и обмолот.

буквально крыло к крылу теснится несметное количество кур, продирающихся к медленно ползущей ленте конвейера с зерном...

А что, если наш среднестатистический гражданин захочет растительную диету сменить на мясную (не одной картошкой жив человек!), потребует фруктов... Да и одеть его не мешает — даешь площади под хлопок, лен! — вот и выходит, что среднеплодородной землицы потребуется уже гораздо больше. Накинем сюда еще гектары, занятые под дороги, города, аэродромы. Проявив человеколюбие, допустим также, что у среднестатистического гражданина есть душа, требующая отдыха на лоне природы: рыбалка там, грибы всякие, прогулки на велосипедах...

Если теперь вновь вернуться к сухим цифрам, то окажется, что величина максимально возможного населения Земли (планета наша, как известно, не резиновая) только в малой степени будет определяться

площадями, отведенными для производства продуктов питания. А конечный итог расчетов ученого таков: в некоем идеальном случае Земля наша способна прокормить 60—80 миллиардов человек. Это не так мало (сейчас нас на планете 5 миллиардов), но и не так много — народонаселение Земли удваивается примерно каждые 30 лет, через 100—150 лет (если ограничиться прямолинейными рассуждениями, впрочем, не вызывающими к себе особого доверия) нас будет приблизительно 100 миллиардов. И человечество подойдет к лимитной черте.

Кроме того, сейчас трудно вообразить себе потребности и запросы человека завтрашнего дня. Да и что такое природное равновесие, мы пока плохо понимаем: возможно, непроходимые заросли джунглей, тундра и бесплодные пустыни — все это очень необходимо планете... И уж во всяком случае никак нельзя представлять ее себе каким-

то одним сплошным огородом!..

Итак, чтобы прокормить человечество, земли пока хватает. Однако размеры планеты оказались не

столь уж и обширными. Поэтому лучше уповать не на освоение новых земель, а на **УВЕЛИЧЕНИЕ УРОЖАЕВ**.

ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Земля — тарелка: что положишь, то и возьмешь.

В. Даль. Пословицы русского народа

Как сообщают хроники раннего средневековья, 15 монахов и несколько их прислужников из монастыря Sint Symphorien в Антверпене с большим трудом могли прокормиться на те продукты, которые им поставляли после удовлетворения своих очень скромных нужд около ста окрестных фермерских семейств. Урожай были низкими. Объяснялось это не плохим климатом, а тем, что растениям не хватало питательных веществ.

Осознанно использовать удобрения человек стал не сразу. Вряд ли индейцы Америки, которые клали сеledку или несколько рыбьих голов на каждый холмик, засеянный несколькими зернами кукурузы, имели хоть какое-то представление об агрохимии. Но уже в середине века в Европе для поднятия плодородия почвы использовали животных. Навоз тогда был главным продуктом животноводства! А производство мяса — делом побочным. Об этом свидетельствовало, в частности, незначительное отличие цен на мясо и зерно.

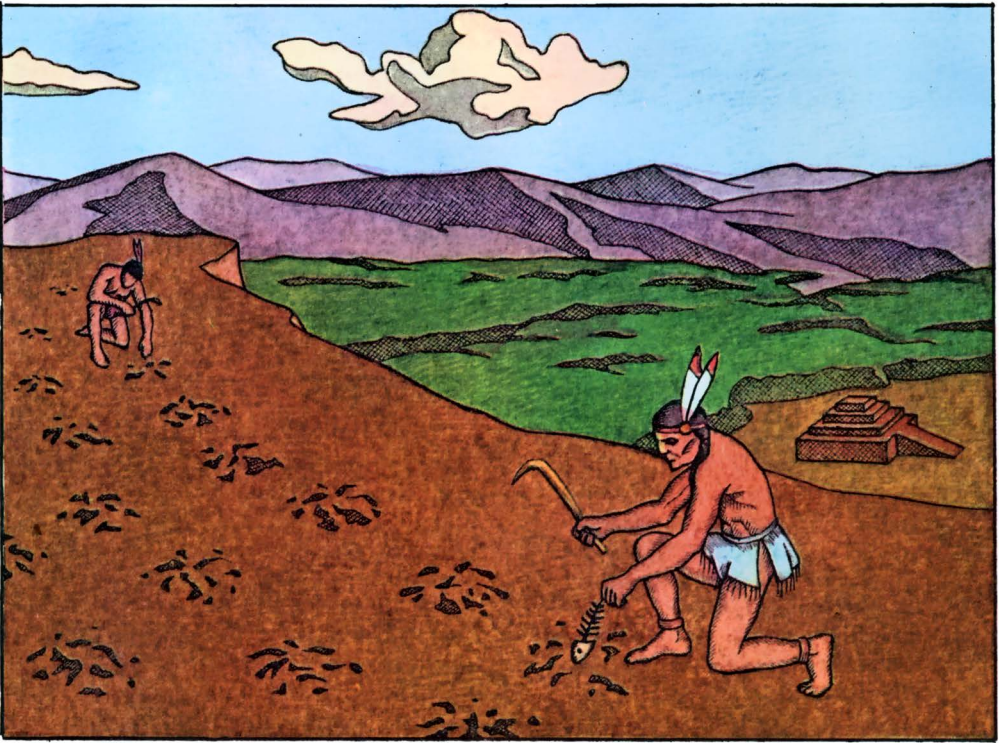
Подлинный переворот в сельском хозяйстве произошел в 1840 году. Тогда немецкий химик Юстус Либих (1803—1873), опубликовав книгу «Химия в приложении к земледелию», создал теорию минерального питания растений. Тем самым он опроверг господствовавшую до него гумусовую теорию, утверждавшую, что растения питаются непосредственно перегноем — гумусом.

Ю. Либих решал проблемы земледелия химическим путем. Сделав сотни анализов органической и зольной частей растений, ученый определил, что они содержат десять основных элементов: углерод, кислород, водород, серу, железо, кальций, магний, азот, калий и фосфор. Первые три элемента растения берут из воздуха и воды, остальные дает почва. И главные из них — «три кита» агрохимии: азот, калий и фосфор. (Заметим: растениям нужны еще и микроэлементы — малые добавки бора, меди, марганца, молибдена, кобальта, цинка...)

Растениям необходимы лишь вода и минеральные соли, учил Ю. Либих. Используя вместо навоза химикалии, возвратив пашне потерянные ею, вынесенные с урожаем минеральные вещества (закон возврата), можно резко увеличить урожай.

Однако становление современной химической промышленности, с ее огромными масштабами, шло не быстро. И еще в 1898 году К. А. Тимирязев (1843—1920) в своей публичной лекции «Точно ли человечеству грозит близкая гибель» полемизировал с английским ученым У. Круксом (1832—1919), который указывал на «близкую опасность всесветного голода».

По-настоящему химическая революция — чаще ее называют **ЗЕЛЕНОЙ РЕВОЛЮЦИЕЙ** — совершилась в сельском хозяйстве лишь в нашем веке, примерно в его середине,



Вряд ли индейцы Америки, которые клали селедку или несколько рыбьих голов на холмики, засеянные зернами кукурузы, имели хоть какое-нибудь представление об агрохимии.

когда началось массовое применение химических удобрений и химических же средств для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений. И замелькали дотоле непривычные слова: пестициды (точный перевод этого слова с латинского — убивающие заразу), гербициды (убивающие траву), инсектициды (убивающие насекомых), зооциды, фунгициды, репелленты (отпугивающие насекомых), аттрактанты (привлекающие их), всевозможные протравы для семян, хемотермостерилизаторы, дефолианты, регуляторы роста. Отметим: все это — новейшее завоевание химии. Так, первый гербицид — 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (сокращенно 2,4-Д) — был получен в 1941 году. В наши дни с его помощью уничтожают сорняки (лебеду, су-

репку, одуванчик) в посевах пшеницы, овса, ячменя.

Химики вложили в руки ЗЕМЛЕДЕЛЬЦА грозное оружие. Скажем, гербициды сплошного действия способны извести всю растительность без разбора. Такие средства необходимы, когда нужно уничтожить траву (она может стать причиной аварий) на аэродромах, вокруг промышленных объектов, под линиями электропередач, на насыпях железных дорог.

Конечно, гербициды избирательного действия отличают «своих» от «чужих», но как непросто тут выбрать правильную дозировку, учесть все последствия. Сколько надо проявить осторожности, научной и практической мудрости! Ведь нарушить природное экологическое равновесие очень легко. И тогда

некоторые насекомые или клещи, прежде мало заметные, могут превратиться в опасных вредителей. А побочные действия пестицидов? Какие, казалось, надежды сулило первое успешное применение печально известного препарата ДДТ. Какой был бум! Однако изумление перед мощью этого средства вскоре сменило радужную окраску на трагическую. Уносимый талой и дождевой водой с полей, ДДТ скапливался в водоемах, отравляя там все живое, а оттуда проникал вместе с рыбой и птицей в пищу жителей окрестных мест.

Химики были вынуждены снова взяться за дело. Теперь они пытаются создать пестициды, безвредные для животных и человека. Тут есть и большие успехи и немалые,

понятно, трудности. Массированное использование в сельском хозяйстве химических средств себя оправдало: урожаи резко пошли вверх. Победа? Увы, нет. ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ не решила продовольственной проблемы в мировом масштабе. Надежды создать с помощью химии некую сельскохозяйственную Утопию и наконец накормить человечество — полностью механизировать сельское хозяйство, почти в десять раз поднять урожаи всех культур, — к сожалению, не оправдались. ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ в том виде, как она была задумана — сверхвысокоурожайные сорта, избыток воды, ядохимикаты и все достижения передовой агротехники, — все же потерпела неудачу. ПОЧЕМУ? Сейчас расскажем.

НАКОРМИТ ЭНЕРГИЯ!

Вырастут травы, хлеба, плоды, деревья; насытятся животные, питаются люди. Кто все приготовил? Солнце.

Л. Н. Толстой. «Четвертая русская книга для чтения»

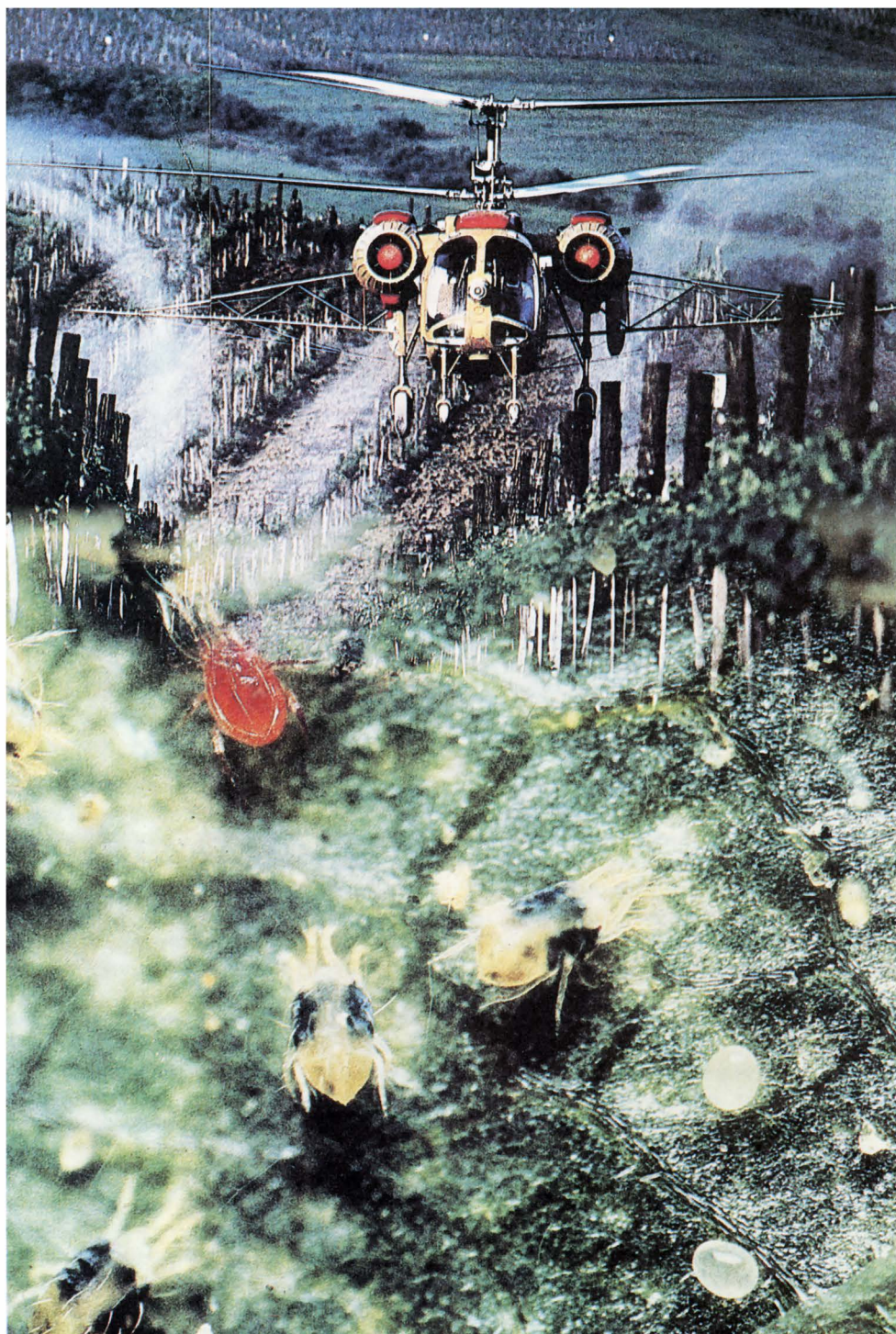
В химическом блеске, в шуме и грохоте аграрных машин и механизмов старое доброе сельское хозяйство может показаться анахронизмом, такой же приметой давно ушедшего времени, как лапоть или лучина (устарели голубчики!). Но так ли уж плохо то, что ушло и уходит у нас на глазах?

Первобытный человек ничегошеньки не тратил (нечего было!), а лишь приобретал. Бродил себе полуголый по лесам и искал, где что плохо лежит — ну, орехи, корешки разные или кто зазевается: замечтавшаяся куропаточка или рассеянный мамонт...

С переходом к земледелию все усложнилось — леса надо было рубить, корчевать, землю пахать (сначала плугом деревянным, а затем бронзовым и железным). Но и то-

гда энергозатраты были еще незначительны в сравнении с запасанием солнечной энергии культурными растениями. Однако это выгодное соотношение постепенно изменилось. Агротехника прошлого требовала преимущественно затрат мускульной силы человека и животных, но ввиду недостаточной продуктивности она не могла удовлетворить потребности в пище быстро растущего населения Земли. Оттого-то в развитых богатых странах (в бедных и сейчас хозяйство недалеко ушло от натурального) неизбежен был переход к высокопродуктивному земледелию, которое крайне энергоемко.

Подсчитано, что одни только трактора, сжигая топливо, расходуют столько энергии, сколько ее содержится во всем урожае. Энергия



также тратится на орошение, производство удобрений и на многое другое. А тепличное хозяйство? Тут пища производится уже не с помощью преобразования солнечной энергии, а в основном из-за расточительного расхода ископаемых продуктов — угля, нефти, газа.

Точные цифры таковы. Отношение запасенной в растениях солнечной энергии к энергетическим затратам имеет вид: земледелие экстенсивное (соха, лошадь) — 20:1, интенсивное земледелие (удобрения, трактора и прочее) — 2:1, животноводство — 2:10, тепличное хозяйство (ранние огурцы, помидоры) — 2:100.

Так и получается, что каждый выращенный джоуль (пища — это калории!) требует сотен джоулей безвозвратно потраченной энергии. И сытно накормить человека сможет лишь изобилие (а его пока еще на Земле нет!) энергии. Настоящая революция в сельском хозяйстве без этого условия немыслима.

Собственно, мысль о том, что энергия насыщает, не столь уж и нова. Слова «кормящее Солнце» — почти трюизм. Труднее осознать следующую парадокс. Выходит, можно спорить о том, кто ближе к сельскому хозяйству: ученый-ядерщик, изучающий на синхрофазотроне элементарные частицы с тайной надеждой найти невиданный по мощности источник энергии, или же селекционер-практик, на опытной делянке в поле опекающий новый высокоурожайный сорт пшеницы?.. Так замыкается круг исследований, увязывая все науки в единый

узел, так рождаются новые надежды на небывалый расцвет СУММЫ ЖИЗНИ на Земле.

Ну а если теперь продолжить разговор о ЗЕЛеной РЕВОЛЮЦИИ, то она потерпела неудачу в основном из-за разразившегося в 70-х годах энергетического кризиса. И голод по-прежнему еще бродит по Земле, потому что земледельцы не в состоянии выращивать капризные высокоурожайные сорта, требующие громадных, в первую очередь энергетических затрат.

И ныне, по данным ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН), половина населения планеты систематически недоедает. В последние десятилетия производство продуктов питания в развивающихся странах увеличивалось ежегодно в среднем на 0,2 процента, а население — на 2 процента. Число потребителей явно обгоняет количество выращенных продуктов.

Что же делать? Как стать менее зависимыми от растений? Как добиться большей самостоятельности? В самом деле, разберемся: что делают растения? Они синтезируют из простейших химических веществ белки, жиры и углеводы — нашу пищу. Но ведь, казалось бы, то же в состоянии сделать и химики, и тогда люди наконец смогли бы стать независимыми.

А может, сельское хозяйство действительно УСТАРЕЛО и ему пора подавать в отставку?

И ХИМИЯ способна заменить ЕСТЕСТВЕННЫЕ продукты ИСКУССТВЕННЫМИ?

Химическая революция совершилась в сельском хозяйстве примерно в середине нашего века, когда началось массовое применение химических удобрений и средств для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений.

СТРЕПТОЦИД ПОД МАЙОНЕЗОМ

Придет тот день, когда каждый будет брать на обед таблетку азота, чуть-чуть жиров, немного крахмала или сахара, бутылочку ароматического флейворинга и, смешав все это, получать кушанье по собственному вкусу...

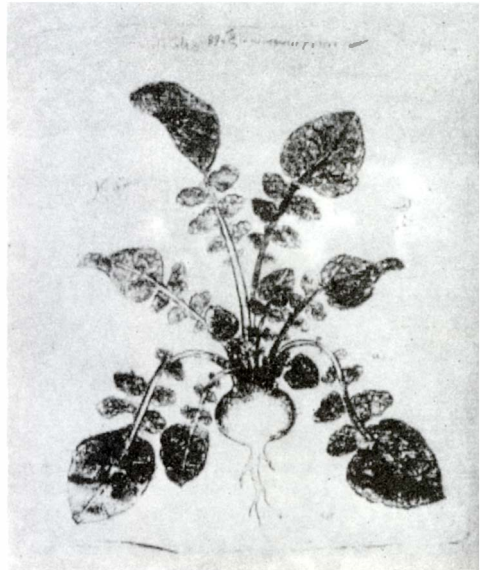
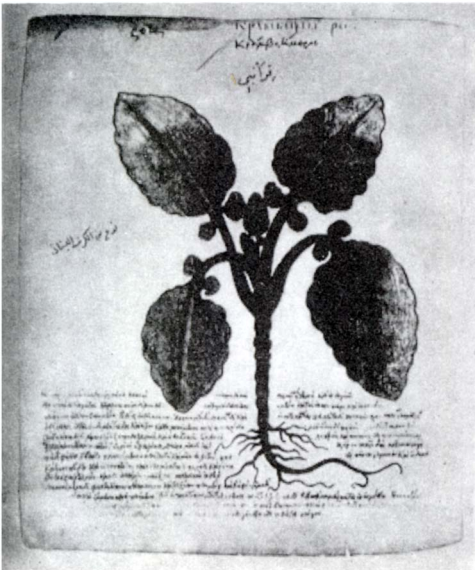
П. Бергло

В 1894 году на съезде французских химических фабрикантов выступил с речью выдающийся химик-органик П. Бергло (1827—1907).

«В 2000 году,— сказал он,— не будет более ни сельского хозяйства, ни крестьян, ибо химия сделает излишним современное земледелие». Бергло не был одинок в своем прогнозе. И до него некоторые ученые и писатели-фантасты полагали, что пища будущего примет вид пилюль и таблеток, ну, в крайнем случае — концентрированного питательного желе. Проглотил с утра таблетку — сыт до обеда. За обедом ложку желе и еще две таблетки — сыт до ужина. Быстро и просто!

Фантастика? Мечты? Давайте пофантазируем дальше. Представьте себе: вы отправились в аптеку, словно на базар. Полкило стрептоцида, набор микстур, немного хины, листа эвкалипта, сульфадимезин, аспирин и многое другое заполнили авоську. Дома достали поваренную книгу, придирчиво подобрали удачный вариант химического меню: салат с пирамидоном, кисель из фруктозы... И не надо этому удивляться: ведь когда-то в стародавние времена многие теперь всем известные продукты были лекарствами. Достаточно полистать страницы «Геопоники» — византийской сельскохозяйственной энцикло-

Иллюстрации к византийской сельскохозяйственной энциклопедии X века: слева — капуста огородная; справа — репа.



педии X века. В ней даны характеристики лечебного действия многих овощей: редьки, тыквы, свеклы, укропа, чеснока, огурцов. Особенно восхвалялись лекарственные свойства капусты.

«Если отварить капусту, растереть ее, положить опять в ту же воду, в которой она варилась, и, остудив, смазать этим раны, свежие и старые, а также опухоли, то боль проходит». «Если съесть капусту в сыром виде, то она прекращает бессонницу, и страшных снов не будет...»

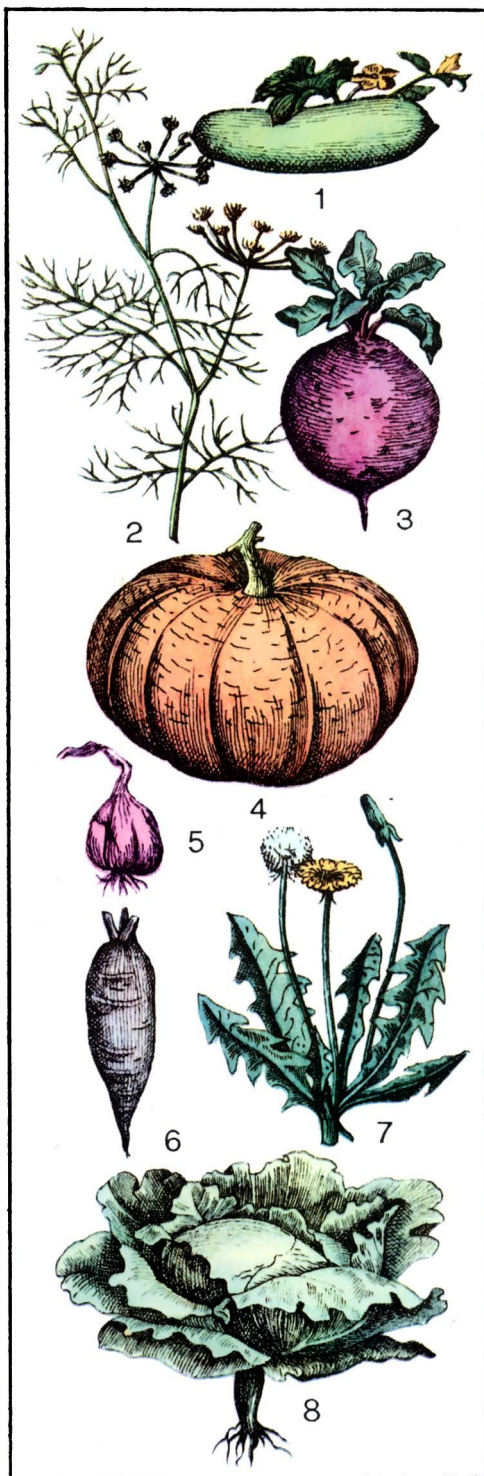
А знаете ли вы, что чай — обыкновенный чай — вначале использовали только как лекарство? Его пили больные для быстрого восстановления сил.

Хорошо помогал чай и при отравлениях.

В Россию чай попал случайно. Из далекой Монголии от Алтын-хана русскому царю Михаилу Федоровичу (1596—1645) вместе с дорогими подарками — атласом, собольими мехами — были посланы и пачки какой-то неведомой травы. Этот ханский подарок — 200 пачек чая — русские послы взяли с неохотой. «Не отказывайтесь, доволен будет ваш повелитель», — уговаривали послов приближенные Алтын-хана. К удивлению бояр, чай пришелся по вкусу в царских палатах. Вначале его принимали лишь как лекарство при разных хворях. Однако позднее ароматный напиток стали подавать и за царской трапезой...

Трудами многих поколений из диких растений создавались культурные. Одни питали человека, другие лечили. Но случалось и так: лекарство становилось привычной пищей и наоборот. Тысячи людей знали морковь лишь как сладкий и сочный

Растения, которые не только употребляются в пищу, но и могут служить лекарствами: 1 — огурец; 2 — укроп; 3 — свекла; 4 — тыква; 5 — чеснок; 6 — редька; 7 — одуванчик; 8 — капуста.



корнеплод. А недавно ученые обнаружили: в семенах моркови содержатся ценные лекарственные вещества. Препарат из этих семян, названный даукарином, способен расширять коронарные сосуды, лечить стенокардию. В обыкновенной капусте работники Всесоюзного института лекарственных растений открыли вещества, условно названные пока витамином U (от латинского «улькус», что значит «язва»). Новый витамин обладает противовоспалительным действием.

Вот и выходит: наше меню на половину составлено из лекарств!

И что ж тут удивительного, если когда-нибудь наступит пора и изготовленные химией синтетические лекарства, пройдя сложный путь, будут обладать не только узким лечебным действием, а станут, как сейчас петрушка, укроп, естественной приправой ко многим блюдам — людям на здоровье, химикам на радость!

Вот мы и убедились, что «изделия», созданные флорой и руками химиков, не столь уж далеки друг от друга.

И ХИМИЗАЦИЯ ПИЩИ — мысль вполне допустимая.

КУЛИНАРИЯ ПО-НАУЧНОМУ

Представим себе... время, когда экономика синтеза пищи одержала верх над старинными традиционными способами ее получения...

А. Н. Несмеянов, 1965 год

В Институте элементоорганических соединений Академии наук СССР в Москве есть лаборатории, которые так и называются: лаборатория синтеза пищевых веществ, лаборатория химического запаха и вкуса и так далее. Над подобными проблемами в институте трудится около сотни человек. Есть в академии и специализированный совет «Научные основы получения искусственной пищи».

Все это создал (дело было начато в 1961 году) академик Александр Николаевич Несмеянов (1899—1980). Тогда он, продолжая и развивая мысли П. Бертелло и Д. И. Менделеева, поставил вопрос о неотложности практических работ по получению пищи промышленными методами, минуя сельское хозяйство.

К тому времени объем химического производства достиг громадных размеров. Выпускались миллионы тонн новых полимеров и дру-

гих химических изделий. Создалась уверенность, что и весь белок, необходимый для питания страны с населением в 250 миллионов человек, — 6 миллионов тонн в год — также можно будет произвести чисто химическим путем. И химики, засучив рукава, принялись за дело. Самый известный результат этих работ — получение искусственной черной икры. О том, как ее изготовляют на заводе, однажды было рассказано на страницах газеты «Правда». Ее корреспондент самолично видел механического «осетра» — машину, которая, получив очередную порцию «корма» (исходные вещества), довольно заурчала, чуть подрагивая своим длинным сверкающим телом. Прошло небольшое время, пишет корреспондент, и из ее хвостовой части посыпалась в подставленный бак черная, по виду совсем как настоящая икра.

Тут надо сразу же рассеять одно

довольно распространенное заблуждение. Сильно ошибается тот, кто полагает, что искусственная икра — одно из чудес синтетики, что ее готовят из нефти или из ее продуктов. Отнюдь. Исходные компоненты — натуральные пищевые продукты.

На заводе, сквозь особое окошечко, можно подсмотреть, что происходит внутри механического «осетра». Вот раствор казеина (белка, извлекаемого из молока) и желатина продавливается через отверстия вращающегося диска. Горячие капли падают в холодное растительное масло и тут же сворачиваются в белые шарики. Поток воды увлекает их в ажурные корзиночки. Транспортер пронесет корзиночки через последовательно расположенные ванны с различными раствора-

ми, в которых невзрачные поначалу шарики приобретают достаточно прочную оболочку, окрашенную чаем (!), и впитывают в себя необходимое количество солей. А на заключительном этапе происходит обработка «икринок» эмульсией рыбьего жира и молоко сельдевых и осетровых.

Вот вам и синтетика! Вот вам и продукты из нефти! Что же, химики не справились с проблемой? Не смогли из простейших атомов собрать необходимое? Нет, во многом подобное им по плечу уже сейчас, но обошлось бы это слишком ДОРОГО.

А ведь именно ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ заставляют в конечном счете сделать выбор между различными способами получения пищи.

БЕЛКОВОЕ ПЕЧЕНЬЕ

Семьдесят пять лет понадобилось химикам, чтобы выяснить природу хлебного запаха и определить составляющие его компоненты... Их называли ключевыми соединениями, ответственными за характерный хлебный запах, но это оказалось далеко не так... сейчас список соединений перевалил за две сотни...

А. Шамшурин. «Чем пахнет буханка?»

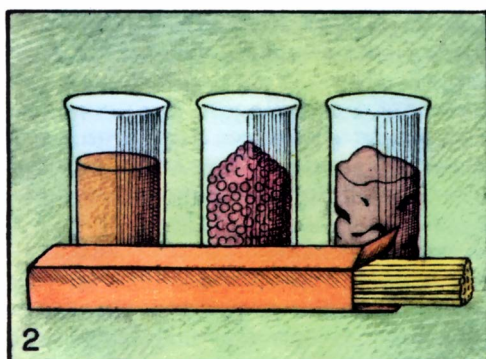
Технически организовать промышленный синтез пищи нелегко. Одного только хлеба в нашей стране съедают до 30 миллионов тонн в год. Подобных количеств хлебопродуктов не смогут выпустить все существующие сейчас заводы органического синтеза. Поэтому-то ученые и выбрали, как говорится, золотую середину. И не химические таблетки, о которых писал П. Бергло, и не полный отказ от них, а путь постепенной химизации пищи.

Логика такова. Ведь сколько еще натуральных продуктов, которыми человек не сумел как следует распорядиться! Скажем, ценные био-

логические соединения, содержащиеся в отходах сельскохозяйственной и рыбной промышленности и пока просто идущие «в отвал». Извлечь все ценное, обогатить, сделать доступным и направить к нам на стол — это и есть кулинария по-научному, которой занимаются уже не повара, а химики.

И они мастерски справляются с таким заданием.

Из малоценных продуктов извлекаются белки — самый дефицитный в питании продукт. Это белки молочные, соевые, из криля, из неходовых мясopодуKтов, из низко-сортовой рыбы.



Химики уже умеют извлекать из отходов пищевой и сельскохозяйственной промышленности пригодные в пищу ценные биологические соединения — белки (1); казеин и другие продукты, из которых можно делать, например, макароны (2); умеют добиваться нужного вкуса (3) и запаха (4).

Другая забота химиков — обогащение обычной пищи, улучшение ее свойств. Муку и крупу витаминизируют, добавляя в них синтетические витамины. В некоторые продукты вводят аминокислоты, минеральные соли, микроэлементы. Возникла идея сделать регулятором сбалансированного питания хлеб, обогатив его особо дефицитными биологически ценными веществами.

Химики создают и оригинальные продукты. Придумали, как получить белковый картофель, рис из зерновых отходов, макароны из казеина, белковое печенье, молоко из растений, аналоги ягод. И не надо чураться этих новинок. Ведь и сахар, и хлеб, и сливочное масло, и сыр в природе в готовом виде не встречаются! Все это тоже по сути про-

дукты искусственные. И когда-то человек был их полностью лишен. Но самая престижная задача для химиков — добиться нужного вкуса и запаха изготовленного ими продукта. Успехи тут немалые. Вкус складывается из четырех составляющих — сладкого, соленого, кислого и горького. И вот, чтобы сделать продукт привлекательным во вкусовом отношении, химики должны искусно смешать, к примеру, раствор сахара, соли, кислоты и, допустим, горького кофеина.

Гораздо труднее получить требуемый запах. Добавляя к аминокислотам и сахарам ту или иную из ненасыщенных жирных кислот, можно добиться запаха вареной курицы или тушеной говядины. Следы окиси триметиламина придают

запахам оттенков морской рыбы. А аминвалериановый альдегид имитирует запах пресноводной вареной рыбы... И все же честолюбие химиков далеко не удовлетворено. Так, искусственно создать аромат хлеба им не удается. Полностью просчитать все возможные варианты влияния компонентов на суммарный хлебный запах не под силу и самому

мощному компьютеру. В лучшем случае получается удачная имитация с подобием натурального запаха.

Но представим себе на минуту, что химики добились полного успеха, научились изготавливать ДЕШЕВУЮ искусственную пищу на ЛЮБОЙ ВКУС. Будут ли в этом случае решены все проблемы? НЕТ!

АРБУЗНЫЕ КОРКИ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ВЫХЛОПЫ

Ломоть хорошо испеченного хлеба составляет одно из величайших изобретений человеческого ума.

К. А. Тимирязев

По мнению иностранцев, любимое блюдо москвичей — блины, а минчан — картофельные клецки. Тобольчане-де предпочитают пельмени, самаркандцы — плов из баранины, рижане — молочный суп с перловой крупой, норильчане — рагу из языка северного оленя, ереванцы — шашлык на вертеле...

Какое разнообразие пищевых пристрастий, вкусов! Всегда ли так будет? Или, может, на американский манер мы скоро станем питаться исключительно консервами? И реклама начнет диктовать, что нам есть и от чего отказываться? («Если было бы возможно, — ядовито писала одна шведская газета, — то реклама, очевидно, убедила бы американское население в том, что подсолненные мыльные хлопья — прекрасная пища для завтрака».)

Меню 2000 года — каким же ему быть?

Не пора ли, как полагал П. Бертоло, взяться наконец за создание ИДЕАЛЬНОЙ ПИЩИ и ОПТИМАЛЬНОГО ПИТАНИЯ? Не пришло ли время наладить химическое производство питательных пищевых порошков? А то и прямо вводить в кровь питательные вещества, минуя желудочно-кишечный тракт? Это, по мысли сторонников

подобной идеи, приведет к постепенной атрофии органов пищеварения и будет, таким образом, стимулировать формирование ЧЕЛОВЕКА БУДУЩЕГО.

Еще совсем недавно в науке (классическая теория питания) господствовала доктрина баланса. Считалось, что пища должна просто компенсировать, восполнять те потери, которые организм несет в связи с обменом веществ и выполняемой им работой. А отсюда делался вывод: надо из пищи, оставив в ней только ценные вещества, удалить все ненужное.

Балластом почитали и пищевые волокна — клеточные стенки растений, состоящие из высокомолекулярных углеводов: целлюлоз, пектинов и лигнина. Все эти вещества действительно не усваиваются организмом и вроде бы ему абсолютно не нужны. И вот мукомолы, к примеру, на протяжении столетий всячески совершенствовали свою технологию, старались из зерна получать как можно больше муки высших сортов, в которых пищевые волокна уже практически отсутствовали. Это же привело к тому, что мы едим белый сахар, полированный рис и другие рафинированные продукты.



В Древнем Риме раб, умеющий печь хлеб, стоил в десять раз дороже самого искусного гладиатора.

Житель Уганды (Африка) получает в сутки с пищей в среднем около 150 граммов пищевых волокон, а современный американец — только 20—30 граммов. Хорошо ли это? Плохо! И очень. Так считает новая наука — трофология (наука о питании, если перевести с греческого), которую у нас в стране активно развивает академик АН СССР Александр Михайлович Уголев. Трофологи доказывают, что «улучшенная», «обогащенная» пища (за счет удаления балластных веществ) стала в развитых странах причиной многих так называемых «болезней цивилизации», потому что организм человека нуждается не только в жирах, белках и углеводах, витаминах и микроэлементах, но и в «бесполезных» волокнах.

Рацион солдата русской армии

состоял из трех фунтов (примерно 1300 граммов) черного хлеба и двухразового приема порций щей и каши. Грубая пища, но, видимо, вполне достаточная и доброкачественная. Служили же солдаты по 25 лет, исправно защищая от врагов матушку-Россию!

Пищевые волокна? Они, оказывается, стимулируют работу желудка и кишечника. Они поглощают многие нежелательные, а то и просто ядовитые вещества, которые либо образуются в организме, либо попадают в него извне. Они устанавливают правильный обмен всей внутренней среды организма (человек, учат трофологи, — это надорганизм: в нем и вместе с ним сосуществует великое множество микроорганизмов). Они очищают организм от промышленной грязи, на-

пример свинца, который с выхлопными газами изрыгают потоки автомашин на улицах (свинец лучше всего вылавливают пищевые волокна, содержащиеся в арбузных корках).

Одним словом, трофология радикально изменила представления о том, какой должна быть идеальная пища, как и чем нужно питать человека. Эта наука опровергла миф о возможности питаться хими-

ческими таблетками. Она показала, что растения и изготовленные из них разнообразные блюда будут необходимы и в 2000 году и, скорее всего, многие столетия после этого срока...

Химия в одиночку пока не в состоянии накормить человечество. Но, может, в этом существенную помощь ей окажут МИКРОБЫ? Рассмотрим такую возможность.

СТАДА БУДУЩЕГО

Как химик, я убежден в возможности получения питательных веществ из сочетания элементов воздуха, воды и земли помимо обычной культуры, то есть на особых фабриках и заводах...

Д. И. Менделеев

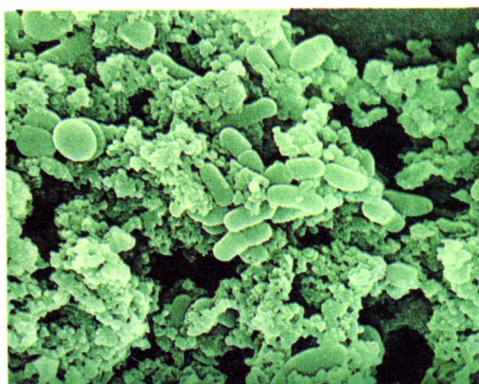
Благодаря микроорганизмам люди издавна получают вино, пиво, сыр. И нужные для выпечки хлеба дрожжи. Любопытно, что люди, умевшие выпекать хлеб, имели большой авторитет. В Древней Греции булочник мог занять очень высокий пост. А по старым германским законам преступник, убивший пекаря, наказывался втрое строже, чем за убийство любого другого человека.

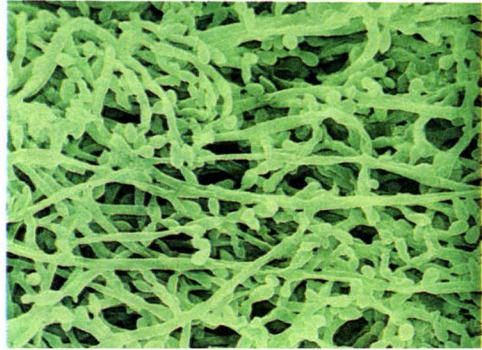
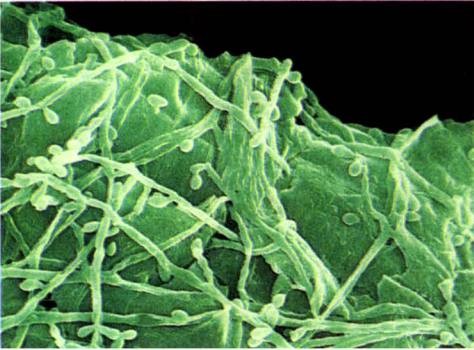
Услугами микробов мы пользуемся давно и все же до самых недав-

них пор свои продовольственные надежды связывали с растениями и животными, а не с микроорганизмами. А ведь они могут дать людям не синтетические (химия!), а натуральные продукты. Причина нашего просчета проста: тысячелетиями люди и не подозревали о существовании рядом с ними особого мира. И лишь недавно человек обратился к невидимкам за помощью.

Однажды автору этой книги довелось побывать в Риге, в Институте микробиологии имени А. Кир-

Фотографии микроорганизмов, полученные с помощью электронного микроскопа: слева — споры, справа — молочнокислые бактерии.





Поедая солому, микробы быстро наращивают свою биомассу: слева — микрофотография, сделанная через 12 часов; справа — через 48 часов.

хенштейна Академии наук Латвии, побеседовать с заместителем директора института академиком Мартином Екабовичем Бекером.

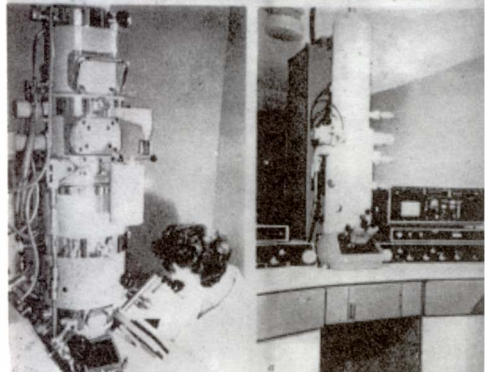
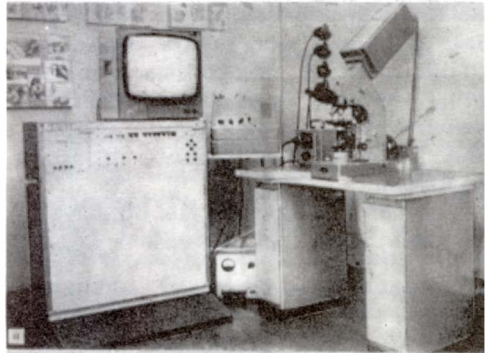
Оформление комнаты, где мы с Бекером находились, было необычно: всюду на стенах, от пола до потолка, — фотографии. Без цвета: черные, белые тона всевозможных оттенков. Но нет на них ни человеческих лиц, ни пейзажей, а все какие-то нити, палочки, запятые, хвостики — странный и неведомый мир.

«Это стада будущего, — заметил мое удивление, сказал тогда Бекер. — Фотопортреты микроорганизмов — дрожжей, бактерий, плесневых грибов, — снятых с помощью самого современного электронного микроскопа со сканирующей приставкой. Вы видите микробов за работой... — Подведя меня к серии фотографий, он добавил: — Вот, взгляните, что делают эти невидимки с соломой. Она тает буквально на глазах. А микробы, поедая неусваиваемую желудком человека и животных целлюлозу, быстро (фото через половину суток, сутки...) увеличивают свое число. Их крошечные тельца, как и все живое, на 35—50 процентов состоят из белка. Он-то и может пойти в пищу...»

«Стара как мир цепочка: растения — животные — человек, — позднее, когда мне удалось войти

в суть микробиологических проблем, пояснил академик свою главную мысль. — Казалось бы, несмотря на все убытки, которые мы тер-

Аппаратура, позволяющая исследователям изучать микроорганизмы: вверху — телевизионный анализатор структуры изображения; внизу слева — электронный микроскоп; внизу справа — электронный микроскоп со сканирующей приставкой.



пим (разведение скота требует больших затрат труда, электроэнергии), без животных нам никак не обойтись.

Но так ли это?

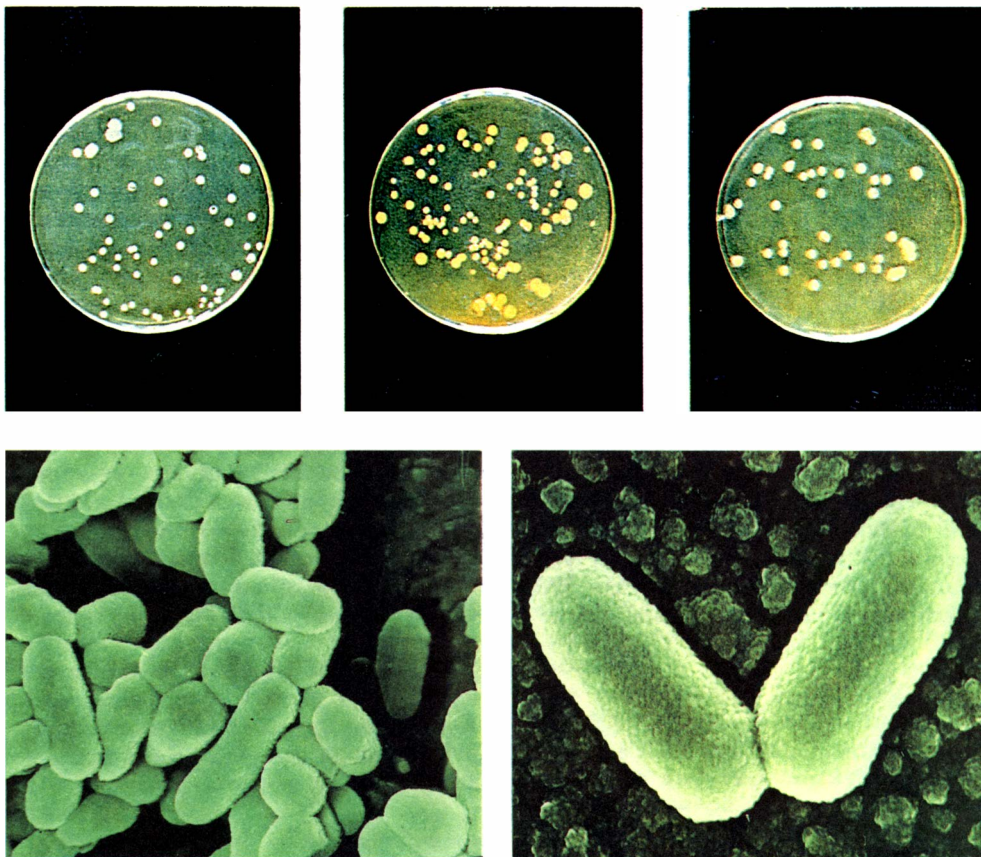
Давайте уточним: мы ведь, строго говоря, нуждаемся не в говядине или свинине, а в содержащихся в них белках. А их-то нам могут дать и микроорганизмы. И новая цепочка: растения — микробы — человек — оказывается гораздо выгоднее».

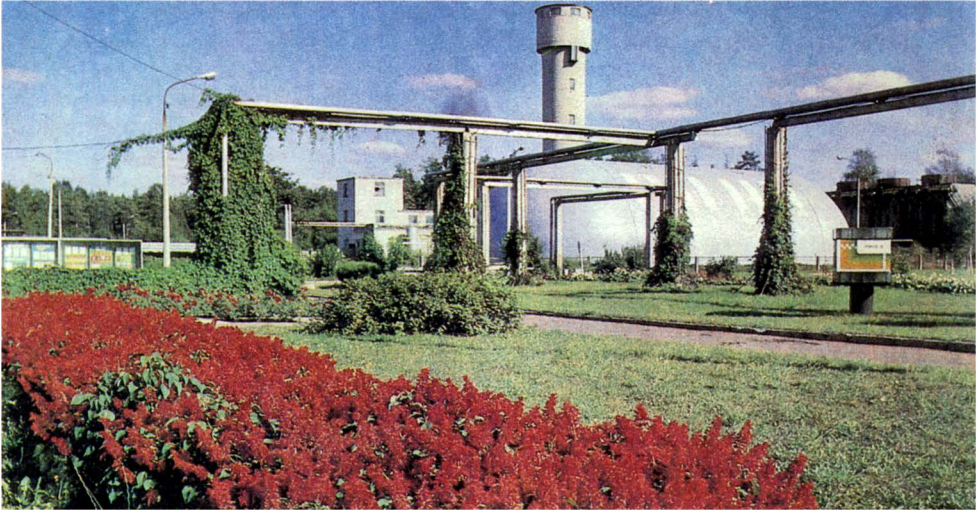
Бекер говорил и о том, что микробная масса растет буквально не по дням, а по часам. Возьмем знакомые всем нам дрожжи. При их выращивании с каждого кубического метра особых микробиологиче-

ских аппаратов за сутки можно получить 30 килограммов белка. Это эквивалентно содержанию 100 коров или 18 га посевов гороха, если говорить о белке растительном. Так что микроорганизмы в десятки и сотни тысяч раз продуктивнее животных и растений. И они «плодоносят», в отличие от растений, круглый год!..

Увы! К великому сожалению, микробный белок пока не может стать пищей человеку. Не так-то легко освободить его от излишних, а то и просто вредных веществ-примесей. Так что сейчас такой белок идет только на корм скоту. И все же микробиология уже оказывает

Бактерии, синтезирующие лизин: сверху — бактерии на чашках Петри; внизу слева — колония бактерий; внизу справа — делящаяся клетка этих бактерий.





Экспериментальный завод по производству лизина в латвийском городе Ливаны.

человеку большие услуги. Дело тут вот в чем. Подсчитано, что в мире на одного жителя приходится в среднем одно крупное домашнее животное и одна домашняя птица. А те потребляют в пять раз больше корма, чем человек пищи. Причем свиньи и птицы требуют полновесного зерна. Очень все это расточительно. Но не можем же мы лишать себя бифштексов! Выход из этой противоречивой ситуации указала наука. Она помогла уменьшить потери. Вскрылось парадоксальное обстоятельство. Поедая миллионы тонн отборного зерна, живность по существу голодала! Причины? Формулы сбалансированного аминокислотного состава кормов (все пищевые белки состоят из набора примерно 20 аминокислот) были установлены совсем недавно. При этом выяснилось, что содержащиеся в

зерне белки неполноценны. Прежде всего из-за низкого содержания в зерне лизина — этой незаменимой аминокислоты, которая не синтезируется в организме человека и животных (есть и другие незаменимые аминокислоты: треонин, триптофан и так далее). И здесь микроорганизмы могли бы нас выручить. Наладив микробиологический синтез незаменимых аминокислот, мы сохраним зерно для людей. Для этого в латвийском городе Ливаны и в городах других республик созданы биохимические заводы: они выпускают в год тысячи тонн кормового концентрата лизина.

Страна МИКРОБИЯ. Ей уже сейчас многим обязана СУММА ЖИЗНИ. Однако гораздо большего ждут от другой, более молодой и дерзкой научной дисциплины — МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ.

ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

...Мне никак не удастся убедить себя, что мужчины и женщины, которых я встречаю... это племя чудовищ, животных, вынужденных прикидываться людьми...

Г. Уэллс. «Остров доктора Моро»

В 1896 году фантазия Г. Уэллса населила затерянный в океане необитаемый остров животными, которым ланцет безумного физиолога придал человеческие черты. Это научно-фантастическое произведение невольно приходит на ум, когда узнаешь, что ученые научились понимать язык молекул ДНК, несущих в себе код воспроизводства живого организма, что создается целая индустрия ДНК, что человек, изучив генный алфавит, уже пытается разбирать генные слова и силится понять генный синтаксис. Что будет потом?

Возникнет утонченный преемник доктора Моро — ученый XXI века, который, сидя перед компьютером, будет формулировать инструкции для создания новых видов животных.

Или новых видов почти человеческих существ?..

Мрачные прогнозы, разговоры о киборгах (киборг — это технически усовершенствованный человек, способный жить в любой среде), послушных чужой воле, о неразмывляющих вояках-суперменах... И тут же светлые грезы о невиданных прежде растениях.

Генная инженерия обещает создать суперовощи с высоким содержанием белка — такие растительные бифштексы, которые по питательности превзойдут мясо. Сейчас полным ходом идут работы по выведению гибрида помидора с картофелем. Как его назвать? Картомидором, помитофелем, поматом?

Диво дивное! Сначала земле-

дельцы соберут урожай помидоров, а позднее, к концу лета, из земли выростят и картошку! С помощью ученых сбудутся и другие фантастические проекты. Такой, к примеру. У растения съедобны плоды и семена, реже листья (капуста) или корни. Но, кроме съедобных частей, есть и несъедобные: стволы, цветы, кора. Растениям они необходимы, нам — нет (во всяком случае, в качестве пищи). Так стоит ли мириться с тем, что участки земли, получающие солнечную энергию, достаточную для тысяч человек, кормят только десятки? Отчего бы не создать растение без корней, листьев, веток и стволов — этакий стопроцентный плод? Отчего бы не создать особые чаны с генетической закваской? В них озаренные солнцем клеточные ядра будут выращивать (в особом температурном и солевом режиме, повинаясь тщательно выбранному генетическому коду) яблочную, вишневую, пшеничную, морковную, ананасную растительную ткань. Она пойдет на стол целиком: никаких отходов не будет! В мечтах можно зайти и еще дальше. Возжелать растения, в которых имелось все необходимое человеку. Тогда не надо будет метаться от одного блюда к другому — организм с пищей сразу получит все, что ему необходимо.

А еще хорошо бы, чтобы эти ЧУДО-РАСТЕНИЯ можно было есть сразу в СЫРОМ ВИДЕ, чтобы не надо было возиться на кухне с поваренной книгой, затем жарить, варить, разогревать, охлаждать...

С ТОЧНОСТЬЮ ЧАСОВОГО МАСТЕРА

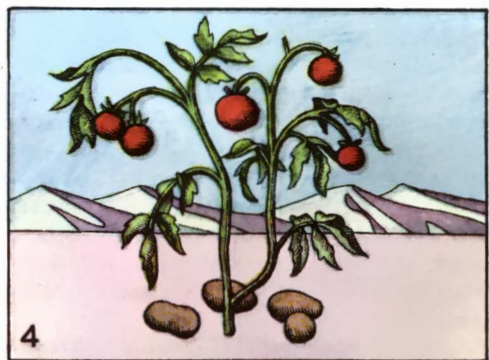
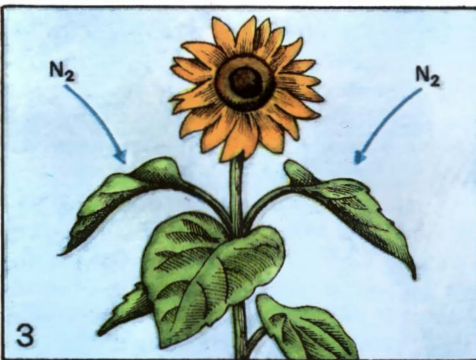
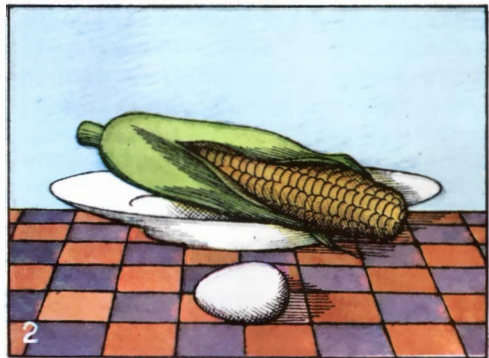
...Уже в этом году на прилавки магазинов в США поступят продукты, полученные методом генной инженерии. Растения эти выращивались из одной клетки в питательной среде в лаборатории, а затем высаживались на поля...

«Морковь из лаборатории» (Из газет, 1986 год)

Молекулярные биологи не сомневаются, что их исследования позволят: получить плодоносящие деревья, вырабатывающие естественные яды против вредных насекомых (от пестицидов, загрязняющих окружающую среду, тогда можно было бы отказаться); вывести кукурузу, в початках которой содержа-

лось бы столько же белка, сколько его содержится, скажем, в курином яйце; научить растения поглощать азот непосредственно из атмосферы; добиться того, чтобы появились растения, стойкие к засухам, способные усваивать соленую воду и градом, не страшась замо-

Генная инженерия будущего, возможно, позволит ученым создать: 1 — деревья, вырабатывающие яды против вредных насекомых; 2 — кукурузу, в початке которой белка будет столько же, сколько его в курином яйце; 3 — растения, поглощающие азот прямо из воздуха; 4 — картоmidор — гибрид помидора с картофелем, обладающий хорошими морозостойкими свойствами.



розков, устойчивые к гербицидам и вирусным заболеваниям...

А собственно, во всем этом и нет особых чудес. Растениеводы издавна занимались соединением различных сортов, но добивались они этого при помощи скрещивания и прививания, то есть путями естественными, главный недостаток которых — ненадежность и слишком большие затраты времени. Делом этим занималась и сама матушка-природа. Так, в частности, полагают, что вследствие генных мутаций живые существа, первоначально обитавшие в водной среде (в первоокеане), обрели способность дышать и выбрались на сушу.

Как спрессовать миллионы лет в годы и даже месяцы? Это для генной инженерии вопрос номер один. И тут ей поможет то, что она оперирует уже не с посевом, не с растением, а непосредственно с клеткой и содержащимися в ней молекулами. А их можно «разбирать» и «собирать», манипулируя с ними на химическом столе в лаборатории, с точностью и быстротой часового мастера.

В последние годы биоинженеры получили в свое распоряжение еще более удобные и совершенные «хирургические ножи». Уже есть «ланцеты» (особые ферменты), позволяющие по желанию разрывать мо-

лекулярные кольца и вновь скреплять их, внося в структуру гена нужные поправки. С помощью подобных и других мер можно перекраивать гены, присоединять к ним нужные фрагменты. Ученые умеют выделять отдельные гены в чистом виде, они «вырезают» из генетической программы одни участки и вставляют на их место другие...

Что же до химер, рождающихся в ином воспаленном мозгу? Конечно, об этом забывать не следует. Но надо помнить и о том, что наука сама по себе, в том числе, разумеется, и генная инженерия, не таит никакой угрозы человечеству. Все зависит только от того, в каких руках находятся научные открытия: кто, как и в чьих интересах будет использовать достижения человеческого гения. И еще: создать монстров, как это делал доктор Моро, не так-то просто. Для этого надо научиться манипулировать уже не одним-двумя генами, а многими их тысячами! Пока сделать это совершенно невозможно.

Генная инженерия взяла старт. Она и другие выдающиеся достижения науки будут определять будущее сельского хозяйства. Впрочем, говорить о будущем трудно. Такое по плечу лишь ФУТУРОЛОГУ или ФАНТАСТУ. Может, предоставим им слово?

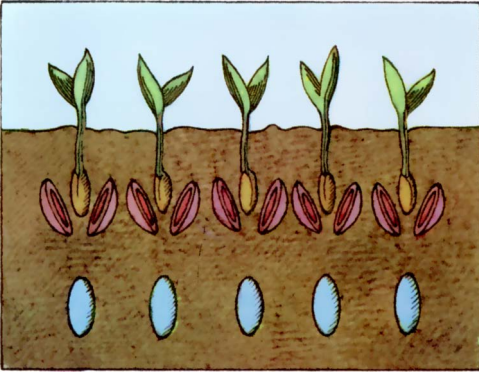
И НА ПОЛЯ ВЫЙДУТ РОБОТЫ

...В первую очередь в космосе будут возведены колонии с почвой, доставленной с Луны и доведенной до идеального плодородия...

А. Азимов

Тракторы, комбайны, грузовики — все это, как полагают футурологи, в будущем исчезнет с полей. По ним проложат нечто вроде трамвайных линий, по которым будут двигаться установки, напоминающие мостовые или порталные краны.

Эти механические «сеялки-сажалки», совершенно не повреждая почвенного покрова и находящихся на нем растений, будут производить все необходимые операции. Каждое сажаемое зернышко ляжет в специально отведенную для него



Семена, «одетые» в капсулы, чувствительные к воздействию токов высокой частоты, можно сеять один раз в несколько лет.

лунку и на строго определенную глубину. Записи обо всем, что распределяется на обрабатываемой площади, будут автоматически отображаться на индикаторах и фиксироваться в памяти ЭВМ...

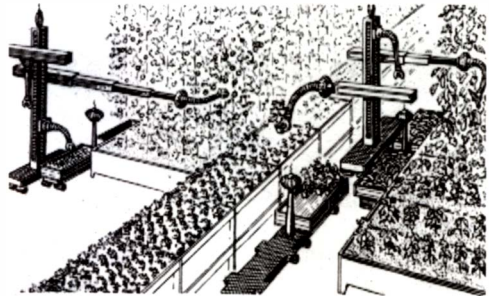
Много новинок предлагает наука сельскому хозяйству. Одна из них напоминает сказочную скатерть-самобранку. Представьте: весной никаких забот — ни вспашки, ни боронования, ни внесения удобрений, ни сева. И все же к осени получаем полноценный урожай. Что посеешь, то и пожнешь? Верно. Только вовсе не обязательно сеять каждый год! Так решили советские ученые. Они предлагают «одеть» семена в специальные оболочки-капсулы, чувствительные к воздействию тока высокой частоты. Такие закапсулированные семена закладываются в почву раз в несколько лет, но... Весной одна партия капсул разрушается электроимпульсом. Зерна прорастают. На следующий год электроимпульс разбудит следующую партию семян, благо оболочки могут быть разной чувствительности, а электроимпульс — разной силы...

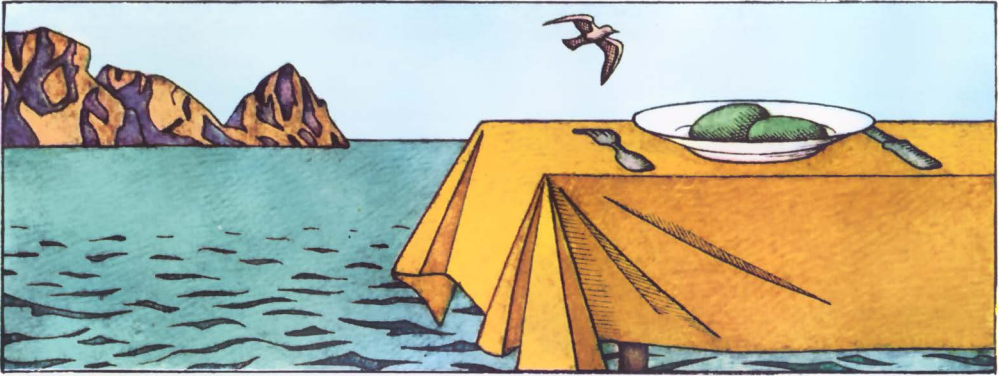
А еще эксперты считают, что вскоре на поля выйдут... роботы. Нужда в них несомненная. Скажем, на тракторах человек пашет в семь

раз быстрее, чем конным плугом. Но дальше увеличивать скорость пахоты не удастся: уровень вибрации возрастает непомерно, человеческий организм выдержать такое не в состоянии. Вот если бы на тракторе сидел робот!

В 1977 году в СССР был создан первый в мире агроробот — МАР-1. Две его руки длиной 1250 миллиметров и грузоподъемностью 75 килограммов движутся с точностью, не превышающей один, а на ходу — 20 миллиметров. У робота есть «глаза», «уши», органы «осязания». Этот робот создали в Московском институте инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина. А в 1984 году руководитель этих работ Валерий Иванович Васянин опубликовал в издательстве «Колос» уникальную книгу — «Сельскохозяйственные роботы». В ней рассказано, какими должны быть роботы, предназначенные для теплиц, для животноводческих ферм (тут не обошлось без сюрпризов: на испытаниях свиньям пришлось по вкусу резиновые части робота, и он остался без «кистей»), для стрижки овец, для уборки чайных листьев на

Сельскохозяйственные машины будущего: роботы для теплиц, позволяющие полностью автоматизировать технологические операции при выращивании и сборе овощей (1); плодуборочный робот марки МАР-1, для которого характерны точность движений, аккуратность в обращении с нежными фруктами (2); робот, предназначенный для сбора чайного листа, работающий качественно и производительно (3). (Стр. 28, 29: внизу.)





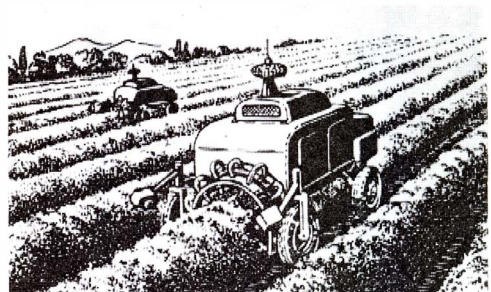
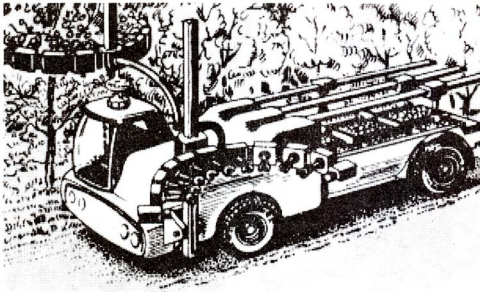
Котлеты из хлореллы.

плантациях, для сбора плодов с деревьев (прообразом конструкции манипуляторов здесь послужил... хобот слона), для уборки хлопчатника... По всем приметам видно, что сельскохозяйственное роботостроение будет быстро наращивать темпы.

А теперь еще один прогноз специалистов. Кое-кто из ученых всерьез начинает поговаривать о возможности «возделывания» морей. О выращивании для пищевых целей различных водорослей на обширных, специально для этого приспособленных «морских огородах». Люди начнут питаться планктоном? Француз А. Бомбар, бесстрашно пересекавший на резиновой лодочке океан, кормился планктоном и уверяет, что тот «иногда имеет вкус омара, иногда вкус креветки, иногда вкус овощей». Во всяком случае, есть его можно. И это богатый источник белков, жиров, углеводов и витами-

нов. Планктона в океанах много. Беда только, что он рассеян, распылен по громадным водным просторам. Всего десятые доли грамма в одном кубометре воды в среднем. Вылавливать его — занятие утомительное, дорогое и пока нерентабельное.

Но если планктон не дается в руки, может, заняться возделыванием хлореллы? Считается, что котлеты вовсе не обязательно готовить из свинины или баранины, можно и из хлореллы. Потому что эта чудесная водоросль наполовину состоит из белков. Итак, разводим хлореллу. Для роста ей нужны только влага, углекислота, соли и свет. За сутки с квадратного метра водной поверхности удастся собрать от 20 до 70 граммов хлореллы. Установки (и опытные заводы) для выращивания высоких урожаев этой водоросли уже спроектированы и построены. Имеются они и в нашей





стране, и в Голландии, и в Японии. С гектара тут хлорелловоды получают до 500 центнеров биомассы: в десятки раз больше, чем удается снять с поля, вырастив лучшие урожаи пшеницы!

Прогнозы, научно-технические проекты. Среди них выделяется масштабами мечта ученых создать... «кночное солнце». Представим такую картину. Весна. Она всегда торопит земледельца: с утра и до самой темноты снуют в поле трактора — идет снегозадержание. Как мало времени, как много надо успеть! Но вечерние сумерки не отсрочишь. Световой день иссяк. Однако машины не спешат покинуть поле. Механизаторы словно чего-то ждут. И вот над горизонтом появилась яркая звезда, за ней — вторая, третья... Спутники! Стремительно набирая высоту, они заметно прибавляют в свечении, и скоро на поля полился яркий свет, словно несколько полных лун сошлись воедино. Они и выплеснули на Землю потоки спасительного для механизаторов солнечного света, отраженного космическими спутниками-рефлекторами.

Фантастика? Скорее, реальность. Уже около десятка различных конструктивных схем спутников-рефлекторов предложили ученые из разных стран. Один из них в настоящее время разрабатывается в Московском авиационном институте.

Фантазии, превращающиеся в дело. А отчего бы не отправить сельскохозяйственные фермы в космос? Поближе к Солнцу. На планете становится тесно, а просторы космоса безграничны! Скажут, там

нет земной тверди? Ну, это дело поправимое. Писатели-фантасты давно решили эту проблему. Вначале, предлагают они, следует колонизировать все планеты нашей Солнечной системы: Марс, Венеру и так далее. Затем — не отправляться же за три моря к соседним звездам! — можно будет раздробить планеты на более мелкие и устроить вокруг Солнца искусственный зеленый БИОПОЯС ЖИЗНИ...

*

Далеко занесли нас мечты — в XXI, даже, видимо, в XXII век. А начали мы эту главу с разговоров о меню 2000 года. Срок недалекий, зато тут уж можно твердо сказать (читатель убеждался в этом уже не раз): основную пищу для нас и в начале третьего тысячелетия будут готовить растения.

Так вот вдруг, сразу отказаться от хлеба, молока, мяса? Забыть про чай и кофе, перец и горчицу? Перейти к ХЛОРЕЛЛЕ, МИКРОБНОМУ БЕЛКУ, ХИМИЧЕСКОЙ ПИЩЕ? Нет, такое вряд ли случится. Да мы просто не в состоянии будем это сделать к году 2000-му. Пока кормить нас по-прежнему будут растения (возделываемые, видимо, в основном традиционными способами). А если так, если старое, привычное сельское хозяйство еще долго будет служить человечеству, то с ним стоит познакомиться поближе: полезно вспомнить, каким образом растения запасают солнечную энергию, какие чудесные превращения совершаются в ЗЕЛеном ЛИСТЕ. Этому и будет посвящена следующая глава.

И в 2000 году растения останутся основной пищей для землян.

Когда-то где-то на землю упал луч солнца...
В той или в другой форме он вошел в состав хлеба,
который послужил нам пищей.
Он преобразился в наши мускулы, в наши нервы...
Этот луч солнца согревает нас.
Он приводит нас в движение.
Быть может, в эту минуту он играет в нашем мозгу...

К. А. Тимирязев



ГЛАВА 2



ФАБРИЧКИ ФОТОСИНТЕЗА

Человек ест животных, те — растения, а чем питаются зеленые кормильцы? Почва? Вода? Воздух? Выяснение всех подробностей этого научного вопроса — история прямо-таки детективная. И начинать ее надо изда-лека...

ЖИВОТНОЕ, ПОСТАВЛЕННОЕ НА ГОЛОВУ

Даже сейчас многие продолжают верить: хорошая, черная земля дает растениям все необходимое. Хотя на самом деле они черпают из почвы всего лишь неорганические соли.

Стойкость теории гумусового (перегнойного) питания растений легко объяснима. Эти взгляды освящены многовековой — с доисторических времен! — практикой земледелия. Вы бросили в почву крошечное семечко, а вырастает дерево-гигант, в десятки метров ростом. Создать такую махину из ничего нельзя — это ясно каждому. Наблюдение второе: в почве растение развивает очень сложную и мощную корневую систему. Если росток выдернуть с корнями из земли (или повредить корни), он быстро погибнет. Казалось бы, очевидно: пищу растения находят именно в земле и добывают ее с помощью корней. И почвы ведь не всякие пригодны: есть плодородные, здесь растения растут охотно и быстро, и есть тощие, покрытые чахлой растительностью. Значит, в почве должно присутствовать «нечто», какие-то питательные ингредиенты.

И последнее обстоятельство: древний землепашец не мог не очеловечивать растения. Не мог не ставить знака равенства между животными и растениями. Не мог не искать в растениях органа, соответствующего рту животных.

Все эти вроде бы неопровержимые истины подытожил в своих трудах древнегреческий философ и ученый АРИСТОТЕЛЬ.

Чем и как питаются растения? Ответ — его дал Аристотель — был



Аристотель.

Аристотель (384—322 до н. э.), сын придворного врача, ученик Платона, наставник Александра Македонского. Разум Аристотеля охватил и суммировал почти все доступные для его времени знания. Лекции, которые он читал своим ученикам (Ликейская школа в Афинах), были затем собраны им в 150 томах. Это была созданная одним человеком грандиозная энциклопедия не только наук, но и этики, политики, поэтики, риторики. В 323 году Аристотель был обвинен в безбожии, бежал и скончался в изгнании.

прост и доступен пониманию даже простых неученых афинян. Философ учил: растение — это животное, поставленное на голову: органы размножения у него наверху, а голова — внизу. С помощью корней, играющих роль рта, растение и извлекает из земли совершенно готовую пищу. Поэтому оно и не выделяет нечистот. Сколько вкусов в плодах, продолжал свою мысль ученый, столько же их и в земле, которую питаются растения.

Взгляды Аристотеля оказались очень живучи. Даже в прошлом веке один ученый француз в руководстве по анатомии растений писал,

что у растений, как и у животных, есть легкие — листья, желудок — корень, стебель же высасывает из

земли питательные вещества. А хло-рофилл не что иное, как зеленая кровь...

ВСЕГО ДВЕ УНЦИИ

Древние, конечно, понимали — растениям также необходима вода: первые цивилизации возникли в долинах великих рек (Нила, Евфрата, Инда...). Там, где было развито орошаемое земледелие. Но вода, полагали наши предки, играет лишь пассивную роль — переносчика питательных элементов из почвы в растение.

Несомненно же, почва важнее воды! Вода — жидкость, а скажем, древесина тверда, плотна: «нечто», взятое растением из почвы, гораздо легче превратить в растительную ткань, нежели собирать ее из текучей воды — материи принципиально иной природы...

Здравый смысл — хорошо, наглядный опыт — лучше! Собственно, наука и начинается там, где от рассуждений переходят к экспериментам. Начало научному подходу к физиологии растений положил Ян Баптист ван ГЕЛЬМОНТ, ученый, которому за полезные для науки заблуждения в 1889 году (через 245 лет после смерти) в Брюсселе воздвигли памятник.

Гельмонт, подобно древним грекам, верил, что вода — первооснова всего сущего на Земле, первоэлемент, в той или иной модификации слагающий во Вселенной и живой лист растений, и мертвый камень. Но Гельмонт отличался от греческих философов тем, что жил во времена, когда количественные методы начали изменять лик науки.

Вода или почва? Отчего не попытаться проверить это экспериментально? Ему было под пятьдесят, когда он завершил свой знаменитый опыт, длившийся целых пять лет! Гельмонт посадил ветку ивы в гор-



*Ян
Баптист
ван
Гельмонт.*

Гельмонт (1579—1644), голландский естествоиспытатель и алхимик. Дворянин, ятрохимик (врач-химик, ищущий химический способ лечения больных). В тридцать два года осел в поместье под Брюсселем, посвятив себя всецело науке и лечению (бесплатному) больных. Признавал самопроизвольное зарождение (верил, например, что из смеси пшеничной муки, старых тряпок и пыли могут нарождаться мыши), занимался и алхимическими опытами (поиски философского камня, превращающего ртуть и свинец в золото). И в то же время первый осознал, что воздух — это смесь газов (ввел в химию термин «газ»).

шок, наполненный землей. Ее сухой вес (ученый не поленился тщательно просушить землю в печи и взвесить ее с точностью до унции) оказался равным 200 фунтам.

Горшок был покрыт крышкой, чтобы в него не попадали пыль и сор. Иву поливали дождевой водой, и никому не дозволялось прикасаться к растению.

Ивовый прутик прекрасно развивался и превратился в деревце.

Ровно через пять лет Гельмонт с помощью садовника осторожно извлек иву из горшка, взвесил и



Опыт Гельмонта с ивовой веткой; вес земли до посадки ивы (1) и спустя пять лет после посадки (2) почти не изменился.

записал результат. Растение за пять лет увеличилось в весе на 164 фунта и 3 унции (один фунт равен 400 г, а унция — 29,86).

Вновь высушили землю, где развивалась ива. Удивительно, но она потеряла в весе всего лишь 2 унции. Следовательно... Следовательно, Аристотель был неправ. Вода! Только вода служит растению пищей...

Это был в истории науки первый количественный эксперимент с живым организмом. Биологический эксперимент, сказали бы мы. И в этом одна из величайших заслуг Гельмонта.

Что же до трактовки результатов

опыта, то здесь Гельмонт заблуждался, обманывая себя и других. Но это недоразумение стало классикой.

Возникла водная теория питания растений. Эта теория, несмотря на очевидную (о, как легко судить нам сейчас!) ее ошибочность, продержалась в науке до XIX века.

Сотни людей повторяли опыт Гельмонта и ссылались на него (с фактами спорить трудно) как на неопровержимый авторитет. И тех, кто опытами же доказывал, что Гельмонт был явно неправ, долгие годы (такова сила официальной, освященной учебниками доктрины) не хотели даже слушать...

«ЖИРНЫЙ ТУК»

Стивен ГЕЙЛС (1677—1761), английский священник, первым сделал попытку направить исследования о питании растений по правильному руслу. Он долгие годы детально изучал, как движется в растении вода, поглощаемая корнями и испаряемая листьями.

Пар — это тоже газ. Если растения могут извергать газы, то отчего же им их также и не поглощать? А может быть, они и дышат подобно животным? Хотя, видимо, и несколько иным способом?

А если все это так, рассуждал Гейлс, то воздух мог бы служить растениям пищей.

В 1727 году в своей книге «Статика растений» С. Гейлс высказал предположение: растения получают часть необходимого им питания при помощи листьев из воздуха. В своих догадках исследователь пошел даже гораздо дальше. «Проникающий в ткани листа свет, — писал он, — может быть, содействует облагораживанию веществ, в них находящихся...»

Опередить свой век — не в этом ли высшая доблесть ученого!

Гейлс бесспорно стал одним из основателей физиологии растений. У ее истоков стоял и корифей русской науки — Михаил Васильевич ЛОМОНОСОВ.

*Михаил
Васильевич
Ломоносов.*



Ломоносов (1711—1765), первый русский ученый-естествоиспытатель мирового значения: физик, химик, поэт, историк (в 1760 году им опубликована первая история российской), просветитель (организатор первого университета в России), технолог (цветные стекла для мозаичных портретов и картин). Сын крестьянина-помора, ставший академиком. В семнадцать лет бежал из родного дома и, выдав себя за сына дворянина, поступил в Славяно-греко-латинскую академию в Москве. Заслуги Ломоносова, основателя русской науки, были оценены ученым миром с большим опозданием. Из современников лишь математик Эйлер признавал истинную цену и значение Ломоносова. Для остальных же он оставался, по словам Н. Е. Введенского, «оригинальным мужиком с похвальной склонностью к просвещению, который писал стихи, по случаю чего и был ради примера сделан генералом». Но великий гений Ломоносова проложил себе дорогу. Его чтят сейчас во всем мире. В 1960 году, когда вращающийся вокруг Луны советский спутник сфотографировал ее спрятанную от нас сторону, один из обнаруженных там кратеров был назван именем Ломоносова.

Девять наук — физика, химия, геология, минералогия, география, астрономия, философия, история, филология — спорят, какая из них больше обязана талантам М. В. Ломоносова.

А ботаника? Отчего-то обычно забывают, что и ей Ломоносов посвятил немало времени, что и тут его мысль далеко опередила современную ему науку.

По соседству с домом, где долго жил Ломоносов, на Первой линии Васильевского острова, находился в Петербурге «Ботанический огород». Пятнадцать лет служил он для ученого местом отдыха и научных наблюдений. У Михаила Васильевича был даже свой ключ от садовой калитки...

Родившийся на Севере, на берегах Двины, где почва бедна, Ломоносов не раз задумывался: как, скажем, ель — такое крупное дерево! — могла так вымахать, питаясь лишь той скудной пищей, которую предоставляет ей здешняя (на Севере ли, под Петербургом) тощая земля? Где в ней тот «жирный тук», столь необходимый всякому растению?

И вот во времена, когда все поголовно считали, что лист — всего лишь помпа, выкачивающая из растения лишнюю влагу, когда в ученых трудах твердили: лучшее питание для растений — чистая вода, Ломоносов дерзко утверждал иное: «Преизобильное ращение тучных дерев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листьями жирный тук в себя из воздуха впитывают: ибо из бессочного песку столько смоляной материи в себя получить им невозможно...»

И позднее в трактате «О слоях земных» Ломоносов писал: «Откуда же первый сок сосны собирается и умножает их возраст, о том не будет спрашивать, кто знает, что многочисленны иглы нечувствительными скважинами почерпывают в себя с воздуха жирную влагу, которая тончайшими жилками по всему растению расходуется и разделяется, обращаясь в его пищу и тело...»

Провозвестники. Они были в нау-

ке всегда. Их мало ценят, редко упоминают. Должно быть, потому, что их истинное значение отчетливо осознавали лишь первооткрыватели, идущие по их следам. Гипотезы, говорил Ломоносов, это как бы порывы, дающие людям великим средством достигнуть знаний, до которых «умы низкие и пресмыкающиеся в пыли никогда добраться не

могут». Мысль о воздушном питании растений еще нельзя было подтвердить экспериментально: ученым во времена Ломоносова еще не была известна природа различных газов, входящих в состав воздуха. Однако идея фотосинтеза, словно нераскрывшийся еще бутон диковинного цветка, ждала своего часа. И этот час приближался.

ОТКРЫТИЕ ПРИСТЛИ

Удивительная все же закономерность: великие открытия, как правило, обычно делались (и, видно, всегда будут делаться) совершенно случайно.

Рвение, настойчивость, целеустремленность — все эти похвальные качества, несомненно, способствуют получению выдающихся научных результатов, но никак их не гарантируют. Нужно еще, как говорится, родиться в рубашке, под счастливой звездой.

Грустный факт, но научные изыскания подобны охоте: опытный стрелок, прекрасно знающий лес и повадки зверей, часто после томительного блуждания возвращается с пустыми руками. А случайный прохожий неожиданно приносит крупную дичь. Нечто подобное произошло и с английским химиком Джозефом ПРИСТЛИ.

Пристли искал способ очистки воздуха, испорченного горением и дыханием людей или животных. Его мучил такой вопрос: каким образом могло случиться, что атмосферный воздух, который постоянно портится, в течение несметных веков не утратил своей способности поддерживать жизнь и горение? Пристли приходит к заключению, что на поверхности нашей планеты должен существовать какой-то регулятор, процесс, обратный дыханию, процесс, улучшающий воздух.

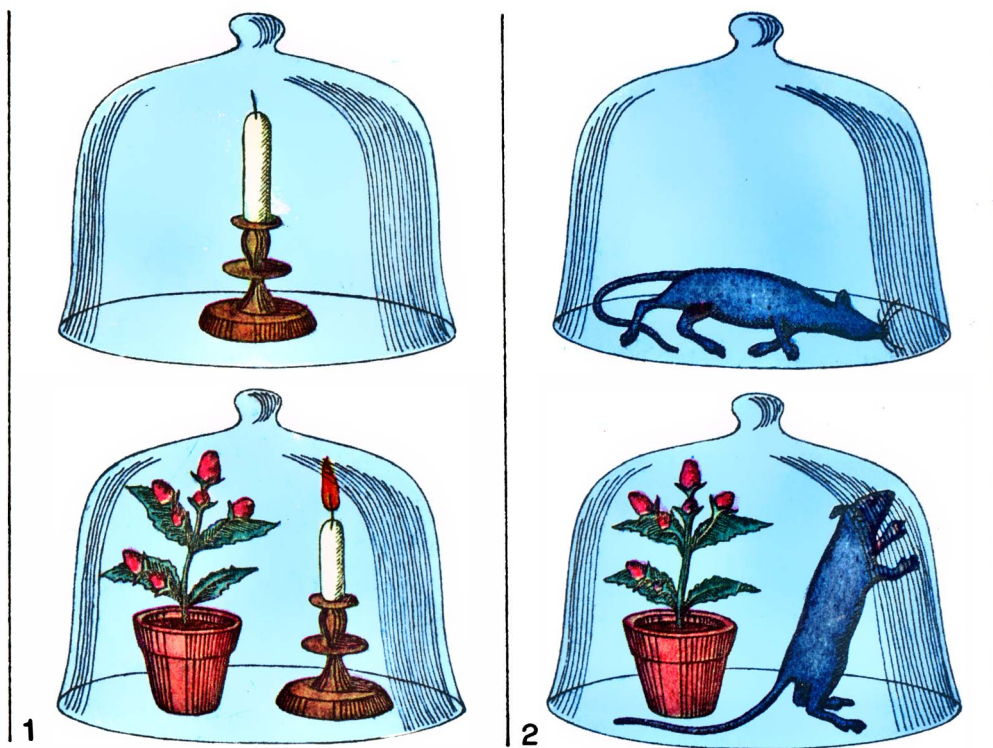
Долго искал ответ на свой вопрос



*Джозеф
Пристли.*

Пристли (1733—1804), философ-материалист, общественный деятель. Сын ткача, в семь лет лишился матери, воспитывался у богомольной тетки. Слабый, болезненный, заикающийся, он обнаружил непреодолимую склонность к наукам: еще в школе самостоятельно изучал философию, логику, математику, языки (знал греческий, латинский, французский, итальянский, немецкий, древнееврейский, арабский, ассирийский, халдейский). Написал научно-популярную книгу «История электричества», изобрел содовую (сельтерскую) воду (тогда ею безуспешно пытались лечить цингу), открыл в 1774 году кислород, упрямо защищал отживавшую свой век теорию флогистона, этого гипотетического начала горючести. Став после окончания духовной академии священником, Пристли проповедовал веротерпимость, одобрял борьбу североамериканских колоний за независимость, приветствовал Великую французскую революцию, выступал против работорговли и религиозного фанатизма всех мастей.

Когда шестидесятилетний Пристли вступил в Общество друзей французской революции, толпа разъяренных обывателей устроила в его доме погром. Ученому пришлось бежать в США.



Опыт Пристли: 1 — свеча в замкнутом сосуде горит только в присутствии мяты, выделяющей кислород; 2 — растение помогает выжить мыши.

Пристли, многое перепробовал, пока не сделал удивительное открытие. «Мне посчастливилось,— писал он об этом в 1772 году,—случайно напасть на метод исправления воздуха, который был испорчен горением свечи, и открыть по крайней мере один из исправителей, которым Природа пользуется для этой цели. Это растительность. Можно было бы себе представить, что поскольку обычный воздух необходим для жизни как растений, так и животных, то растения и животные действуют на него одинаково. Признаюсь, что и я так же предполагал, когда поместил пучок мяты в стеклянный кувшин, опрокинутый в сосуд с водой, но когда она продолжала расти там несколько месяцев,

я убедился, что этот воздух не тушит свечи и не вредит мыши, которую я туда поместил...» (В замкнутом сосуде без растения мышь быстро бы задохнулась!—Ю. Ч.)

Официально считается, что так был открыт фотосинтез. Но фактически Пристли лишь доказал, что растения выделяют кислород. Да, по существу Пристли открыл кислород, с тем чтобы два года спустя уже сознательно (и официально) совсем в иных опытах открыть его вторично. Но так или иначе в хаосе неоформленных еще представлений о газах — порядок здесь вскоре навел А. Лавуазье (1743—1794), он же дал имя кислороду — начало открытию фотосинтеза было положено.

СОМНЕНИЯ ШЕЕЛЕ

Опыты Пристли произвели сильное впечатление на его современников. Президент Королевского общества (Англия), вручая Пристли Большую золотую медаль, взволнованно говорил: «Отныне мы знаем, что от дуба в лесу до былинки в поле все растения вносят свою долю в поддержание необходимой для всего животного мира чистоты воздуха!»

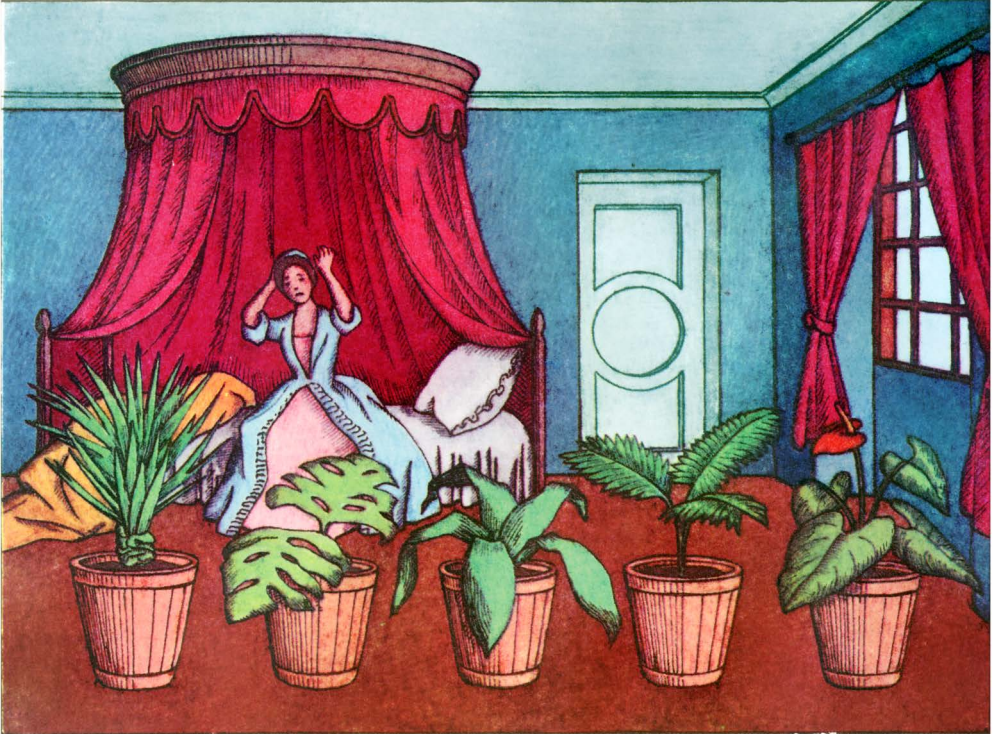
Пристли стал знаменит. Парижская Академия наук избрала его своим почетным членом, о нем заговорили в лондонских гостиных. Одна очень богатая дама решила испытать на себе действие только что открытого очистителя воздуха. Она велела дворецкому поставить к себе в спальню на ночь пять

больших кадок с тропическими растениями... Утром, проснувшись с мучительной головной болью, она послала за доктором и публично объявила, что Пристли плут и обманщик.

Это научный фольклор. Неизбежная приправа ко всякому значительному научному открытию. Неизвестно, стал ли бы Пристли полемизировать с этой дамой. Но серьезно отнестись к замечанию шведского исследователя Карла ШЕЕЛЕ он был просто обязан.

Этот скромный аптекарь знал одну лишь страсть — химические опыты. Им он посвящал весь свой досуг. Работа в аптеке оставляла для экспериментов лишь вечера и ночи. Долгие напряженные поиски

Вот так плачевно закончилось испытание действия только что открытого Пристли очистителя воздуха...



Карл
Вильгельм
Шееле.



Шееле (1742—1786), шведский химик, по образованию и профессии фармацевт. Родился в семье пивовара и торговца зерном, родители не могли дать ему высшее образование: он был уже седьмым сыном в этой большой семье. Работал учеником в аптеках различных городов Швеции, где занимался самообразованием и проводил химические исследования. Отказался от лестного предложения быть придворным химиком при прусском и английском дворах (словно чувствовал, что как профессор он был бы ординарен, но как аптекарь — величайший в мире). Был причастен к открытию многих химических веществ (хлора, марганца, бария, молибдена, вольфрама, азота, кислорода), но остался в истории химии, несомненно, одним из самых больших неудачников: либо работы других были более глубоки и значительны, либо его (часто чуть-чуть) опережали. Так случилось, например, с открытием кислорода. В труде «Химический трактат о воздухе и огне» Шееле описал получение и свойства «огненного воздуха» и указал, что атмосферный воздух состоит из двух «видов воздуха»: «огненного» (кислорода) и азота. Однако приоритет открытия кислорода достался Пристли, выполнившему свои опыты позднее, но опубликовавшему их раньше Шееле. В 1775 году за выдающиеся достижения в химии был избран действительным членом Шведской Королевской Академии наук. Ни до, ни после Шееле в Швеции этой чести не удостоивался ни один ученый, не имеющий высшего образования.

при свечах среди колб и реторт. Наука без дневного света!..

Весть о поразительных опытах Пристли докатилась и до Швеции. Шееле решил повторить и проверить их. Сделал он это быстро и, что удивительно (для Шееле), быстро же обнародовал результаты. Писал он кратко, и его мнение об экспериментах своего английского коллеги (поразительно!) полностью совпало с мнением уже известной нам богатой дамы. «Растения не улучшают воздух,— писал Шееле,— а, наоборот, делают его непригодным для дыхания».

О этот хронический неудачник Шееле! Он был и прав и ошибался. Он прикоснулся к великой загадке фотосинтеза, мог бы стать одним из крестных отцов этого уникального явления. Но и тут он дал промах. Обвинил Пристли и больше к этим опытам не возвращался: слишком далеки от фотосинтеза были его химические интересы.

А что Пристли? Он, конечно, огорчился, прочитав сообщение Шееле, и, естественно, решил повторить свои опыты. И тут началась научная чертовщина. Эксперимент говорил то да, то нет! Не раз и не два повторял Пристли свои опыты, но вопрос так и остался открытым. В конце концов обескураженный Пристли вместо прежних категорических утверждений был вынужден написать: «В целом я считаю **вероятным**, что заросли здоровых растений, живущих в естественных для них условиях, оказывают оздоравливающее действие на воздух...»

СЛОВНО МОДНЫЙ РОМАН

Причина неудач Пристли была в том, что ни он, ни Шееле не выяснили, при каких внешних условиях растения очищают и портят воздух.

Реабилитировал Пристли, разрешил спор между ним и Шееле Ян ИНГЕНХАУЗ — придворный оспопрививатель и ученый.

Ян
Ингенхауз.



Ингенхауз (1730—1799), голландец, личный врач австрийской императрицы Марии-Терезии. Прививал оспу (в Вене, как и по всей Европе, в те годы гуляла оспа — «Оспа, как и любовь, не щадит никого!») юным принцессам и принцам (до Дженнера, который стал прививать людям коровью оспу, это была рискованная акция, могущая дать и летальный исход) — у Марии-Терезии было шестнадцать детей. Сын дельца в Северном Брабанте, Ингенхауз любил отца, но презирал коммерцию; увлекся науками (учился в Лувене, Лондоне, Париже, Эдинбурге), получил звание доктора медицины. Обладал веселым нравом, легко сходиллся с людьми; словно Летучий Голландец, любил менять города и страны, внезапно появляться и столь же внезапно исчезать. Уже почти пятидесятилетним человеком насоком (за одно лето) провел серию исследований по фотосинтезу и написал книгу, сделавшую его членом Королевского общества (Англия) и классиком науки, незадолго до смерти издал вторую, не менее знаменитую, чем первая, книгу — «Дыхание растений».

Оставив Вену, Ингенхауз уединился летом 1779 года в деревне близ Лондона («Лондонский туман гущает не только воздух, но и мысль», — отшучивался он позднее). Снял парик, парадные башмаки, убрал дорогой камзол и с лихорадочной поспешностью принялся ставить опыт за опытом. С рассвета до поздней ночи. Несколько глотков крепкого чая — и опять за работу. Многие сотни (до 500 за лето!) опытов, без отдыха и перерывов. (Так бессонной ночью поэт, перемаывая листок за листком, торопится

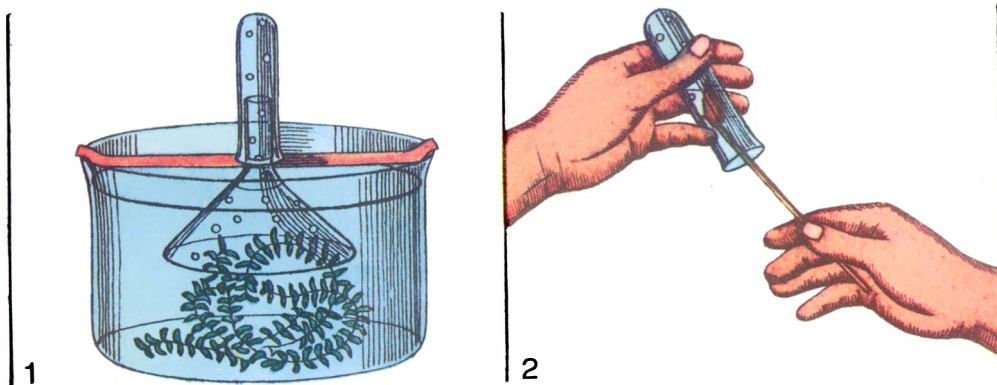
зарифмовать удачную мысль.) Видимо, основная идея уже крепко сидела в голове Ингенхауза. Блестящую догадку (хорошо, что она пока еще не пришла на ум другому) необходимо было подтвердить экспериментально (теорему сначала угадывают, затем доказывают). И сделать это не тая-ляп, а методически безупречно.

Обогнать научных конкурентов? А почему бы и нет!

...Вот Ингенхауз поместил ветку элодеи (многолетняя трава, ее часто разводят в аквариумах) под воду, прикрыв опрокинутой воронкой, а на шейку воронки надел пробирку.

На солнечном свете из растения (сквозь воду) в пробирку устремились пузырьки газа. Когда газа набралось достаточно, Ингенхауз сунул в пробирку тлеющую лучину: она ярко вспыхнула. Да, растения выделяют чистейший кислород... Десятки раз, в разных вариантах и сочетаниях повторяет ученый свои опыты. Сомнений нет: растения очищают воздух только на свету и лишь зелеными своими частями (незеленые части — побеги, свежесрезанные кусочки корней — газовых пузырьков не выделяли) — вот основной вывод Ингенхауза, поставивший все на свои места.

Покончив со своими бесчисленными опытами, Ингенхауз тот же час садится за книгу. Она вышла в том же году и стала, выражаясь современным языком, научным бестселлером. Ее сразу же перевели с английского на французский, немецкий, а затем и на родной язык автора — голландский. Книга была написана ясно, живо, четко, последовательно, обжуждавшиеся в ней вопросы (удивительные тайны, которые хранят деревья, кусты, травы — весь зеленый океан планеты) были так интересны, что этот ученый трактат раскупали, словно модный роман.



Опыт Ингенхауза: 1 — ветка элодеи выделяет на солнечном свете пузырьки газа; 2 — собранный в пробирку газ — кислород — способствует горению лучины.

Но вернемся к спору Пристли — Шееле. Тут Ингенхауз не обманывался. Он доказал: они правы оба! И оба заблуждаются! Ведь Шееле работал ночами, при свете свечного огарка, и ничтожная фотосинтетическая деятельность растений маскировалась их дыханием, поэтому они больше портили воздух, чем очищали.

А опыты Пристли в саду, при ярком свете? И здесь Ингенхауз внес ясность. Он пробовал добывать кислород из зеленых ветвей в жаркий

полдень. Пузырьков в пробирке почти не было! Значит?.. Значит, слишком яркий свет, как и полумрак, неблагоприятно влияет на очищение воздуха растениями.

Все вновь становилось непростым и малопонятным; подробно об этом будет рассказано в главе 4. Чтобы окончательно не запутать читателя (у нас все же не детектив Агаты Кристи!), пока усвоим самое простое: во тьме пусть растения дышат (поглощают кислород), а на свете кислород выделяют.

КАРУСЕЛЬ ЖИЗНИ

Пора подвести некоторые итоги. Основные действующие лица нашего научного повествования ФОТОСИНТЕЗ — кислород, свет, углекислый газ — установлены, их роли очерчены, примерно понятны их взаимоотношения (место действия продумано Природой), теперь мы готовы... Нет, стойте! Недостаёт еще одного штриха, и существенного. Мы помним: растения усваивают свой основной «хлеб» — углекислый газ — только на свету. Да, лучи Солнца необходимы. Но каково их истинное назначение, амплуа, так сказать? Ответ на этот вопрос дал Юлиус МАЙЕР.



Юлиус Майер.

Майер (1814—1878), немецкий врач (медицинский факультет Тюбингенского универ-

ситета), физиолог и физик. Сын аптекаря. Медицина (работа в парижских клиниках) его не прельщала, он нанялся врачом (здесь было мало дел и можно было всласть поразмышлять) на судно, идущее на Яву. В тропиках заметил изменение цвета крови у своих пациентов (темная венозная кровь человека, попавшего из умеренного климата в тропики, становится почти столь же красной, как и артериальная), пришел к выводу: существует связь между потреблением пищи и образованием тепла в живом организме,— идея закона сохранения энергии была им схвачена! Опередив Джоуля и Гельмгольца, стал писать статьи на эту тему, но его богатые идеи не были оценены. Споры о приоритете, научная травля (многие просто отрицали открытый Майером закон), смерть двух его детей угнетающе действовали на него. Сломленный, жил после этого так тихо и уединенно, что многие считали его давно умершим (публично говорили и писали об этом). Признание и слава пришли слишком поздно, к концу жизни, когда для него в них уже не было особой нужды.

...Майер на корабле «Ява» приближался к Индонезии. Густой, пряный океан тропической растительности (не то что на Севере, в Европе), этот буйный разгул зеленой стихии поразил воображение вчерашнего студента. Что происходит с лучом света, упавшим на зеленый лист?.. Он же не может исчезнуть в нем бесследно? Мысли трепещут в голове корабельного медика, словно птицы: вспархивают, улетают, возвращаются... Вновь и вновь на ум приходит то, о чем он размышлял все последние годы.

Всю жизнь Майер искал в природе простоты. Вот его слова:

«Величественное и широко раскинувшееся здание опытных наук поддерживается немногими столбами. История поучает, что нужны были тысячелетия, пока испытующему духу человека удалось найти основы наук, на которых и возведено более высокое здание в сравнительно короткий срок. И, однако, эти основные положения до того просты и ясны, что открытие их во многих отношениях напоминает о яйце Колумба».

В 1845 году ученый подвел итоги

своим долгим раздумьям, сформулировав закон сохранения энергии: «Сила и материя — неуничтожаемые объекты. Этот закон, к которому можно свести наипростейшим образом отдельные факты, есть естественная основа физики, химии, физиологии и философии».

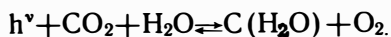
Не забыл Майер зеленый лист и солнечные лучи. Он писал:

«Природа поставила себе задачей перехватить на лету притекающий на Землю свет и превратить эту подвижнейшую из сил в твердую форму, сложив ее в запас. Для достижения этой цели она покрыла земную кору организмами, которые, живя, поглощают солнечный свет... Этими организмами являются растения...»

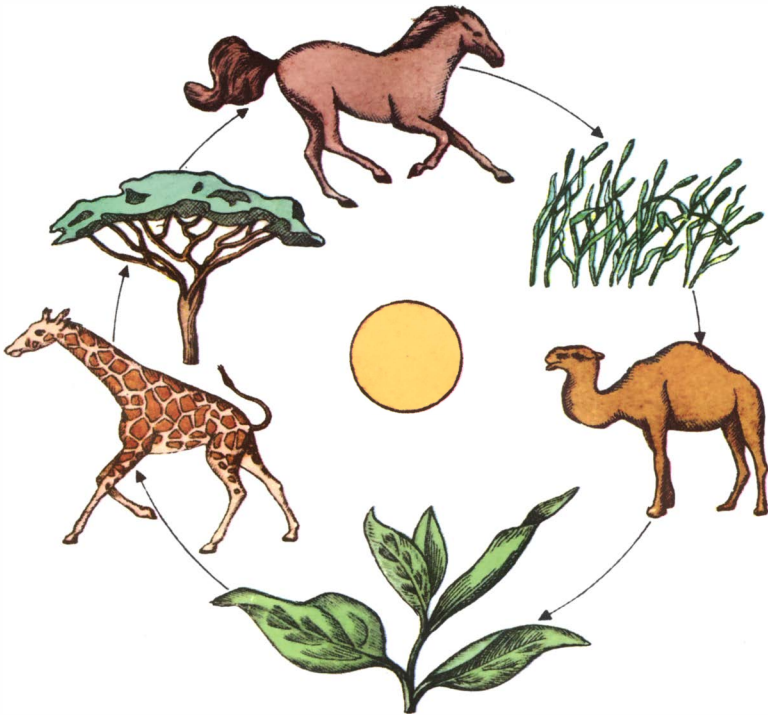
Вот, оказывается, каково предназначение растений: превращать энергию солнечного луча в иную форму энергии — химическую, запасенную (пища зверей, человека, микробов) в листьях кустарников и трав, стеблях, стволах деревьев...

Теперь, наконец, мы готовы к точным формулировкам. К тому, чтобы написать УРАВНЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА:

Зеленый лист



В зеленом листе под действием солнечных квантов происходит соединение углекислоты с водородом, взятым из... воды! Да, отчасти Гельмонт (это строго доказал в свое время швейцарский ученый Теодор СОСЦИОР, 1767—1845) был все-таки прав. Ну, а продукты фотосинтеза — это углеводы (первичная пища для всего живущего на Земле) и выделяющийся побочно кислород. Вот оно, внешне простенькое суммарное УРАВНЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА, отражающее усилия многих поколений ученых. Стрелка, повернутая направо (подобными символами химии обычно указывают направление хода



Карусель жизни, или Великий Цикл.

реакции), показывает, как растения запасают солнечную энергию. Это и есть, собственно, **ФОТОСИНТЕЗ**. Стрелка, повернутая влево, говорит о том, что может идти и обратный процесс — **ДЫХАНИЕ**. Оно осуществляется в клетках животных и человека.

Вместе фотосинтез и дыхание образуют замкнутый круг, или Великий Цикл. А движет этот цикл, запускает его космический источник энергии — Солнце, доходящие от него к нам лучи.

Какая поразительная картина открылась глазам ученых! Как умно, ладно подогнано все в этом мире!

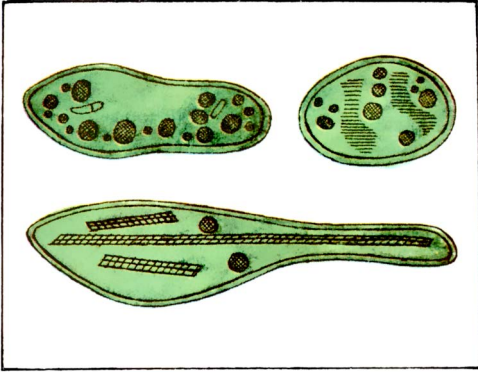
Оказывается, углекислый газ, кислород и лучи Солнца — вот ключи к вечной молодости всего сущего на нашей планете. Великий Цикл. Ежегодно зеленый покров Земли запасает миллиарды тонн углерода (из углекислого газа атмосферы) и освобождает сотни миллиардов тонн живительного кислорода. Им дышит все живое, оно же перерабатывает кислород снова в углекислый газ — эту пищу растений. И эта Карусель жизни (с настоящими — не из фанеры! — лошадьми, верблюдами, жирафами) ежегодно совершает свой торжественный и радостный круговорот.

НА ЗАРЕ ИСТОРИИ

Лист зелен, но красящий пигмент — хлорофилл — не распределен равномерно в его клетках, а

сосредоточен в крошечных зернышках — хлоропластах.

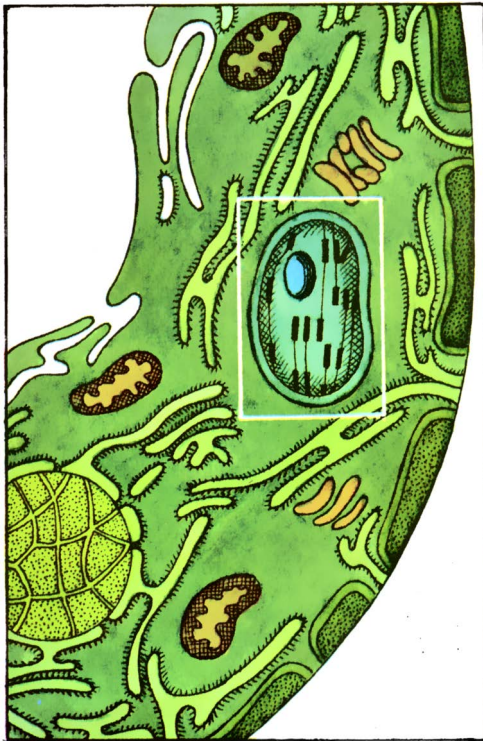
Наблюдая хлоропласты (эти мик-



Различия в форме и величине хлоропластов.

роскопические тельца разнообразны по величине и форме. У зеленых водорослей спирогир они имеют форму спиральных лент; у хлореллы хлоропласт по форме напоминает чашу), ученые давно догадывались: это, видимо, и есть те микро-

Хлоропласт в растительной клетке.



скопических размеров живые «машины», где происходит фотосинтез. Но как это показать? В 1865 году немецкий ученый Юлиус фон САКС (1832—1897) опытным путем (окрашивая йодом различные части клетки) доказал: 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 отдельный хлоропласт напоминает... огурец или половинку его: так обычно и изображают хлоропласт на рисунках, что-

Микрофотография хлоропласта.



бы можно было хорошенько разглядеть его внутреннее устройство. Внутри хлоропласт — диаметр его 5—10 микрон, сотые доли миллиметра, — перегороден (от одной его стенки — внешней мембраны-оболочки — до другой) тонкими мембранами, называемыми ламеллами. В отдельных местах ламеллы утолщаются, образуя грани.

Под электронным микроскопом удается разглядеть грани. Они представляют собой как бы стопки уже совсем мелких, едва видимых, аккуратно уложенных круглых плиток. И в каждой такой стопке сосредоточено от 250 до 300 молекул хлорофилла. В целом в отдельном хлоропласте могут содержаться миллиарды молекул хлорофилла. Нет никаких сомнений, процесс фотосинтеза идет именно в хлоропласте, а доказал это (теперь очевидное положение) в 1881 году Теодор ЭНГЕЛЬМАН.

Энгельман сконструировал особое устройство, которое позволяло освещать небольшими пучками света различные части зеленых клеток. Благодаря этому устройству можно было судить, в какой части клетки совершается процесс фотосинтеза. Кроме того, исследователь подобрал бактерии, жадно поглощающие кислород, продукт фотосинтеза.



Теодор
Энгельман.

Энгельман (1843—1909), немецкий физиолог, ровесник Тимирязева. Открыл (1888), что фотосинтез присущ не только растениям и водорослям, но также и особым пурпурным (названы так, потому что содержат темно-красный пигмент) бактериям (в отличие от растений, они, правда, не выделяют кислорода). Установил связь между окраской водных растений и их распределением по глубинам. (Давно замечено: в глубинах морей и водоемов преобладают красные водоросли, а ближе к поверхности — бурые и зеленые. А дело, оказывается, в том, что лучи разных участков солнечного спектра поглощаются водой неодинаково. На больших глубинах остаются в основном лишь синие лучи, которые хлорофилл не может эффективно использовать. Поэтому на глубинах — до ста метров — живут красные водоросли: их красный пигмент фикоэритрин способен поглощать желто-синюю часть спектра.) Энгельман изобрел и усовершенствовал множество приборов для физиологических и иных исследований.

Опыт Энгельмана: 1 — бактерии, поглощающие кислород, помещены рядом с хлоропластом; 2 — при освещении хлоропласта солнечными лучами начинается выделение кислорода, бактерии устремляются к нему.



И вот эти бактерии начали концентрироваться на тех местах, где находились освещенные хлоропласты...

Хлоропласты полны загадок. Есть гипотеза, что эти органеллы — потомки древних организмов, которые когда-то, на заре истории жизни на Земле, случайно внедрились в незеленые клетки и тем самым сделали их автотрофами, способными самостоятельно создавать необходимые им питательные вещества путем фотосинтеза. Союз этот

оказался очень выгодным для обеих сторон.

Любопытно, что зеленые клетки можно избавить от хлоропластов, нагревая их (поколения клеток, живущих при высоких температурах, начинают все более и более бледнеть и в конце концов становятся бесцветными, лишенными хлоропластов). Того же удается достичь и химическими средствами (воздействуя на зеленые клетки стрептомицином и другими веществами).

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЗЕЛЕННОГО ГОЛОВАСТИКА

Хлоропласты давно стали объектом пристального внимания ученых. В этот коллективный труд вносят весомую лепту и биологи Белоруссии. Здесь действует сильный отряд фотобиологов. Долгие годы его возглавлял академик Тихон Николаевич ГОДНЕВ.

*Тихон
Николаевич
Годнев.*



Годнев (1893—1982), физиолог растений, академик АН БССР (1940), родился в г. Задонске Липецкой области, в семье учителя, окончил Московский университет (1916), работал в Москве, Астрахани, Иванове, с 1927 года в Белоруссии; но где бы ни жил ученый, он всегда оставался верен своей первой, возникшей еще в студенческие годы научной страсти: его волновала тайна важнейшего растительного пигмента — хлорофилла. Годнева постоянно занимала мысль, как такая большая и сложная мо-

лекула может строиться в живом организме. Труд жизни ученого был подытожен в монографии «Хлорофилл. Его строение и образование в растении»; в 1967 году эта работа была удостоена премии К. А. Тимирязева АН СССР. Богатый научный опыт и тонкая интуиция не раз выручали ученого. В 1960 году сенсацией прозвучало сообщение о том, что сразу в двух лабораториях, Р. Вудворда (США) и М. Штрелля (ФРГ), впервые осуществлен полный химический синтез хлорофилла. Уже тогда Годнев предостерегал от необоснованных надежд на то, что эти успехи, безусловно весьма знаменательные, почти механически приведут к решению всех проблем фотосинтеза, — так и получилось... Годнев по праву считается создателем советской школы исследователей биосинтеза хлорофилла, основателем и учителем школы белорусских физиологов и биохимиков растений, среди его учеников — член-корреспондент АН СССР А. А. Шлык и другие известные советские ученые.

Под фотонным, световым дождем многие из молекул хлорофилла, находящихся в зеленом листе, разрушаются. Однако листва сохраняет свой цвет, так как в недрах листа идет непрерывный синтез новых молекул хлорофилла.

Биосинтез хлорофилла — интереснейшая тема! Ученые показали, что по утрам листва «более зеленые», чем вечерами, на закате солнца. Причина? Обновление хлорофилла в основном идет по ночам, в темноте. Где же расположены центры биосинтеза? В каких частях

зеленого листа готовится хлорофилл? Что это за цеха такие? Как они устроены? Что собой представляют? По каким принципам работают?

Автора этой книги все это тоже интересовало. Он знал, что изучением биосинтеза хлорофилла занимаются в Минске. В частности, в институте, где работает доктор биологических наук Владилен Лазаревич КАЛЕР и его сотрудники.

В Государственной библиотеке имени В. И. Ленина в Москве были разысканы работы этого ученого. Среди прочего на глаза попались и такие его, может быть, пророческие слова: «В недалеком будущем возможности агротехники и агрохимии будут практически исчерпаны, и размеры урожая определит то, насколько умело растения смогут использовать световую энергию». Понимать эти слова надо так. Если растения полностью обеспечены удобрениями, водой и всем необходимым, то все решает световая стадия фотосинтеза: сколько световой энергии смогут переработать растения и как споро хлоропласты сумеют (да, они и этим занимаются!) изготовить новые молекулы хлорофилла.

Вот так фотосинтетическая дорожка и привела сначала автора, а затем и читателей этой книги в столицу Белоруссии город Минск. Сентябрь в тот год выдался на редкость теплым и солнечным. Де-

ревья еще сохраняли первозданность зеленых крон, а кусты цветущих роз источали аромат, когда я дорожками Ботанического сада шел к увитому плющом серому четырехэтажному зданию Института экспериментальной ботаники имени Василия Феофиловича Купревича — этого родоначальника многих биологических учреждений Академии наук Белоруссии. Вот и комната 214. Лаборатория фотосинтеза. Здесь под руководством В. Л. Калера исследователи изучают систему биосинтеза хлорофилла.

Многие поколения ученых пытались разгадать структуру хлорофилла, этой самой, пожалуй, популярной молекулы жизни. И теперь в любом учебнике по физиологии растений можно найти «портрет» этой молекулы. Она похожа на... головастика. Имеет плоскую квадратную «головку» (хлорофиллин) и длинный «хвост» (фитол). «В пруду головастик, лишаясь хвоста, превращается во взрослую лягушку,— помню, рассказывал Владилен Лазаревич.— В листе последовательность обратная: тут можно сказать, что «лягушка» — молекула протохлорофиллида, предшественника хлорофилла, обзаведясь фитольным «хвостом», становится «головастиком» — хлорофиллом. Но это лишь краткий эпизод в долгой и до сих пор во многом таинственной мистерии биосинтеза хлорофилла...»

МОЛЕКУЛЫ НА САМООБСЛУЖИВАНИИ

В большую науку Калер пришел в 1957 году с... авторемонтного завода, где заведовал после окончания университета химической лабораторией. Ему было тридцать два года, когда тайны фотосинтеза всецело покорили и увлекли его. И ныне он автор известной и в Союзе и далеко за его пределами моно-

графии «Авторегуляция в системе биосинтеза хлорофилла в высших растениях».

В зеленом листе возникновение новых молекул хлорофилла происходит на фоне большого количества уже имеющегося пигмента. Поэтому биосинтез «невидим», он как бы одет в маскхалат, и его нелегко

исследовать. Можно, конечно, начать мельчить зеленую материю на все более мелкие части в надежде дойти до «первоисточников». Средств для этого придумано немало. Листья дробят в ступе под слоем жидкого азота или быстро пропускают зеленую ткань растений через крохотные отверстия из камер с высоким давлением: оно разрывает хлоропласты на мельчайшие фрагменты. Можно разрушать мембраны зеленых клеток с помощью детергентов или, проще говоря, ПАВов — поверхностно-активных веществ, типа моющих средств. «Резать» их ультразвуком... Однако всюду исследователь как бы оказывается перед выбором: все или ничего, — ибо он, отвлекаясь от изучения живой клетки в целом, осуществляющей нормальный фотосинтез, получает в руки груды безжизненных «деталей», отдельных химических компонентов, о роли которых можно только гадать.

Эта довольно безрадостная ситуация изменилась к лучшему с приходом в науку радиоактивных изотопов. Ведь они, эти «атомные детективы», позволяют, не разрушая зеленой ткани, следить за происходящими в ней тонкими процессами. И все же трудности остались немалые. Ведь при биосинтезе хлорофилла одновременно происходят многие десятки превращений.

Что же делать? Как одолеть преграды, расставленные хитроумной природой? Долго ломал себе над этим голову В. Л. Калер. И решил призвать на помощь ЭВМ. Заняться математическим моделированием явлений. Хотя в те годы многим такой подход к биологическим объектам казался несерьезным, игрой в бирюльки. Теперь-то уже так не думают.

Что же дало математическое моделирование? Можно ли сейчас представить себе, как устроена и действует «фабрика» биосинтеза

хлорофилла? Вместо ответа на мои настойчивые расспросы В. Л. Калер, помню, просто открыл ящик стола и достал оттуда диковинное устройство, внешне напоминающее восемь груш, соединенных вместе теми местами, где у плодов обычно торчат хвостики — плодоножки. «Вот вам...» — сказал он. — Можете поддержать в руках модель того, что природа отлаживала многие миллионы лет. Это полиферментная система, каталитический центр. То место, откуда, словно детали с конвейера, сходят только что изготовленные молекулы хлорофилла...»

Владилен Лазаревич (беседа наша была долгой) ввел меня в тонкости биосинтеза хлорофилла. Его рассказ впечатлял. В самом деле, только попробуйте представить себе завод, который бы изготавливал не только какую-то продукцию, но еще и станки, и все необходимое оборудование. И обходился бы при этом без рабочих и вообще без обслуживающего персонала!

Да, как это ни удивительно, но молекулы хлорофилла сами должны еще и управлять процессами своей «сборки». Ничего другого природе не оставалось, выбора у нее не было! В таком «самообслуживании» и заключена соль термина «авторегуляция хлорофилла» — явления, открытого В. Л. Калером. В мудреных терминах науки это называется кооперативным управлением. Подтверждено многочисленными расчетами на вычислительных — аналоговых и цифровых — машинах сложных систем десятков нелинейных дифференциальных уравнений. Однако суть дела тут проста и может быть пояснена двумя словами. Работа зеленого конвейера устроена таким образом, что до тех пор, пока конечный продукт — молекула хлорофилла — не выйдет из каталитического центра, работа над созданием новой молекулы не начнется.

«Что же эти исследования сулят практике? — задал я тогда, пожалуй, нескромный (если обращаться к биологу-теоретику) вопрос.— Или, быть может, говорить об этом слишком рано?»

«Отчего же! — быстро ответил Владилен Лазаревич.— Мы изучаем также, как влияет на биосинтез хлорофилла изменение светового, углекислотного, температурного режимов, как фотосинтетический аппарат приспосабливается к быстро меняющимся условиям. И мы надеемся, что это позволит решить не одну загадку. Вот пример. Селекционеры создают высокоурожайные сорта зерновых, обещающие 80—90 центнеров зерна с гектара. Увы! В полевых условиях быстро обнаруживается, так сказать,

изнанка селекции. Высокопродуктивные новички не только требуют раза в два больших энергетических затрат, но еще — и это главное! — тепличных, комфортных условий. Но заказывать погоду мы еще не можем. А потому реально высоких урожаев не получается. А тем временем менее продуктивные сорта, обладающие свойством пластичности, легко переносят капризы непогоды и другие превратности. Урожайи ниже, но зато они гарантированы!»

«И вы хотите привить пластичность, умение адаптироваться и высокоурожайным сортам?» — спросил я у него.

«Хотим, но сумеем ли — этого мы пока не знаем. Ответ дадут дальнейшие исследования».

ДАРОВАЯ, КАК ВОЗДУХ

Глядя, как слаженно идет биосинтез хлорофилла в растении, задумываешься о том, чего мог бы добиться человек, обладая, как и природа, возможностью вести фотосинтез искусственно. Об этом меч-

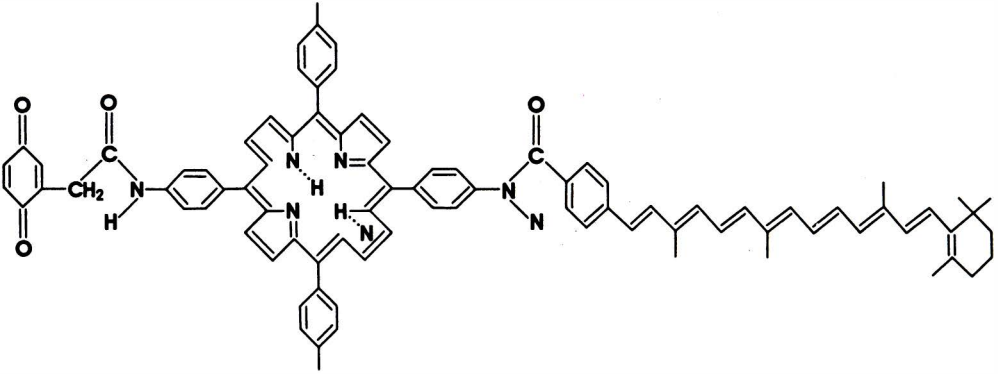
Академик А. А. Красновский (вы видите его на этой фотографии) приветствует работы по искусственному фотосинтезу, но считает, что надо стремиться к созданию более совершенных, чем естественные, преобразователей солнечной энергии.



тал советский физик, организатор оптической промышленности в СССР академик Дмитрий Сергеевич РОЖДЕСТВЕНСКИЙ (1876—1940). Он говорил с горечью: «Мы слепо и тупо смотрим, как льется эта драгоценная энергия мимо нас на землю, не совершая работы, не снабжая нас энергией».

Воспроизвести процесс фотосинтеза искусственно? Попыток было немало. Главная трудность — обеспечить достаточно долгое существование поляризованных молекул, то есть таких молекул, в которых заряды разделены. Непросто добиться того, чтобы заряженные части не могли реагировать друг с другом, но успевали провзаимодействовать с другими молекулами.

Успех в создании подобных молекул, эффективно преобразующих энергию светового излучения, уже достигнут. Есть тут и свои рекорды. Прежде молекулы жили не более нескольких пикосекунд (10^{-12} секунды). А недавно удалось создать



вот такую молекулу, которая способна действовать в 10 тысяч раз дольше, чем полученные ранее.

Особенность этого научного достижения еще и в том, что большинство ранее синтезированных молекул состояло из двух частей. А преимущество новой «тройной» молекулы в том, что теперь заряды должны путешествовать вдоль молекулярной цепочки дольше: больше шансов законсервировать энергию света в химических связях, как это и происходит в растениях...

Борьба за осуществление искусственного фотосинтеза продолжается. Но верный ли это путь? Мнения тут разделились. Член-корреспондент АН СССР, председатель Совета по фотосинтезу АН СССР Анатолий Александрович НИЧИПОРОВИЧ, например, относится к этому делу скептически. Масштабы естественного фотосинтеза — вся планета! — грандиозны, воспроизвести его нереально. Лучше, полагает ученый, больше внимания уделять сохранению и увеличению фотосинтетической продуктивности уже существующих растений.

Другие исследователи (в частности, академик Александр Абрамович КРАСНОВСКИЙ), напротив, приветствуют работы по искусственному фотосинтезу, но считают, что не надо ставить своей целью только слепое копирование фотосинтетического аппарата, возникшего у рас-

тений в ходе долгого процесса биологической эволюции, а необходимо стремиться к созданию более совершенных, чем естественные, преобразователей солнечной энергии.

Как сложится будущее искусственного фотосинтеза? Сейчас об этом трудно судить. Но время, когда, по словам академика Д. С. Рождественского, придет «химия конкретная, понимающая процесс в тончайших деталях и управляющая атомом, как шофер автомобилем», конечно же, придет. И тогда для человечества наступит совершенно новая эра. Здесь вопрос будет идти уже не только о новой форме энергии, но и о том, что «она станет даровой, как воздух, которым мы дышим».

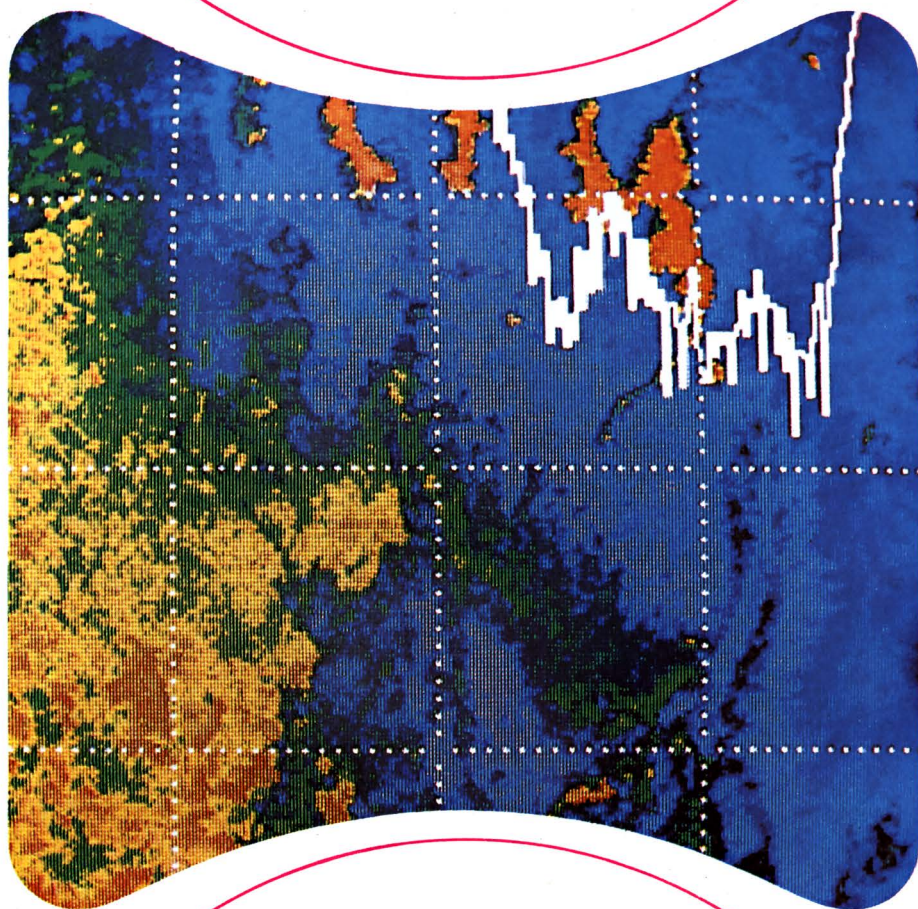
*

В этой главе мы вольно перебирали страницы истории науки и лишь в конце добрали до молекулярных основ тех превращений, которые идут при фотосинтезе. Познакомились с молекулой хлорофилла. И даже проникли в зеленую клетку.

Но разве дело ограничивается только этим? Ведь зеленая клетка — только ничтожная часть ЗЕЛЕННОГО ЛИСТА. Его функции, структура для фотосинтеза также чрезвычайно важны. С ними нам совершенно необходимо познакомиться. Что мы и сделаем в следующей главе.

Я учился траве,
раскрывая тетрадь,
И трава начинала,
как флейта, звучать.

А. Тарковский



ГЛАВА 3



ФИЗИКИ В ЗЕЛЕНОМ ЛАБИРИНТЕ

Когда, сойдя с маршрутного автобуса Тарту—Эльви—Валга, начинаешь подниматься в гору, из-за ее макушки постепенно возникают сначала очертания главного здания обсерватории Тыравере, а затем и луковки ее телескопов. Здесь же, в 20 километрах к юго-западу от старинного университетского города Тарту, разместился и Институт астрофизики и физики атмосферы (ИАФА) Эстонской Академии наук. Его ученые известны своими работами не только в нашей стране.

Вот, к примеру, исследования Серебристых облаков, простирающихся над полюсами Земли. Это загадочные образования: они состоят из кристалликов льда, но расположены на таких высотах (70—90 километров), где воды заведомо не может быть! Эстонские астрономы, действующие совместно с работающими на пилотируемых станциях космонавтами, близки к разгадке этих сложных фотохимических явлений, активно влияющих на земной климат.

Но в Тыравере, в ИАФА (как это ни удивительно), привели нас с Вами, читатель, не Серебристые облака, а таинства фотосинтеза и забота о завтрашнем урожае.

ГЛАЗАМИ ИНОПЛАНЕТЯН

А на краю природы, на границе
Живого с мертвым, умного с тупым
Цветут растений маленькие лица,
Растет трава, похожая на дым.

Н. Заболоцкий

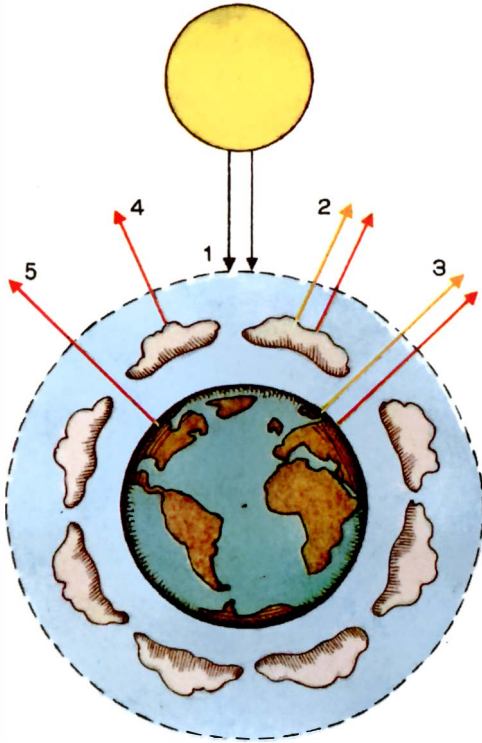
Если бы инопланетяне пожаловали к нам на Землю, то прежде всего их, видимо, поразил бы, заинтриговал зеленый наряд нашей планеты. Подлетая к Земле, пришельцы увидели бы нашу планету так, как ее сейчас видят лишь космонавты. Они разглядели бы шарик, окутанный слоем атмосферы, облепленный безмятежными белыми облачками и черными грозowymi тучами. Заметили бы инопланетяне и щедро льющий на планету солнечный дождь. В потоках света яркие земные краски мерцали, переливаясь всеми цветами радуги...

Конечно, среди инопланетян нашлись бы физики. Они отметили бы, что Солнце посылает на Землю лучи с короткими длинами волн — фиолетовые, синие, а Земля возвращает в космос длинноволновое излучение — оранжевые, красные лучи. Отдает планета в космос

Такими видны посевы из космоса.

и тепло — инфракрасные волны... Свообразными «космическими пришельцами» оказались и физики ИАФА, ученые сектора физики атмосферы, которыми уже многие годы руководит доктор физико-математических наук Юхан Карлович Росс. Ведь они вроде бы занялись не своим делом, как бы попали на чужую научную планету — биологическую. Они стали изучать метаморфозы солнечной радиации в растительном покрове.

Прежде чем ехать в Эстонию, автор этой книги ознакомился с научными трудами Ю. К. Росса. Одна из его монографий называлась «Радиационный режим и архитектура растительного покрова». На ее обложке был изображен заманчивый зелено-белый лист. Я полагаю, что и в монографии страницы будут сплошь «зелеными» — этакая научная экскурсия в мир растений. Не тут-то было! То был совсем не гербарий и не ботанический атлас.



Солнце посылает на Землю фиолетовые и синие лучи с короткими длинами волн (1), а Земля возвращает в космос длинноволновое излучение — оранжевое и красное (2, 3) — и тепло — инфракрасные волны (4, 5).

Листая страницы, я обнаружил колонки цифр, косяки формул, волны графиков и иероглифы уравнений. То была теоретическая физика в самом прямом и высоком значении этих слов. Зеленый лист и матема-

Эстонские физики доктора физико-математических наук Ю. К. Росс и Х. Г. Тооминг.



тические формулы? Парадокс? Ничуть. Все стало на свои места после беседы с Ю. К. Россом.

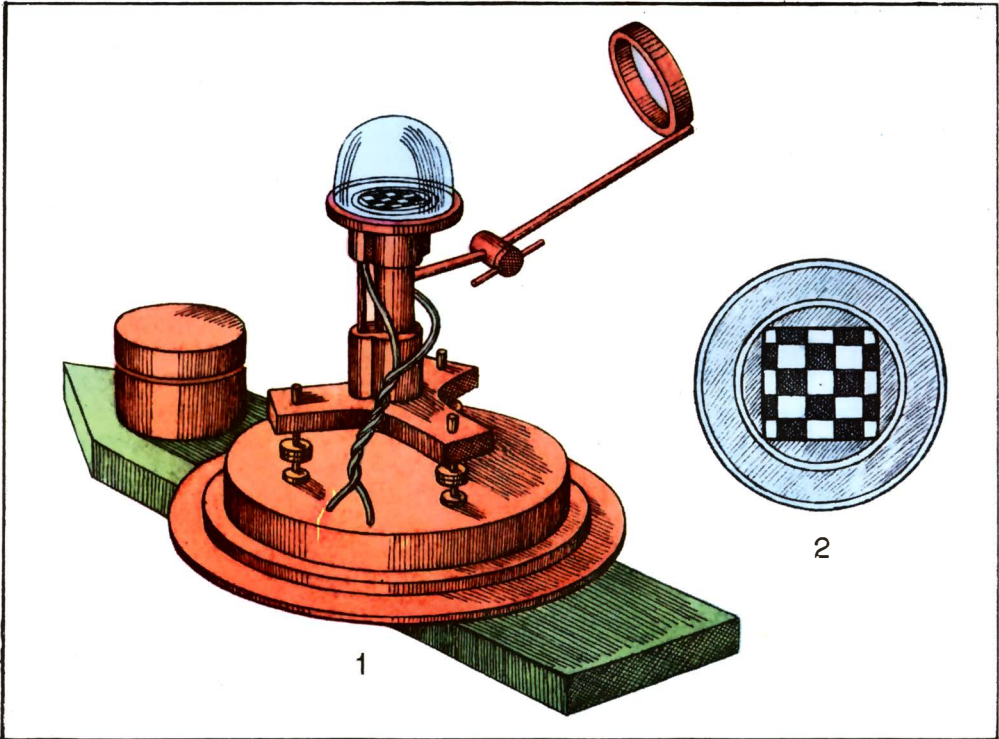
«Вы спрашиваете, как я, физик, пришел к биологии? — рассказывал ученый. — Это долгая и непростая история... Солнце дарит нам жизнь: греет, кормит. Это пока все еще наше основное богатство. И оно, конечно, требует призора...»

На рабочем столе Росса лежала стопка светофильтров. Позднее я любовался фотографиями летних ландшафтов, снятых в монохроматических лучах и при обычном освещении. «Светофильтры помогают провести, так сказать, инвентаризацию лучистых потоков, — говорил Росс. — А их измерение — наша будничная работа, и тут не обойтись без особых приборов...»

Где и сколько радиации поступает на Землю — эти данные регистрирует мировая сеть актинометрических постов, разбросанных по всему земному шару. Наблюдения эти ведутся давно, но сеть эта прежде давала мало сведений о той радиации, которая необходима растениям (то, что как раз и определяет урожай посевов, их продуктивность). Никто ранее не занимался этими вопросами потому, что не было необходимых приборов. Вот этим и решили заняться Ю. К. Росс и его сотрудники.

Ю. К. Росс делится со своими коллегами опытом актинометрических работ.





1 — прибор для измерения суммарной и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность (пиранометр конструкции Ю. Д. Янишевского); 2 — приемник радиации (термоэлектрическая батарея).

В 60-х годах научным советом по проблемам фотосинтеза Академии наук СССР были начаты широкие комплексные работы по изучению фотосинтетической продуктивности посевов сельскохозяйственных культур. В разные климатические зоны были посланы научные экспедиции. Проблема «фотосинтез и использование солнечной радиации» вошла тогда одним из важнейших разделов в Международную биологическую программу.

Во всем этом приняли живейшее участие и исследователи из ИАФА. Ю. К. Росс и его сотрудники работали на полях Эстонии, Молдавии, Таджикистана.

Под палящими лучами измеряли физики распределение радиации в посевах кукурузы, подсолнечника, хлопчатника, составляли и решали сложные дифференциальные уравнения. Вели исследования и все более убеждались в необходимости теснейшего союза с биологами.

СКОЛЬКО РАСТЕНИЯМ СОЛНЦА НАДО

При слабом освещении чечевички хлоропластов — этих органов фотосинтеза — подплывают к обращен-

ному к свету стенкам клеток и располагаются перпендикулярно лучам. Так тонкая аппаратура клетки

позволяет улавливать максимум драгоценных солнечных лучей. Иное — на ярком свете. В клетках листьев, попавших под прямой световой поток, хлоропласты очень быстро становятся ребром к свету, разбегаются в стороны и буквально прячутся от солнечных лучей, тесно прижимаясь к боковым стенкам клеток.

Отчего растения страшатся избытка солнечной энергии? Вопрос этот окончательно не решен. Есть подозрение, что в случае малейших повреждений при фотосинтезе находящиеся в возбужденном состоянии молекулы хлорофилла и других пигментов, соединяясь с кислородом, под воздействием мощных световых потоков образуют фотоперекись — сильный яд, производящий разрушения.

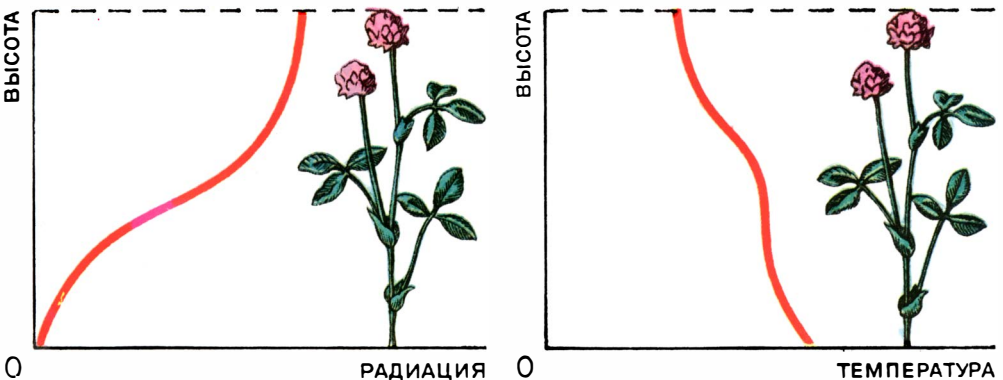
Сколько солнца надо хлоропласту, листу, растению, посеву? Ответить на эти вопросы непросто. Вот что рассказывал мне Ю. К. Росс: «Подчас у растения вроде бы всего вдоволь, а чувствует оно себя неважно, а то и плохо. Чрезмерная загущенность посева загораживает лучам дорогу вглубь. Солнца не хватает! Убедиться в этом нетрудно. Даем растению достаточное количество воды, удобрений сколько надо, а ему неважно. Повышаем

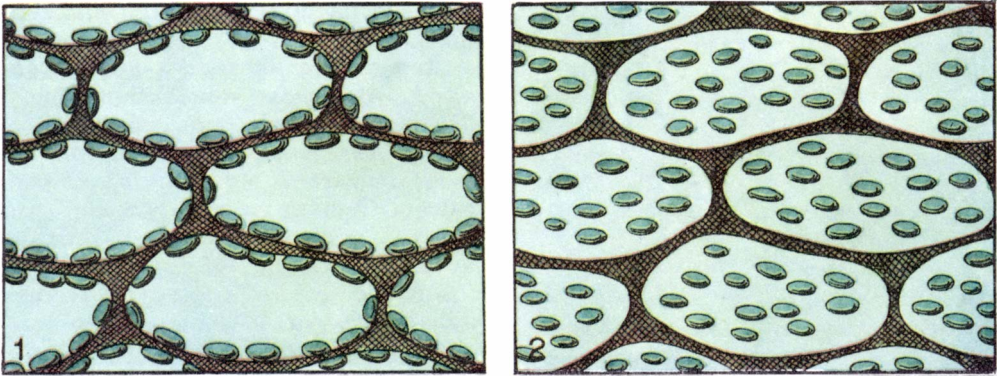
дозу вносимых в почву удобрений, но урожай не увеличивается. Более того: растения становятся менее стойкими к болезням или, скажем, может произойти их полегание. В чем дело? Достигнут предел урожайности? Нет. Просто водоснабжение и минеральное питание перестали быть ограничивающими факторами для фотосинтеза. И чаще всего теперь в этой роли выступает свет, его количество и качество...»

Бескрайнее колышущееся под ветром поле кукурузы. Или золотой ковер пшеничных колосьев. Мы любуемся этой красотой и совершенно не задумываемся о том, какие процессы разыгрываются в глубинах этих посевов. Для ответа на тысячи вопросов, которые тут могут возникнуть, необходимо было создать специальные приборы. Такие, чтобы они могли измерять спектральный состав радиации в любом самом загущенном участке посева и в то же время не нарушали, не повреждали его структуры.

Этим важным делом занимались не только эстонские физики, но и сотрудники Ленинградского электротехнического института (под руководством профессора Б. П. Козырева), и специалисты из Института светотехники (их работу возглавил кандидат технических наук

Распределение силы света, температуры, влажности воздуха и скорости ветра по глубине посева.





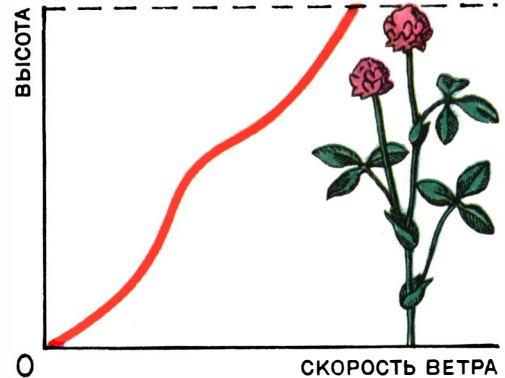
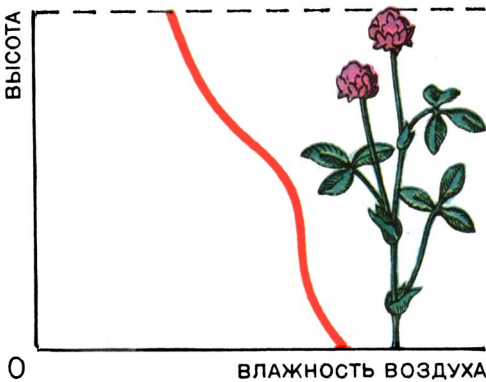
Реакция хлоропластов на силу света: 1 — при ярком облучении; 2 — при слабой освещенности.

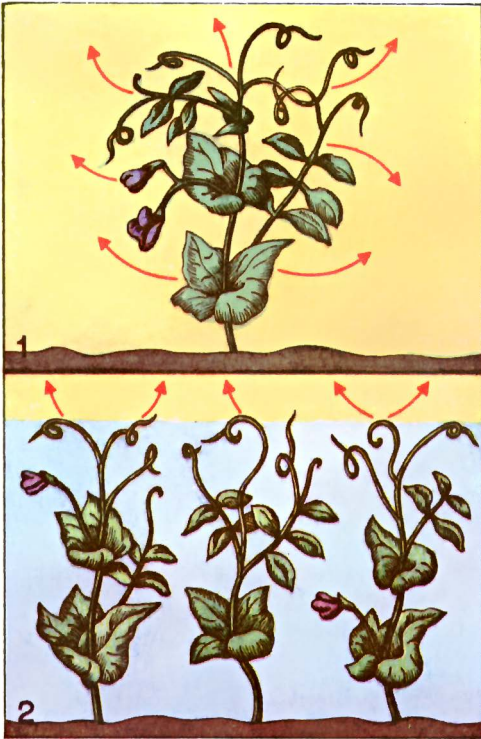
В. С. Хазанов), и другие ученые и инженеры. Сконструировали исследователи и особые приборы, которые показывали, как вдоль стебля растения (по его высоте) изменяется количество поглощенной радиации, температура, влажность и другие характеристики, как меняется густота листьев.

Вскоре выяснилось, что глубины посева — это особый мир. Там, внутри растительного покрова, формируется свой микроклимат. Резко (к корням) падает радиация, убывает скорость ветра. А температура и влажность воздуха повышаются. Поэтому листья соседних ярусов-этажей живут как бы в разных областях. Одни листья — в дольстве и комфорте, другие — в угнетенном, стрессовом состоянии.

Тайны некоторых закономерностей ученые раскрыли довольно быстро. Скажем, обмен влагой между растением и окружающей средой. Одинокий росток, открытый со всех сторон и овеваемый сухим воздухом, теряет воду со всей своей поверхности листьев. Иное в посевах, где растения стоят, тесно прижавшись друг к другу. Тут воздух у «ног» растений насыщен водяными парами, и только у самой макушки, касающейся простирающегося над шеренгами растений воздушного океана, они имеют возможность отдавать избыточную влагу.

Но ученые столкнулись и с проблемами, которые не столь просты. Так, к примеру, было обнаружено, что концентрация углекислого газа в окружающем растении





Обмен влагой между растением и окружающей средой различен для одиночного растения (1) и растения, находящегося в посеве (2).

воздухе распределена неравномерно. Отчего так?

Для ответа на этот и другие вопросы физикам понадобился уже более тесный контакт с биологами, более детальное знание архитектуры растительного покрова. С подсказки биологов они узнали, что листья, расположенные в верхних ярусах растений, имеют структуру, отличную от структуры листьев нижних ярусов, стелющихся по земле (закон, открытый в 1902 году русским ботаником В. Р. Заленским).

Физикам стало известно и то, что лучистая энергия не только «кормит» растения. Она также регулирует и саму структуру растений, участвует в их формообразовании.

Свет определяет размеры растительных органов (междоузлий, стебля и черенков листьев), характер ветвления (кущения), в какой-то мере форму листа — вспомним затейливый орнамент кленовых листьев и простенькую ладошку листьев осины! — его размеры и ориентацию в пространстве.

ПАРАЛЛЕЛИ И МЕРИДИАНЫ ЛИСТА

Конечно, растение, его структуру «лепит» не только свет, но и состав почвы, географическое положение, климат. Известны старинные опыты Г. Бонье. Он переносил растения с прямостоящим стеблем из долины в горы. И они — удивительно! — становились или розеточными, или стелющимися по земле.

Однако каркас растений менее мобилен, он гораздо консервативнее, чем его листья. Да и разнообразия в листьях больше. Каждый вид растений имеет свой оригинальный росчерк листы, различна и ориентация листьев в пространстве. Все это давно отмечали ботаники.

У одних растений листья верх-

них ярусов ориентированы к плоскости горизонта под большими углами, в нижних же ярусах этот угол уменьшается до нуля. Такая структура характерна для многих растений, культивируемых человеком.

Растения засушливых зон — степи, полупустыни, — как правило, имеют вертикально стоящую листву. Правда, у некоторых из них такое положение листьев занимают только в дневные часы. Есть и растения, у которых лист скручивается днем и разворачивается к вечеру. Вертикальны листья у эвкалиптов, леса этих австралийских деревьев почти не дают тени. Параллели и меридианы листа. На многие связанные



Опыт Г. Бонье: зеленый каркас растения меняет свою форму, если его перенести из долины (1) в горы (2).

с ориентацией листьев «почему» и «отчего» ответили совместные исследования физиков и биологов.

В среднем лист может поглотить примерно до 90 процентов падающего на него излучения. Допустим теперь, что все листья растения расположены горизонтально, параллельно поверхности земли. Беда! Это значит, что через первый слой листьев вниз прорвется лишь 10 процентов от падающего на растение света. В третий слой листья уже попадет 10 процентов от 10 процентов, то есть 1 процент. И так далее! Поэтому при строго горизонтальной листе свет ослабляется очень быстро. И в нижних этажах посева образуется, как говорят физиологи растений, зона светового голода. Нижние листья практически не будут участвовать в фотосинтезе. Они быстро постареют, пожелтеют и опадут.

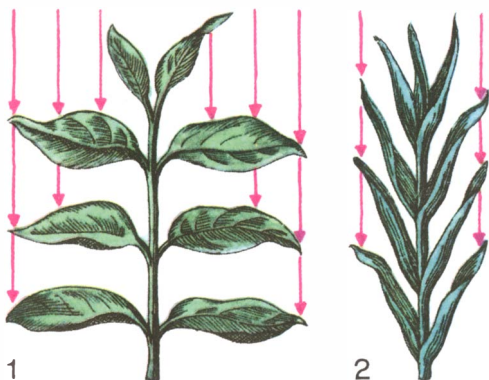
Теперь рассмотрим другой предельный случай. Пусть все листья у растения примут вертикальное положение. Тогда, к сожалению, ситуация тоже не будет слишком радостной. Здесь свет как бы скользит по листьям, от макушки растения до его пят, и хотя вся листва оказывается освещенной, но каждый лист получает излучение в микроскопических дозах.

Но, понятно, растения со строго горизонтальной или строго вертикальной листвой — это все не самые лучшие образчики. Больше пользы растениям приносит иная структура: верхние листья пропускают достаточно света, нижние — его полностью поглощают. Это оптимум. О нем мечтают селекционеры. Так, к примеру, высокоурожайные сорта сахарной свеклы имеют приподнятые воронкообразные розетки листьев, а у низкоурожайных (дикая свекла особенно) листва распластана по земле.

Разговор о структуре листвы можно продолжить. Вот еще проблема: в каких ярусах листва должна быть гуще? Каким должен быть ход роста листьев в разных слоях посева, чтобы его считать наилучшим? Плохо, если все листья сосредоточены в узком слое: это обстоятельство, в частности, определило неудачу всех попыток ввести в культуру каучуконосные одуванчики — кок-сагыз и крым-сагыз. Эти растения имеют плотно прилегающие к земле розетки листьев.

Ориентация листьев, их распределение по высоте посева... А еще мы забыли упомянуть одну очень важную характеристику: общее число листьев в отдельном растении.

Если растения занимают гектар



Поглощение света растениями с горизонтальной (1) и вертикальной листвой (2).

земной поверхности, то площадь их листьев гораздо больше — 3—4, а то и все 10 гектаров. А площадь листьев всех растений земного шара (кто-то уже и это подсчитал!)

равна поверхности планеты-гиганта Юпитера.

Ученые говорят об ИНДЕКСЕ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ (сокращенно ИЛП). Эта величина представляет собой отношение суммарной поверхности листьев растения к занимаемой растением площади почвы. Например, если ИЛП равен 5, то на 1 квадратном метре находится 5 м^2 листовой поверхности.

Казалось бы, чем больше ИЛП, тем лучше для растения: больше солнца оно захватит! Однако каждая растительная культура имеет свой, видимо оптимальный, индивидуальный ИЛП. У клевера он равен 4, у пшеницы около 7.

Так возник еще один параметр в сложных расчетах, которые вели физики, стремясь построить модель оптимального посева.

ПЛЕМЯ СОЛНЕПОКЛОННИКОВ

Какой должна быть идеальная зеленая «фигура» у растений в посевах или посадках? Сколько листьев, как их расположить, направить? Какую структуру-прическу выбрать для зеленой шевелюры растения? Ответы должны были бы увенчать трудную работу физиков. Однако тут даже всеильные физики стали в тупик. Они, может быть, смогли бы ответить, если бы физиологи растений обладали знанием всех растительных тайн (пока до этого далеко) и смогли бы толково перевести эту информацию на физико-математический язык.

Но не только в этом было дело. Есть еще немало и других препятствий. Скажем, такая. Подозревают, что растение окутывает себя листвою с очень большим запасом.

Сколько листьев необходимо дереву? Представим, оно подверглось нашествию вредителей или его опалил лесной пожар, уничтожена, скажем, половина листвы. Выживет

дерево или нет? Для лесников это не праздный вопрос, они должны знать, как поступить с лесным инвалидом, как распорядиться его судьбой.

По этому поводу в дубняках Хоперского заповедника Воронежской области решили поставить точные эксперименты. Исследовали газообмен у веток, которые повредила дубовая листовертка.

Если листья ветки, рассуждали ученые, поглощают меньше углекислого газа, чем выделяют его при дыхании (расход превышает приход), значит, дерево уже не может обеспечить себя продуктами фотосинтеза и неизбежно погибнет.

Эксперименты вели так. Ветку на час помещали в целлофановый пакет и с помощью химического анализа определяли содержание углекислоты в пакете.

Результаты удивили. Даже при повреждении 90 процентов листьев дерево оказывалось жизнеспособ-

ным! И только при 95-процентных потерях урон был уже невосполним...

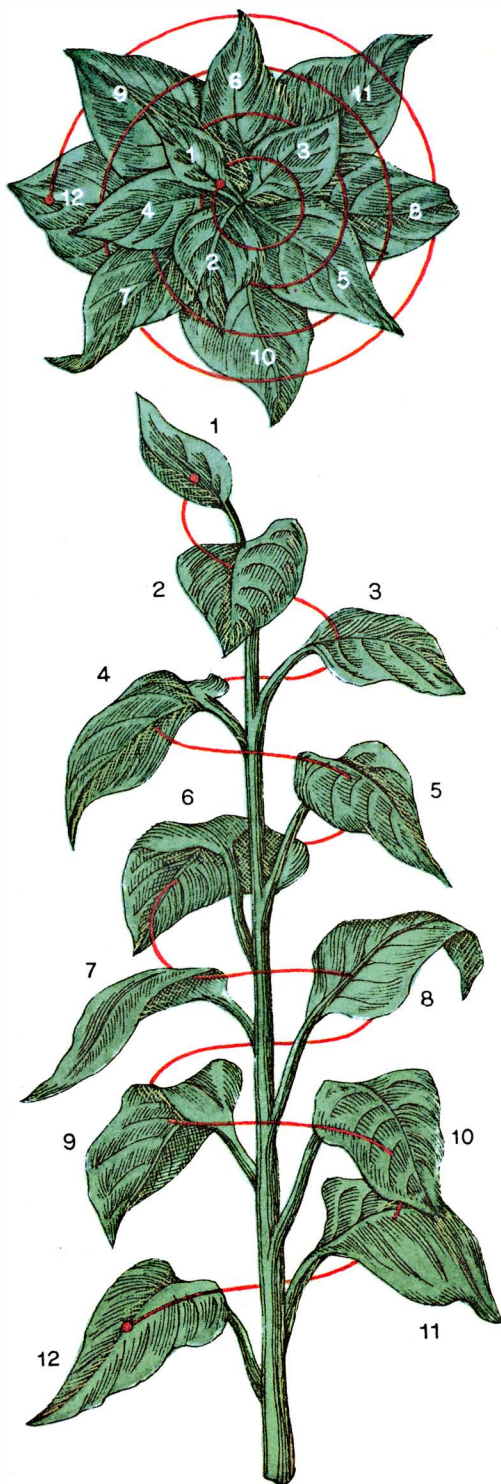
В чем же главная трудность, мешающая вычислить идеальную «фигуру» растения? Она, видимо, в том, что и свет, и окружающие растение условия непостоянны. И получается, что идеальная структура листвы должна быть еще и мобильной, подстраивающейся под меняющееся окружение. И никакой фантастики тут нет. Природа сама изготовила образцы для подражания. Самый яркий пример дает подсолнух.

Высокий подсолнечник — гелиантус — известен не только своими светло-серыми семенами, которыми так любят лакомиться дети и птицы. Имеет он и долгую историю.

Испанский конкистадор Франсиско Писарро, завоевавший Перу в 1532 году, рассказывал, что жрицы инков носили на груди эмблему подсолнечника, символизирующего бога солнца. И эмблема эта была из чистого золота.

Подсолнечник — американский цветок. И удивительно, что в 1966 году гигантская американская фирма «Каргил инкорпорейтед» (штат Миннесота), торгующая зерном, откомандировала своего представителя в Советский Союз (СССР стоит на первом месте в мире по производству подсолнечного масла), чтобы закупить семена этого растения и начать возделывать эту культуру в больших масштабах. Так подсолнечник был открыт американцами!

В тенистых местах листья редко мешают друг другу — они почти с математической точностью размещены так, чтобы каждый из них имел доступ к солнечным лучам. Располагаются листья на стебле по спирали, и, если сосчитать число витков от верхнего листа до следующего, занимающего то же положение по вертикали, получается три витка. Если затем сосчитать число листьев на этих трех витках, исключив один из двух, находящихся на одной вертикальной оси, сумма будет равна восьми.



В Испании, Италии, Португалии, Франции подсолнечник зовется «повернутый к солнцу». Именно это его свойство для нас сейчас наиболее интересно. Все знают: ярко-желтые головки этого цветка следят за передвижениями солнца (в науке это явление называется гелиотропизмом). Знают, но ошибаются: следит за светилом не сама корзинка подсолнуха, а поворачивается лишь верхний конец его стебля и листья.

Впрочем (оговорка необходима), сорго и некоторые другие растения также относятся к племени

солнцепоклонников. Это свойство делает их более продуктивными. Селекционеры давно заметили это и стараются использовать.

И физики не оставляют своих замыслов: ведут, опираясь на добытые знания, поиск оптимальных листовых структур. Сейчас считается, что для взрослого растения наиболее приемлем равномерный тип ориентации листьев: равное количество листьев по всем возможным углам наклона. Кстати, эту структуру исповедует большинство злаков и трав. Физики дали и другие полезные рекомендации.

ИЗ КОСМОСА ВИДНЕЕ!

Растение — это прежде всего лист, ибо в нем совершаются таинства наиважнейшего для растений процесса — фотосинтеза. Так считал наш видный ученый К. А. Тимирязев. Ему вторили исследователи более поздних поколений. И делали практические выводы: полагали, что развитие площади листы — главный козырь в борьбе за высокие урожаи.

Эти лозунги бытовали в сельхозпрактике еще два-три десятка лет назад. И агрономы действительно боролись за посевы с площадью листы 40—50 тысяч м² с гектара (ИЛП 4—5) и брали обязательства в будущем добиться 50—60 тысяч м². А ученые? Они разрабатывали всевозможные методики, позволяющие определять площадь листьев.

Формы листовой пластинки, очертания краев листа — все это кажется созданием неистовой фантазии художника, одержимого манией поиска новых форм. Чего тут только не встретишь! Как определить площадь отдельного листа? Как учесть все хитрости листового рисунка? Тут и тонкий геометр встал бы в тупик!

Листья обмеряли на планиметрах, взвешивали, заменяли живой лист его эрзацами-эталоном. Промеры велись и в открытом поле, и в приборной тесноте лабораторий. Были получены формулы листа капусты (а сортов капусты тьма-тьмущая, значит, необходимо столько же и формул!), листа моркови и так далее.

Но и тогда, когда велась эта трудоемкая работа, раздавались отдельные скептические голоса. Не умаляя роли листа, кое-кто из ученых обращал внимание на факты, противоречащие листовой доктрине. Ну, к примеру, если дать растению вдоволь воды и пищи, оно в ответ вовсе не будет стремиться увеличить поверхность листьев, а начнет наращивать в листьях запасы хлорофилла. Для чего? Это стало понятным совсем недавно.

Что может быть привычнее желтых осенних листьев, шуршащих под ногами и навевающих элегическую грусть? Ученых давно интересуют тонкости процесса умирания листы. Известно, зеленый хлорофилл разрушается, обнажая желтый или коричневый цвет ткани листа. Это — явление, а его причины?

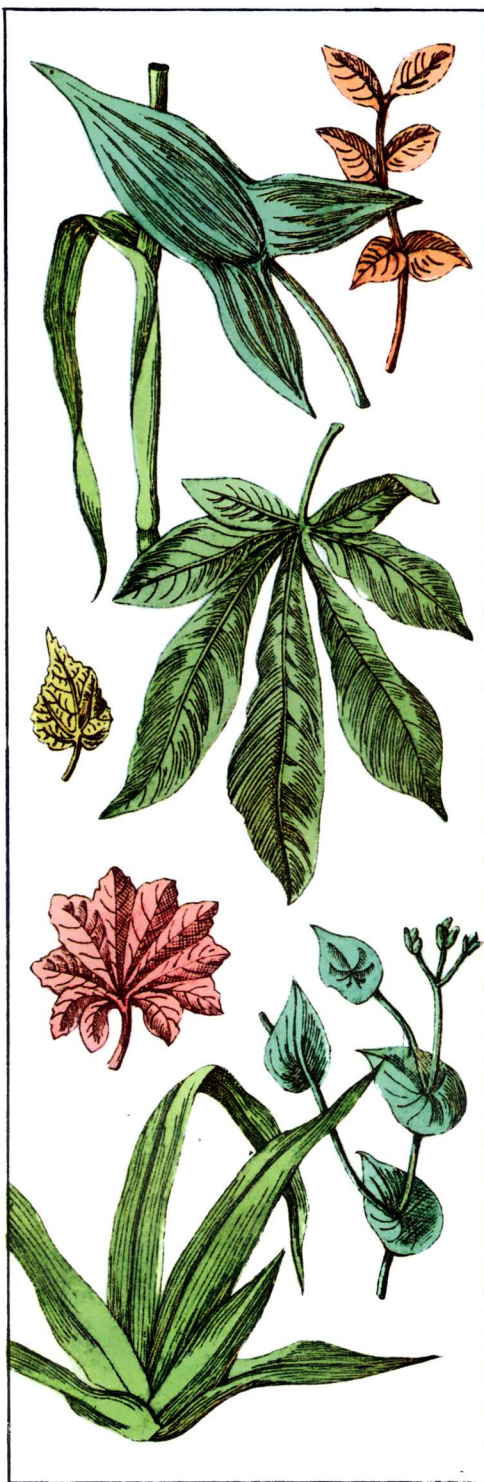
Сейчас выясняется, что в осеннюю пору в листьях идет распад белков, с которыми связаны молекулы хлорофилла. Белки разбираются на отдельные составляющие их аминокислоты. Они затем транспортируются в стебли и корни растений, где накапливается содержащийся в аминокислотах очень ценный для растений азот (добывать его непосредственно из воздуха, содержащего до 80 процентов азота, растения не умеют).

Но вернемся к проблеме урожая — поверхность листьев. Постепенно, приглядываясь к растениям, стали замечать и большую значимость для урожая тех веществ, которые образуются при фотосинтезе в стеблях и колосе (если говорить, скажем, о пшенице). Тогда начали учитывать в обмерах еще и площадь поверхности стеблей, колосьев. И по этим данным пытались прогнозировать урожай...

А как обстоит дело сейчас? Взгляды круто меняются. Вот мнение члена-корреспондента АН СССР, директора Института биологии (Казанский филиал АН СССР) Игоря Анатольевича Тарчевского, крупного знатока фотосинтеза. Он считает, что важнейшим показателем продуктивности является содержание хлорофилла в растении: и в листьях, и — не удивляйтесь! — в стеблях и других его частях. (Если в фазе кущения пшеницы весь хлорофилл находится в листьях, то при формировании зерна в листьях остается лишь одна десятая часть его, а около 80 процентов хлорофилла сосредоточивается в стеблях.)

Количество хлорофилла — вот ключ к увеличению урожая. И. А. Тарчевский, опираясь на собственный научный опыт и опыт своих коллег, полагает: правильнее

Форма листовых пластинок, очертания кромок листьев — все это кажется плодом неистовой фантазии художника, одержимого поиском новых форм.





определять не ИЛП, а ввести новую величину — ХЛОРОФИЛЛОВЫЙ ИНДЕКС, выражающийся в килограммах хлорофилла на гектар посева. При этом, конечно, необходимо суммировать количество хлорофилла во всех надземных органах растений. Как это сделать? Как поступиться к столь грандиозной задаче? Методами аэрокосмической съемки! Анализ спектров посевов растений (важно, что тут удается охватить громадные территории) поможет оценить потенциал будущего урожая.

Из космоса виднее!

Так вновь физикам представилась возможность проявить свои умения, так для них открылся еще один путь к зеленой клетке.



Расшифровываемая фотоснимки, полученные методом аэрокосмической съемки, специалисты могут оценить потенциал и качество будущего урожая, подсчитать занятую посевами площадь.

РАСШИФРОВЫВАЯ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЕРОГЛИФЫ

В той нелегкой работе, которую вели эстонские физики, принимал участие и доктор биологических наук старший научный сотрудник ИАФА Агу Хейнович Лайск.

Автор этой книги дважды был в Тыравере. Полюбил этот небольшой городок ученых, много бродил по его живописным окрестностям. Наблюдал, как ведутся эксперименты в лабораториях ИАФА. Вел частые и долгие беседы с Агу. «Вначале наши исследования носили чисто статистический характер,— вспоминал он те годы, когда еще молодым человеком начинал под руководством Ю. К. Росса свою научную карьеру.— Данные по растениям, листьям, фотосинтезу должны были давать нам биологи. Однако аппаратура у них была неважная.

По полчаса уходило на то, чтобы снять всего одну кривую за-

висимости продуктивности листа от освещенности. А подобных кривых (в игру вступали концентрация углекислого газа, влажность воздуха, температура и так далее) требовалось великое множество.

Литература же по этим вопросам была отрывочна, случайна и скудна. Вот тогда и родилась мысль: эти данные — прямо в поле! — добывать самим. Сконструировали аппаратуру, стали копить факты...

Помню, мы сидели в одном из уютных холлов ИАФА, в удобных мягких креслах. И мне было очень трудно представить, как Лайск, этот окончивший Тартуский университет физик-теоретик, проводит исследования в знойной долине Таджикистана, стоя в высоких посевах хлопчатника и держа в руках им же самим сконструированный прибор под названием «Мышь» — длинную, почти четырехметровую трубу с отверстиями, внутри которой двигается и «осматривает» окрестности фотоумножитель ФЭУ-33.

Шуршащие под ногами осенние листья навевают элегическую грусть.

«Лет пятнадцать назад,— продолжал Лайск свой рассказ,— случай резко изменил направление моих научных поисков.

Летом мы работали на селекционной станции: снимали характеристики листьев кукурузы. Привезли обед. Кормили строго по графику — пришлось прерваться. Мы оставили высокую интенсивность света, облучавшего лист, и ушли.

Через час нас поджидал сюрприз: кривые, характерные для листьев из нижнего яруса, превратились в кривые, характерные для листьев из верхнего яруса!

Тогда-то я и осознал отчетливо, что все те деления, классификации, которых мы придерживались, были очень условны. Лист очень гибко принаравливается к новым условиям. Очень захотелось понять, каковы пружины и возможности этой адаптации, как, в сущности, функционирует зеленый лист, как реагирует на изменение внешних условий...

Я резко изменил курс: отошел от математического моделирования процессов продуктивности посевов и ринулся в совершенно новую для меня область: стал изучать отдельный лист растения. Но если бы я был тогда знаком со всем обилием литературы, с дьявольским коварством и сложностью биологических объектов, я бы за это дело, пожалуй, не взялся: духу бы не хватило!..»

В истории науки высшие растения часто служили объектами фундаментальных исследований. Грегор Мендель (1822—1884; он является основоположником учения о наследственности) работал с горохом. Первый фермент в чистой кристаллической форме был выделен из бобов, а первый вирус (это сделал русский ученый Д. И. Ивановский, 1864—1920) — из табака.

С углублением фронта научных исследований, с выходом их на молекулярно-биохимический уровень экспериментаторы стали предпочитать более простые объекты — водоросли, бактерии и даже изолированные органеллы, например хлоропласты.

Эти тенденции вполне понятны: эксперимент всегда должен быть поставлен так, чтобы исследуемые процессы выявились в наиболее чистом виде. Так и получилось, что в физиологии растений сейчас доминирует аналитическое начало. Исследователи пытаются выявить тонкости возможных метаболических (связанных с обменом веществ) и регуляторных связей, вплоть до уровня биологических мембран и составляющих их макромолекул. Но такие работы нельзя выполнить методически чисто на целостном многоклеточном организме — его необходимо дробить.

«Уже накоплено огромное количество сведений о свойствах «кирпичей», из которых построено «здание» фотосинтеза,— говорил мне Лайск.— Но пока положение физиолога-фотосинтетика похоже на положение археолога, который нашел иероглифы, но не может их расшифровать, увязать между собой, прочесть первые фразы. А ведь в конечном итоге открытия, сделанные на модельных микросистемах, должны естественно вписаться в сложную иерархию целостного организма. Пока же в исследованиях фотосинтеза, как мне кажется, эти два метода, которые можно назвать «аналитическим» и «синтетическим» или «дифференциальным» и «интегральным», еще недостаточно тесно связаны друг с другом. И несомненно, ключ к пониманию того, как функционирует зеленый лист, спрятан в его структуре...»

ЗЕЛЕНАЯ АРХИТЕКТУРА

Мир по ту сторону шлифованных стекол важней, чем по ту сторону океана...

Георг Лихтенберг

Экскурсия по лабиринтам зеленого листа очень поучительна. Так, в XVIII веке немецкий биолог и инженер С. Швенденер обратил внимание на продолговатые «остроумно устроенные вентиляционные отверстия» в листьях растений, называемые устьицами. Их назначение — автоматически поддерживать необходимый уровень влажности внутри растений. Если приток воды из корней превышает потерю влаги на испарение, то устьица широко раскрываются, облегчая испарение (транспирацию). При недостатке же влаги процесс идет в обратном направлении: количество устьиц сокращается.

Однако роль устьиц этим не ограничивается. Это также и «проходная», через которую в лист поступает углекислый газ. И если устьица закрыты, питание растения прекращается. Потому-то К. А. Тимирязев и писал, что «растению приходится пролагать свой жизненный путь между Сциллой и Харибдой» — между голодом и жаждой.

Вообразить себе, сколь напряженные события разыгрываются в устьицах, нелегко. Вот что однажды, беседуя с журналистами, рассказал член-корреспондент АН СССР А. А. Ничипорович:

«Тесно пешеходам и автомобилям на узких улицах больших городов. А в крошечных устьицах еще «теснее». Обычно через каждое устьице диаметром в несколько микрон каждую секунду внутрь должны пройти 2500 миллиардов молекул углекислого газа... Скользя взглядом по зеленой листве, мы и не догадываемся порой, с какой бешеной скоростью идут процессы внутри листа. Пришла осень.

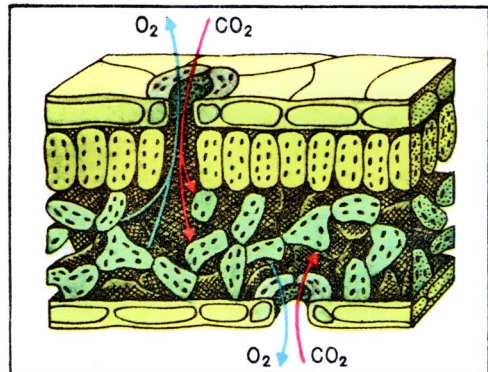
Вы сняли урожай сахарной свеклы — 250—350 центнеров с гектара. Вы не поверите сразу, сколько углекислого газа усвоили из воздуха растения — 20 тонн! Это значит, что они смогли «съесть» весь углекислый газ из слоя воздуха в 4 километра над участком в гектар!..»

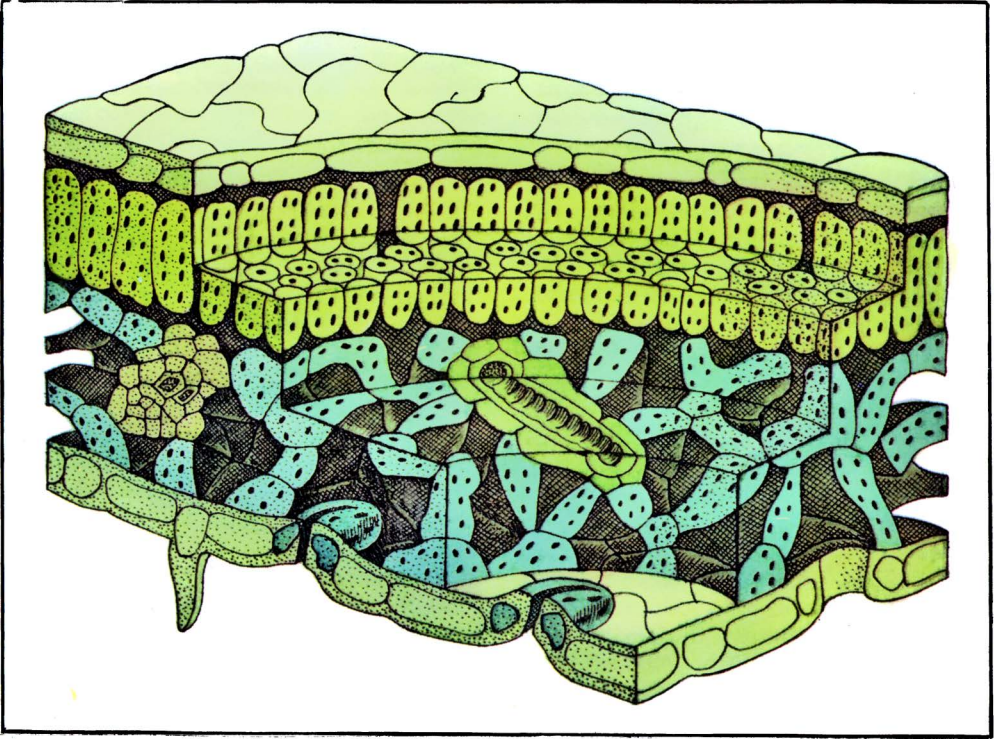
Принцип работы устьиц не может не заинтересовать инженеров. Есть предложение заменить форточки и открывающиеся фрамуги жилых, общественных зданий «дышащими стенами» со сквозными отверстиями, регулируемые автоматическими клапанами. Рассчитав заранее действие клапанов, можно поддерживать в помещении любой температурно-влажностный режим. Технически это вполне выполнимо, дело за конструкторами.

Архитектурная бионика — большая и интересная тема, ее можно было бы развить, но мы лучше продолжим путешествие в глубины зеленой архитектуры.

Лист внутри пористый, словно губка. На долю пор приходится

Через устьица в лист поступает углекислота и выделяется кислород.





Листовая пластинка растения имеет очень сложную пористую структуру.

20—30% его объема. Эта мера облегчает испарение влаги и диффузию углекислого газа к клеткам мезофилла — мякоти, основной рыхлой и пористой ткани листа. Удивительная эффективность работы листа обеспечена не только достаточно интенсивным газообменом с окружающей средой (большая пористость, гидрофобность стенок его пор), но также высокими показателями отношения поверхности его клеток к объему листа.

Внутренняя поверхность одного кубического сантиметра зеленой ткани листа достигает 100—200 квадратных сантиметров! Поэтому 1 квадратный метр листьев за час способен усвоить из воздуха до 6—8 граммов (3—4 литра) углекис-

лого газа и одновременно выделить столько же по объему кислорода.

Однако как бы хорошо ни функционировал лист, он не может дать больше того, на что способен! Обязательно должна существовать какая-то стадия, которая лимитирует весь процесс фотосинтеза в целом. Это может быть и газообмен, и фотофизический акт поглощения квантов света, и влагообмен, и многое другое. Так где же находится самое слабое звено фотосинтеза? Что лимитирует производительность зеленого комбината планеты?

Этот вопрос задавали себе многие исследователи, его разрешением занялся и уже знакомый нам А. Лайск.

ФИЗИКИ В ЗАПОВЕДНИКЕ

Что-то физики в почете,
 Что-то лирики в загоне.
 Дело не в сухом расчете,
 Дело в мировом законе...

Б. Слуцкий

В конце мая 1968 года из гаража ИАФА выехал автобус. Кроме шофера, в нем находился А. Лайск и его ближайший сотрудник кандидат физико-математических наук физик-экспериментатор Вэло Оя. Автобус развернулся и взял курс к западному побережью Эстонии. Путь его лежал к заповеднику на полуострове Пухту. Нутро автобуса имело необычный вид. В углах висели баллоны с углекислым газом, стены были сплошь завешаны приборами, на столе стоял проекционный аппарат. В углу лежали рюкзаки...

Получать световые и другие характеристики листа прямо в поле под естественным солнцем трудно. Все быстро меняется: освещение, температура, состав воздуха. Вынесешь в посевы прибор — а тут неожиданно дождь!.. Физики решили стабилизировать условия, создать автобус-лабораторию, где можно было бы по желанию создавать для листа любой климат.

Не хватало лишь подопытных кроликов, то бишь листьев. Здоровых, только что срезанных с куста или дерева.

Правда, не всякий лист хорош для дела. Он должен быть гладкий, не шероховатый (чтобы хорошо входил в листовую камеру), достаточно большого размера. Ведь концентрация углекислоты в воздухе мала — лишь 0,03%, а лист поглощает и того меньше. Зарегистрировать такие крошечные количества непросто. Вот и необходим широкий лист, который поглощал бы порции побольше.

Несколько сезонов (заповедник Пухту, селекционная станция Йыге-

ва, дендропарк в Харку — все в Эстонии) перепробовали многое: листья березы, дуба, сирени, фиалок, тростника... Наиболее подходящими для измерений оказались листья осины.

Короток сезон экспериментов. А как много надо успеть!

Добрался автобус до места. Первое — необходимо подключиться к электросети. Найти столб электролинии. Затем — настройка и отладка аппаратуры, калибровка приборов, пробные опыты. И вот начинается главная работа.

«Рядом море, вокруг красоты заповедника: загорай, нежись! — вспоминал Лайск.— А мы целые дни просиживали в фургоне и были белые, как лебеди. Вэло даже шутил, что надо было бы поставить внутри кварцевую лампу, чтоб хоть чуточку загореть...»

Нет, это был совсем не пикник. Приборы включали в 9 утра, а выключали в 11 вечера. Но часто, ложась, не могли заснуть: в голову лезли мысли о том, правильна ли идея, как завтра продолжать эксперименты, что значил тот загадочный изгиб на кривой...

Этот автобус стал лабораторией для эстонских астрофизиков, изучающих загадки фотосинтеза.



Сезон научной «охоты» на исходе, еще какие-нибудь десять дней до осени — пора уезжать, надо торопиться! И это тогда, когда проблема только начала по-настоящему вырисовываться!

Физики — люди ясного и точного мышления, с более сдержанными, считается, эмоциями, в отличие, скажем, от биологов. Как они от-

носились к окружающей их природной роскоши заповедника? Ощущали ее как красоту или, может, как досадную помеху? Как переносили свою добровольную робинзонаду?

Да, нелегко было выдержать трехмесячное испытание. Но, видно, этот своеобразный подвиг был необходим: физики несколько сезонов повторяли свои поездки...

«ХИМИЧЕСКИЙ СКЕЛЕТ» ФОТОСИНТЕЗА

В день успевали обработать лишь один-два листа: много времени уходило на анализ кривых, показания с лент тут же обрабатывали на небольшой ЭВМ. Потом осмысление данных, обсуждение того, куда идти дальше, что предпринять завтра со свежими силами. Так и получалось, что за сезон обрабатывали не

больше сотни листьев. Результаты каждого опыта собирали в отдельный конверт.

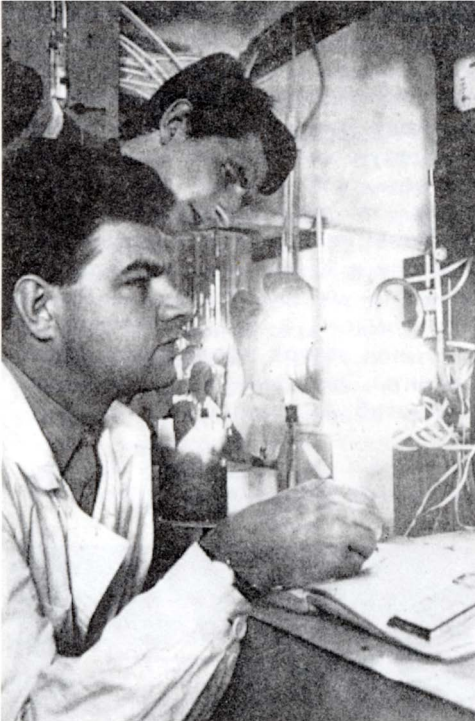
Таких конвертов накопилось уже 560 штук.

Препятствий было немало. На Пухту вроде бы было очень удобно: рядом продовольственный магазин, недалеко море. Но увы! Днем к сети на ближайшей сельскохозяйственной ферме подключались какие-то мощные агрегаты. Напряжение сразу падало на 120 вольт! Вот и приходилось долгое время работать по ночам!

Много хлопот доставляла и аппаратура. Нужно было собрать свои оригинальные приборы. Почти все было сконструировано, собрано, переделано руками Вэло Оя. Психрометры, измеряющие влажность воздуха, газоанализаторы... Биологи бы в то время со всем этим не справились. Тут преимущество физика-экспериментатора, не боящегося приборов и измерений, хотя бы и самых тонких, было очевидно!

Лист заботливо термостатировали (температуру — ее измеряли с помощью особой термоиглы — держали с точностью до градуса). В камеру подавали газовую смесь, ингредиенты которой подбирали по заранее составленным рецептам. Этот газовый «букет» на выходе из камеры анализировали: так можно было узнать, сколько углерода поглотил лист.

Путь углекислого газа в листе



В автобусе-лаборатории идет очередной эксперимент. На переднем плане — В. Оя, на заднем — А. Лайск (1973).

долг. Устьица, затем поры межклетников, потом узкие (диаметром до 10^{-5} сантиметра) поры (видимо, гидрофобные) в мембранах отдельных клеток мезофилла, наконец, плазма клетки на пути к хлоропластам. Оценить количественно все звенья этой долгой и сложной цепи в поисках лимитирующей стадии было не так-то просто. И здесь содружество физика-теоретика и физика-экспериментатора оказалось очень ценным.

«Приступая к работе,— рассказывал мне А. Лайск,— мы с Вэло задалась на первый взгляд простым вопросом: что определяет интенсивность фотосинтеза растений? Какая из его многочисленных стадий? Но вскоре стало понятным, что ответить на этот вопрос всеобъемлюще нам не под силу и что только сужение проблемы может гарантировать успех. И тогда сложное гибкое живое существо — зеленый лист — мы начали в наших исследованиях рассматривать как систему

химических реакций, связанных с внешним миром посредством диффузионного процесса. От растения остался только скелет. Но этот «химический скелет» фотосинтеза стал понятным. Достоинством простых моделей является как раз то, что они дают прочную основу для разумной фантазии и при наличии дополнительной информации позволяют реставрировать строение всего организма...»

Результаты работы А. Лайска и В. Оя были значительны. Теперь уже можно было модель листа усложнять, детализировать, вносить биохимические и иные тонкости. Сам же Лайск и его коллеги (коллектив исследователей начал расти), все больше проникаясь значительностью предмета своих исследований, все больше очаровываясь тайнами зеленого листа, созрели для того, чтобы взяться за одну из самых новейших и сложных проблем фотосинтеза — проблему фотодыхания.

Земля, открой мне тайны простоты!
Твой рисовальщик, я возьмусь за дело.
Я доведу рисунок до предела,
И будет он естественен, как ты.

Г. Айги



ГЛАВА 4



**ДЫШАТЬ ДНЕМ-
НЕ ТО,
ЧТО ДЫШАТЬ НОЧЬЮ**

В 1492 году Христофор Колумб открыл Америку.

Путь был долгим и трудным. Бунтовали матросы, грозили расправой: их страшило это путешествие к краю земли. Колумб терпеливо объяснял: Земля — шар, не имеет конца. Ему возражали: тогда вода океанов должна была бы стечь... и антиподы ходили бы вверх ногами...

Но вот 12 октября показалась суша... Колумб первым ступил на берег, опустился на колени и поцеловал незнакомую землю...

Пять столетий прошло. Сколько географических и иных открытий было сделано за это время! Слова «открывать Америку», как и «изобретать велосипед», стали нарицательными. Бытует негласное мнение: крупные находки в науке — заслуги ученых прошлого, мы, дескать, лишь довершатели славных дел.

Однако и в наши дни (удивительно?), оказывается, есть еще что открывать! Начинаем рассказ про фотодыхание растений — большое, без преувеличений, достижение ученых, занимающихся изучением фотосинтеза.

БРОНЗОВЫЙ ПРИЗЕР — КУКУРУЗА

Колумб открыл для Европы не только Америку, но и кукурузу (первые он увидел ее у жителей острова Куба). И это открытие, как мы скоро убедимся, имело большие научные последствия.

Золото было не единственным ценным товаром, вывезенным конкистадорами из Америки. Белье люди увидели там пищу настолько вкусную и питательную, что она изменила гастрономические вкусы жителей Европы, а со временем и всего мира. Перенесенные на европейскую почву, эти новые культуры чувствовали себя прекрасно. Картофель и батат, тыква и богатая белками фасоль оказались истинным благом для людей. А кукуруза наполняла амбары и кладовые так, как они редко бывали заполнены раньше, принося в среднем по 250 зерен на каждое посаженное зерно, или вдесятеро больший урожай, чем любая из других зерновых культур.

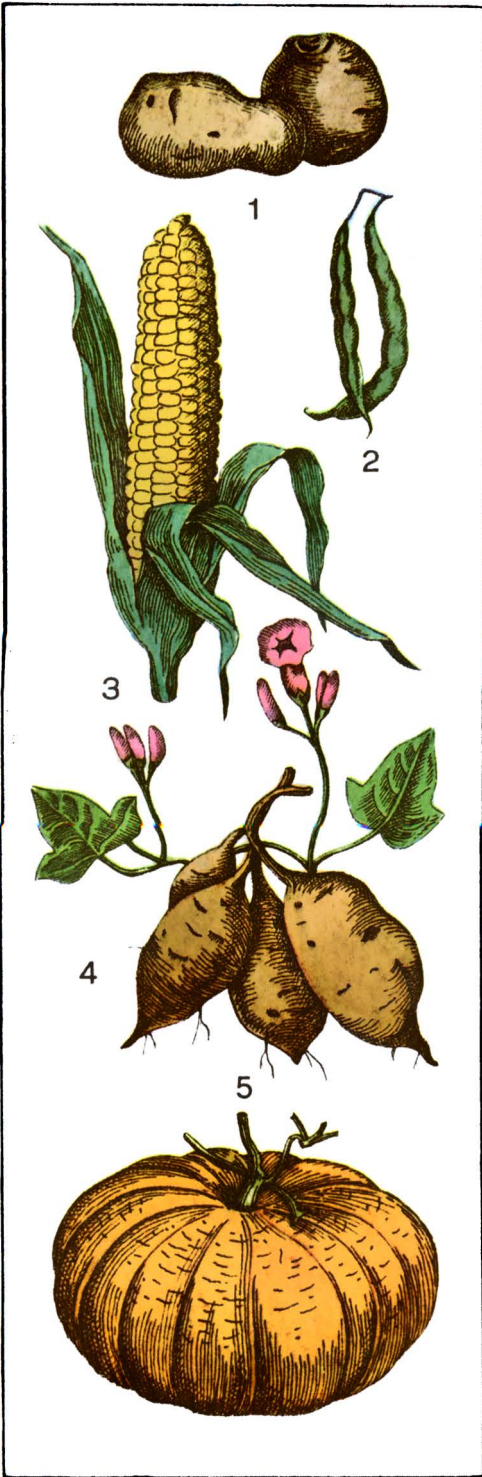
Кукуруза — древнейшее культурное растение Америки. В могильниках инков, в захоронениях перуанцев сохранились початки и семена кукурузы так же, как дошли до нас зерна пшеницы, ячменя и про-

са, укрытые в египетских пирамидах.

В Мексике богине Цинтли (ее имя происходит от названия кукурузы) приносили в жертву первый урожай этой культуры. Девы Солнца в Куско (столица древнего государства инков, расположена на территории Перу) изготавливали из кукурузы жертвенный хлеб. Тлалок — бог плодородия, дождя и урожая был также повелителем всех съедобных растений у ацтеков, и в частности кукурузы.

Изображениями кукурузы были покрыты стены храмов, а части этого растения (метелки, початки и пыльца) являлись тайными символами религиозных обрядов.

Но даже в Америке — а ее территория давно уже в основном обследована ботаниками — происхождение кукурузы окутано тайной. Она в том, что дикие формы кукурузы неизвестны. В природных условиях кукуруза не произрастает. Об этом наглядно свидетельствует прочное прикрепление зерен к початку, закрытому плотной оберткой. Это, естественно, препятствует рассеиванию семян и самопроизвольному размножению растения.



Ветер, птицы или другие природные «сеятели» не могут помочь кукурузе. Предоставленная самой себе, кукуруза погибла бы на полях. Так что будущее кукурузы связано с будущим человечества.

Ботаники считают, если люди на планете вымрут, в течение трех вегетационных периодов исчезнет и кукуруза.

Таинственна и феноменальная продуктивность этой культуры. Ведь есть ее сорта, в початках которых насчитывается до тысячи зерен. Самтысяча!

«Зеленый богатырь», «королева полей», «чемпион кормовых» — все эти пышные прозвища относятся к кукурузе. И заслуженно!

Пройдите в конце лета между рядками кукурузного поля — покажется, что вы попали в джунгли. Со всех сторон вас будут окружать высокие (до 5 метров) стебли и их мощные листья, достигающие метровой длины (они заполняют все свободное пространство между растениями).

Кукуруза — лучшая фуражная культура, ее можно собирать до 70 центнеров с гектара. Ячмень, овес дают примерно в три раза меньше.

За время, прошедшее со дня открытия Америки, кукуруза распространилась по всему белому свету. Во времена Колумба она покорила Европу, в XVI веке проникла в Африку, Китай, Индию, в XVII столетии добралась и до России (правда, в нашей холодной стране

Дары Нового Света. Эти растительные культуры индейцы создали из диких исходных форм и довели до высокой степени совершенства еще в доколумбовские времена. Перенесенные на европейскую почву новые для Старого Света растения чувствовали себя прекрасно: 1 — картофель; 2 — фасоль; 3 — кукуруза; 4 — батат; 5 — тыква.

«Зеленый богатырь», «королева полей», «чемпион кормовых» — все эти громкие имена принадлежат кукурузе.

ДЫШАТЬ ДНЕМ — НЕ ТО, ЧТО ДЫШАТЬ НОЧЬЮ



долгое время дальше Тулы кукуруза к северу не поднималась).

Но наибольшее распространение кукуруза получила среди фермеров США. Там она стала сельскохозяйственной культурой номер один (в «кукурузном поясе» Соединенных Штатов собирается половина всей производящейся в мире кукурузы, это приносит американской казне — экспорт в другие страны — 5 миллиардов долларов дохода).

Ныне по площади, как утверждают специалисты, кукуруза занимает третье — бронза! — место среди всех возделываемых культур земного шара, пропустив вперед только пшеницу и рис.

Дело, говорят, пахивает уже и серебром.

Валовой сбор кукурузы приближается к валовому сбору пшеницы, а по посевным площадям кукуруза близка к рису.

РАСТЕНИЯ С₃ И С₄

Отношение к кукурузе у нас в стране менялось много раз: ее то превозносили до небес, то предавали неза заслуженному забвению. Это растение то входило в моду, и не было более восторженных эпитетов, чем те, которыми награждалась кукуруза (в наше время из кукурузы можно изготовить до 150 технических и продовольственных продуктов), то оно теряло всех своих поклонников. И причины тут, конечно, не в самой кукурузе. Недостаточное знание ее биологических особенностей, слабая техническая оснащенность кукурузоводческих хозяйств не позволяли использовать богатый потенциал этой культуры.

Но в последнее десятилетие ею вновь и очень заинтересовались ученые, потому что появилась вроде бы реальная возможность объяснить высокую продуктивность фотосинтеза у кукурузы.

Сочетание радиоактивных изотопов углерода с хроматографией и другими методами химического анализа дало возможность группе американских ученых из Калифорнийского университета — ее в послевоенные годы возглавил М. Кальвин — проследить «путь углерода в фотосинтезе»: установить, как в листьях растений углекислый

газ в конечном итоге преобразуется в углеводы.

Теперь все это уже стало историей науки. Явление известно (энциклопедии, монографии, учебники) как углеродный цикл, или цикл регенерации рибулозодифосфата, или же совсем просто: как цикл Кальвина — этот ученый в 1961 году стал первым среди изучающих фотосинтез (и пока последним) нобелевским лауреатом.

Характерная особенность цикла Кальвина — углекислота, меченная радиоактивным углеродом, прежде всего присоединяется к молекулам, содержащим три атома углерода: к фосфоглицериновой кислоте и фосфоглицериновому альдегиду.

Продолжая эти исследования в 1960 году, молодой и тогда еще мало кому известный советский ученый из Казани Ю. С. Карпилов сделал важное открытие. Изучая пути поглощения углекислого газа кукурузой, Карпилов показал, что у этого растения процесс фотосинтеза идет своеобразно, «вопреки правилам».

Изыюминка, сюрприз открытия Ю. С. Карпилова заключались в том, что кукуруза отказывалась подчиняться законам цикла Кальвина. Радиоуглеродная метка застревала не в трех-, а в четырехугле-

родных молекул: в щавелевоуксусной, яблочной и аспарагиновой кислотах.

Так открытие ученого разделило растения на два клана: C_3 — растения, так сказать (эти обозначения были введены позже), «трехуглеродные» (C , как известно, химический символ углерода) и C_4 — растения «четыреуглеродные».

Карпилов опубликовал свои результаты в Ученых трудах Казанского сельскохозяйственного института, в научном издании, понятно, не из самых широко читаемых. Эти публикации не привлекли к себе тогда большого внимания, хотя в науке о фотосинтезе то был крупный шаг вперед.

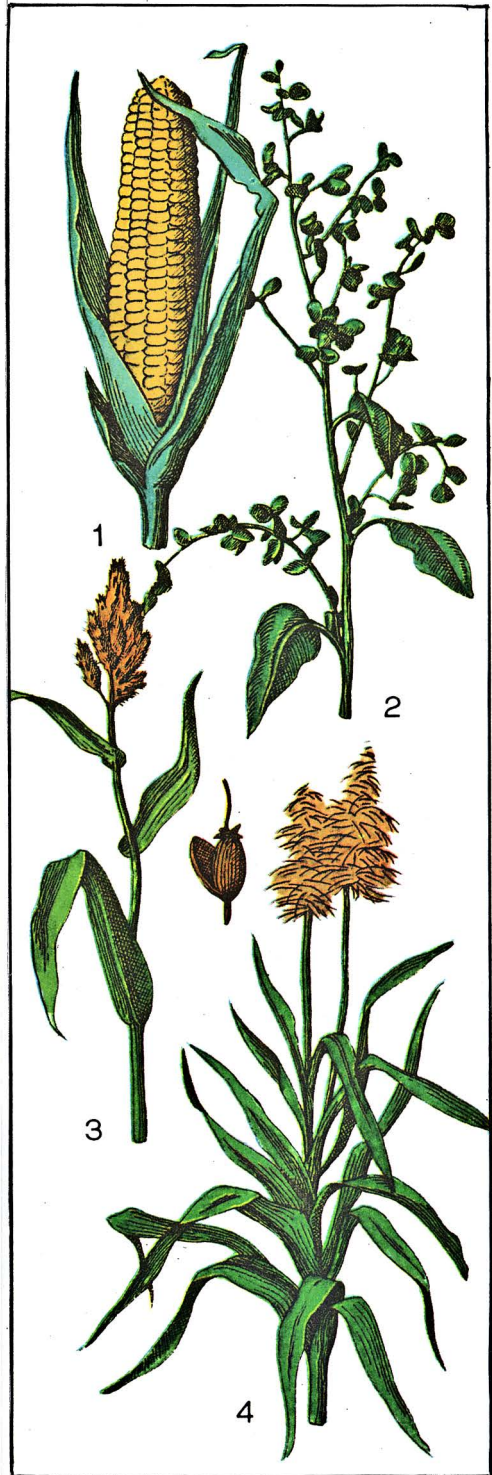
Однако вскоре ученые (1965—1967) прибавили к семейству C_4 — растений и лебеду, и росичку, и сахарный тростник, и сорго, и другие злаковые растения, в основном тропического и субтропического происхождения (около 500 видов из 13 родов).

И наконец, австралийцы М. Хетч и К. Слэк (независимо от Ю. С. Карпилова), подытожив подобные исследования, отчетливо показали, что кукуруза и ей подобные растения C_4 — группы владеют секретом высокоэффективного усвоения углерода. В отличие от C_3 — растений, «исповедующих» цикл Кальвина.

Вот конкретные цифры. Такие представители C_4 — растений, как кукуруза, сахарный тростник и другие, способны усвоить в час каждым квадратным дециметром своей листы 80—100 миллиграммов углекислого газа. А шпинат, овес, сахарная свекла и другие C_3 — растения — лишь 30—50 миллиграммов.

Примерно в два раза меньше!

C_4 — растения «четыреуглеродные» владеют секретом высокоэффективного усвоения углерода: 1 — кукуруза; 2 — лебеда; 3 — сорго; 4 — сахарный тростник.



«ОШИБКА» ДЖОЗЕФА ПРИСТЛИ

В 1955 году канадский исследователь Дж. Деккер сделал любопытное наблюдение. Непосредственно после выключения света углекислый газ выделяется из листа интенсивнее, чем при длительном нахождении листа в темноте (когда растение просто дышит).

Деккер сделал правильный вывод: он посчитал, что существует еще один, особенный процесс дыхания растений — дыхание на свету, которое и получило позднее название «фотодыхание».

Так досье «фотосинтез» пополнилось новыми данными, которые поначалу только запутывали и сбивали с толку «следователей». В самом деле, каков смысл фотодыхания, если на свету растение в основном все же больше поглощает углекислоту, чем выделяет ее? Кроме того, как при этом оценить истинную величину фотосинтеза? Как измерить умение растений запасать углерод из углекислоты воздуха?

Эта почти детективная история имеет еще и привкус курьеза: Дж. Деккера опередили. Ведь, возможно, открыл фотодыхание (почти за два столетия до исследований Деккера) все тот же Джозеф При-

стли! Видимо, именно он первым наблюдал этот феномен, долго ломал себе голову над ним, но осмыслить его так и не смог.

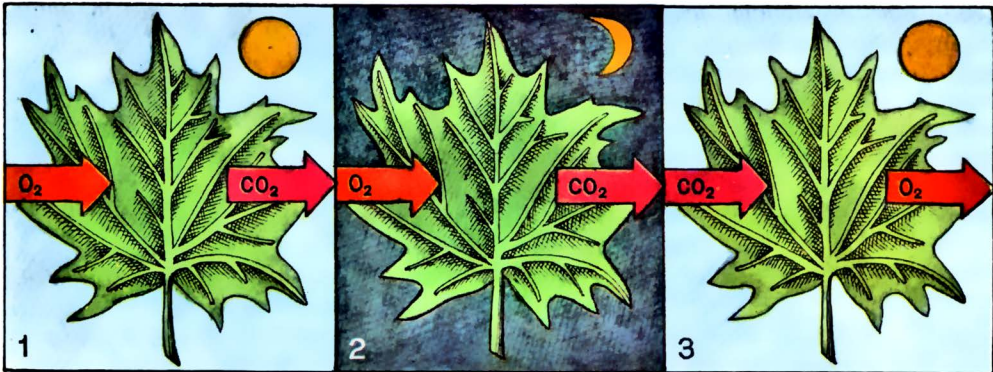
Вспомним: первые опыты (1771 год, город Лидс в Англии), приведшие к открытию фотосинтеза, Пристли вел в лаборатории, при умеренном свете. Но в 1778 году ученый стал экспериментировать уже в саду, на ярчайшем солнце.

Здравый смысл подсказывает: чем ярче свет, тем, казалось бы, должно быть сильнее очищающее действие зелени. Истина вроде бы очевидная, однако растения «голосовали против»: они не улучшали, как на то надеялся Пристли, а ухудшали воздух!

Было от чего прийти в отчаяние! (Да, в честь Пристли отлиты и выбиты медали, поставлены памятники с фигурой ученого. Его образ в науке давно канонизирован: он без всяких «но» и оговорок действительно великий исследователь. Все так.

Однако до конца дней своих Пристли одолевали сомнения. Смущало непонятное упрямство растений, некогда «разболтавших» одну из своих многочисленных тайн, а

Три основных процесса, происходящие в зеленом листе: 1 — фотодыхание; 2 — обычное дыхание (его механика одинакова по сути и у растений и у животных. Ночью это единственно возможный процесс, происходящий в растениях); 3 — фотосинтез (основной, обратный дыханию процесс усвоения растениями углерода из углекислоты воздуха).



теперь не желавших сказать решительное «да».)

Теперь-то, с высоты науки наших дней, которой известен феномен фотодыхания, мы можем догадаться о подоплеке неудач Пристли. Мы уже свыклись с тем неоспоримым фактом, что при сильном освещении скорость потребления кислорода и, как следствие, выделение углекислоты заметно возрастают. И поэтому у многих растений в фотодыхании вроде бы бесполезно тратится до 50 процентов того, что накапливается в фотосинтезе. И растения вынуждены на 50 процентов работать вхолостую!

Опыты на свету у Пристли никак не ладилась: фотодыхание съедало то, что приносил фотосинтез, растения практически не фотосинтезировали.

Вот она, возможная причина неудач Пристли: он, искусный и изощренный экспериментатор, наблюдал то, что наука его времени объяснить не могла! Да, бывают преждевременные открытия, способные замутить правильное понимание природы вещей, бросить тень на сложившиеся постепенно (добытые с таким трудом и в общем-то верные!) концепции.

Однако вернемся к фотодыханию. В чем все-таки его смысл — вот вопрос! Чтобы ответить на него, прежде всего необходимо было попытаться отделить процесс фотосинтеза от обратного ему процесса фотодыхания. Сделать это непросто, ибо часть выделяющегося при фотодыхании углекислого газа (а дело происходит в глубине зеленого листа, в его пробах) может тут же поглощаться в фотосинтетическом процессе и таким образом вообще не выходить из пор межклетника.

Поэтому в научной литературе обычно измеряется не скорость фо-

тодыхания (количество углекислоты, выделяющейся в этом процессе в единицу времени), а другая величина — точка CO_2 — компенсации: под этим термином понимается такая концентрация углекислоты в воздухе (при заданной постоянной интенсивности света), при которой усвоение листом углекислоты в ходе фотосинтеза уравновешивается дыханием.

Поглощение углекислого газа идет в темновых (свет здесь не нужен) реакциях цикла Кальвина, на так называемых центрах карбоксилирования. Измерить концентрацию CO_2 в этих центрах, а значит, и проконтролировать скорость темновых стадий фотосинтеза (здесь-то и появляется надежда отделить фотодыхание от фотосинтеза) никому прежде не удавалось.

Первыми успеха добились эстонские исследователи. В 1970 году А. Лайск высказал гипотезу (теперь это кажется всем почти очевидным) о том, что фотодыхание является результатом конкуренции между молекулами углекислого газа и кислорода за один и тот же общий акцептор (так сказать, «посадочная площадка» для молекул) — рибулозодифосфат (РДФ сокращенно). Обычно РДФ должен соединяться с углекислотой (процесс фотосинтеза), но порой растение как бы «ошибается»: захватывает кислород вместо углекислоты — это и есть фотодыхание.

Этот вывод поставил все на свои места: объяснил, отчего фотосинтез у C_3 — растений слабеет при увеличении содержания кислорода в воздухе, почему происходит подавление фотодыхания при высоких концентрациях углекислоты, а также пояснил то обстоятельство, что растение с хорошими показателями фотосинтеза обладает и высоким уровнем фотодыхания...

МОРКОВКА ПРОТИВ САХАРНОГО ТРОСТНИКА

До сих пор сознательно скрывалось главное: фотодыхание — это «болезнь» исключительно C_3 — растений. У C_4 — группы (кукуруза и прочие) фотодыхание практически отсутствует. Значит, там, где C_3 — растения испытывают углеродную одышку, C_4 — растения чувствуют себя превосходно. Тут в известной мере и разгадка их высокой продуктивности.

Но тогда сразу же возникает важнейшая сельскохозяйственная проблема — как бы добиться того, чтобы C_3 — растения (а их большинство!) не тратили в фотодыхании до 50 процентов того, что было ими накоплено в фотосинтезе. Не худели бы, так сказать, прямо на наших глазах.

ЕСЛИ БЫ МОЖНО БЫЛО РАЗГАДАТЬ ЗАГАДКУ ФОТОДЫХАНИЯ И ВОСПРЕпятСТВОВАТЬ ЭТИМ НАПРАСНЫМ ТРАТАМ, ТО, ВОЗМОЖНО, ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР МОЖНО БЫЛО БЫ УДВОИТЬ. Это ли не мечта селекционеров, генетиков, агрохимиков и других специалистов, которые подчас годами в тяжких трудах борются за каждый малый процент? Легко понять, как заинтриговало фотодыхание практиков, мечтающих об увеличении урожая!

В начале 70-х годов все казалось простым и ясным. Многие ученые были преисполнены оптимизма. Достаточно взглянуть, к примеру, на групповой портрет участников конференции («Фотодыхание и фотосинтез») в Канберре (Австралия, 1970 год). Веселые, полные энтузиазма и надежд лица. В трудах конференции среди серьезных докладов была напечатана даже песенка про C_3 и C_4 — растения. Ее сочинили сами ученые и пели хором в перерывах между выступлениями и дискуссиями.

В куплетах были зарифмованы и шпинат, который-де фотосинтезирует нобелевским путем (намек на работы М. Кальвина, удостоенные высшей награды), и цикл Хетча — Слэка, козни фотодыхания и многое иное...

Вскоре от шуток перешли к делу. Раз фотодыхание — вредное для продуктивности растений явление, с ним надо активно бороться. Американец И. Зелитч, например, увлекся селекцией. Он искал мутанты табака (это C_3 — растение) Гава на Сид, которые бы обладали низкой интенсивностью фотодыхания и, стало быть, повышенной способностью к фотосинтезу.

Такие мутанты были найдены, отобраны, но здесь исследователя ждал пренеприятный сюрприз: количество зеленой табачной массы возросло, но... исчез фирменный аромат! Приобретая одно, исследователь потерял другое, более важное свойство.

И это был не единственный «звоночек». Связь между фотодыханием и продуктивностью растений становилась все более запутанной.

Исследования советских ученых (работы лаборатории члена-корреспондента АН СССР А. А. Ничипоревича в Институте физиологии растений им. К. А. Тимирязева АН СССР) показали, что не существует прямой связи между наличием или отсутствием фотодыхания (фотосинтез обычный и «кукурузный») и фотосинтетической продуктивностью растений.

Мне показывали результаты этих любопытных экспериментов. Выращивали сахарную свеклу в обычных условиях — вариант № 1 — и при

Член-корреспондент АН СССР А. А. Ничипоревич и кандидат физико-математических наук И. А. Мурей перед зданием Института физиологии растений имени К. А. Тимирязева АН СССР (Москва).

ДЫШАТЬ ДНЕМ — НЕ ТО, ЧТО ДЫШАТЬ НОЧЬЮ



пониженной концентрации кислорода (3 процента) — вариант № 2. Об итогах исследований лучше всяких слов рассказали микрофотографии.

На электронно-микроскопических снимках было видно, что в варианте № 1 в хлоропластах идет обычное накопление углеводов (отчетливо заметны крупные белые, на темном фоне, вкрапления крахмала). А в варианте № 2 (попытка подавить фотодыхание) картина была совсем иной: крахмала очень мало, его заменили темные, похожие на бобы новообразования. Микроснимки показывали также, что биологические мембраны в хлоропластах при насильственном угнетении фотодыхания меняют свою структуру: они как бы набухают, корятся.

Мне довелось поговорить с участниками этой важной научной работы, с кандидатами биологических наук Светланой Николаевной Чморой и Генриеттой Абрамовной Слободской. Они сомневались, что можно много выгадать, насильственно подавляя фотодыхание. Ведь

при этом радикально меняется весь ход процессов, идущих в зеленом листе. Углеводов (крахмала) становится в два примерно раза меньше. Кроме того, начинается усиленный синтез аминокислот. Микрофотографии отмечали и глубокие изменения в структуре хлоропластов. Все это очень напоминало реакцию C_3 — растений на стрессовые воздействия: жару, недостаток воды, ее засоленность...

Сомнений не было: проблема продуктивности растений оказалась очень непростой. Ее нельзя сводить лишь к тому, усваивается ли в основном углерод зеленым листом или, наоборот, тратится. Выиграли в зеленой массе, но проиграли в количестве семян (а они-то и нужны!), весе корнеплодов и так далее. И тут какую-нибудь морковку бесполезно сравнивать с рекордным ростом сахарного тростника или кукурузы. Поэтому, из-за малоизученности явления, попытки «перекрещивать» C_3 — растения в C_4 пока и не дали плодотворных результатов.

ИЗ ПУСТЫНИ ИЛИ ИЗ ТРОПИКОВ!

Каждый успех наших знаний ставит больше проблем, чем решает.

Луи де Бройль

Если заглянуть внутрь C_4 — листа с помощью микроскопа, то можно отчетливо различить наличие двух групп фотосинтетических клеток. Вокруг сосудисто-проводящих пучков концентрически расположены внешний слой клеток мезофилла и внутренний (ближе к пучку) слой клеток обкладки.

В клетках обкладки действует известный цикл Кальвина (все тут так же, как и у C_3 — растений), а вот слой клеток мезофилла является как бы приставкой, дополнительным

органом-устройством: здесь происходит накопление, концентрирование углекислоты.

Эта «пища» растений вначале фиксируется, войдя в состав яблочной и аспарагиновой кислот (четырёхуглеродные соединения! Тут-то и разгадка тех необычных явлений, которые первым наблюдал Ю. С. Карпилов), и уже затем расходуется по обычному механизму цикла Кальвина в клетках обкладки.

И вновь загадки! Зачем C_4 — растениям эти сложности? Ведь поток

углекислого газа при этом вроде бы тормозится... Однако следует помнить: в природе все имеет свой смысл. Конечно же, это приспособление растений к неким условиям, но к каким? К жаре, холоду, яркому свету, отсутствию или избытку влаги?

К недостатку воды в пустынях растения умеют приноравливаться. К примеру, кактусы, эти «растения-верблюды», способны накапливать воду в больших количествах (крупные кактусы могут запастись до 3 тонн воды!) и экономно тратить ее в течение продолжительных периодов засухи.

Как им это удается? Это достигается многими путями. Прежде всего некоторые кактусы как бы сложены из шаров, а эта геометрическая фигура имеет минимальное отношение своей поверхности к объему, а значит, потери влаги сводятся к минимуму. Ограничивает расход воды и малое количество устьиц, которые к тому же расположены в углублениях, что также затрудняет испарение.

Но это еще не все. Природа в кактусах явила прямо-таки чудеса экономности. Эти растения открывают устьица только по ночам, когда температура воздуха в пустыне понижается, а его влажность повышается. Поэтому даже при открытых устьицах убыль паров воды в листе становится минимальной. И еще хитрость: запасенную ночью углекислоту кактусы фиксируют в химических соединениях, а уже днем при закрытых устьицах тратят ее на фотосинтез.

С кактусами ученые разобрались, а вот C_4 —растения для них все еще загадка. Первые их исследователи (среди них и Ю. С. Карпилов; к сожалению, этот талантливый ученый трагически погиб в 1978 году) полагали, что эти растения тропического, низкоширотного происхождения. Многие виды C_4 —группы

обитают в тропиках. Их яркий представитель — сахарный тростник.

Кроме того, C_4 —формы явно предпочитают интенсивный свет с более высоким содержанием коротковолновой радиации. Так, кукуруза лучше развивается при освещении полуденным светом, нежели утренним или вечерним. (Кстати, в настоящее время место происхождения кукурузы локализовано уже довольно точно: это район, где расположен нынешний Мехико, приблизительно 20-я параллель Центральной Америки.)

Итак, первая версия о происхождении C_4 —растений — та, что они родом из тропиков. Но есть и иное предположение. Исследования австралийца М. Хетча и других ученых показали, что «кукурузный» фотосинтез очень экономен в отношении влаги. C_4 —растения фиксируют по крайней мере в два раза больше углерода на единицу транспирированной воды, чем C_3 —растения. Причем при повышенных температурах эта разница еще более увеличивается. Таким образом, возникает и другой вывод: C_4 —растения — это пришельцы из аридных зон, они адаптированы к жарким и засушливым условиям пустынь и полупустынь.

Это утвердившееся в последние годы среди ученых мнение решили проверить советские исследователи из Ботанического института Академии наук СССР имени В. Л. Комарова. Много лет в заповеднике Репетек (Юго-Восточные Каракумы, Туркменская ССР) они изучали особенности фотосинтеза у растений пустынь. Установлено: в условиях пустыни C_4 —растения вовсе не доминируют. И здесь C_3 —формы оказались в большинстве, и они в среднем ни в чем не уступали своим соперникам. Так что прародина C_4 —растений до сих пор так и не установлена.

РАСТЕНИЯ-ДИНОЗАВРЫ

Эта превосходная мораль опровергается одними только фактами.

Вольтер

Проблема фотодыхания остается одной из самых увлекательнейших, самых волнующих в 200-летнем учении о фотосинтезе. Ибо тут замешаны не только надежды практиков, но и глубокие вопросы теории. К примеру, эволюционный аспект.

Доктор биологических наук Игорь Александрович Шульгин, заведующий Метеорологической обсерваторией МГУ, считает, что Земля — настоящий музей растительного мира, музей, где экспонаты, правда, предоставлены самим себе, ибо мы еще мало знаем условия, в которых можно поддерживать вымирающие формы. К ним относятся растущие в Абхазии знаменитые пицундские сосны, исчезающие деревья гинкго (Китай), древовидные папоротники и другие реликтовые, остающиеся за кормой корабля эволюции формы, — по ним, пока не поздно, можно было бы хоть как-то воссоздать картину далекого прошлого планеты.

Может быть, надеется И. А. Шульгин, когда-нибудь создадут специ-

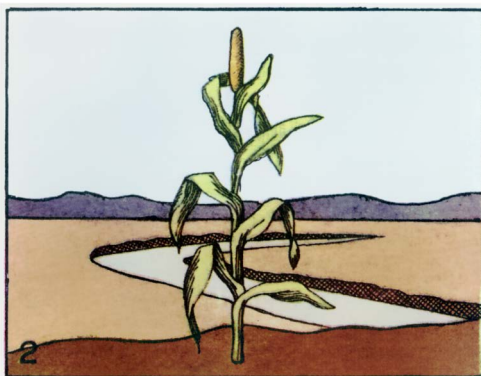
альный музей флоры, где в искусственных условиях будут поддерживаться режимы, оптимальные для сохранения исчезающих растений.

А не являются ли C_3 — растения прорехой эволюции, отголоском прошлого, видами, сходящими со сцены?..

Когда-то давно на нашей планете все было иным. Ее самая первая (дорастительная) атмосфера состояла преимущественно из аммиака, метана и водяных паров. Шапка углекислоты возникла позднее. А фотосинтез появился в протерозое — около полумиллиарда лет назад. Тогда и начался расцвет СУММЫ ЖИЗНИ на Земле.

Это была революция, имеющая далекие последствия. Растения, поедая богатые запасы углекислоты древней атмосферы, переводили углерод в состав органических веществ, позднее захороненных в горючих ископаемых, и в карбонаты (различные минеральные соли угольной кислоты), составляющие значительную часть земной коры. Коли-

Фотосинтез возник около полумиллиарда лет назад, когда в атмосфере Земли было гораздо больше углекислоты, чем сейчас. Растительность в те далекие времена была пышной и обильной (1). Постепенно воздух беднел углекислым газом. Возможно, C_4 — растения — это пример попытки флоры приспособиться к новым условиям жизни на Земле (2).



чество углекислоты в атмосфере начало катастрофически падать, а кислорода — расти. Все это ухудшало условия для фотосинтеза растений, так что нынешняя концентрация углекислого газа для растений далеко не оптимальна.

Видимо (и это одна из точек зрения ученых), многие растения просто не смогли в наилучшей степени приспособиться к новому режиму: их фотосинтетический аппарат и сейчас гораздо лучше работает при значительных более высоких концентрациях углекислоты, чем обычные 0,03 процента, и при более низких, чем современная цифра (21 процент), концентрациях кислорода.

Таковы, по-видимому, были все C_3 — растения, обладающие древним и универсальным типом фотосинтеза. Но затем появилась новая ветвь — C_4 — растения, более совершенные формы, лучше приспособленные к жизни в обедненной углекислотой атмосфере. Они выработали в себе действенный механизм (слой клеток мезофилла) для улавливания углекислоты, связывания и запасаения ее.

Вот расхожая версия, которая, естественно, относит фотодыхание к разряду недоделок природы.

Но может быть, все совсем не так просто? И фотодыхание — необходимое звено жизненного цикла C_3 — растений? Попробуем в

этом разобраться. Начнем с того, что сахарный тростник или сорго произрастают в довольно-таки тепличных условиях: высокая влажность, обилие света, тепла. Тут, видимо, основная помеха — низкая концентрация CO_2 в атмосфере. И C_4 — растения успешно справились с этой трудностью.

Совсем иное у растений-северян: C_3 — растения вынуждены существовать в сравнительно суровых условиях. Тут часто возникают экстремальные ситуации.

Быть может (и это вторая точка зрения), фотодыхание и позволяет C_3 — растениям уцелеть в трудных условиях. И естественная цена выживания, расплата (жизнь или кошелек?) — это уменьшение их продуктивности.

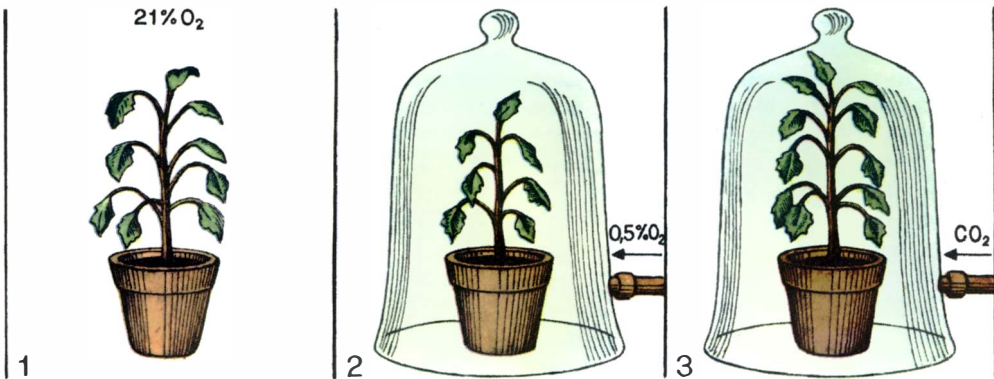
Природа упорна и экономна. Создав когда-то на заре жизни изумительные конструкции и процессы, биологические мембраны, ферменты, фотосинтез, дыхание, она стремится максимально их использовать. Так что, возможно, C_3 — растения — это вовсе не растительные динозавры, а также, как и C_4 — растения, результат длительного и мучительного приспособления к изменившимся внешним условиям. Они тоже прошли долгий путь эволюции, изменили морфологию, жизненные циклы, чтобы достаточно гибко приспособиться к новым условиям среды.

РАЗОЧАРОВАНИЯ, НАДЕЖДЫ...

Загадка фотодыхания, таинства C_4 — пути фотосинтеза привлекают все большее число ученых самых разных специальностей — физиологов растений, биохимиков, эволюционистов, морфологов, селекционеров. Оно и понятно: тут затронуты фотосинтез и дыхание — центральные физиологические процессы, а также нужды практики,

ибо есть шансы ПОДНЯТЬ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ, увеличить выход биомассы.

Вначале суждения исследователей были чересчур категоричными, а устремления практиков слишком прямолинейными. C_3 и C_4 — типы растений? Это, рассуждали тогда, как белые и черные — как две различные расы. Чтобы различать их,



Опыт А. Лайска доказывает, что при нормальной концентрации кислорода в воздухе (1) растения чувствуют себя намного лучше, чем при его пониженной концентрации (2), но избыток углекислоты полезен для растений.

существовало несколько тестов. C_4 — растения выдавала низкая углекислотная компенсационная точка, отсутствие фотодыхания, наличие вполне определенной структуры листа и другие признаки.

Но вскоре от таких простых взглядов пришлось отказаться. Выяснилось: у ряда растений оба пути фотосинтеза представлены **одновременно!** Так, у портулака, этого по всем признакам C_4 — растения, по мере старения листьев усиливаются признаки C_3 — растений, появляется и растет фотодыхание.

Другой интересный пример. Листья бобов фотосинтезируют по C_3 — пути, а проростки и эпидермис того же растения явно относятся к C_4 — типу.

Были опрокинуты и эволюционные представления о том, что C_4 — тип растений — это недавнее приобретение флоры, что это — приспособление к понижающемуся уровню углекислоты в атмосфере.

Нет же! Неожиданно обнаружилось, что к C_4 — классу растений следует причислить и синезеленые водоросли, эти древнейшие обитатели планеты, жившие на Земле и 3 миллиарда лет назад, когда количество кислорода в воздухе составляло всего лишь тысячную часть от сегодняшнего! Понятно, в этих усло-

виях фотодыхание вряд ли угрожало растениям.

Нет, скорее всего, C_4 — путь фотосинтеза необходим растениям, когда они попадают в сложные экологические условия, когда C_3 — способ связывания углекислоты оказывается подавленным. Например, в условиях низкого содержания углекислоты в воздухе, когда фиксацию углерода надо осуществлять без потерь, самым экономным способом. Ну, скажем, при высокой плотности растений, что бывает в период цветения водоемов, или в жарком засушливом климате, когда углекислота становится недоступной из-за закрытых устьиц.

В пользу экологических соображений говорят и такие факты. Есть сведения, что переключение на C_4 — путь фотосинтеза дает возможность растениям активно адаптироваться и к повышенной засоленности. Далее, в стрессовых условиях (водный дефицит, например) C_3 — растения также начинают проявлять C_4 — признаки...

Свою долю разочарований (а надежды, мы помним, были очень большими!) получили и исследователи практического склада. Ведь они надеялись выключить тем или иным способом вредный, по их мнению, процесс фотодыхания. Са-

мое простое тут — снизить концентрацию кислорода.

Однако эта мера, как выяснилось, явно угнетала развитие растений. К примеру, А. Лайск показал, что продуктивность фотосинтеза листьев осины при 21 проценте кислорода в воздухе (обычное содержание) на 20 процентов выше той, которая наблюдается, если растение держать в газовой смеси с 0,5 процента кислорода.

Правда, другая крайность — подкормка растений углекислотой — себя оправдала. При повышенном содержании углекислого газа в воздухе фотодыхание слабеет, а фотосинтез становится более интенсивным.

И вновь вопросы, вопросы... Их гораздо больше, чем ответов. И это свидетельство того, что вскоре будут сделаны еще более значительные (и для теории, и для практики) новые открытия.

Во всяком случае, дискуссия о фотодыхании оказалась крайне полезной. Она заставила многое пересмотреть. Ну, а надежды? Они остаются. Ведь это факт, что C_4 — растения способны синтезировать в несколько раз больше биомассы, чем растения C_3 — типа.

Да, растения словно бы отлично представляют себе плюсы и минусы C_3 — и C_4 — путей фотосинтеза, все недостатки и, видимо, достоинства фотодыхания. И умеют использовать свои «знания». Этим же знанием, этим же умением должны овладеть и люди!

*

В мае 1981 года в Тарту состоялась выездная сессия Совета (он

находится в Москве) по фотосинтезу.

Отмечалось 20-летие исследований фотосинтеза в Эстонии. Это большое событие было зафиксировано для потомков мастерами эстонской кинохроники.

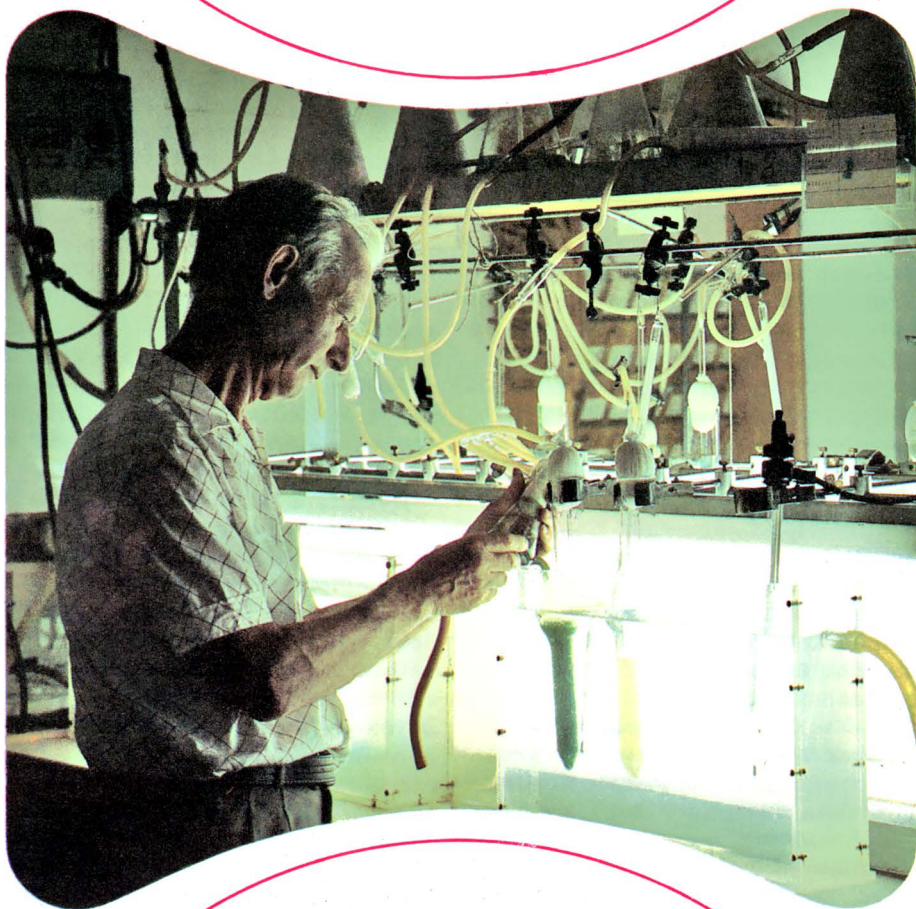
Те, кто смотрел этот фильм, видели на экране и групповой портрет участников сессии. Разглядели они и уже знакомых читателям по двум последним главам этой книги ученых — А. А. Ничипоровича, Ю. К. Рорсса, А. Х. Лайска, В. Оя, С. Н. Чмору, Г. А. Слободскую и других исследователей.

У многих на груди блеснул оригинальный юбилейный значок. Камера укрупняла его. На значке отчетливо выделялся купол телескопа, под ним лист растения и химический символ углекислоты, CO_2 . Все это, по мнению создавшего этот значок художника, должно было символизировать союз астрофизиков и биологов, долгие годы вместе изучающих тайны фотосинтеза.

Двадцать лет эстонские астрофизики вели сложные исследования фотосинтеза на всех уровнях — в хлоропластах, листьях, в посевах и биоценозах. Эта напряженная работа дала обильные плоды. А эмблема на юбилейном значке была как бы залогом того, что физики Эстонии вместе с московскими биологами и учеными других научных отрядов страны в конце концов решат загадку фотодыхания. И может быть, попробуют создать растения, объединяющие в себе достоинства как C_3 — так и C_4 — типа. Что имело бы большое значение для выполнения у нас в стране Продовольственной программы.

Исследовать — значит видеть то,
что видели все,
и думать так,
как не думал никто.

Альберт Сент-Дьерди



ГЛАВА 5



КОНСТРУКТОРЫ РАСТЕНИЙ

Однажды (об этом рассказал К. А. Тимирязев) изобретатель паровоза Д. Стефенсон (1781—1848) и его друг геолог Бекланд, совершая прогулку, увидели пробежавший мимо них по рельсам поезд.

— Скажи мне, Бекланд,— спросил Стефенсон,— что приводит в движение этот поезд?

— Рука машиниста, который управляет одним из твоих чудесных локомотивов.

— Нет!

— Пар, который движет машину.

— Нет!

— Огонь, который разводят под котлом.

— Еще раз нет! — воскликнул Стефенсон.— Им движет Солнце. И оно светило в ту эпоху, когда жили растения, превратившиеся позже в уголь. Его-то машинист и подбрасывает в топку...

Этот диалог очень характерен. И не только тем, что ископаемое топливо — это в значительной мере сгусток законсервированной растениями солнечной энергии. Эпизод наводит на мысль, что между растениями и энергетическими машинами (тем же паровозом) много сходства.

Растения — машины? Тогда любопытно, как они действуют. Насколько эффективны? Можно ли их сравнивать с техническими созданиями человеческих рук? Можно ли попытаться улучшить конструкцию растений?

Множество вопросов приходит на ум, но прежде хотелось бы выяснить вот что. Растение — это энергетический автомат, действующий всегда однообразно, стереотипно, запрограммированно? Или это тонкая, гибкая, податливая, эластичная система и ее можно регулировать, изменять, настраивать, совершенствовать?..

ОТ ТАЙМЫРА ДО МОНГОЛИИ

Однажды к ученым Ботанического института Академии наук СССР (сокращенно его называют БИН), что в Ленинграде, обратились... пограничники. Они просили помочь им разрешить одну научную загадку.

Пограничники рассказали, что розыскные собаки, взяв след, ночью уверенно преследуют нарушителей. Но утром, после восхода солнца, овчарки словно бы утрачивают чутье, чувствуют себя неуверенно, сбиваются со следа.

Проблемы ботаники и тонкости работы пограничных собак — казалось бы, какая между ними связь? Какие могут быть точки соприкосновения? Тут нам вновь придется говорить про фотосинтез.

Вспомним: ночью лишённые света растения могут только дышать. И лишь при свете дня, когда включается фотосинтез, усвоение листьями углекислоты начинает преобладать. Так вот, гипотеза пограничников — ее они и принесли на суд ученых — состояла в том, что утром, когда дыхание растений, грубо говоря, подавлялось фотосинтезом, бурно выделяющийся кислород окислял сохранявшиеся на листьях, цветах, стеблях и прочих частях растений пахучие вещества. Следы нарушителей границы как бы растворялись в воздухе, исчезали. Это и сбивало с толку овчарок, ведущих преследование.

Но пограничники хотели не просто утвердиться в своей правоте. Они ожидали большего: просили у ученых практических рекоменда-

Доктор биологических наук Л. Н. Белл ведет очередной эксперимент.

ций: какие растения следует сажать в пограничной зоне? Ведь процесс фотосинтеза у различных видов растений идет, конечно, не одинаково. Следовательно, казалось бы, можно подобрать породы деревьев, кустарников, трав, слабо фотосинтезирующих, выделяющих малые количества кислорода.

К сожалению, дать лаконичный (по-военному) ответ пограничникам ученые никак не могли. Сила фотосинтеза определяется не только видом растений, но и условиями их существования, температурой, влажностью, временем года и многими другими факторами. Ну а главное, тем, в какой местности обитает растение: в горах, в пустыне, в средней полосе, на Крайнем Севере? Поэтому ничего не оставалось, как только ограничиться «рыхлыми» рекомендациями: не сажать в пограничной зоне (полосе) подсолнуха или кукурузы — у них мощный фотосинтез, попробовать высадить полосу из елей или, скажем, культивировать обладающие заведомо слабым фотосинтезом альпийские подушки...

Эта «погранично-фотосинтетическая» история — лишь один из многочисленных примеров того, с какими проблемами приходится сталкиваться научным сотрудникам лаборатории экологии и физиологии фотосинтеза в БИНе. Руководитель лаборатории профессор Олег Вячеславович Заленский начал экологические исследования еще в довоенные годы на Памирской биологической станции Таджикского филиала АН СССР. В 1940 году с помощью группы одесских альпинистов он поднял научные приборы в горы Восточного Памира, на высоту 6000 метров. Туда же были доставлены проростки ячменя и пшеницы.

Экзотика? Нет, наука, непосредственно смыкающаяся с требованиями жизни! В те годы перед уче-

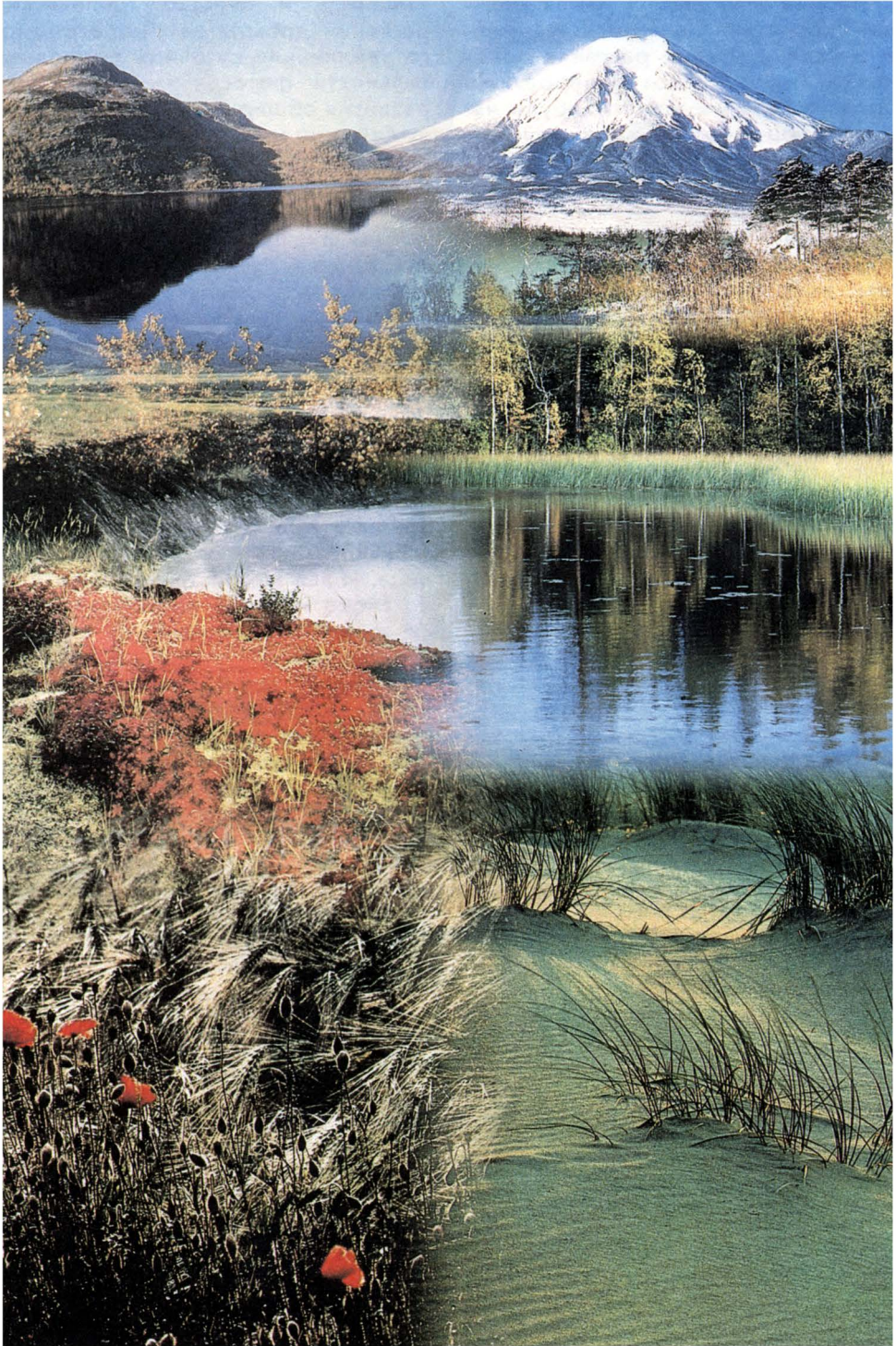
ными была поставлена задача — помочь освоить высокогорные долины Памира для земледелия и животноводства. Позже, перебравшись с Памирской биологической станции в Ленинград, О. В. Заленский стал организатором и руководителем многочисленных экспедиций, изучавших фотосинтез в тундрах Центрального Таймыра и острова Врангеля, в степях и пустынях Казахстана и Средней Азии, в сухих и пустынных степях Монголии.

А зачинателем экологической физиологии растений в нашей стране стал академик Сергей Павлович Костычев (1877—1931). Это был инициативный, энергичный исследователь. Работа по физиологии фотосинтеза была начата им в 1920 году в Петроградском университете. В трудное время гражданской войны, когда для получения двух пудов керосина, пары примусов и нескольких электрических лампочек приходилось обращаться непосредственно к правительству, к Ленину.

Масштабное изучение фотосинтеза растений в условиях их естественного произрастания (не «искусственные» сельскохозяйственные посева, а, так сказать, растения-аборигены) началось в 1928 году. Костычев направляет многочисленные экспедиции в Закавказье (растения влажных субтропиков), в Среднюю Азию (растения глинистых и песчаных пустынь), на мурманское побережье Кольского полуострова, на Южный берег Крыма (сухие субтропики). Изучались и культурные растения — хлопчатник, люцерна, виноград.

Данные, полученные С. П. Костычевым и его сотрудниками, позднее вошли во все учебники и монографии по фотосинтезу растений. Было доказано, что суточный ход фотосинтеза крайне неравномерен. То

Экологи растений изучают фотосинтез во всех географических зонах нашей планеты.



он весьма ослаблен, то идет с большой скоростью. Оказалось, что львиную часть времени растения почти совсем не запасают углерод. Но затем, в течение какого-нибудь часа, быстро наверстывают упущенное, обеспечивая свою потребность в углеводах.

Открытий было сделано немало. Естественно, скажем, ожидать, что в тропиках интенсивность фотосинтеза велика. Однако это не так:

пышность и буйство тропических растений добыты за счет огромного увеличения суточной продолжительности фотосинтеза и за счет развития обширной и длительно живущей листовой поверхности.

А вот там, где жизнь растений нелегка (пустыни, север, высокогорье), машина фотосинтеза, вынужденная функционировать малое время, творит чудеса: развивает рекордную производительность.

САКСАУЛ В АНТАРКТИДЕ

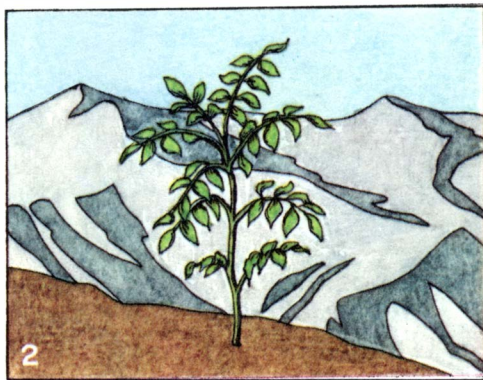
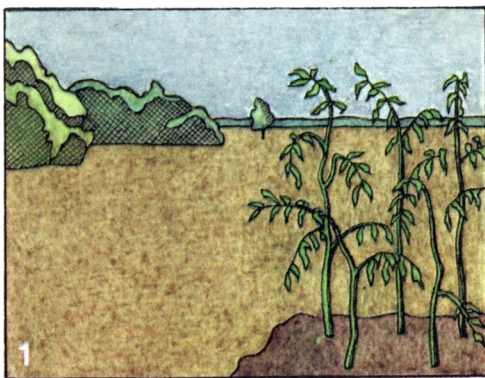
В первое мое посещение БИНа я не застал О. В. Заленского (познакомились мы позже). В тот раз я беседовал с его сотрудниками, наблюдал, как они в лаборатории обрабатывают полученные в далеких экспедициях данные. Узнавал, что дали эти исследования науке и практике. Об этом рассказала доктор биологических наук Ольга Александровна Семихатова.

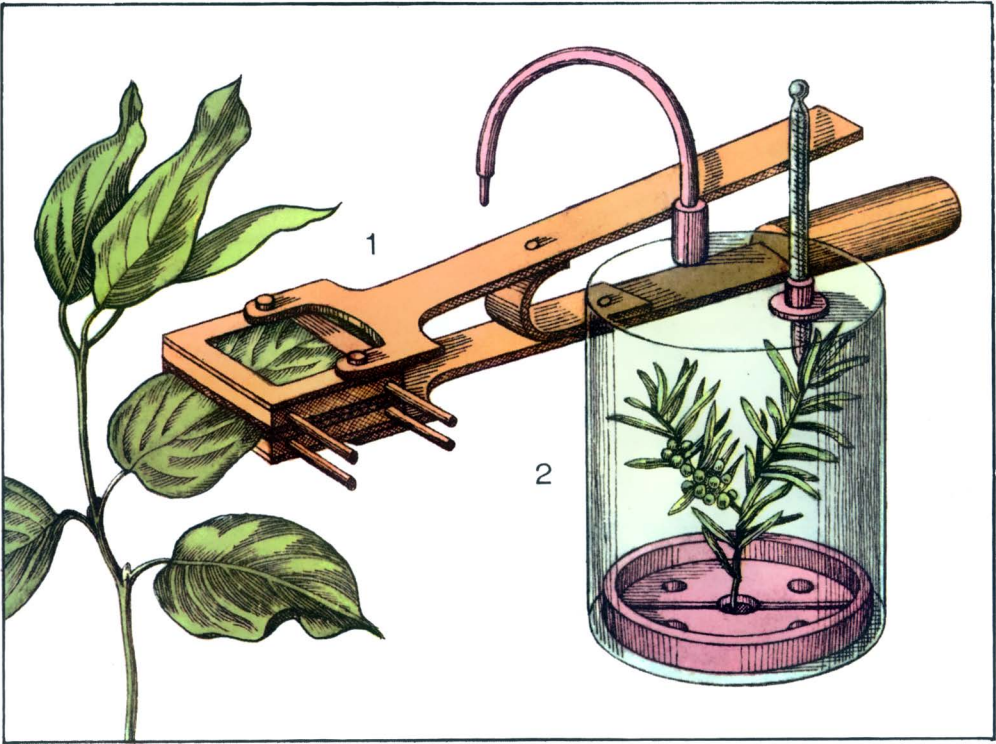
«Нас интересуют в первую очередь крайности, экстремальные условия существования растений,— говорила она.— Тут легче всего познать, как растение приспосабливает фотосинтез к тем или иным особенностям данной ботанико-географической зоны. Высокогорный

як, если спустить его с гор, погибнет от разрыва сердца. В тепличных условиях тропиков кактус просто-напросто сгниет. Поэтому морошка в Африке или саксаул в Антарктиде— это, конечно, бессмыслица. И все же растения удивительно гибко и цепко приноравливаются к самым суровым и трудным условиям.

Приведу такой пример. Всякий знает, что листва у картофеля замерзает при первых же заморозках. А на Памире этот же самый картофель может сохранить свою ботву при ночных заморозках даже в минус 7—8 градусов! А дело вот в чем. Обычно в процессе фотосинтеза сахара превращаются в

В средней полосе картофель погибает при первых же заморозках, однако на Памире он способен выдерживать охлаждение до 7—8 градусов мороза.





Для изучения фотосинтеза сконструировано немало приспособлений: 1 — камера-прищепка для листа, 2 — камера для изучения газообмена целого растения.

растительных клетках в крахмал, но в культурах, выросших на Памире, растения накапливают главным образом сахар. Он прочно связывает воду и тем самым резко снижает точку ее замерзания. Поэтому-то ночные заморозки на Памире и не могут погубить растения...»

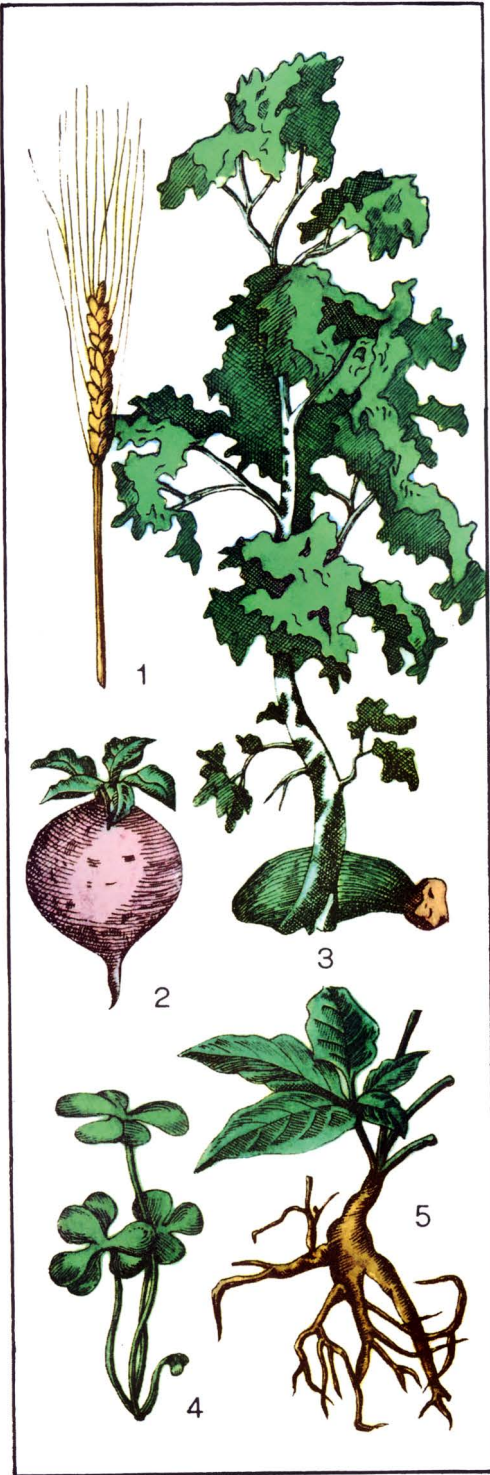
Ольга Александровна говорила далее о том, как нелегко исследовать фотосинтез в полевых условиях.

В пустынях, горах, тундре надо защищаться от морозов, слепящего солнца, сильных ветров, несущих тучи песка. А доставка к растениям необходимого измерительного оборудования, часто довольно громоздкого?

А сам зеленый лист — до чего же прихотливый и капризный объект! Его надо заключить в листовую

камеру — стеклянный сосуд, куда подается меченный изотопами углекислый газ. Вот здесь необходимо зорко следить буквально за всем: чтобы лист не перегрелся (ему душно: он в стеклянной броне), чтобы газа поступало в листовую камеру не слишком много (иначе разницы и не заметишь), но и не слишком мало (у приборов чувствительность имеет свои, и не слишком низкие, пределы). Но может быть, главное, надо не проворонить тот момент, когда лист начинает выдыхаться, устает и уже не годен для экспериментов. Уставший лист сменил свежий, но это уже другой объект! С иными характеристиками и свойствами...

Трудность эколого-физиологических исследований фотосинтеза еще и в том, что здесь просто нельзя



быть узким специалистом. Ведь приходится пользоваться и физическими и биохимическими методами. Но кроме этого, надо знать ботанику, физиологию и другие смежные дисциплины. Так что интеграция наук тут принципиальна и неизбежна.

«Наша работа,— продолжала свой рассказ Семихатова,— важна для геоботаники, палеоботаники, для систематиков растений, морфологов и растительных анатомов. Но не думайте, что мы занимаемся лишь чистой наукой, чуждой практических нужд. Приведу примеры. Сейчас в невиданных прежде масштабах осваивается Север нашей страны. Но его природа очень хрупка: вездеход процарапал следы в тундре — нужны десятки лет, чтобы эти нанесенные цивилизацией шрамы исчезли. Природа нуждается в помощи, но какой? Этот вопрос обращен и к нам, ученым».

Познакомила меня Ольга Александровна и с проблемой светолюбивых (к ним относятся пшеница, рис, свекла, береза, дуб) и (странно?) тенелюбивых (бук, самшит, кислица, женьшень) растений. Первые не выносят затемнения: оно действует на них угнетающе. Тенелюбы, наоборот, страшатся яркого света, прячутся в тень: они приспособлены для жизни в нижних, затененных ярусах таежных ельников, лесостепных дубрав, тропических гилей.

И вот, говорила Семихатова, представьте, что лес вырублен, молодняк, жизнь которого складывалась в тени, неожиданно оказывается на свету и может погибнуть. Спрашивается, как с учетом данных о фотосинтезе у светолюбов и тенелюбов научно вырубать леса: через дерево? Или узкими полосами?..

Растения-светолюбы: 1 — пшеница, 2 — свекла, 3 — береза. И тенелюбы: 4 — кислица, 5 — женьшень.

Еще я узнал тогда о том, как несладко приходится растениям в городах, особенно больших, таких, как Москва или Ленинград. По-видимому, отчетливо стресс у растений впервые наблюдали в Берлине в начале этого века, когда там ввели газовое освещение. При этом погибли столетние липы на знаменитой Унтер ден Линден — одной из центральных улиц немецкой столицы.

«Фотосинтез может служить хорошим индикатором стойкости растений, — говорила Ольга Александровна, — их, так сказать, резистентности. Все это позволит установить зоны терпимости растений к ухудшению внешних условий. Очертить область температур, влажности, силы света — тех контуров, где растения находятся в комфортных условиях и где для них начинается

зона стресса. У нас, в Ленинградской области, да вот хотя бы в нашем Ботаническом саду, — Ольга Александровна указала на пышную зелень за окном, — многие деревья живут на крайних границах своего ареала, живут там, где, строго говоря, не должны жить. Это, естественно, южане — каштан, грецкий орех, белая акация (ленинградский день для нее слишком долг) и другие породы...»

Наша беседа с О. А. Семихатовой подходит к концу. Я смотрю на виднеющиеся за окном огромные, высотой в десятки метров, деревья Ботанического сада (БИН расположен на его территории). Возле каждого из них дощечки с латинскими надписями. Эти пришельцы из самых разных краев земли молчаливо таят многие нераскрытые еще учеными тайны фотосинтеза.

СОВЕТ КУРЧАТОВА

«Двенадцать дней едешь по той равнине, называется она Памиром; и во все время нет ни жилья, ни травы, еду нужно нести с собою. Птиц тут нет, оттого что высоко и холодно. От великого холода огонь не так светел и не того цвета, как в других местах, и пища не так хорошо варится...»

Это мнение Марко Поло о Памире как о мрачной и пустынной горной стране господствовало столетия. И правда, условия тут суровы. Чуть ли не каждый день, даже летом, замерзает вода. Почвы бедные — пустынные сероземы. В воздухе мало углекислоты. Резкий солнечный свет, иссушающие ветры... Казалось бы, говорить о земледелии на Памире, там, где сошлись горные цепи Тянь-Шаня, Куньлуня и Гиндукуша, где вершины по высоте лишь немного уступают Эвересту, где лежит величайший в мире ледник Федченко, — казалось бы, гово-

рить о растительности в этих местах не имеет смысла. Однако все не так просто. В высокогорных (3600—4200 метров над уровнем моря) долинах Памира растут сказочные растения. Дуб здесь вырастает за год на... три метра. Клубни картофеля могут быть и в два килограмма весом! На подсолнухе удастся насчитать — это на одном-то стебле! — пятьдесят крупных цветов. Деревья многостольностью скорее напоминают кусты. Растения на Памире как бы сошли с ума, демонстрируя резко увеличенную энергию роста. Они хотят одного — расти! Расти как только можно, из всех точек роста, из каждой почки.

Эти растительные загадки Памира давно привлекали к себе внимание ученых. Уже в 1928 году была проведена Таджикско-Памирская экспедиция. А в 1934 году Памирская экспедиция Среднеазиатского (когда-то был и такой) университета



Растения на Памире: сверху слева — гигантские семенники необычной формы, характерные для облученной ультрафиолетом сахарной свеклы (город Пржевальск, 1700 метров над уровнем моря); сверху справа — памирская морковь сорта «Шантене» (вес 1360 граммов); внизу слева — трава «ферула»; внизу справа — гигантская плодоносящая черешня.

имени В. И. Ленина положила начало изучению природных богатств Памира.

В 30-х годах была организована Памирская биологическая станция (Восточный Памир, высота 3860 мет-

ров) и заложен Памирский ботанический сад (Западный Памир, вблизи города Хорога, 2320 метров высоты).

Исследования растений на Памире были начаты. Какие же причины



Общий вид опытного участка в районе города Нарына (Киргизия, 2500 метров над уровнем моря). Укрепленные на столбах светильники — источники ультрафиолета, которыми исследователи облучают растения.

так изменяют местную флору? Космические лучи? Вряд ли, их интенсивность и тут не очень велика. Температура? Высокая сухость и прозрачность воздуха, обуславливающие повышенную солнечную радиацию? А может, ультрафиолетовое излучение, сила которого на Памире раза в полтора выше обычной?

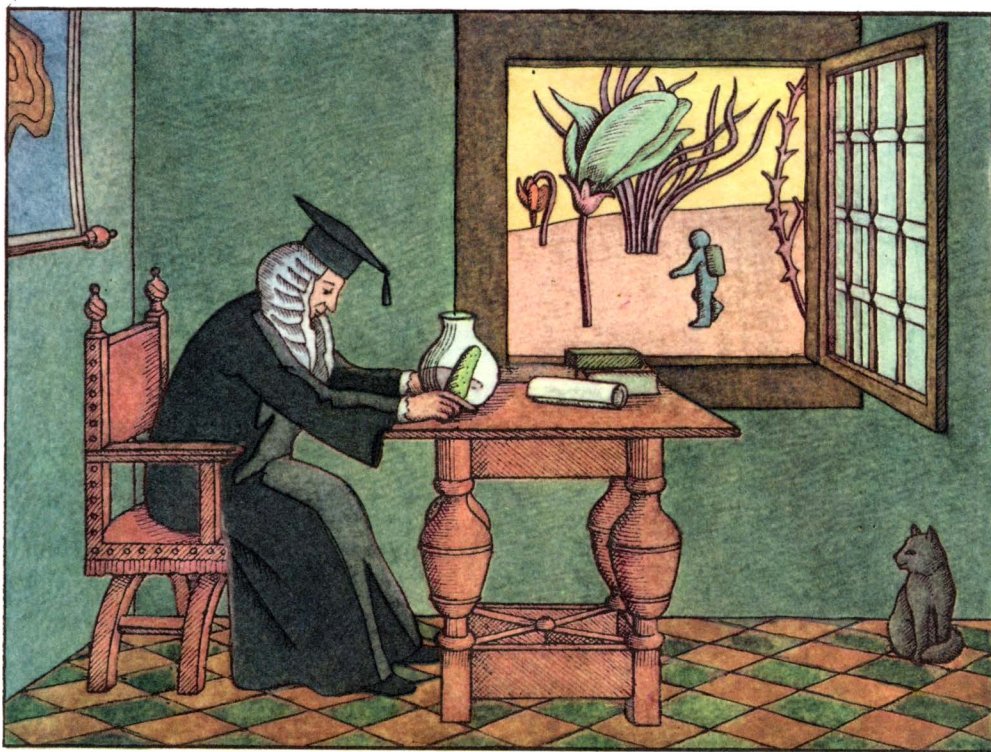
Пока четкого ответа на эти вопросы нет. Горячим сторонником «ультрафиолетового» объяснения памирского феномена является москвич доктор физико-математических наук Юрий Лукич Соколов. Его не останавливает дружное мнение биологов о том, что ультрафиолет (точнее, ультрафиолет С, с длинами волн 280—200 нанометров) способен лишь сгубить растения (считается, что кванты такого света рвут молекулярные связи так же, как рушит

цель прямое попадание крупнокалиберного снаряда).

Соколов знает Памир не понаслышке. Примерно четверть века периодически наезжает он в эти края. Здесь, на Крыше мира, познакомился он с создателем Памирского ботанического сада профессором

Ю. Л. Соколов ведет измерение солнечного спектра с помощью сконструированного им кварцевого монохроматора.





Современным ученым не свойственно сидение в кабинете. Если на других планетах будут обнаружены растения, исследователи фотосинтеза отправятся и туда.

А. В. Гурским, узнал про памирские растительные диковины и рассказал об этом в Москве академику И. В. Курчатову, который очень этим заинтересовался, настойчиво советовал разобраться в явлении и оказал большую помощь памирским биологам. Так что вовсе не случайно одна из действующих установок в Институте атомной энергии имени И. В. Курчатова называлась «Памир».

Множество физических приборов — переносной спектрофотометр, кварцевый монохроматор с электрической регистрацией и другие — было изготовлено московскими физиками для изучения памирских растений. С помощью физиков было доказано, что не только более мягкий ультрафиолет А и В, но и жесткий С на удивление не только

не вредит растениям, но оказывает на них явно стимулирующее действие. Эти исследования сейчас успешно продолжают в Киргизском НИИ земледелия. Надо полагать, ультрафиолетовая загадка растений будет окончательно решена...

К. А. Тимирязев, отдавший изучению фотосинтеза многие десятилетия своей жизни, когда-то с присущим ему юмором, поминая Свифта, говорил о себе как о человеке, сидящем в четырех стенах и сосредоточенно рассматривающем огурец в стеклянной посудине. Да, прежде исследования фотосинтеза велись в основном в лабораториях. Но сейчас, когда он перестает быть загадкой, «космическим сфинксом», начинается новый этап работы ученых.

Видимо, следующие поколения

будут видеть исследователя фотосинтеза человеком, смело пересекающим материки и проникающим в сокровенные связи растений с его естественной средой. И кто знает: если на других планетах или ми-

рах обнаружат растения, основой которых будет уже не углерод, а, скажем, кремний, то исследователи отправятся и туда, чтобы разгадать новые хитрости щедрой на выдумки Природы.

ЗАВЕТ ТИМИРЯЗЕВА

Мы убедились: фотосинтетический аппарат растений — не автомат наподобие автомата для газированной воды или того, что размещают нам в метро мелочь на пяточки, однообразно и бедно реагирующий на внешнее воздействие, а совершеннейшее устройство, способное подстраиваться под меняющиеся условия среды. И значит, у исследователей появляются шансы найти среди растений лучшие образцы.

Поиском этим, в частности, занимался академик Николай Иванович Вавилов (1887—1943). Он изъездил, исключая Австралию, все части света и отовсюду привозил экземпляры заморских растений. Ленинград был для него пристанью, мир — лабораторией. В письмах он шутил: «Подытоживаю в настоящее время земной шар...», «Приведение земного шара в порядок — дело очень сложное и трудное»... (Кстати, заметим в скобках, в 1926 году Вавилов доказал, что родина большинства культурных растений — это как раз горные районы с климатом «памирского типа». Подобные места, их на планете немало, например Эфиопия, по мнению Вавилова, и являются той «кухней», где Природа готовит свои самые совершенные растительные «блюда».)

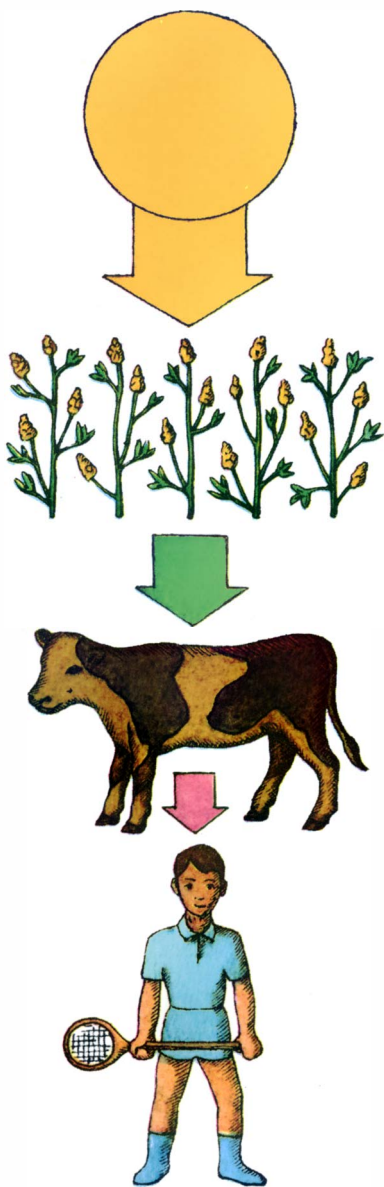
Н. И. Вавилова интересовали многие качества растений, мы же сосредоточим внимание на одном — на их умении преобразовывать энергию. Конкретно поставим вопрос так: насколько умело растения используют солнечный свет? Ну,

подумает читатель, растение-то, это чудо природы? Тут оно должно являть нам образчики совершенства. За миллионы лет шлифовки все случайное и несовершенное должно было быть отброшено. Ясно: коэффициент полезного действия (КПД) зеленой машины должен быть велик.

Увы! Практика показывает иное: в среднем по планете на фотосинтез идет лишь 0,1 процента от всей солнечной энергии, падающей на поверхность листы. Это равносильно тому, как если бы из целого гектара посева с полной отдачей трудились бы всего 10 квадратных метров!

Может возникнуть вопрос: а как определить этот самый КПД растений? Некоторое представление об этом можно получить, выращивая растение и затем сжигая его в калориметре. Так удастся судить о том, сколько растение запасло энергии. Ну а сколько получило ее от Солнца? Здесь помогут физические приборы, с их помощью измеряют поток падающей радиации. Если теперь поделить запасенную растением энергию на полученную им да выразить эту дробь в процентах, то это и будет величина КПД, те самые упомянутые выше 0,1 процента.

Гораздо труднее ответить, отчего КПД растений так мал. Вот что писали об этом, чтобы продемонстрировать расточительность Природы, авторы книжки «Пища будущего» (академик А. Н. Несмеянов и доктор химических наук В. М. Беликов).



В природной кормовой цепочке человеку достаются жалкие крохи.

Чтобы прокормить 12-летнего мальчика телятиной в течение года, нужны 4 теленка. Телят кормит люцерна, и поля в 4 гектара для них достаточно. Но этой траве тоже нужна «еда» — солнечные лучи, их энергия.

А теперь — простая арифметика. Из всей солнечной энергии, падающей на поле, люцерна использует для своего роста лишь 0,24 процента. Из энергии, накопленной люцерной, телята усваивают (на тот же рост) 8 процентов. Из энергии, запасенной, так сказать, телятами, мальчик берет, чтоб вырасти за год и увеличить свой вес на 3 килограмма, 0,7 процента.

Результат оглушительный — мальчику достается только 1 миллионная доля энергии излучения! Остальные 999 999 долей растрачиваются впустую. Страшные цифры, если вдуматься. Выходит, что в природной кормовой цепочке человеку достаются какие-то жалкие крохи! КПД — одна миллионная! В промышленности и говорить не захотят о такой машине. Подобную конструкцию инженеры не станут и рассматривать.

Тут необходимо, правда, отметить, что претензии наши к Природе безосновательны. Она и не ставила перед собой цель прокормить человека. Она кормилец поневоле. Солнце заливает светом поле вовсе не для того, чтобы расти на нем люцерну. Люцерна растет не для того, чтобы ее жевали телята. А те бродят по полю совсем не ради того, чтобы стать отбивными. И у животных, и у растений свои задачи: им надо сохранить себя и дать потомство. А для этого необходимы и несъедобные рога, копыта, шкура, и неперевариваемые желудком человека стебли, листья, корни у растений.

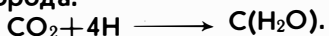
Что мы имеем от растений, нам известно, но есть ли надежда получить больше? Да. На рубеже прошлого и настоящего веков К. А. Тимирязев (уж сколько раз мы цитировали слова этого выдающегося исследователя!) писал: «Недалеко то время, когда благодаря, с одной стороны, актинометрическим исследованиям, составляющим в на-

стоящее время один из предметов забот метеорологов, с другой стороны, исследованиям физиологов... мы будем в состоянии разрешить вопрос, касающийся не только физиолога, но и практика, и экономиста, и вообще человека, интересующегося судьбами человечества... вопрос о предельном количестве органического вещества, которое человек в состоянии получить с известной площади земли при помощи растения...» И далее Тими-

рязев четко сформулировал научную стратегию — добиться увеличения коэффициента использования солнечной радиации растениями до 10—15 процентов. Задумаемся над этими красноречивыми цифрами: 0,1 процента и 15 процентов, реальность и идеал — какие мощные резервы! Какие потенциальные возможности для прогресса уже существующего земледелия! Эти цифры никого не могут оставить равнодушными.

4 КВАНТА ИЛИ 8?

Ближайшая наша задача теперь — получить теоретически указанные К. А. Тимирязевым 15 процентов. Пусть это будет, так сказать, нашим «домашним заданием». Тут нам придется еще раз вспомнить, что делает растение. Оно ловит световые кванты, порции лучистой энергии. Это на «входе», а на «выходе» растение выдает синтезированные им углеводы. Собственно, в растении (если сильно упрощать идущие в зеленом листе процессы) проходит химическая реакция соединения углекислоты, CO_2 , и отщепленных от молекул воды четырех атомов водорода:



Самопроизвольно она не идет. Чтобы запустить этот процесс, и нужна энергия световых квантов. Сколько же их необходимо?

Расчеты показывают: для получения грамм-молекулы глюкозы или, что эквивалентно, грамм-молекулы кислорода (после отщепления от молекулы воды атома водорода остается кислород, который растение выделяет в атмосферу) нужно затратить примерно 120 килокалорий энергии. Хлорофилл и другие пигменты в зеленых листьях растений служат той антенной, которая улавливает излучение Солнца и пре-

образует его в химическую энергию продуктов фотосинтеза. Поэтому трех квантов красных лучей (растения их явно предпочитают, а каждый «красный» квант несет 40 килокалорий энергии) было бы достаточно, чтобы процесс фотосинтеза шел со стопроцентной эффективностью.

Вот так, чисто теоретическим путем, можно установить, что минимальное количество световых квантов — три. Но конечно, потери неизбежны и действительное число квантов (эта величина в науке называется квантовым расходом) должно быть большим. Каким? За ответом я отправился к доктору биологических наук, сотруднику Института физиологии растений Академии наук СССР Леону Натановичу Беллу. Не один десяток лет этот ученый, физик по образованию, занят изучением термодинамики превращений солнечных лучей в растениях. Написанная им монография «Энергетика фотосинтезирующей растительной клетки» была удостоена высокой награды — премии имени К. А. Тимирязева. В этой книге подробно обсуждалась и одна из старых интригующих загадок фотосинтеза — о величине квантового расхода.

Первое измерение этой величины было выполнено еще в 1922 году знаменитым немецким биохимиком и физиологом, позднее лауреатом Нобелевской премии, открывшим природу и функции дыхательных ферментов, О. Варбургом. Он дал методику исследований — респирометр, или просто аппарат Варбурга, прибор для определения небольших количеств выделяющихся газов.

Респирометр Варбурга состоит из большого числа (чтоб сразу можно было вести множество измерений) стеклянных сосудов, к каждому из которых присоединен манометр, дающий возможность следить за тем, как меняется в данном сосуде (в него помещают небольшие проростки, семена, части растений или культуру клеток) давление газа. Температура и объем сосуда, к которому присоединяется манометр, поддерживаются постоянными, и, следовательно, изменения в давлении газов могут быть обусловлены только поглощением газа растительной тканью или выделением газа из нее.

О. Варбург предложил и очень удобный объект для исследований, одноклеточную водоросль — хлореллу (она придает изумрудный цвет тихим заводям и лужам), которая столь прославилась в более поздние годы. (Замечательна хлорелла тем, что при размножении может делиться не на 2, а сразу на 4, 8, 16, 32 и даже 64 части! Ее биомасса нарастает столь же быстро, как растет снежная лавина в горах...) Опыты, которые вели сотрудники О. Варбурга, были по замыслу очень просты. Зная интенсивность поглощенного хлореллой света и определяя количество выделяющегося при фотосинтезе кислорода, можно было оценить квантовый расход. Он оказался равным четырем: четыре кванта света на каждую выделяющуюся молекулу кислорода.

Эффективность фотосинтеза оказалась очень высокой: $3/4$ — 75 процентов! Аналогов этому в технике в начале нашего века не существовало. Тепловые электростанции той поры преобразовывали химическую энергию угля с КПД, не превышающим 10 процентов. (Да и ныне КПД лучших тепловых электростанций не превышает 40 процентов.)

Около 15 лет никто не сомневался в результатах, полученных О. Варбургом. Однако в 1939 году другие исследователи, в основном американские, нашли для квантового расхода величины, близкие к восьми. Интерес к проблеме резко возрос. Критикующие Варбурга исследователи считали его выводы артефактом, методической ошибкой. Однако в ответ на каждое критическое замечание О. Варбург и его сотрудники ставили новые опыты, свободные от недостатков прежних экспериментов. И — удивительно! — всякий раз получались значения квантового расхода, близкие к четырем.

Четыре или восемь? И сегодня нет однозначного ответа. Измеряемые эффекты оказались очень тонкими. Поэтому в научной литературе можно встретить для величины квантового расхода самые разные — от 3 до 12 — значения.

«Насколько важна эта проблема?» — спросил я у Л. Н. Белла.

«Растения все еще остаются для человека высоким образцом. И знать, что обещает самое лучшее и совершенное в Природе, — отвечал мне ученый, — крайне важно. Во всем мире сейчас начинается настоящий солнечный бум (причины тут коренятся в энергетических и экологических трудностях). Многие ученые, инженеры, конструкторы и изобретатели строят различные варианты искусственных листьев, которые должны использовать даровую энергию Солнца. Поэтому про-

блема квантового расхода остается актуальной: нам надо твердо знать, на что мы тут можем надеяться...»

Вот теперь, познакомившись с понятием квантового расхода, уже можно оценить потенциальный КПД растений. Приведем простые соображения (они принадлежат академику А. А. Красновскому). Чтобы связать между собой молекулы воды и углекислого газа и образовать молекулу глюкозы, достаточно трех квантов красного света. Растения же реально поглощают больше: от 8 до 12 квантов. Возьмем среднюю величину — 10 квантов. Таким образом, они действуют с КПД примерно 30 процентов. Но растения способны использовать далеко не всякое излучение. Ультрафиолет для них недоступен. Эти лучи вызывают в молекулах пигментов растений многообразные разрушения: происходит денатурация белков, рвутся химические связи... Не по вкусу растениям и инфракрасная область спектра. Эти лучи очень бедны энергией, их утилизируют лишь некоторые виды фо-



Исследовать тайны растений помогает аппарат Варбурга (Институт биохимии имени А. Н. Баха АН СССР).

тосинтезирующих бактерий. В итоге лишь половина доступной для растений энергии солнечного излучения, та, что лежит в видимой области солнечного спектра, является для растений фотосинтетически полезной радиацией.

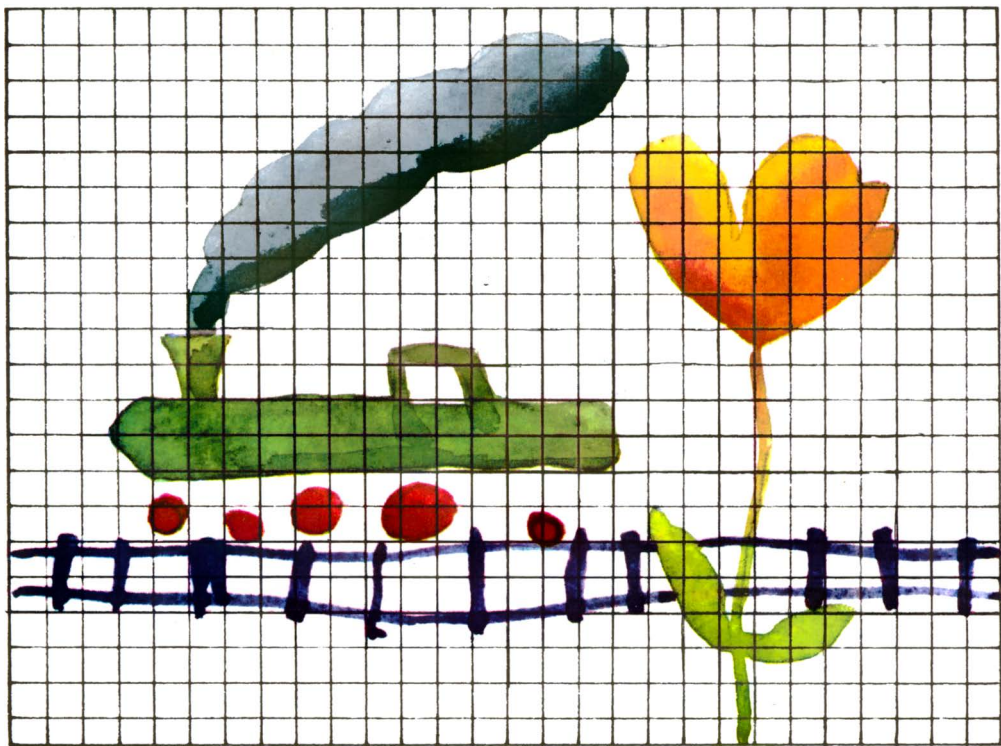
А посему, рассуждая грубо, и получается, что максимально возможный КПД растений при фотосинтезе составляет примерно $30/2 = 15$ процентов.

ТЕРМОДИНАМИКА РАСТЕНИЙ

Дальше рассказ хотелось бы вести столь же бесхитростно, как незатейливо рисуют маленькие дети... Вот паровоз с трубой, из трубы валит черный дым. А рядом оранжевый цветок — головка на тонком стебле с зелеными ручками-листочками. Если поглядеть на эту картинку глазами взрослого, можно отметить «классификационное» свойство, включающее в некое единство и цветок, и паровоз. Ведь и то и другое, в конце концов, энергетические устройства. Паровоз преобразует в движение запасенную в угле химическую энергию. А растение превращает энергию световых квантов в химическую энергию продуктов фотосинтеза.

Паровоз давно сдан в архив техники. Он, оказывается, ел за десятилетия, а работал вподсилы: его КПД не превышал 7—8 процентов (из каждого килограмма угля, что поедал бедолага-паровоз, на пользу ему шло всего-навсего 70—80 граммов). А растение? Ведь его КПД гораздо меньше, чем у паровоза, не пора ли и с ним распрощаться? Увы, сделать этого мы пока не можем: растения все еще наши главные кормильцы.

Для того чтобы растения «работали» интенсивнее, многое сделано и многое делается. Поля снабжают водой, удобрениями, микроэлементами. Однако и в этих условиях КПД растений все еще остается на



И цветок и паровоз на детском рисунке представляют собой просто энергетические устройства, преобразующие энергию из одного ее вида в другой.

уровне половины, в лучшем случае — одного процента. Может быть, стоит проследить судьбу тех квантов света, которые вроде бы растрачиваются впустую? Скорее всего, растение тратит их на внутренние нужды. Но какие? Чтобы выяснить это, вновь задумаемся над аналогией машина — растение.

Максимально возможный КПД тепловой машины определил французский физик Сади Карно (1796—1832) еще в 1824 году. Его расчеты покоились на законах тогда только зарождавшейся науки — термодинамики. Сейчас наши познания в ней обширны. Так нельзя ли попытаться приложить те же законы к растениям? (Ведь добились же ученые и инженеры того, что КПД современных тепловозов в несколько раз выше, чем у паровоза!)

Подобные попытки делаются давно. О выводах, которые следуют, если приложить законы термодинамики к биологическим объектам, говорили и писали, в частности, еще К. А. Тимирязев, В. И. Вернадский (1863—1945) и другие наши ученые. В Днепропетровском химико-технологическом институте имени Ф. Э. Дзержинского термодинамику растений стал развивать доктор химических наук, профессор Октавиан Станиславович Ксенжек. Автор этой книги, будучи в Днепропетровске, беседовал с ним.

«Располагаясь на границе между почвой и атмосферой («борода» корней в земле, «шевелюра» листьев в воздухе), растения обеспечивают интенсивный обмен веществом между ними, — рассказывал Ксенжек. — Все эти процессы долж-

на рассматривать термодинамика растений. Надо детально разобраться в структуре энергетических затрат отдельного растения».

Эти слова О. С. Ксенжека свидетельствуют: ученые сейчас хотя понять, куда теряются кванты света и нельзя ли уменьшить величину этих потерь. Ведь тогда, очевидно, максимально возможный КПД растений значительно возрастет. А вместе с ним поднимутся реальные урожаи.

Если же заглянуть еще дальше, то, учитывая тенденцию к возрастанию энергетической цены единицы урожая при интенсификации сельскохозяйственного производства, нужно будет термодинамическими методами рассмотреть и об-

щие принципы, определяющие условия энергообмена между биологической и технической подсистемами сельского хозяйства. Таким образом можно будет оценить уровни неизбежных затрат энергии и, сравнивая их с реальными затратами, судить о степени совершенства различных процессов сельскохозяйственного производства с точки зрения энергетики. (Добавим к этому: кто самый крупный потребитель энергии? Не металлургия, не транспорт, не химическая промышленность, а... сельское хозяйство! За несколько летних месяцев растения на наших полях получают от Солнца в 1000 раз больше энергии, чем ее вырабатывают за целый год все электростанции страны.)

НА ИНЖЕНЕРНУЮ ОСНОВУ

«Когда о человеке образно говорят, что он живет растительной жизнью,— помню, шутил Ксенжек,— сразу становится ясно, что он пассивен и бездеятелен. Но реальная жизнь растений отнюдь не пассивна и вовсе не бездеятельна. Чтобы жить, растение должно непрерывно работать, должно выполнять массу разнообразных, сложных и тесно взаимосвязанных между собой функций, требующих больших затрат энергии...»

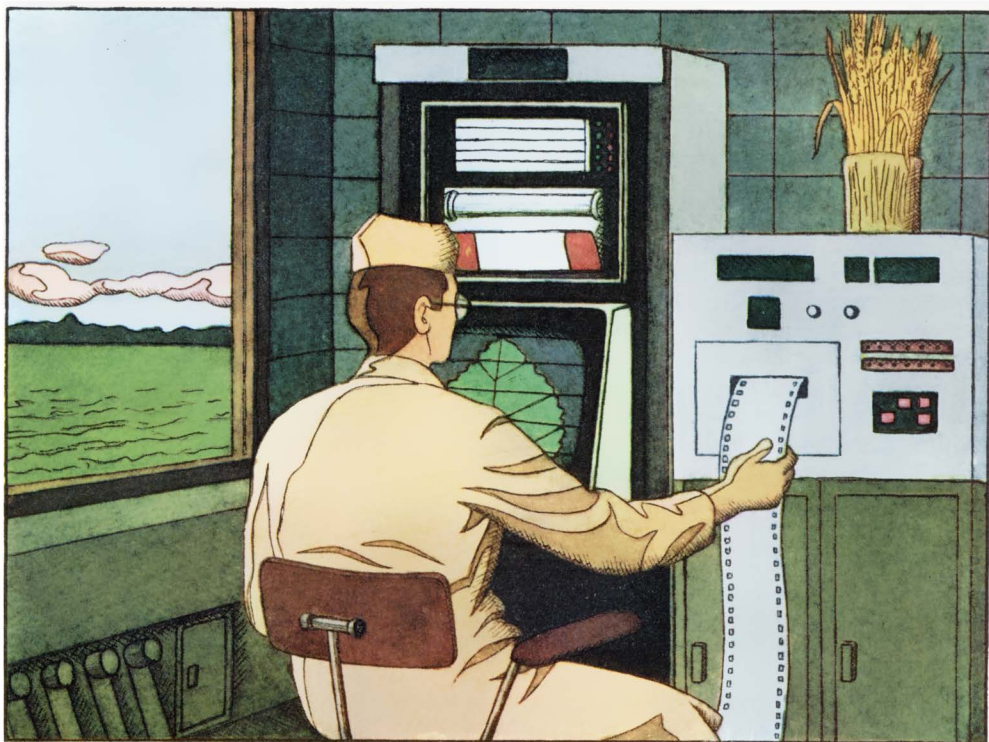
Да, хлопотлива жизнь растений. Они, словно пограничники, охраняющие незримые рубежи между мертвящими космическими просторами (тут три опасности: P-, T- и g- нули — нулевые давление, температура и сила тяжести) и неприступной твердью земных недр.

Прослойка жизни на планете очень тонка и хрупка, оберегают ее растения. Они гасят, умиротворяют (защитный слой озона в атмосфере создан растениями!) враждебные силы космоса, вторгающиеся к нам на Землю в виде космических лу-

чей и ультрафиолетового излучения, они же творят на планете сносные для жизни условия.

Растения извлекают из почвы, прокачивают сквозь свои тончайшие сосуды и выбрасывают в атмосферу в виде паров громадное количество воды — порядка тысячи тонн на тонну урожая. Они впитывают из почвы минеральные вещества, разбавленные землей в миллион раз. Буквально по крохам собирают из воздуха углекислоту. Самое же главное — растение выполняет важнейшую для человечества функцию — фотосинтез. И все это требует затрат энергии. К сожалению, энергоемкость тех или иных функций у растения известна лишь очень приблизительно и недостоверно.

Чтобы просветлить темные места в энергетике растений, профессор О. С. Ксенжек взялся за термодинамические расчеты. И сразу возникло много недоуменных вопросов. Так, скажем, выяснилось, что если даже в процессе дыхания растение «сожжет» все накопленные



В будущем конструкторы создадут «рабочие чертежи» нужных нам растений.

им ранее продукты фотосинтеза, то и тогда оно будет не в состоянии энергетически обеспечить комплекс идущих в нем активных процессов жизнедеятельности.

Напрашивается предположение, что большая часть полезной работы совершается растением не через цикл связывания углекислоты и последующего окисления продуктов фотосинтеза, а минуя его. Но что это за загадочные механизмы, позволяющие растению как будто непосредственно использовать солнечную энергию? Ответа пока нет.

Так же неясна судьба большей части энергии, поглощенной растительными пигментами. Обычное объяснение, что эта энергия «просто» превращается в тепло, в сущности, ничего не объясняет. Оно только переводит проблему из сферы физики в сферу биологии: если

высокоспециализированные светопоглощающие системы растения работают в значительной мере вхолостую и даже нагружают растение избыточным теплом, то почему эти системы не были отбракованы эволюцией?

Напрашивается еще одна гипотеза: а правомерно ли рассматривать растение только как химическую машину? Не есть ли это еще одновременно и машина тепловая? Не действуют ли растения как тепловые насосы?

Традиционно считается, что в процессе испарения воды листьями растение освобождается от избыточного тепла (полагают, что у водных растений такой статьи расхода нет, что это еще один секрет высокой продуктивности хлореллы, этой будущей пищи звездоплавателей). Однако можно показать (вновь

термодинамика!) что при определенных условиях испарение влаги сопровождается охлаждением окружающего воздуха, а вовсе не растения!

Осознание подобных парадоксальных фактов имеет большое значение. Оно может в корне изменить стратегию подхода к повышению продуктивности растений.

Исторически получилось так, что больше всего ученые потратили сил на изучение энергетики фотосинтеза, и даже сейчас все нацелено на это. А практики, следуя рекомендациям ученых, всячески стремятся облегчить растениям эту их функцию. Но может быть, человек тут берется за дело не с того конца? Может быть, облегчив растению выполнение более трудоемких для него задач, удастся скорее добиться желаемого? И тогда мечта о КПД в 15 процентов станет реальностью?

Возможности нового, термодинамического подхода трудно переоценить. Ведь он позволит осознать принципиальные пределы продуктивности различных видов растений в разных условиях, аналогично тому, как в технике рассчитывается предельный КПД тепловых машин.

Дело будет поставлено на инженерную, технологическую основу.

Конструкторы растений положат на стол «рабочие чертежи» нужных нам растений, выведут формулы их жизнедеятельности. Укажут оптимальную ширину капилляров, что облегчит испарение — этот, возможно, наиболее тяжелый для растений процесс (жизнь возникла в воде, растения «высадились» на сушу лишь недавно, и жить на ней им нелегко).

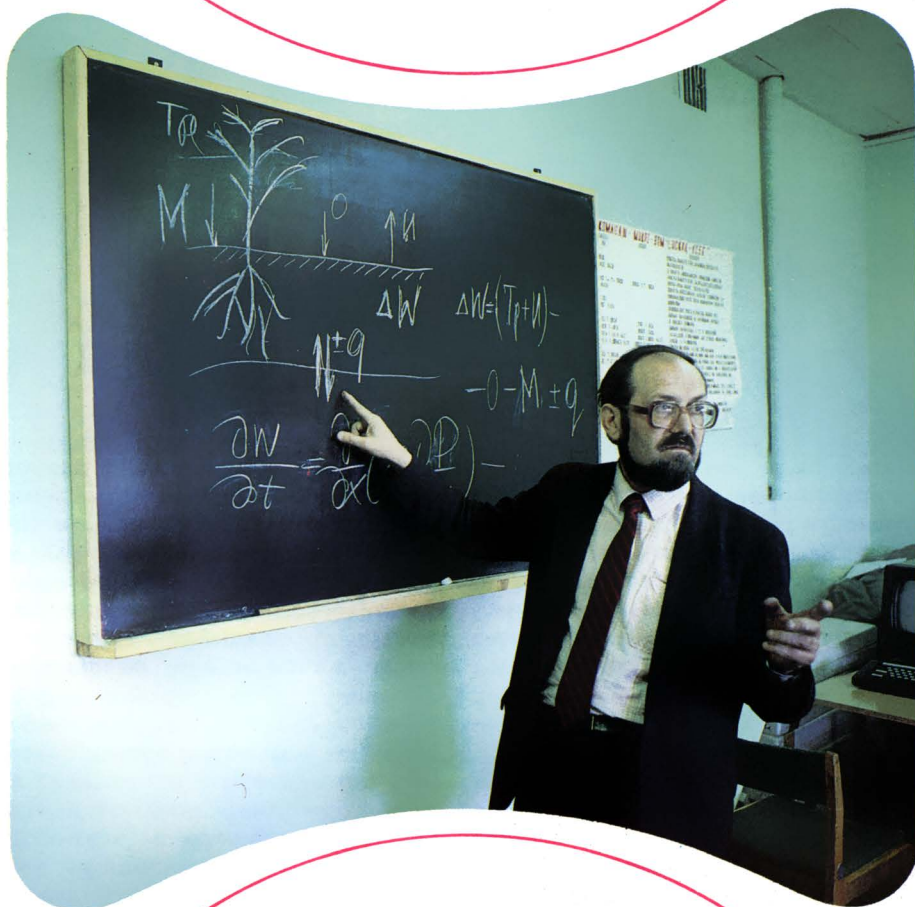
Ученые вычислят необходимую архитектуру листы, позаботятся о надлежащей «фигуре» растений (сейчас человек, заботясь лишь о плодах, делает ставку на «толстяков», а они, увы, страдают одышкой) и не только усовершенствуют конструкцию растительных машин, но и укажут правила их грамотной эксплуатации...

Пока все это еще мечты. Подобные той, что некогда высказал академик Петр Петрович Лазарев (1878—1942). Он хотел, чтобы занимающий крышу дома сосуд с водой, в которой разведена хлорелла, полностью обеспечивал разнообразным и высококачественным питанием население этого дома в течение года.

Пока мечты. Но знание вечных законов Природы, которые открывают ученые, прокладывает пути к тому, чтобы мечты стали реальностью.

...каждый луч Солнца,
не уловленный нами,
а бесплодно отразившийся
в мировое пространство,—
кусок хлеба,
вырванный изо рта
отдаленного потомка.

К. А. Тимирязев



ГЛАВА 6



МАТЕМАТИКА УРОЖАЯ

Возделывание земли — важнейшее с древних времен занятие человека.

Постепенно сформировалась и наука об основных законах этого дела — агрономия. Но все ли мы знаем сейчас? Как наилучшим образом выращивать сельскохозяйственные культуры? Как получать высокие и устойчивые урожаи? Разумеется, нет. До этого еще далеко. Слишком сложными оказались связи посева с климатом, погодой, характером почвы и с другими влияющими на урожай факторами.

А между тем требования к сельскому хозяйству все растут. В нашей стране основные направления этих задач связаны с реализацией биологических аспектов Продовольственной программы. В первую очередь программы зерновой независимости. Перед хлеборобами поставлена новая цель — выход на гарантированное производство зерна не менее одной тонны на человека, жителя нашей страны, в год. Что составляет около 300 миллионов тонн зерна. В этом трудном деле хлеборобам и работникам других отрядов сельского хозяйства все более весомую помощь начинает оказывать царица наук — математика.

БУХГАЛТЕРИЯ ПОСЕВА

Земледелец древности брал то, что давала Природа: в лучшие годы довольствовался урожаем в 3 центнера зерна с гектара. Переход к трехпольной системе земледелия и сохе, появление железного плуга, введение бобовых в севооборот примерно удвоили урожаи (даже в 1913 году средний урожай зерновых по России составлял 8,2 центнера с гектара). Минеральные удобрения увеличили «природную дань» растений до 16 центнеров с гектара — это тот стопудовый урожай, о котором поется в народных песнях. Такие урожаи зерновых у нас в стране стали получать устойчиво на больших площадях лишь 10—15 лет назад. Следующий рубеж связан с ЗЕЛеной РЕВОЛЮЦИЕЙ. Создание сильных сортов, селекция на экстенсивный продукционный процесс довела урожаи пшеницы до 300 пудов с гектара (50—55 центнеров с гектара). Конечно, всюду мы приводим средние цифры, отдельные достижения могут быть и выше. Так, недавно на Пржевальском сор-

тоучастке в Киргизии (Памир) был собран рекордный урожай озимой пшеницы — 126 центнеров в пересчете на гектар. (В Англии существует особый клуб фермеров. Его членом может быть только тот, кто регулярно собирает по 100 центнеров зерна с гектара. Так членство в этом клубе превращается в своеобразную саморекламу.)

100 центнеров с гектара — это реальность. Сейчас практики подбираются (во всяком случае, мечтают об этом) к цифре 400 центнеров с гектара. Ну а выше? Можно ли поднять «планку» урожая? Кто ответит? Расчеты. И вести их без математики невозможно.

Первым попытался вывести уравнение посева, померить числом труд земледельца, оценить, сколько человек в состоянии ожидать от поля, русский ученый, член-корреспондент АН СССР Леонид Александрович Иванов (1871—1962).

В 1941 году в сборнике работ по физиологии растений, посвященном памяти К. А. Тимирязева, появилась статья «Фотосинтез и урожай». В ней Л. А. Иванов дал первое ставшее классическим уравнение урожая.

Доктор технических наук Е. П. Галямин читает лекцию о жизни растений.



В выполнении Продовольственной программы принимают участие практически все население нашей страны, в том числе и школьники.

Л. А. Иванов отдал науке почти 70 лет своей долгой жизни, опубликовал около 200 научных трудов. Ботаник, физиолог, биохимик (он был первым русским ученым, экспериментально изучавшим нуклеиновые кислоты, которым сейчас уделяется — наиболее известны знаменитые ДНК и РНК, дезоксирибонуклеиновые и рибонуклеиновые кислоты, — такое большое внимание в науке).

А начался для московского гимназиста шестого класса путь в науку тогда, когда во время летних каникул ему случайно попала научно-популярная книга К. А. Тимирязева «Жизнь растения». Позднее Иванову посчастливилось слушать лекции Тимирязева в Московском университете, на естественном факультете. Тогда-то и жизнь свою он стал планировать «по Тимирязеву» — начал изучать (биолог!) главным

образом физику и химию и уж затем ботанику и другие биологические предметы.

Много раз Л. А. Иванов круто менял свои научные пристрастия. Начинал с изучения водорослей, позже увлекся фосфором, его ролью в обмене веществ у растений, потом обратился к исследованию экологии и физиологии древесных растений — самых сложных растительных организмов. Большой опыт в изучении фотосинтеза (с 1940 года он возглавил лабораторию фотосинтеза в Институте физиологии растений АН СССР), желание сделать свою научную деятельность полезной для общества помогли Иванову, когда он писал статью «Фотосинтез и урожай».

Под урожаем, стремясь всемерно упростить очень сложную задачу, Л. А. Иванов понимал вес всей вновь образуемой массы растений за учетный (летний сезон) период. А главным «двигателем», который способствует накоплению зеленой массы растений, ученый считал фотосинтез.

В сущности, Л. А. Иванов рассмотрел самый простейший баланс запасаения (фотосинтез) и расхода (процесс дыхания) углерода в растениях. Этот баланс имел такой вид:

$$M + m = fPT - aP_1T_1,$$

где буквами обозначены: M — сухой вес растений за учитываемый период, m — вес отпавших за то же время частей (желтеющие листья, погибшие стебли и так далее), P — величина общей листовой поверхности (тогда еще считали, что интенсивность процесса фотосинтеза пропорциональна площади листьев), T — рабочее время фотосинтеза, f — интенсивность этого процесса, P_1 — «дышащая масса», T_1 — время дыхания, a — его интенсивность.

Итак, простой баланс. Урожай (сумма $M + m$) тем больше, чем

мощнее идет процесс фотосинтеза (fPT) и чем меньше потери (aP₁T₁).
Приход-расход, бухгалтерия, гро-

зящая статья (мы в этом позднее убедимся) тонкой и изощренной математикой.

«ЧЕРНОЕ» СТАНОВИТСЯ «СЕРЫМ»

К чему сводится работа земледельца? К тому, чтобы создать растениям необходимые для развития условия. Обходится это недешево, и все ж урожай до сих пор во многом остается делом случая. Но есть ли сегодня возможность точно рассчитать, сколько принесет зерна, клубней, ягод данный участок земли? Разберемся в этом.

Прежде многое решалось на глазок, экспертным, так сказать, путем. Агроном, задумываясь над тем, сколько он мог бы взять с данного конкретного поля, начинал комбинировать несколько наиважнейших влияющих на урожай факторов: думал о том, какая ожидается погода, что потенциально может дать возделываемый сорт, прикидывал ресурсы воды, наличие удобрений... Вспоминал и о том, какие были здесь достигнуты в прошлом сборы зеленой продукции. Так прогнозировался урожай прежде. Точность таких оценок? Больших требований и не предъявлялось: так, прикидки, ориентиры.

Но время шло, копились знания, понимание совершающихся в недрах посева процессов становилось все более полным. Посев начали рассматривать как открытую, растущую, развивающуюся, генетически запрограммированную систему, или «зеленую машину», которая потребляет из окружающей среды энергию и необходимые ей вещества — углекислый газ, воду, минеральные соли и прочее — и продуцирует нужную для человека органику.

Собственно, это был уже чисто кибернетический подход. С позиций кибернетики идущие в посеве

процессы можно изучать как функционирование некоторой очень сложной саморегулирующейся системы со множеством обратных связей.

А сам посев? Вначале он мыслился просто как «черный ящик» (на входе — факторы внешней среды, на выходе — урожай), детали идущих в посеве процессов можно было и вообще считать полностью неизвестными. Но конечно, постепенно «черное» становилось «серым»: в кибернетические модели стали вводить и различные характеристики растений. И чем дальше, тем их становилось больше. Так на бумаге в различных вариантах стали вырисовываться основные блоки системы «почва — растения — атмосфера». Эти квадратики, кружочки (ради красоты и легкости обозрения их раскрашивали в яркие цвета) стали соединять линиями-стрелками, отмечая связи и взаимовлияния частей модели-схемы. Так можно было судить, куда переносятся потоки лучистой энергии, тепла, влаги, где фиксируется приход углекислого газа.

По существу, здесь действовал, торжествовал тот же, что и в уравнении Л. А. Иванова, балансный подход. Только он очень усложнился. Так трудом многих исследователей разных стран создавались и совершенствовались модели урожая.

Теперь о роли математики. Без нее труд ученых, занятых исследованием отдельных биологических процессов, оказался бы для теории урожая потерян. Мозаику отдельных частных надо было соединить в стройную картину. (Это

положение, как остроумно заметил один математик, аналогично тому, как если бы, взглянув на разобранные детали часов, мы попытались узнать по ним, который теперь час. И как бы хорошо детали эти ни были изготовлены, они никогда не покажут время, пока мы их правильно не соединим и не приведем в движение.)

В теории урожая (говорят еще о теории продуктивности посева, значительный вклад в это дело внесли советские ученые — член-корреспондент АН СССР А. А. Ничипорович, Ю. К. Росс и другие) «узнать время» удалось только лишь благодаря математике. Дело в том, что за линиями, связывающими главные блоки «зеленой машины», скрываются формулы и уравнения (часто очень сложные, дифференциальные и интегральные — высшая математика!), которые количественно описывают обмен энергией

и веществами. Так физическая, кибернетическая модель стала еще и математической, содержащей сотни коэффициентов и параметров. Понятно, манипулировать таким обилием данных не смог бы даже первоклассный математик. Тут требовалась помощь вычислительных машин, самых современных, обладающих колоссальной памятью.

Что все это дает? Многое. Специалисты получили возможность проводить самые разнообразные численные эксперименты, с тем чтобы отвечать на вопросы типа: «Что будет, если?..» Еще можно просчитывать, как формируется урожай при разнообразных начальных состояниях посева. Еще — писать «сценарии» развития, эволюции посева той или иной культуры во времени.

Появились и совершенно новые возможности. Об одной из них стоит рассказать особо.

ГОСПОЖА УДАЧА

Поговорим о «программировании урожая». Прежде такого термина не существовало. Это новейшее приобретение сельскохозяйственной науки. Его суть в том, что человек хочет не просто ставить сельхозрекорды, получать урожай по 400—500 центнеров зерновых с гектара (биофизики считают, такое вполне возможно). Он еще желает научиться управлять урожаями, «проектировать» их и, главное, делать их гарантированными.

Большой урожай — это всегда совпадение труда земледельца, его усилий с благоприятными внешними условиями, прежде всего погодой. Но такая лотерейная, так сказать, удача — редкость. Уповать только на подарки судьбы не стоит. Жизнь требует иного. Необходимо так ставить задачу, чтобы на каждом поле брать столько зерна, кар-

тофеля или хлопка, сколько данная нива способна дать (разумеется, если не стряслись какие-нибудь природные беды: градобои, суховеи, резкие спады температуры). Вот тут мы и подходим к программированию урожая. К направлению, которое начало развиваться в науке совсем недавно (его у нас в стране возглавил академик ВАСХ-НИЛ Иван Семенович Шатилов).

Конечно, есть обстоятельства, которые не подвластны пока воле человека. Особенно погодные: внезапные морозы, губящие озимые, незапланированная жара, не ко времени затяжные дожди. Как же в этих условиях программировать урожай? Как добиваться стабильности?

В романе Г. Уэллса «Пища богов» животные и растения от чудесной пищи выросли до гигантских размеров.



Какие принимать меры? И можно ли?

Математика отвечает «да». Точный количественный учет всех факторов — особенности данного региона, режим влагообеспечения, минеральная подкормка растений и так далее — позволяет сформулировать условия, необходимые для получения гарантированных, скажем, 30 центнеров зерновых с каждого гектара (естественно, в среднем).

Но допустим, мы хотим получить не 30, а 40. Что ж! Следует, отвечает математика, принять дополнительные такие-то и такие-то меры. Хотите получить 50? Необходимо сделать сверх этого еще то-то и то-то. Совершенно понятный ход событий: сколько вложишь труда и средств, столько и получишь! (Как говорят в народе, без труда не вытащишь и рыбку из пруда!)

И все-таки как быть со случайностью? Ведь обстоятельства каждый год складываются по-иному. Раз на раз не приходится! Накладки, сбои, непредвиденные трудности неизбежны. «Рулетка» Природы вертится безостановочно. И (вспомним песенку Булата Окуджавы) госпожа Удача то смотрит земледельцу прямо в лицо, то откровенно поворачивается к нему спиной. Годы неудач неизбежны, тут уж ничего не поделаешь. Но программирование урожаев и не ставит себе целью раздавать страховки, начисто устранять урожайные аварии. Нет, задача здесь другая. Когда толкуется об определенной величине урожая, одновременно обязательно указывается и вероятность (снова математика — теперь уже теория вероятностей) его получения. Если, например, вероятность получения указанного урожая равна 0,6, это значит, что в шести из каждых десяти лет будет получен урожай, равный или несколько больший запрограммированного. В то же вре-

мя в остальные годы урожаи могут быть и меньше запрограммируемого.

Но, допустим, нас не устраивают 6 шансов из 10. Что ж, можно и уменьшить степень риска, заложив в расчеты новую вероятность получения урожая, скажем 0,9 (девять благоприятных сезонов на один неблагоприятный). Понятно, величина запрограммированного урожая при этом будет меньше, чем в случае с шансами 0,6. (Если, конечно, земледельцы не пойдут на новые траты, на дополнительные усилия: ассигнования денежных и материальных средств, профилактические меры и т. д.)

До сих пор в рассуждениях об урожае мы слово это трактовали по Л. А. Иванову: определяющим процессом тут молчаливо считался фотосинтез. Казалось бы, мысль эта очевидная, не стоило ее и оговаривать. Однако не все согласны с этим. Академик С. П. Костычев, например, по этому поводу писал так: «Не фотосинтез создает урожай, а само растение с помощью фотосинтеза, в зависимости от внешних условий». Гораздо более важными, чем фотосинтез, С. П. Костычев считал процессы роста и развития.

Рост растения. Интереснейшая тема! В романе Герберта Уэллса «Пицца богов» от чудесной пищи цыплята становились величиной с лошадь, крапива могла тягаться ростом с пальмой, крысы были страшнее тигра и по земле разгуливали люди-гиганты величиной с колокольню. Развитие растений. Конечно же, этот процесс, как и фотосинтез, для урожая ключевой. Не будем обсуждать детали и тонкости спора, возникшего между научными школами С. П. Костычева и Л. А. Иванова. Однако совсем обходить проблему «рост растений и урожай» нам не следует.

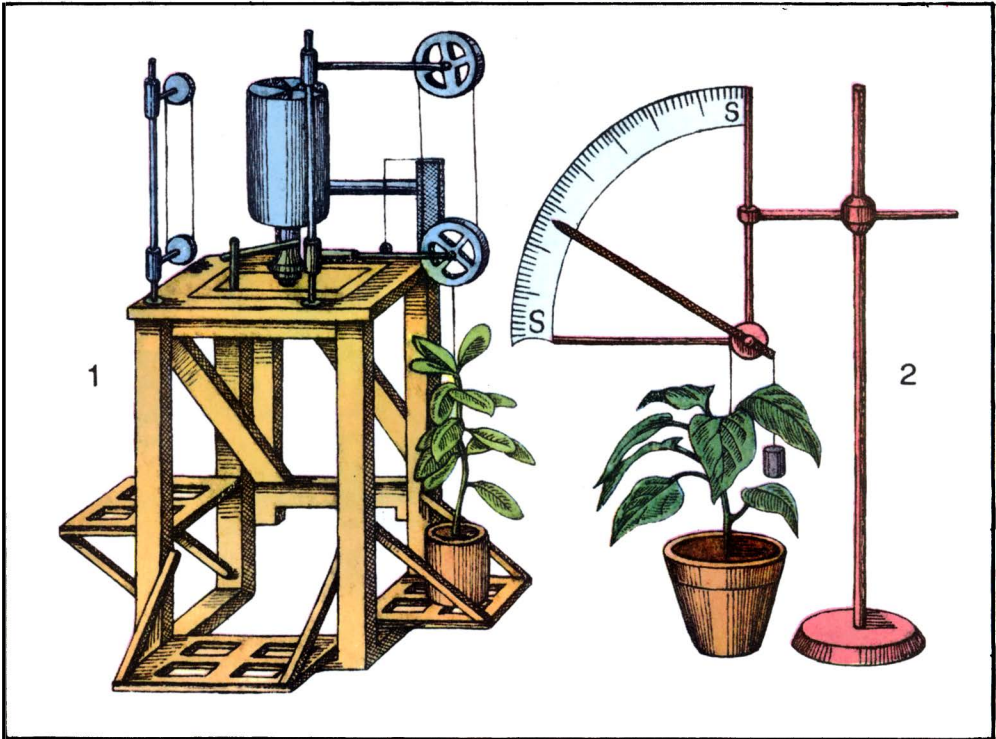
«АУКСАНО» ЗНАЧИТ «РАСТУ»

Кто-то сравнил удивительную координацию развития растения (так, все листья на дереве могут развернуться в один и тот же день) с координацией движений артиста, использующего все пальцы рук и обе ноги, чтобы играть четырехголосную фугу Баха. Этот образ вспомнился мне, когда я входил в здание ордена Трудового Красного Знамени Белорусского научно-исследовательского института земледелия, что находится в городе Жодино под Минском. Здесь, как я слышал, изучению роста растений придают особое значение и даже сконструировали для этого специальные приборы — ростомеры. Правда, сознаюсь, эти устройства представлялись мне совсем по-

иному. Вообразите, что рост измеряют таким необычным способом. Нить с грузом перекидывается через подвижное колесико и... прикрепляется к вихрам ребенка. Постепенно — с годами! — груз будет опускаться, и связанная с ним стрелка на особой шкале будет отмечать увеличение роста.

«То, что не годится для людей,— говорил мне кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии растений БелНИИ земледелия Константин Георгиевич Шашко,— может быть полезным, когда имеешь дело с растениями. Ведь в их жизни есть периоды, когда они растут буквально не по дням, а по часам. К примеру, побеги бамбука за минуту

Приборы для измерения роста растений: 1 — ауксанометр конструкции русского ботаника И. Баранецкого (на нем можно работать сразу с двумя растениями); 2 — дуговой ауксанометр.



вытягиваются на доли миллиметра, что в пересчете на сутки дает десятки сантиметров прироста...»

Измерение роста растений (честно признаемся, что понимать под ростом,— об этом ученые спорят до сих пор) дело деликатное. Казалось бы, тут достаточно простой линейки. Так и поступают обычно на практике. Однако точность таких промеров невелика, потому их проводят не чаще чем раз в 5—10 дней. Часы, минуты и даже секунды? Они также подвластны исследователям. К их услугам микроскопы с окулярными микрометрами, разнообразные средства фотографии и кинематографа. Но здесь ученый уже вынужден вести наблюдения за ростом в узких стенах лаборатории, а не в открытом поле. Можно ли обручить точность с простотой? Можно ли создать дешевые механические ростомеры, производство которых легко было бы наладить в любом месте и в количествах, обеспечивающих довольно обширную программу исследований? Приборы, одинаково пригодные и в лаборатории, и в полевых условиях? Да, можно. Такие устройства — ауксаногграфы («ауксано» по-гречески значит «расту»), автоматически без повреждений регистрирующие линейные изменения величины надземных органов растений — стеблей, листьев, побегов, ветвей, соцветий — и находящихся в почве, скрытых от глаз корнеплодов, клубней картофеля, — создал коллектив ученых, которым руководит академик — секретарь ВАСХНИЛ Виктор Степанович Шевелуха.

«Каждый вид растений, — рассказывал Шашко, — имеет специфическую ауксанограмму. В ней за-

шифровано многое: способность данного растения переносить холод, засуху, циклы его роста, «простои» в развитии, когда рост временно прекращается. Ну а кроме того, рост растений — это один из важных количественных показателей урожайности посевов...»

На своих публичных лекциях (в Политехническом музее) К. А. Тимирязев любил демонстрировать эффектный опыт. Ученый добился того, что «голодное» растение звонком колокольчика давало знать о своих нуждах. Растение «требовало», чтоб его кормили! Не то в жизни. При испытаниях в камерах искусственного климата, на полянках селекционера, в поле растения кажутся абсолютно немymi, и исследователям нелегко угадать все желания, удовлетворив которые можно было бы увеличить урожай. Я напоминаю Шашко об опытах Тимирязева.

«Не согласен, — говорит Константин Георгиевич. — Растения вовсе не страдают немотой. Они многими путями сигнализируют о своих нуждах и бедах. И главный сигнал — их рост...»

Рост — самая действенная реакция растений на изменение внешней среды. Растение может увеличить площадь своей листовой, пустить дополнительные побеги, может оно и добровольно отказаться от какой-то части своих органов. Вот так — для умеющих читать книгу Природы — рост растений, понимаемый в широком смысле, становится индикатором их состояния. Сигналом для принятия соответствующих экстренных мер. Так возникает и возможность для прогнозирования видов на будущий урожай.

ПОГОДА — УРОЖАЙ — МАТЕМАТИКА, ИЛИ ПРОСТО ПУМ

Но перед тем, как взрезать начнем незнакомое поле, Надобно ветры узнать и различные смены погоды...

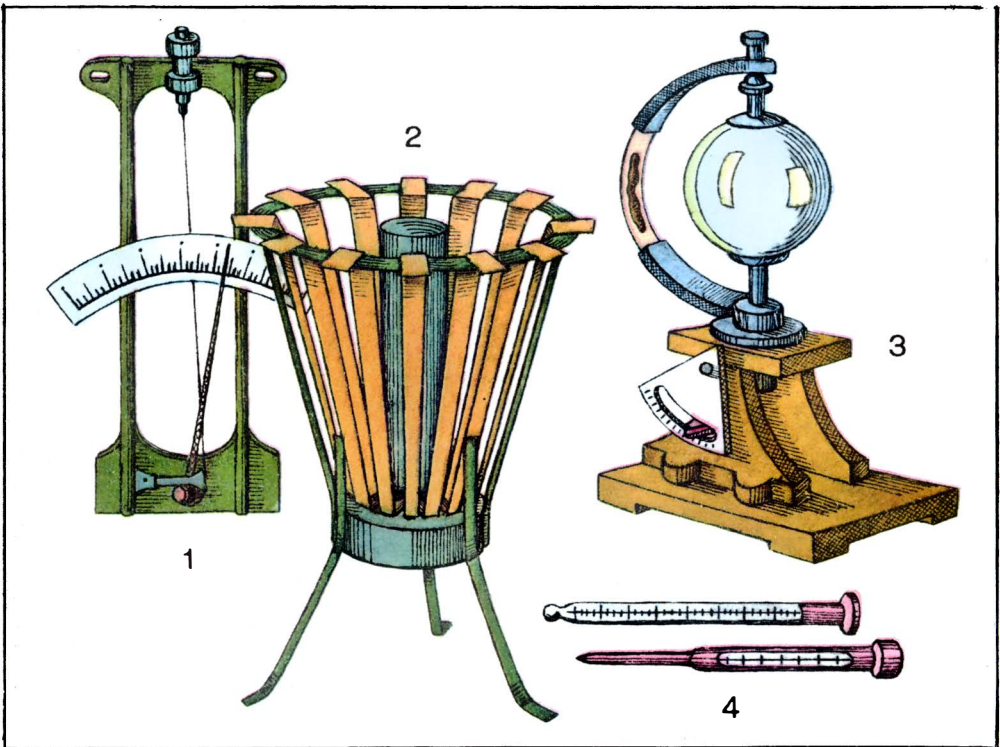
Вергилий

Фотосинтез, ростовые процессы — это, несомненно, ведущие факторы в борьбе за урожай. Но можно ли забывать о погоде? По данным американских специалистов, ежегодные убытки национальной экономики США от неблагоприятной погоды составляют около 13 миллиардов долларов. Из них 8 миллиардов приходится на сельское хозяйство. Даже в условиях высокой культуры земледелия погода по-прежнему остается лимитирующим фактором в сельском хозяйстве. И неопределенность отклика растений

на климатические зигзаги оборачивается огромными потерями.

Предотвращение этих убытков — в первую очередь, конечно, забота агрометеорологов. В нашей стране агрометеорологическая служба, или просто «Служба урожая», была создана декретом Совета Труда и Оборона, подписанным В. И. Лениным в апреле 1921 года. А к концу того же года сеть метеорологических станций увеличилась до 100. По данным этих станций весной 1922 года был издан первый сельскохозяйственный бюллетень.

Приборы для слежения за погодой: 1 — гигрометр (измерение влажности воздуха); 2 — осадкомер; 3 — гелиограф; 4 — термометры (для измерения температуры воздуха и почвы).





Сейчас агрометеонаблюдения проводят 2,5 тысячи станций и почти 16 тысяч постов, расположенных на необъятной территории СССР. Для слежения за посевами и окружающей их воздушной и водной средой и погодой используются сотни типов всевозможных приборов: снего-, влаго- и осадкомеры, фотометры, пиранометры, актинометры, термометры, барографы — всех и не перечислить! Авиационная и космическая службы наблюдают за состоянием посевов на больших площадях.

Лавина информации обрушивается на земледельцев. Справиться с ней, переварить ее способны только ЭВМ. Но даже при их посредничестве как не захлебнуться в этом изобилии данных? Как ими правильно распорядиться? Как с их помощью вырастить и сберечь урожай? Здесь-то и оказывается очень важной помощь математики. В системы дифференциальных и иных уравнений закладываются все данные о погоде (предыстория и прогнозы), о состоянии почвы (ее тип, количество влаги и так далее), атмосферы, посевов (площадь листовой, высота растений, мощь корневой системы и тому подобное). Ученые стараются учесть буквально все, что может оказать влияние на формирование урожая.

Трудные задачи приходится решать. Потому-то почти ежегодно и собирается Всесоюзный рабочий проблемный семинар ученых, имеющий, непривычное название ПУМ (аббревиатура слов: «погода», «урожай», «математика»). Математики, биологи, агрофизики, агрономы, метеорологи, географы, почвоведы, мелиораторы хотят оградить урожай от погодных неурядиц, сделать его стабильным и в результате син-

теза идей и методов многих наук построить современную физико-математическую теорию продуктивности сельскохозяйственных культур.

Многие исследователи стали постоянными участниками ПУМа. К примеру, доктор технических наук Ратмир Александрович Полуэктов — Агрофизический институт (АФИ), Ленинград. Он разрабатывает имитационные модели, проверяя расчеты, выполненные на ЭВМ, на экспериментальных полях АФИ.

Интересны работы москвича доктора технических наук Евгения Петровича Галямина. Он разработал методы оперативного распределения водных ресурсов при орошении: как, куда, сколько воды необходимо дать растениям. И все это в быстро меняющихся условиях...

Доктор физико-математических наук Олег Дмитриевич Сиротенко (город Обнинск Калужской области, Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии; сейчас ВНИИСХМ, созданный в 1978 году, является у нас в стране главным штабом агрометеонауки) изучает влияние засух. Им созданы динамические модели «погода — урожай». Они, в частности, позволяют заниматься и прогнозированием: писать сценарии роста и развития растений в зависимости от погодных условий, начиная от любого текущего момента до конца вегетации растений...

Творческое, очень плодотворное сотрудничество математиков с представителями других наук, пекущихся о нуждах сельского хозяйства, об умножении СУММЫ ЖИЗНИ, продолжается. На очередных совещаниях ПУМа вновь разгорятся жаркие научные споры между энтузиастами-единомышленниками.

Математики, биологи, агрофизики, агрономы, метеорологи, географы, почвоведы стараются оградить урожай от погодных неурядиц, сделать его стабильным.

...тогда явится находчивый изобретатель
и предложит миру аппарат,
подражающий хлорофилловому зерну,—
с одного конца получающий
даровой воздух и солнечный свет,
а с другого подающий печеные хлебы...

К. А. Тимирязев



ГЛАВА 7



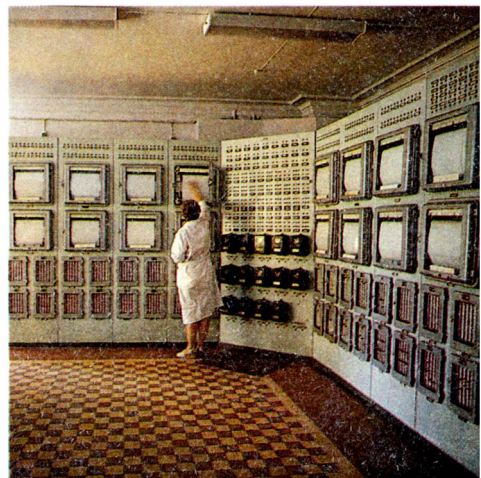
ФИТОДРОМ

Во время раскопок Помпеи археологи обнаружили специальные здания, в которых, видимо, некогда содержались цветущие растения. В окнах этих зданий были вставлены пластинки слюды...

Попытки создать для растений искусственную среду делались давно. В Древнем Риме уже умели управлять температурными режимами выращивания роз и овощей в особых ямах. А в средние века в Англии сооружались каменные помещения — оранжереи (от французского слова «оранж» — «апельсин»), где имитировался климат, благоприятный для разведения винограда, мандаринов и других даров юга.

Научную же основу попытки эти обрели лишь век назад. Первым тут был русский ученый, физиолог растений, академик Андрей Сергеевич

Камеры искусственного климата (климатроны): сверху слева — в климатронах можно выращивать все, даже арбузы; сверху справа — пшеница, вызревающая по-разному, в зависимости от длины облучающих волн; внизу слева — в камерах искусственного климата можно создать любое освещение и вести любой опыт; внизу справа — пульт управления диспетчерской климатрона связывает оператора со всеми камерами.





Фаминцын (1835—1918). Он в 1868 году — в целях создания регулируемых условий внешней среды — сконструировал особый фонарь, оборудованный керосиновыми лампами, для опытов с культурами низших растений. (Позднее температуру почвы в таких «теплицах» регулировали с помощью льда.)

Долгая цепочка технических усовершенствований привела ныне к созданию станций (или лабораторий) искусственного климата. Физиологи растений надеются, что эти устройства (они теперь есть почти во всех крупных городах Союза) сыграют в биологии такую же роль, как ускорители-циклотроны в ядерной физике.

В этой последней главе будет рассказано о некоторых попытках наладить выращивание растений в искусственных условиях. О желании подсказать практике сельского хозяйства новые пути.

СВЕТОКУЛЬТУРА

Зимой за стеклом цветы хранятся живы;
Дают приятный дух, увеселяя взор.

М. В. Ломоносов

Какие лучи света предпочитают растения — вот что стоит обсудить. Но вначале о цветах.

Аристотель полагал: цвет скрыто существует во всех телах и становится явным под действием света.

В начале XIV века монах-доминиканец Дитрих из Фрайбурга и арабский ученый Камаль аль-дин аль-Фариси высказали новую идею: цвета радуги можно объяснить отражением и преломлением света капельками воды. Похвальное соображение!

А поставил все на свои места великий англичанин Исаак Ньютон (1643—1727). Он сделал то, что теперь стало школьным опытом. Пучок света, пропущенный через стеклянную призму, выходит из нее цветным веером. На экране возникает радуга из семи (тренированный глаз художника или красильщика, полагают, в состоянии различить свыше 10 тысяч цветовых тонов!) основных цветов.

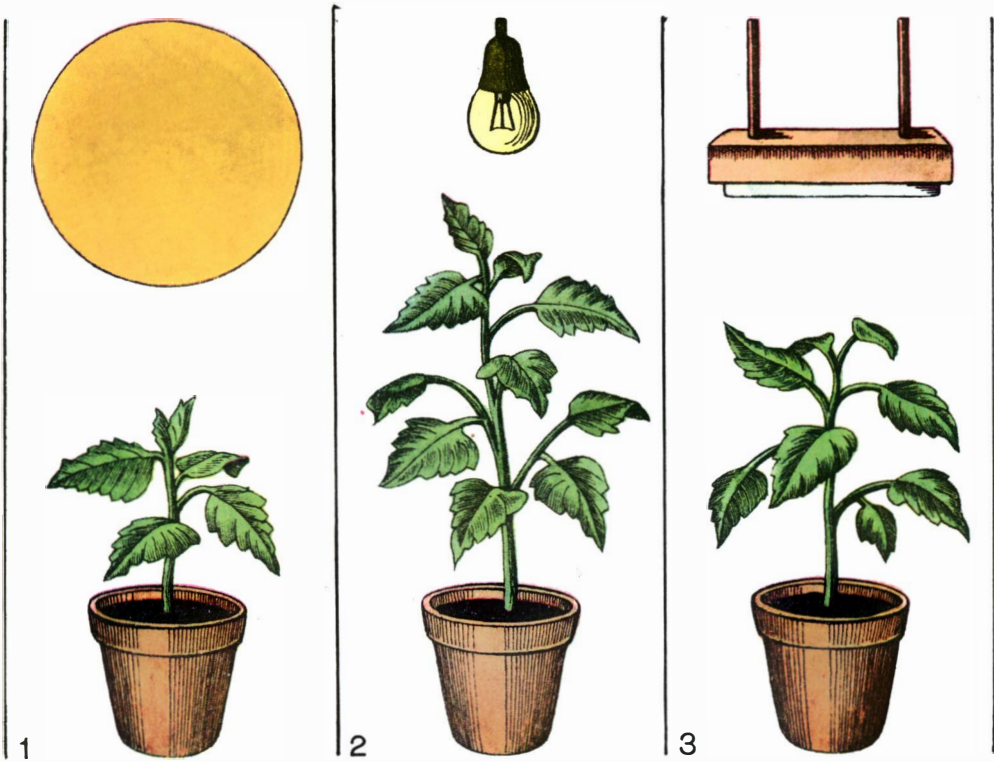
Впервые мысль повенчать эту простую физику и процессы пита-

ния растения пришла на ум Джону Дреперу (1811—1882), американскому медику, ставшему вопреки своей профессии родоначальником фотохимии. Дрепер задался вопросом: в каких лучах спектра лучше всего идет процесс питания растений углекислотой воздуха? Пропуская пучок света через призму, ученый помещал на его пути зеленые листья, но так, чтобы на лист попадала не вся полоса спектра, а только определенная его часть — красная или зеленая, либо только синяя...

Опыты с растениями (Дж. Дрепер, К. Фламарион, К. А. Тимирязев), выращиваемыми под светофильтрами, пропускающими только определенные участки спектра, показывают: под голубыми лучами растения развиваются хуже всего, лучше при зеленом и наиболее пышный рост растений наблюдается при красном освещении.

Могут сказать, Природа лишена светофильтров. И подобные опыты имеют лишь академический интерес. Неверно! Вспомним тепличные хозяйства с искусственным освещением. Здесь, подбирая удобные для

Теплицы позволяют собирать урожай в любое время года.



Однолетние сеянцы березы бородавчатой, выращенные при естественном освещении (1), зимой в теплице: под лампами накаливания (2) и под люминесцентными лампами (3).

растения лучи, можно попытаться увеличить урожай.

Год урожайный, год неурожайный — всем понятны эти слова. О, этот неласковый климат, вечные капризы погоды... Однако есть у нас в стране место, где и климат, и погода, и многое другое, столь необходимое для успешного произрастания сельскохозяйственных культур, повинуются человеческой воле. Адрес — Ленинград, Агрофизический институт, лаборатория светофизиологии и светокультуры. Время действия — наши дни. Хозяин чудес, о которых пойдет речь, — руководитель лаборатории член-корреспондент ВАСХНИЛ Борис Сергеевич Мошков.

Обстановка сказочная: удивительный и странный мир. Небо — про-

зрачные плоские корытца с проточной водой; солнце — особые зеркальные электролампы, их свет, пронизывая искусственные небеса, отдает воде излишнее тепло; земная твердь здесь — железные этажерки. Лишь растения — обитатели этого фантастического мира — по-земному естественны.

Но так ли уж они обычны? Томаты у профессора Моškова дают 6 урожаев в год — 180 килограммов с квадратного метра (в пересчете на гектар это 1800 тонн, а планируется довести эти показатели до 4000 тонн!). При этом и характер урожая оказывается необычным. Мошков умеет в одном случае получать 20 процентов плодов и 80 процентов вегетативных органов, в другом, наоборот, 80 процентов

плодов и только 20 процентов вегетативной зеленой массы. (Необходимо добавить для сравнения, что на обычных плантациях в поле овощеводы собирают обычно по 3—4 килограмма с каждого квадратного метра земли. И второе: помидоры Мошкова сегодня обходятся около рубля за килограмм. Это та себестоимость, когда томаты можно рентабельно выращивать, скажем, в северных промышленных центрах.)

Светокультура — вот новый термин, закономерно вобравший в себя все достижения агрономии и других наук. Но главное тут все-таки свет, его дозировка, ритм, состав, интенсивность. Свет как мощный источник регуляции ускоренного формирования и развития растений.

Растение требует лучей и синефиолетовых, и оранжево-красных. В этих запросах оно капризно и чутко. Как, когда, в какой последовательности и пропорции, приравливаясь к стадии развития роста, снабжать его лучистой энергией — о, это целая наука, контуры которой лишь недавно начали обо-

значаться и сулят очень многое. На повестке дня здесь создание особых «физиологических ламп» — они позволили бы синхронно с эволюцией данного растения изменять свои спектральные и иные характеристики.

Перспективы светокультуры чрезвычайно велики — из лабораторных экспериментов она постепенно превращается в промышленное круглогодичное производство овощных, зеленых, декоративных, а в будущем, видимо, и лекарственных культур.

Возможно, в недалеком будущем светокультура закрытого грунта сделает следующий шаг — спустится под землю, в специально сооруженные туннели, в подвальные помещения каждого дома в городе, где можно будет организовать «зеленую фабрику», не зависящую от чудачеств погоды. Энтузиасты этого направления надеются, что тогда наша планета станет чем-то вроде грандиозного заповедника, парка культуры и отдыха для землян, где на прежде занятых под поля и огороды землях раскинутся чудесные сады и леса.

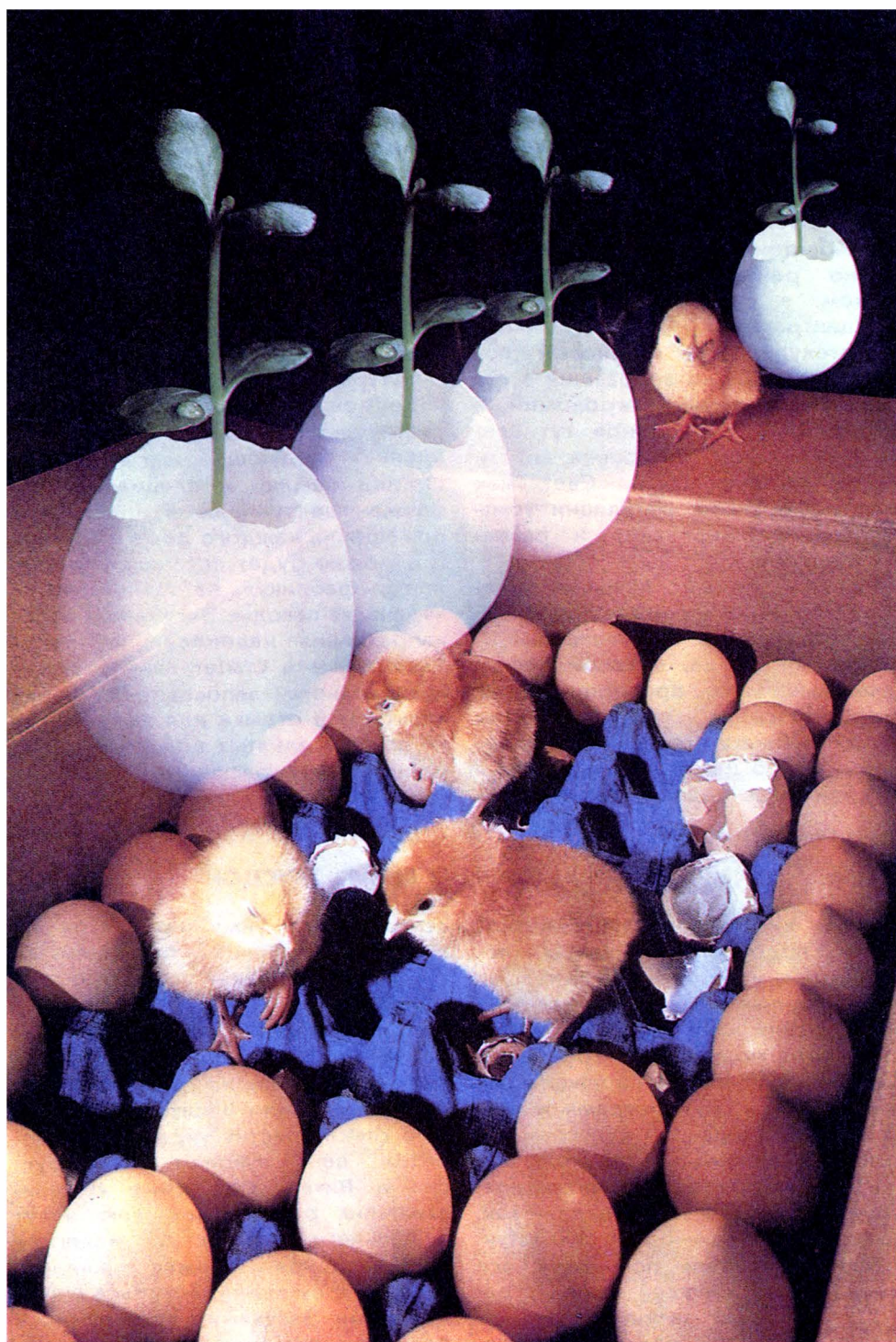
НУЖНО ЛИ РАСТЕНИЯМ БЕГАТЬ ТРУСЦОЙ!

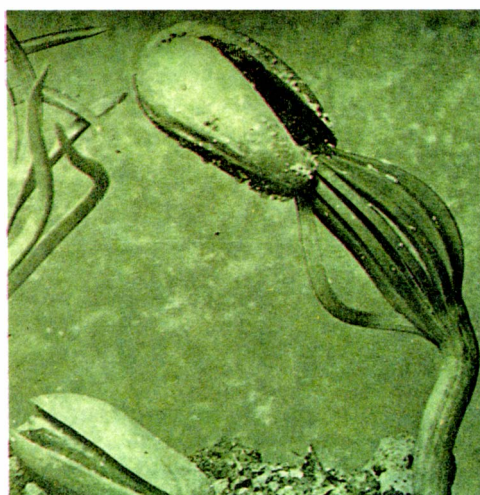
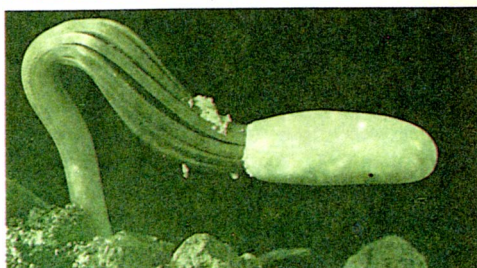
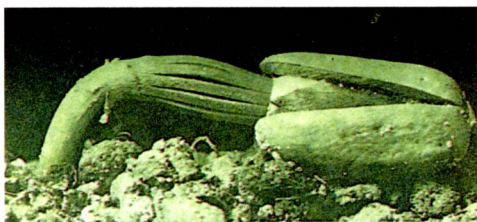
Много ли человеку пищи нужно? Расчеты подобного рода ведут многие организации — Организация Объединенных Наций, Академия медицинских наук СССР и другие. И вот что получается. Среднестатистический гражданин должен в год съесть почти 170 килограммов хлеба и круп, около 330 килограммов молока и молочных продуктов, мяса и рыбы — более 100 килограммов, фруктов, ягод и винограда — 150, сахара — 35, яиц — более 300 штук.

Если мы теперь помножим все это на число жителей нашей страны, потребуются многие сотни миллионов тонн продовольствия! Взра-

стить такую уйму продуктов на полях и в теплицах, откормить на фермах и лугах — непростое это дело!

Поля в нашей стране разбросаны на многих миллионах квадратных километров. Зерно дают некогда целинные земли Казахстана, сахарную свеклу растит украинский чернозем, лен собирают в Белоруссии и Литве, хлопок — в среднеазиатских республиках, сою везут с Дальнего Востока. Да, нелегкое дело — собирать урожаи с миллионов гектаров полей. Борьба с возможными засухами, суховеями, с ранними заморозками, ливнями,





Покой растений обманчив. На фото показаны стадии пробуждения зародыша итальянской сосны. Прорвав семенные покровы, зародыш вбуравливается в землю (слева сверху) в поисках воды. Плотно сжатые первичные листья, или семядоли, насыщаются влагой и сбрасывают покровы семян (слева внизу), а удлиняющийся стебель поднимает их над землей (справа).

градом. С чересчур снежными и во все бесснежными зимами. С полеганием хлебов, с отсутствием дождя в начале лета и затопленными полями в период уборки. С гусеницами, жучками, полевыми мышами и другими вредителями.

Как было бы заманчиво собрать все посевные площади страны в одну да добиться, чтоб она плодоносила круглый год (долгой сезонность!). Ведь сразу же стало бы меньше трудностей в организации полевых работ и в переработке продукции. А еще бы лучше сделать это поле «механическим»: автоматизировать все до одной операции — от закладки семян до возврата испаряемой растениями влаги и сбора урожая. Чтобы как на заводе: все шло слаженно, ритмично, конвейерно, поточно. Не надо будет пахать поля: громоздкие трактора и комбайны уйдут в прошлое. Проще будет бороться с потерями урожая. Все станет централизован-

Перед нами фантастическая ситуация: треск раскалывающихся яиц... но вместо цыплят оттуда появляются... зеленые ростки!

ным, непрерывным, любой процесс нетрудно было бы держать под контролем, рационализировать...

Скажут — маниловщина! Ан нет. Мы рассказываем о недавно возникшем у нас в стране серьезном проекте. Разрабатывается он в Институте медико-биологических проблем Минздрава СССР в Москве, в лаборатории, которую возглавляет кандидат технических наук Валентин Николаевич Головин. Сразу предупреждаем: здесь открывается дверь в возможности совершенно фантастические. Представьте такую картинку. Куриное яйцо сжимается, растягивается, вибрирует... Скорлупа трещит, но вместо цыпленка оттуда показывается... зеленый росток! Он, пошатываясь, вылезает наружу и делает первые неуверенные шаги...

Фантазмагория? Нет, пролог к рассказу о том, что делают Головин и его сотрудники. Ведь они задали себе вопрос, нужно ли растениям бегать трусцой, и ответили на него положительно! Но... изложим все по порядку.

Искусствоведы точно знают: поймать, запечатлеть движение в камне, дереве, глине — высшая задача скульптора. Потому, верно, так охотно изображают ваятели животных. Но лепить сосну, дуб?..

Неподвижность — характернейшая примета растительности. (Представьте на секунду себя в лесу-храме, среди стволов-колонн; вы стоите в лучах света, которые, найдя прореху в зеленой крыше, освещают камни, мох, пучки травы; пронзительная тишина, ничто не колышется.) Скульптура березы, клена? Абсурд!

Только японцам, культивирующим на протяжении многих веков карликовые деревца, различными приемами, с помощью тисков и проволоки, тормозящих увеличение диаметра ствола и ограничивающих количество доступной для растения земли, минеральных веществ в ней, удается резко замедлить рост деревьев; только японцам удалось как бы создать живые статуи (вырастить одно крошечное деревцо, считают японские ботаники, все равно что гармонично воспитать

ребенка, развив в нем его индивидуальные привлекательные черты). В нашей стране тоже есть поклонники искусства «бонсай» (в переводе с японского это означает «вековое дерево в цветочном горшке»), они уже вырастили миниатюрные деревья — березы, рябины, осины. Но и образчики «бонсай» только еще больше подчеркивают статичность растений.

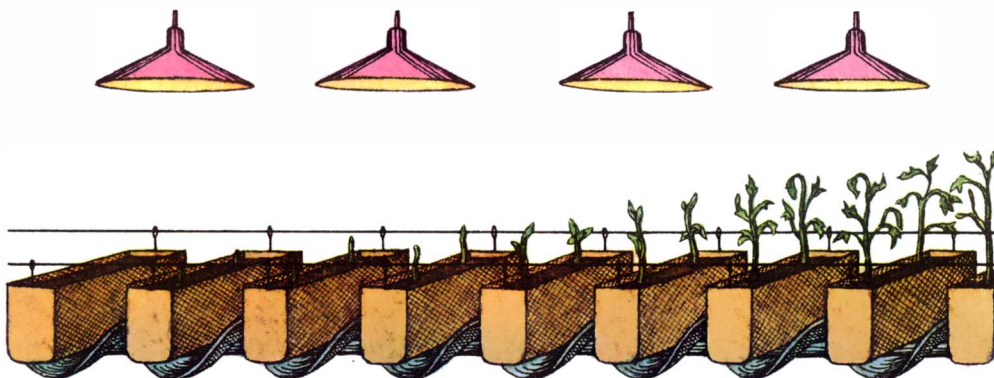
Понятно, покой растений обманчив. Вспомним про «десант» семян одуванчиков, про «взрывающиеся» бобы, про то, как растения, поворачиваясь, тянутся к свету. Движение не совсем чуждо растениям. И вот только шагать, перемещаться, как животные по земле, — этого растения действительно не могут, это качество им может подарить только человек.

Блуждать по свету мешает растениям борода корней, она намертво привязывает их к земле. И все же есть в Москве место, где растения должны чувствовать себя как на беговой дорожке. Шагающие растения? Вопреки природе и логике? Да, возможно и такое.

НА ДАЛЕКОМ СЕВЕРЕ ЛЮДИ КИНЗУ СЕЯЛИ

Свою уникальную установку В. Н. Головин и его сотрудники назвали «фитодром». «Фито» по-гречески означает растение, «дро-

мос» — место для бега. Но конечно, это не скачки, скорее, бег трусцой. Во всяком случае, растения попадают из пункта А в пункт Б.





В закрытых помещениях при искусственном освещении можно создать и крошечные мини-фитодромы (слева), и огромные, размером в десятки метров (справа).

А происходит все вот как. В фитодроме зерна кладут вовсе не в почву и даже не в ее заменители, а на обыкновенную полиэтиленовую пленку, которую вставляют в специальные кассеты — держатели. Их одну за другой и размещают на фитодроме.

Если теперь посмотреть на эти ряды кассет сбоку, то будет видна зеленая горка — постепенный переход от слабых проростков в начале фитодромной дорожки до взрослых растений на ее конце.

Длину фитодрома определяет время, необходимое для созревания растений. Допустим, это месяц. Значит, растению придется сделать тридцать шагов, чтобы дойти до

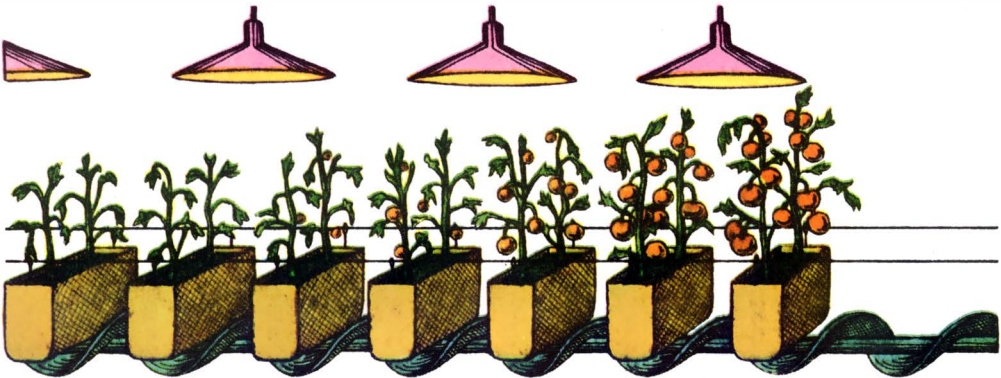
урожая (передвигать кассеты с растениями проще всего вручную, но можно довольно легко и механизировать этот процесс).

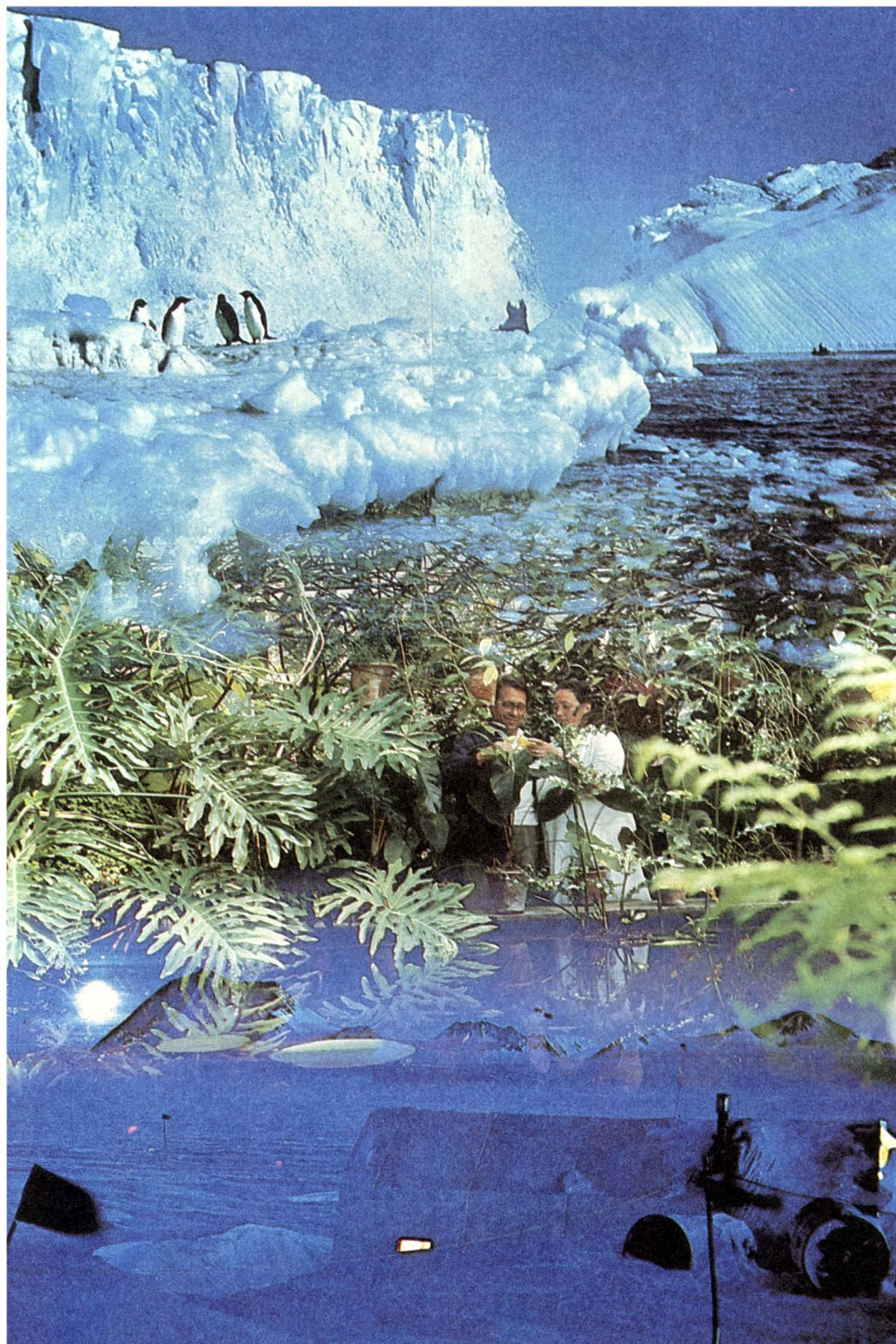
Итак, растения в фитодроме окончили с оседлой жизнью, превратились в кочевников. Но какой в этом прок? Что все это дает? Минуточку.

Тридцать шагов делает растение. Тридцать раз гаснет и зажигается в фитодроме свет, имитируя наступление вечера и утра. А ровно через месяц начинаются сельскохозяйственные чудеса.

Теперь каждое утро лаборанты на одном конце фитодрома снимают «урожайные» кассеты, с созревшими растениями. И тут же

Так схематично можно представить фитодром для выращивания томатов.





отправляются к другому концу фитодрома, где на освободившееся место (все кассеты сделали шаг вперед) кладутся кассеты с проростками (или в них сыплются семена).

Выходит, «уборочная» и «посевная» в фитодроме идут одновременно!

Непрерывность сбора урожая — вот одна из многих выгод, которые сулит фитодром. Никакой сезонности, перерывов. И вот что еще: считается, сохранить урожай — все равно что собрать второй. Это на обычном поле, а с фитодромом ничего запастись просто не надо. Здесь проблема хранения радикально решена. Растения могут сразу же идти в дело: никаких потерь! Каждый день можно получать ровно столько продукции, сколько надо. Это свойство фитодрома уже находит применение.

Давайте заглянем в кабину космического корабля. Какое изобилие приборов и устройств! Космонавты и исследователи взяли бы еще больше, да уж очень тесно: с пользой загружен каждый уголок. Да, непросто обеспечить космонавтов растительной пищей при длительных полетах: про запас много не возьмешь. И тут фитодром придется как нельзя кстати.

Впрочем, и на земле немало мест, где обстановка почти космическая. Например, затерявшаяся в сибирских топях компрессорная станция где-нибудь на линии газопровода Уренгой — Помары — Ужгород. Или забравшаяся высоко в горы метеорологическая станция.

Или Арктика. На острове Боль-

шой Медвежий, что вблизи полуострова Таймыр, к примеру, расположена одна из многих на Севере гидрографических станций. Тяжел труд гидрографов, но именно они указывают дорогу атомоходам. Отрезанные от всего мира непогодой и просторами, живут на станциях несколько человек. Как хорошо бы каждый день поставлять полярникам свежую зелень! Фантастика? Нет, реальность, которую обеспечивают движущиеся растения.

По заказу полярников московские ученые и инженеры создали компактные устройства фитодромного типа. Эти мини-фитодромы, величиной с письменный стол, названы «Самород-Арктика». Они ежедневно (бушует ли за окном вьюга или нет, летают самолеты или вынуждены простаивать) дарят зимовщикам капусту, салат, лук, петрушку, кавказскую кинзу.

И растений можно собирать ровно столько, сколько требуется к сегодняшнему столу, — и зелень эта только что буквально снята с грядки!

Такие компактные домашние «огороды» для условий Крайнего Севера незаменимы. Отметим еще, что теперь многие гидрографы, метеорологи, гляциологи осваивают еще одну очень приятную и небременительную побочную профессию — агрономическую. Впрочем, никаких особых навыков огородничества, никаких особых биологических познаний здесь не требуется. И немудрено: ведь создан настоящий «штампующий» зелень автомат!

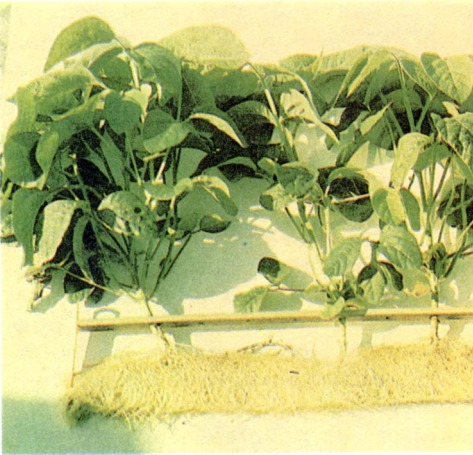
СОДРУЖЕСТВО ИДЕЙ

Создать шагающие растения московским ученым помогла гидропо-

Овощи и фрукты нигде так не нужны, как на Севере.

ника. Она окончательно рвет якоря, связывающие растительность с почвой.

Многие поколения агрохимиков и физиологов растений шаг за шагом



Создать шагающие растения помогает гидропоника. Почва здесь не нужна.

познавали секреты плодородия почв. Итог этих исследований парадоксален: возникла мысль вовсе отказаться от почвы!

Но в фитодроме гидропоника особая, новейшего толка. Питание корней водой, минеральными солями осуществляется периодически. Каждые полчаса в кассеты подается питательный раствор, его уровень медленно поднимается, постепенно затопляя корни.

Затем уровень раствора начинает опускаться. Все, что не усвоилось растениями, сливается в хранилище до следующего цикла. А освобожденные от воды корни пока дышат кислородом воздуха, что также совершенно необходимо для развития растений.

В фитодроме гидропоника (она во много раз увеличивает продуктивность посевов) вступила в союз с фитодромным движением растений, что также множит фитодромные урожаи.

В обычном посеве между растениями-соседями идет острейшая конкуренция за свет и жизненное пространство. Кто сажал на даче, скажем, морковь, помнит, как густо зарастает грядка морковными хвос-

тиками. Приходится разреживать посадки, давая растениям простор.

«В тесноте — не в обиде» — эта пословица явно не для растений. Тесноту они переносят с трудом, и обеспечить каждое растение оптимальным жизненным пространством не просто. Но то, чего трудно добиться в природных условиях, легко осуществить в фитодроме. Здесь каждому растению можно предоставить жилплощадь по вкусу, ровно такую, какая ему необходима в данный период его жизни: росткам — маленькую, взрослым растениям — большую. Автоматически раздвигать растения, давать им необходимый простор — все это легко сделать в фитодроме, где растения не прикреплены к определенному месту, а движутся.

Но и тут без математики не обойтись. Ученые рассчитали и перепробовали различные варианты постепенного рассредоточения растений в фитодроме — треугольный, спиральный, «затылочный». Остановились на простейшем. Особый шнек (винт) с переменным шагом заставляет «грядки»-кассеты постепенно раздвигаться по мере роста растений. Теперь листва получает optimum света.

Гидропоника... Движение растений... Им в помощь пришла еще третья, уже чисто техническая идея.

Каждые полчаса в кассеты подается питательный раствор.





Многие произведения изобразительного искусства отражают тяжесть сельскохозяйственного труда (Ф. Милле. «Собирательницы колосьев»).

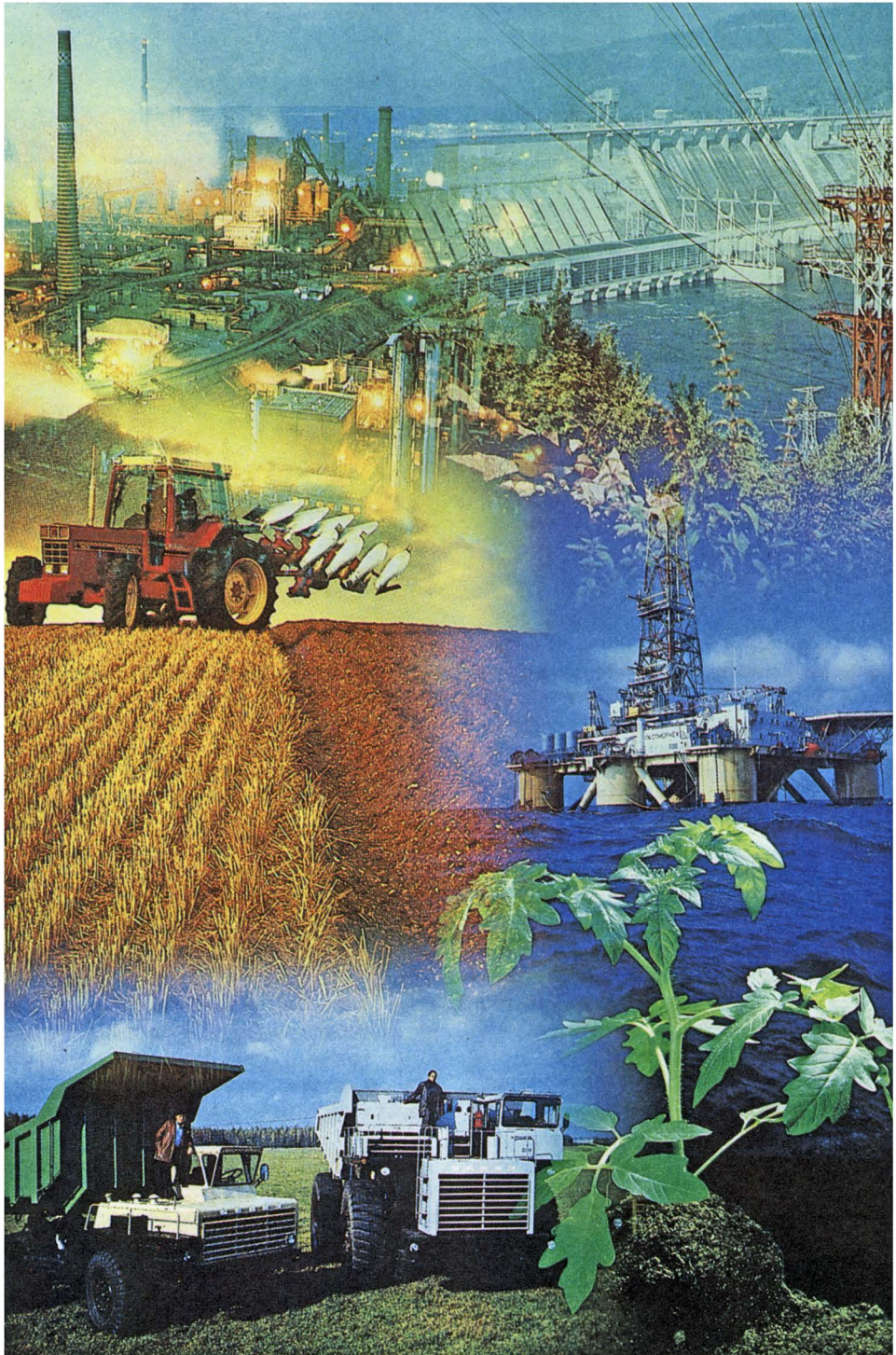
Но чтобы она стала понятнее, полезно бросить хотя бы беглый взгляд назад — в исторические дали.

Тысячелетия земледелия. Книги, картины художников, фильмы помогают нам представить, как вели сбор трав и плодов первобытные люди, как проходила жатва в Древнем Египте, сколько труда и сил тратилось на возделывание кукурузы в государстве ацтеков, как много пролили пота крестьяне при посадке риса на горных террасах средневековой Японии... Писатели, историки дают нам возможность представить все те приемы, которые передавались от поколения к поколению, от отцов к сыновьям практически безо всяких изменений. Новое, конечно, прокладывало себе дорогу, но черепашьими шагами. Быстрая модернизация взглядов

на сельское хозяйство началась только в наше время.

Человек создал для растений искусственный климат (зимой вокруг оранжереи какого-нибудь ботанического сада можно наблюдать мерзнущие деревья, а внутри здания — жаркие тропики!). Лампы заменили Солнце (а заодно и Луну!). День и ночь как бы поменялись местами (в ночной темноте окрестности вокруг теплиц, где выращивают овощи, озарены ярким светом, льющим из-под стеклянных колпаков).

В особых вегетационно-климатических шкафах лабораторий ученые делают попытки удовлетворить любые прихоти растений. Ростки тут увешаны многочисленными датчиками, опутаны сетью тончайших проводов. Посмотрев на панель такого шкафа, видишь, что можно



менять для растений и влажность воздуха, и температуру. Казалось бы, ну что еще нового в состоянии изобрести исследователи? А ведь придумали!

...И в наши дни в земледелии, по сути дела, все идет по старинке. Перемен немало, но основной принцип все тот же: растение остается неподвижным, как бы привязанным к земле, а все — техника, люди — вращается вокруг него.

Если бы автор этой книги, став сценаристом, вздумал делать мультипликационный фильм о фитодроме, он бы использовал волшебный карандаш мультипликации и нарисовал такую картину. Вначале зритель бы увидел пустое поле: тут будут развиваться растения (рисуются, стираются — еще не выросли!). Теперь пора показать, чего требует урожай, — о, очень многого!

На нашем воображаемом рисун-

ке быстро возникают трактора, сеялки, комбайны. Нефтяные вышки (бензин). Заводы по производству химических удобрений, пестицидов и так далее. Источники воды, оросительные сети. Люди: агрономы, трактористы, сельскохозяйственные рабочие...

Вот рисунок (мультипликация) оживает: это превеликое множество людей и машин пришло в движение. И все это ради одного-единственного крохотного ростка. И люди и техника!

Понятно, что урожай становится все дороже. Очевидно, что каждая выращенная калория требует сотен калорий безвозвратно потерянной (а добытой с таким трудом) энергии. И массы людского труда. Нет, сельское хозяйство требует совсем нового подхода, свежих, оригинальных идей...

Эврика! Конвейер!

ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНЫЙ КОЛОС

Было время, когда конвейер совершил переворот в индустрии. Почему же не попытаться использовать ту же идею еще и в сельском хозяйстве?

Что? Посадить растения на конвейерную ленту? Дерзкая мысль! А впрочем... Вовсе не нужно собирать растения, как автомобили. И их биологические ритмы пусть остаются неизменными, они сами будут набирать силы и соки. Однако и при таких ограничениях конвейер способен революционизировать растениеводство. Ведь теперь (как и при изготовлении деталей на конвейере) двигаться будет растение (изделие!), а все обрабатывающие растенные машины можно будет сделать неподвижными.

Получится нечто вроде принципа

Выращивание растений требует огромных материальных, трудовых и производственных затрат.

относительности А. Эйнштейна, словно бы отданного физиками на откуп работникам сельского хозяйства. Принципа, нацеленного на то, чтобы можно было перейти к гарантированному, почти фабричному воспроизводству растений.

В сельском хозяйстве как в спорте: урожаи все растут. Отдельные достижения радуют, но нет **стабильности**, и до **потолка** урожая далеко. И пока все еще непомерно велики **потери**.

Не то в фитодроме. Здесь случаям, усушкам и утрускам поставлен надежный заслон. Гидропоника в фитодроме экономит массу воды и удобрений, движение (рассредоточение растений) сокращает расход лучистой энергии и уменьшает площадь посевов, конвейерность позволяет строить настоящие фабрики, стабильно и непрерывно (вспомните, как на автозаводе



Поле-фитодром для нашей страны, по расчетам В. Н. Головина, способно прокормить 400 миллионов человек: растительная пища (1), корма (2), целлюлоза (3), льноволокно (4).

ежеминутно открываются и закрываются двери, выпускающие новешенькие, «с иголочки», автомобили) поставляющие готовые свежие — сразу на стол! Долой амбары и погреб! — растения.

Но главное, что обещает фитодром-конвейер, — это получение невиданных урожаев. Разгадка тут проста. Никому не нужен недоделанный трехколесный автомобиль. ОТК сразу же забракует его. А вот трехколесный колос с поля берут. Тут и за недоделанное приходится говорить спасибо. Понятно: в поле уследить за всем (ни атмосфера, ни почвенные условия пока не в нашей власти) невозможно. В фитодроме же растение должно (и может!) получить все сполна. Тут уж колосья все будут только четырехколесные!

Урожайность? Полярные «огородники-добровольцы» (установки «Самород-Арктика» и им подобные) ежедневно, буднично показывают результаты мирового класса. Они могут выращивать ежесуточно до 500, как показали контрольные испытания, граммов зелени. Размер этих мини-фитодронов $0,5 \text{ м}^2$ — значит, получается около килограмма с квадратного метра площади.

Вот она, высшая математика сельского хозяйства!

Проверку теоретических расчетов В. Н. Головин и его сотрудники вели не только у себя в институте на фитодромах различных типов. В Крыму, под Симферополем, несколько лет под открытым небом действовали 6 экспериментальных (по 30 метров длиной) фитодро-

мов. Тут выращивалась соя, корм для скота — самое сложное в растениеводстве.

Урожай порадовали. Вместо обычных 400—500 центнеров с гектара в год силосной массы собирали 7—9 тысяч, то есть в пересчете на гектар примерно в 20 раз больше!

Конечно, это только первые шаги. Окончательные итоги подводить рано: есть еще проблемы, которые надо решать.

Но московские ученые уже смотрят в будущее.

Замыслен дерзкий проект создания механического поля, которое смогло бы прокормить всю страну! Все, что собирается сейчас со многих миллионов гектаров земель, оказывается, может быть взято с площади, не превышающей размеры Московской области.

Автор видел рисунки-схемы фитодрома, способного прокормить 400 миллионов человек. Размеры его 300 на 100 километров. Поясняющие слова, цифры и символически изображенные растения — все

это показывало, что на этой относительно небольшой площади найдется место и для пищевых растений, и для кормов, и для технических культур: получение целлюлозы и других продуктов.

Да, ныне паруса земледелия наполняют совсем иные ветры... Пока это лишь мечта о будущем, но несомненно: заводское, промышленное выращивание растений — наш неизбежный завтрашний день. И может быть, недолго ждать, когда, скажем, в Москве, на Пушкинской площади, над зданием газеты «Известия» бегущие кружочки и палочки рекламных букв начнут выводить крупную надпись:

МОСКОВСКОМУ ФИТОДРОМУ
ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА
НА ПОСТОЯННУЮ РАБОТУ ТРЕБУЮТСЯ...

Говорят, все гениальное просто. Идея зеленого фитодромного конвейера поистине революционна. Рождается сельское хозяйство совершенно нового типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Два-три года, необходимые для полета на Марс,
можно выдержать и остаться живым.

Но после этого мы, видимо,
не смогли бы вернуться на Землю.
Получилось бы как с Ихтиандром,
который навсегда остался в море.

Г. Гречко

Стало традицией приземлившихся космонавтов встречать хлебом-солью. А с экипажем этого земного звездолета вышло наоборот. Когда бронированная дверь открылась, из нее, радостно улыбаясь, вышел старший исследователь Николай Бугреев, в руках он держал... каравай только что испеченного духовитого, пышного, с неповторимым вкусом хлеба.

Время действия — 1984 год, место действия — Красноярский Академгородок, точнее, исследовательский наземный комплекс «БИОС-3». Организовали этот эксперимент ученые Института биофизики Сибирского отделения АН СССР.

Пять месяцев исследователи Н. Бугреев и С. Алексеев находились в замкнутой биологической системе, автономной и независимой от окружающей среды. Они сеяли, растили (на одного человека приходилось примерно 26 квадратных метров «пашни»), убирали пшеницу (снимая в пересчете на гектар 700 центнеров в год!), а из зерна мололи муку и пекли хлеб.

Какова цель этого добровольного «самозаточения»? Решить проблему замкнутого кругооборота веществ в условиях «космической» вахты. Пока на современных космических кораблях и орбитальных станциях воду и воздух очищают специальные фильтры и сложные регенерирующие установки. В будущем, полагают красноярские биофизики, с этим начнут справляться растения. Они же составят и основную часть ежедневного рациона космонавтов...

Человек готовится покинуть планету. Полеты за пределы нашей Солнечной системы, вероятнее всего, состоятся уже в начале следующего столетия. Так считает директор Института медико-биологических проблем Минздрава СССР академик Олег Георгиевич Газенко.

Если космическому аппарату, использующему термоядерную энергию в качестве ракетного топлива, удастся развить скорость, равную одной десятой скорости света (30 тысяч километров в секунду), то до ближайших звезд с планетными системами он долетит за 50 лет. На это хватит и одной человеческой жизни, отмечает академик. К сожалению, из подобного путешествия аппарат вряд ли вернется на Землю. Так что посылать придется не автоматы, а корабли, оснащенные всем необходимым для колонизации космических просторов.

СУММА ЖИЗНИ. Распространить ее за пределы земной атмосферы человеку помогут растения. Эту мысль в книге «Цели звездоплавания» давно уже высказывал К. Э. Циолковский (1857—1935). Люди не смогут захватить в межпланетные экспедиции горы продуктов, предупреждал он. На борту корабля придется соорудить особые оранжереи, где космонавты будут выращивать не только овощные культуры, но и фруктовые деревья.

Когда это случится? Как произойдет? Какие растения возьмет в полет человек? Обо всем этом остается только гадать. Пока же идет отбор годных для космоса растений.

В космосе побывал лук (программой это не было предусмотрено, две крохотные луковички доставили на борт корабля сами космонавты, но ученые на Земле очень обрадовались, когда узнали, что стрелки лука поднялись на 10—15 сантиметров).

Космический полет совершил и горох. (Георгий Гречко: «Я часто подлетал к нему лишь затем, чтобы на него взглянуть, полюбоваться. Четыре стебля были для нас роцей, лесом...»)

Ученые полагают, что в длительных космических путешествиях очень полезными могут оказаться гибриды растений. Такие, как, например, гибриды редиса и капусты, пшеницы и ржи (тритикале).

Космическое растениеводство набирает темпы, силы и опыт. Здесь будет сделано не одно большое открытие.

...ЧЕЛОВЕК прощается с ЗЕМЛЕЙ. В окно иллюминатора он в последний раз с жадностью окидывает взглядом быстро удаляющийся от него зелено-голубой шар. Еще несколько мгновений, и корабль, пронизываемый потоками космических излучений, купающийся в волнах солнечного океана, оказывается затерянным в бескрайних космических просторах.

Но жизнь продолжается. Рядом со звездоплавателем его добрые и щедрые спутники — РАСТЕНИЯ. Они вселяют в Человека веру в беспредельность ЖИЗНИ, мужество идти нехоженными космическими тропами, смелость глядеть в БУДУЩЕЕ, свое и своих потомков.

Человек прощается с Землей. Прощается с читателем и автор этой книги.

Всего доброго! До новых встреч!



Отправляясь в далекие космические полеты, человек обязательно возьмет с собой растения.

*Эта книга не была бы написана,
если бы автору не помогли —
беседами, консультациями,
показом действующих установок,
указанием литературных источников —
очень многие люди.*

*Среди них в первую очередь хочу отметить
академиков А. А. Красновского
и А. Л. Курсанова,
членов-корреспондентов АН СССР
А. А. Ничипоровича и А. А. Шлыка,
академика-секретаря ВАСХНИЛ
В. С. Шевелуху,
академика АН Латвийской ССР М. Е. Бекера,
докторов наук Л. Н. Белла,
Е. П. Галямина, М. Г. Зайцеву,
О. В. Заленского, В. Л. Калера, Л. П. Каюшина,
О. С. Ксенжека, А. Х. Лайска,
Ю. И. Новицкого, Ю. К. Росса,
О. А. Семизатову, Ю. Л. Соколова,
И. А. Шульгина,
и кандидатов наук В. Н. Головина, И. А. Мурзя,
В. Оя, Н. Н. Протасову, Г. А. Слободскую,
С. Н. Чжору и К. Г. Шашко.
Всем им автор приносит свою искреннюю
и глубокую благодарность.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

	4
Глава 1. МЕНЮ 2000 ГОДА	6
МНОГО ЛИ ЧЕЛОВЕКУ ЗЕМЛИ НУЖНО?	7
ЗЕЛЕНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ	9
НАКОРМИТ ЭНЕРГИЯ!	11
СТРЕПТОЦИД ПОД МАЙОНЕЗОМ	14
КУЛИНАРИЯ ПО-НАУЧНОМУ	16
БЕЛКОВОЕ ПЕЧЕНЬЕ	17
АРБУЗНЫЕ КОРКИ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ВЫХЛОПЫ	19
СТАДА БУДУЩЕГО	21
ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ	25
С ТОЧНОСТЬЮ ЧАСОВОГО МАСТЕРА	26
И НА ПОЛЯ ВЫЙДУТ РОБОТЫ	27
Глава 2. ФАБРИЧКИ ФОТОСИНТЕЗА	32
ЖИВОТНОЕ, ПОСТАВЛЕННОЕ НА ГОЛОВУ	33
ВСЕГО ДВЕ УНЦИИ	34
«ЖИРНЫЙ ТУК»	35
ОТКРЫТИЕ ПРИСТЛИ	37
СОМНЕНИЯ ШЕЕЛЕ	39
СЛОВНО МОДНЫЙ РОМАН	40
КАРУСЕЛЬ ЖИЗНИ	42
НА ЗАРЕ ИСТОРИИ	44
ПРЕВРАЩЕНИЯ ЗЕЛЕНОГО ГОЛОВАСТИКА	47
МОЛЕКУЛЫ НА САМООБСЛУЖИВАНИИ	48
ДАРОВАЯ, КАК ВОЗДУХ	50
Глава 3. ФИЗИКИ В ЗЕЛЕНОМ ЛАБИРИНТЕ	52
ГЛАЗАМИ ИНОПЛАНЕТЯН	53
СКОЛЬКО РАСТЕНИЯМ СОЛНЦА НАДО	55
ПАРАЛЛЕЛИ И МЕРИДИАНЫ ЛИСТА	58
ПЛЕМЯ СОЛНЦЕПОКЛОННИКОВ	60
ИЗ КОСМОСА ВИДНЕЕ!	62

РАСШИФРОВЫВАЯ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЕРОГЛИФЫ	65
ЗЕЛЕНАЯ АРХИТЕКТУРА	67
ФИЗИКИ В ЗАПОВЕДНИКЕ	69
«ХИМИЧЕСКИЙ СКЕЛЕТ» ФОТОСИНТЕЗА	70
Глава 4. ДЫШАТЬ ДНЕМ — НЕ ТО, ЧТО ДЫШАТЬ НОЧЬЮ	72
БРОНЗОВЫЙ ПРИЗЕР — КУКУРУЗА	73
РАСТЕНИЯ C ₃ И C ₄	76
«ОШИБКА» ДЖОЗЕФА ПРИСТЛИ	78
МОРКОВКА ПРОТИВ САХАРНОГО ТРОСТНИКА	80
ИЗ ПУСТЫНЬ ИЛИ ИЗ ТРОПИКОВ?	82
РАСТЕНИЯ-ДИНОЗАВРЫ	84
РАЗОЧАРОВАНИЯ, НАДЕЖДЫ...	85
Глава 5. КОНСТРУКТОРЫ РАСТЕНИЙ	88
ОТ ТАЙМЫРА ДО МОНГОЛИИ	89
САКСАУЛ В АНТАРКТИДЕ	92
СОВЕТ КУРЧАТОВА	95
ЗАВЕТ ТИМИРЯЗЕВА	99
4 КВАНТА ИЛИ 8?	101
ТЕРМОДИНАМИКА РАСТЕНИЙ	103
НА ИНЖЕНЕРНУЮ ОСНОВУ	105
Глава 6. МАТЕМАТИКА УРОЖАЯ	108
БУХГАЛТЕРИЯ ПОСЕВА	109
«ЧЕРНОЕ» СТАНОВИТСЯ «СЕРЫМ»	111
ГОСПОЖА УДАЧА	112
«АУКСАНО» ЗНАЧИТ «РАСТУ»	115
ПОГОДА — УРОЖАЙ — МАТЕМАТИКА, ИЛИ ПРОСТО ПУМ	117
Глава 7. ФИТОДРОМ	120
СВЕТОКУЛЬТУРА	123
НУЖНО ЛИ РАСТЕНИЯМ БЕГАТЬ ТРУСЦОЙ?	125
НА ДАЛЕКОМ СЕВЕРЕ ЛЮДИ КИНЗУ СЕЯЛИ	128
СОДРУЖЕСТВО ИДЕЙ	131
ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНЫЙ КОЛОС	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138

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

СУММА ЖИЗНИ

Научно-художественная литература

Ответственный редактор
Л. А. ЧУТКОВА

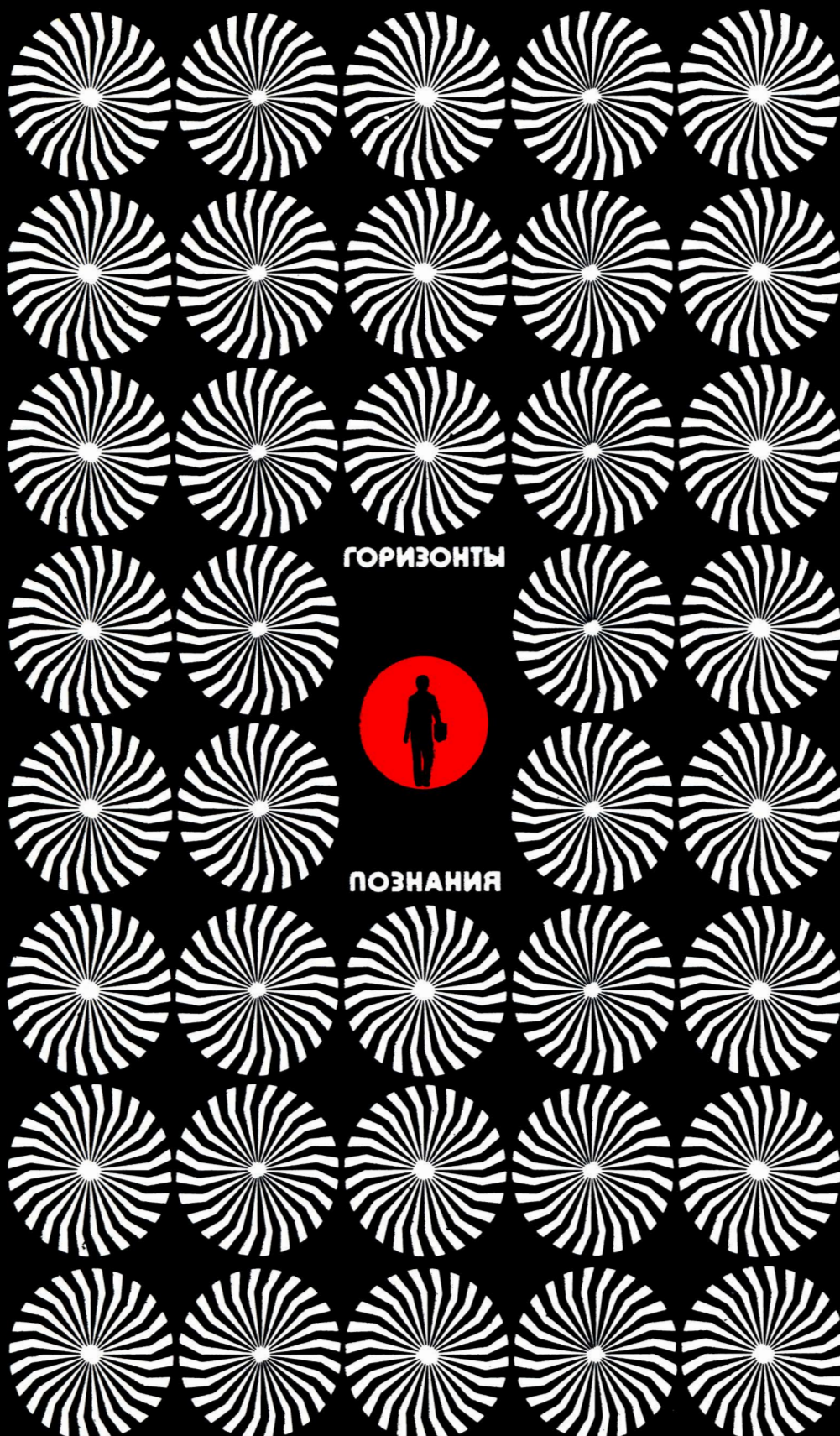
Художественный редактор
О. К. КОНДАКОВА

Технический редактор
Т. Д. ЮРХАНОВА

Корректоры
Г. Ю. ЖИЛЬЦОВА, Л. А. ЛАЗАРЕВА
ИБ № 9822

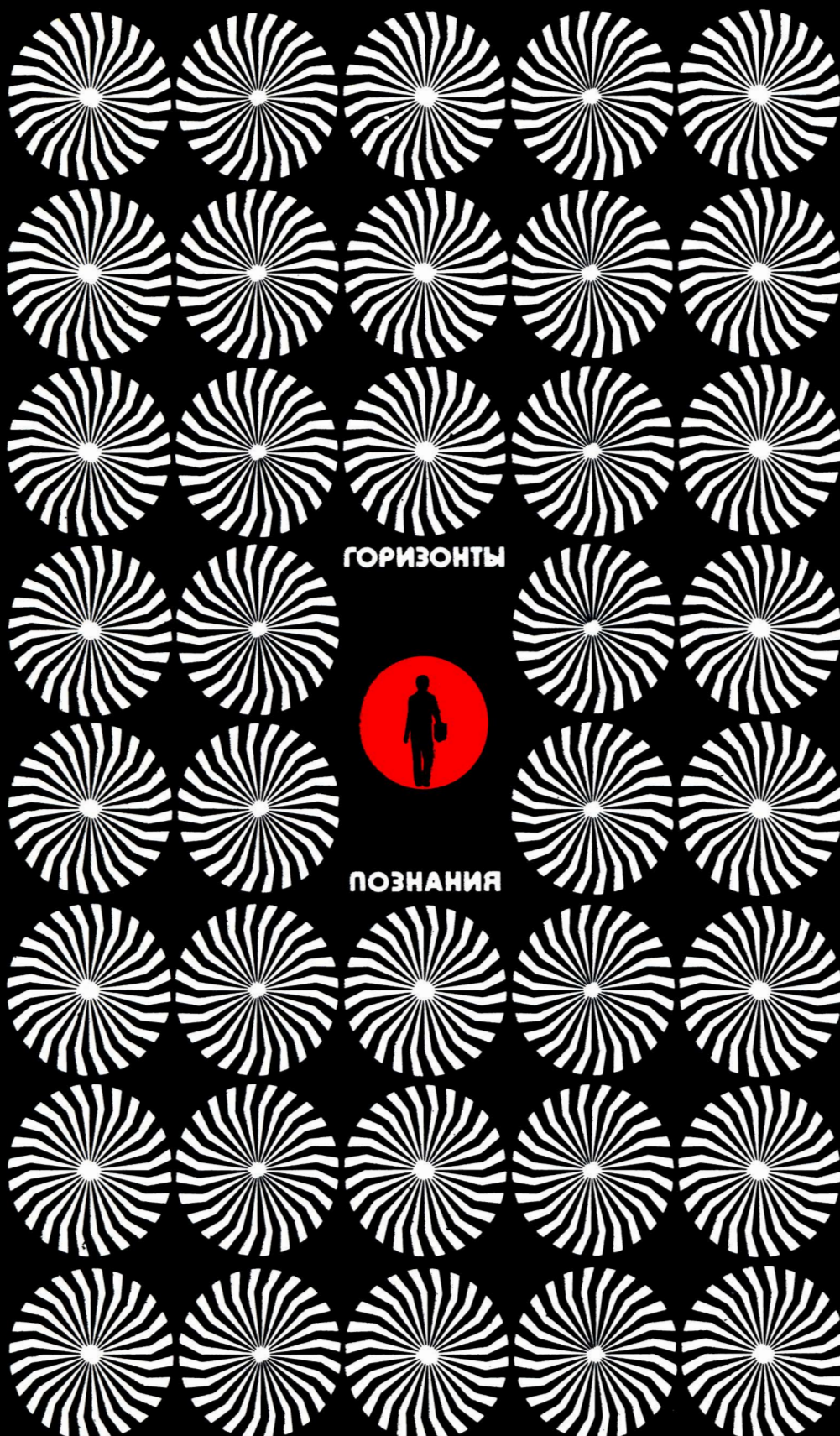
Сдано в набор 03.02.87.
Подписано к печати 27.10.87. А05712.
Формат 70×104¹/₁₆. Бум. офсетн. № 1.
Шрифт журн.-русл. Печать офсетн.
Усл. печ. л. 12,15. Усл. кр.-отт. 49,95.
Уч.-изд. л. 12,13. Тираж 100 000 экз.
Заказ № 1462. Цена 1 р. 20 к.
Орден Трудового Красного Знамени
и Дружбы народов
издательство «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
Росглаволиграфпрома
Госкомиздата РСФСР.
170040, Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.





ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ

ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



*СУММА ЖИЗНИ на Земле...
Ее создает Солнце,
энергия его лучей,
а оберегают, хранят растения.
Как накормить человечество?
Что в идеале могут дать зеленые кормильцы?
Как выполнить Продовольственную программу?
Об этом, а также о конструкторах растений,
о математике и физике урожая,
о шагающем поле
и о многом другом
расскажет эта книга.*

1 р. 20 к.

**Издательство
«Детская
литература»**