

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ



Л.А. НИКОЛАЕВ

# Азот, фосфор, калий

4

1961

Доктор химических наук

Л. А. НИКОЛАЕВ

# Азот, фосфор, калий

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЗНАНИЕ“

Всесоюзного общества по распространению  
политических и научных знаний

Москва

1961

## О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТСЯ В ЭТОЙ КНИЖКЕ

Стр.

<b>АЗОТ</b>	3
Драгоценный невидимка и его круговорот в природе	3
Легко ли разрушить молекулу?	7
Угроза азотного голода	10
Селитры на службе земледелия	13
<b>ФОСФОР</b>	16
Таинственное свечение	16
Белый и красный фосфор	18
Фосфоритная мука, гуано и томасов шлак	20
Топливо внутри нас	22
<b>КАЛИЙ</b>	28
Химическая активность	28
Содружество трех элементов	30
Калийные удобрения	31
<i>Приложение «Интересно, полезно знать»</i>	34
Вещества простые и сложные	34
Катализ и катализаторы	35
Опыты, которые можно выполнять в небольшой лаборатории	35
Советуем прочитать	38
Краткий словарь к тексту брошюры	39

Автор

**Лев Александрович Николаев**

Редактор издательства **А. С. Нехлюдова**

Техн. редактор **И. Т. Ракитин**

Корректор **Э. А. Шехтман**

Обложка художника **Р. Г. Алеева**

---

Єдано в набор 26/VI-61 г. Подписано к печати 27/VII-61 г. Изд. № 145  
 Формат бум. 84×108<sup>1/32</sup> Бум. л. 0,625 Печ. л. 1,25 (условн. 2,05 п. л.)  
 Уч.-изд. л. 1,86 А02933 Цена 6 коп. Тираж 11000 экз. Заказ 1942.

---

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4



## ДРАГОЦЕННЫЙ НЕВИДИМКА И ЕГО КРУГОВОРОТ В ПРИРОДЕ

**Ч**еловека везде окружает воздух: на улице, в поле, в цехе. Этот воздух может быть свежим и чистым, как, например, в лесу или в поле, «грязным» и «тяжелым» в плохо проветриваемых помещениях, может быть влажным во время дождя и сухим около раскаленных печей. Но везде в его состав входят определенные газы. Это азот, кислород, углекислый газ, аргон, гелий и некоторые другие. Больше всего в воздухе азота — 79%. Во всей атмосфере Земли находится 4 000 000 000 000 000 тонн азота! Над каждым квадратным метром поверхности Земли его около 8 тонн.

В воздухе азот ничем не выдает своего присутствия. Это бесцветный газ, он не имеет запаха и вкуса. Химики говорят, что азот инертный газ. Это значит, что он с трудом вступает в химические реакции, с трудом соединяется с другими веществами. Вещества, хорошо сгорающие в воздухе или в кислороде, не горят в азоте. При низких температурах он соединяется только с металлом литием. Вероятно, именно поэтому человек узнал о существовании азота сравнительно поздно — лишь в конце XVIII века.

В 1772 году английский химик Кэвендиш, пропуская воздух над раскаленным углем, соединил кислород с углем и получил смесь углекислого газа (соединение

кислорода с углеродом) и азота. Пропустив полученную смесь через раствор щелочи, Кэвендиш отделил углекислый газ от азота и получил чистый азот. Кэвендиш назвал азот «удушливым воздухом», так как он не поддерживает горения и жизни.

В этом же году английский ученый Д. Резерфорд подробно описал получение азота из воздуха при горении серы, фосфора или металлов. В течение последующих пяти десятилетий химики изучали свойства этого малоактивного газа, и постепенно перед ними раскрывалась его удивительная роль в процессах, связанных с жизнью.

Так, стало известно, что двуокись азота (бурый газ с неприятным запахом) ядовита, она сильно действует на сердце. Даже небольшая примесь ее в воздухе опасна, так как двуокись азота обладает способностью накапливаться в организме. Образуется двуокись азота при пропускании электрических искр через смесь азота с кислородом.

Еще Кэвендиш заметил, что двуокись азота способна химически взаимодействовать с раствором щелочи. В результате этого взаимодействия получаются соли азотной кислоты — селитры. Так, если пропустить двуокись азота через раствор каустической соды, то можно получить натриевую селитру — нитрат натрия. Из едкого калия и двуокиси азота можно получить калиевую селитру. Так открылся путь от газа к селитрам—твердым веществам.

Однако эксперименты с двуокисью азота и другими соединениями азота долгое время оставались в стенах лабораторий и интересовали лишь узкие круги химиков. Дело было в том, что в начале прошлого века соединения азота применялись главным образом для изготовления пороха (из калиевой селитры), а значение их в жизни растений было неизвестно.

К сороковым годам XIX века относится серия работ немецкого ученого Юстуса Либиха, страстного пропагандиста химических знаний, упорно стремившегося познать химические процессы, связанные с питанием и развитием растений. Задача оказалась трудной, и Либиху часто приходилось испытывать горькие разочарования и неудачи. Он понимал, что растения нуждаются в соединениях азота и в минеральных солях, содержащих фосфор, калий и кальций. Однако он ошибался, считая, что азот растения усваивают из воздуха. Поэтому удобре-

ния, рекомендованные сначала Либихом, состояли только из соединений калия и фосфора.

Прошло много лет, и Либих, продолжавший упорно экспериментировать, пришел к заключению, что наряду с фосфором и калием в почву надо вносить вещества, содержащие азот (например, селитры).

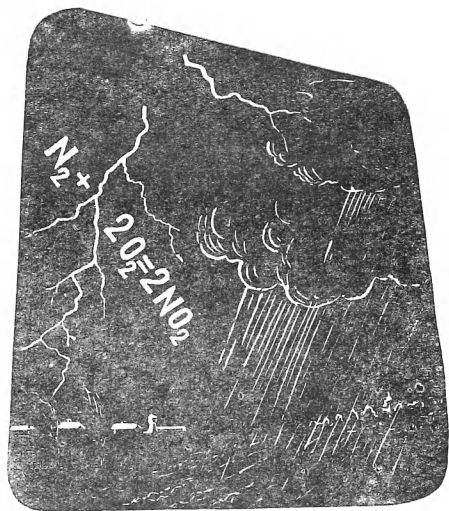
После длительных испытаний химики и агрономы пришли к единодушному заключению, что растения нуждаются в соединениях азота для создания молекул белка. Белковые вещества входят в состав протоплазмы и ядра каждой клетки растения и, кроме того, откладываются в качестве запасных питательных веществ в корнях, клубнях или плодах. В наше время значение азота хорошо охарактеризовал академик В. Л. Омелянский, указавший, что «азот более драгоценен с общебиологической точки зрения, чем самые редкие из благородных металлов». Для построения своего организма растения непрерывно «выкачивают» из почвы соединения азота, и почва постепенно обедняется ими.

При мировом сборе сельскохозяйственных культур в 1 млрд. тонн в год (в среднем) из почвы извлекается до 25 млн. тонн азота. Из этого видно, что земледелие может быть продуктивным только при условии, что потерянный почвой азот будет какими-то путями возвращаться обратно в почву. Существуют ли такие пути? Вспомним, что если пропустить через смесь азота и кислорода электрическую искру, то эти газы соединятся друг с другом и получится двуокись азота, способная в гораздо большей мере к химическим превращениям, чем сам азот. Электрические искры громадного размера пронизывают атмосферу земли во время гроз. Некоторое количество окислов азота, возникшее в эти моменты, увлекается дождем и поглощается почвой. Это один из путей обогащения почвы азотом.

Имеются и другие пути. На корнях бобовых растений (клевер, люцерна, горох) живут клубеньковые бактерии, обладающие способностью усваивать атмосферный азот и переводить его в соединения. Кроме того, в почве имеются азотфиксирующие бактерии, которые также поглощают азот и в присутствии органических веществ превращают его в соединения, легко усваиваемые растениями.

Проследим теперь судьбу азота от того момента,

когда грозовой разряд или бактерии (клубеньковые или азотфиксирующие) превратили его в какое-то соединение и «заставили» перейти из атмосферы в почву. Соединения азота в почве усваиваются растениями и идут на построение белков и некоторых других веществ, важных



для жизни растения. Растение со временем становится пищей животного или разрушается в процессе гниения. В первом случае азот растения делается составной частью белков животного организма. После смерти животного его белки также разрушаются в процессах гниения. И в том, и другом случае разложение остатков организмов в почве происходит под влиянием многочисленных бактерий. В результате их работы органические соединения азота превращаются в азотные соли и снова поглощаются корнями растений. Часть азота удаляется из почвы за счет жизнедеятельности бактерий, разрушающих соединения азота, и снова попадает в атмосферу. Разумеется, такие процессы, как, например, сжигание дерева (в качестве топлива), также возвращает азот, входивший в состав растения, в атмосферу.

Таким образом, азот совершает в природе сложный путь от свободного азота, находящегося в атмосфере, до азота, входящего в состав белковых соединений, обра-

зующих организмы животных и растений. После разложения этих веществ азот снова возвращается в атмосферу. Как видно, жизнедеятельность бактерий играет решающую роль на отдельных этапах этого круговорота (схема 1).

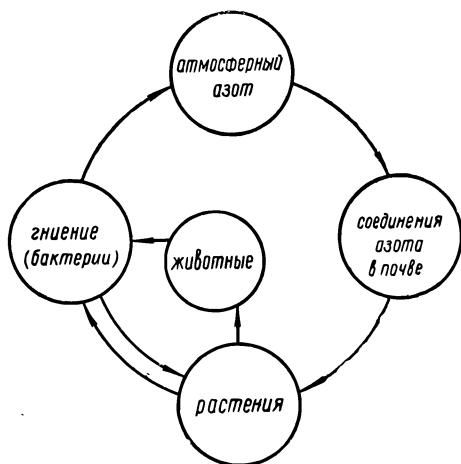


Схема 1. Круговорот азота в природе.

Могут возникнуть сомнения, в состоянии ли микроорганизмы обеспечить надлежащую скорость поглощения или отдачи азота, т. е. законно ли приписывать им столь ответственную роль в тех превращениях, которые испытывает азот в природе?

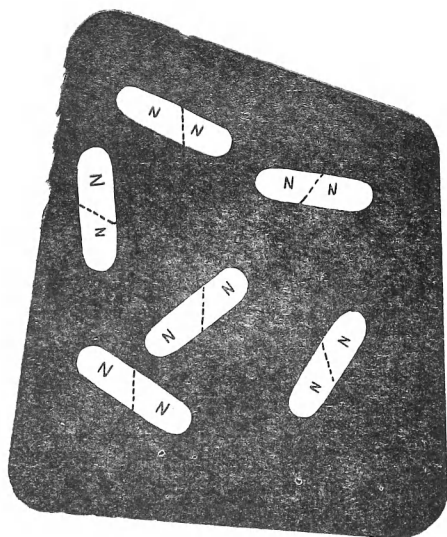
Опыт показывает, что бактерии вполне способны превращать в соединения или освобождать из соединений огромное количество азота. Доказано, что азотфиксирующие бактерии, живущие в почве на площади в 1 гектар, связывают в течение года до 50 килограммов атмосферного азота, а клубеньковые бактерии могут связывать даже до 400 килограммов азота на гектар почвы.

#### ЛЕГКО ЛИ РАЗРУШИТЬ МОЛЕКУЛУ?

**М**ы уже знаем, что азот представляет собой при обычных условиях газ. Газообразный азот состоит из мельчайших частиц с диаметром в несколько стомиллионных долей сантиметра, которые беспоря-



дочно движутся в пространстве, занятом газом. Их движение имеет хаотический характер и несколько напоминает движение мелких дробин, встряхиваемых в закрытом ящике. Скорость движения мельчайших частичек азота при комнатной температуре равна в среднем 500—600 метрам в секунду. Эти частицы называются молеку-



лами. Более детальное рассмотрение каждой молекулы показало бы нам, что частичка «двойная» — она состоит из двух еще более мелких частиц, называемых в химии атомами.

Если азот подвергнуть охлаждению и сжатию, то он превратится в жидкость. Молекулы будут двигаться также и в жидкости, но их движение приобретает иной характер, так как уменьшится среднее расстояние между ними. При еще более сильном охлаждении жидкость затвердеет и молекулы будут совершать в твердом веществе только колебательные движения.

Современная наука располагает приборами, позволяющими точно измерить размеры молекул, скорость их движения и даже определить, с какой силой два атома азота, образующие молекулу, притягиваются друг к другу. Так было установлено, что двойная молекула азота,

обозначаемая символом  $N_2$  (N — начальная буква латинского названия азота «нитрогениум»), отличается очень большой прочностью. Для разрыва на атомы всех молекул азота, находящихся в одном грамме этого газа, необходима работа, равная приблизительно 3000 кдж. Такую работу нужно затратить, например, для того, чтобы поднять груз весом в 3 тонны на высоту 1 метра. Теперь понятно, что молекулы азота, обладающие очень большой прочностью, с трудом вступают в химические реакции. Действительно, для того чтобы атомы азота начали соединяться с атомами других веществ, необходимо оторвать эти атомы друг от друга. Мощные грозовые разряды в атмосфере создают условия для разрыва молекул азота, развивая высокую температуру в том месте, где возникла молния. Молекула азота распадается, и освободившиеся атомы вступают во взаимодействие с атомами кислорода. В результате реакции соединения получаются, как мы уже говорили, окислы азота, содержащие в молекуле один атом азота и один-два атома кислорода. С помощью химических символов мы можем записать эти превращения следующим образом<sup>1</sup>:



Двуокись азота, растворяясь в воде, образует азотную кислоту  $HNO_3$ . В почве эта кислота взаимодействует с соединениями металлов (калия или кальция). Получаются новые вещества — соли  $KNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ . Это те селитры, с которыми мы уже знакомы. Калиевая и кальциевая селитры хорошо растворимы в воде и легко всасываются корневой системой растений. В растениях начинается новая серия превращений азота, все детали которых еще до сих пор не вполне ясны. Однако несомненно, что атомы азота входят в состав так называемых аминокислот, из которых в дальнейшем растение образует белки. Аминокислоты очень разнообразны по составу, но для них характерно наличие атомов азота. Сложная конструкция из многих различных аминокислот составляет молекулу белка.

---

<sup>1</sup> О — начальная буква латинского названия кислорода (оксигениум).

Н — начальная буква латинского названия водорода (гидрогениум).

После гибели растительного организма белковые соединения, как мы уже указывали, подвергаются разложению под влиянием бактерий. Если растение послужило пищей животному, то в кишечнике животного растительные белки распадаются на отдельные аминокислоты, из которых вновь создаются белки, но уже несколько иного вида, идущие на рост и развитие животного организма.

## УГРОЗА АЗОТНОГО ГОЛОДА

**В**доль береговой полосы Южной Америки, между 30—17° южной широты, простирается обширное пространство, почти лишенное растительности. Солончаковые почвы, отсутствие воды, жаркий климат делают его одним из наиболее засушливых мест земного шара. Это пустыня Атакама. Немало крови было пролито в прошлом столетии за овладение этой пустыней. Ожесточенные войны велись между Чили, Боливией и Перу, пока, наконец, в 1883 году правительство Чили не захватило львиную долю ее территории. Что, кроме безводных пространств и сухой почвы, получили в свое владение правители Чили?

150 лет назад в Атакаме были открыты обширные залежи природных соединений азота. Эти залежи состояли из мощных пластов азотнокислого натрия — натриевой селитры.

Исключительная сухость климата способствовала накоплению в этом месте значительных масс селитры, которая в иных условиях могла бы быть постепенно размыта почвенными водами. Поскольку других крупных месторождений соединений азота на земном шаре неизвестно, селитра, добываемая в пустыне Атакама, заняла исключительное место на мировом рынке. По мере развития различных отраслей промышленности увеличивался спрос на селитру. Она стала сырьем для приготовления удобрений, азотной кислоты, взрывчатых веществ, ее применяли в промышленности, производящей серную кислоту, она сделалась необходимой для различных отраслей промышленности органического синтеза — для получения красителей, медикаментов и т. п. Еще в 1929 году в этих местах было добыто и вывезено 3 233 тыс. тонн селитры.

Энергичная эксплуатация в конце концов привела к тому, что залежи селитры начали обнаруживать признаки истощения. К началу XX века стало ясно, что запасов чилийской селитры надолго не хватит и что мировая промышленность и сельское хозяйство через несколько десятков лет окажутся перед реальной угрозой «азотного голода».



Это обстоятельство заставило обратить серьезное внимание на те химические процессы, в результате которых азот, находящийся в атмосфере, может быть превращен в различные соединения. Ученые всего мира вели упорные исследования, но только в настоящее время эта проблема может считаться решенной.

Мы уже указывали, что при пропускании электрических искр через смесь азота и кислорода эти вещества соединяются друг с другом и дают двуокись азота. На

этом явлении и был основан один из первых способов связывания (фиксации) атмосферного азота. Практически указанный способ был использован немецкими учеными Биркеландом и Эйде. В построенной ими установке воздух (т. е. смесь кислорода и азота) пропусклся через пламя мощной электрической дуги. Дуга была помещена в магнитное поле. В магнитном поле пламя дуги растягивалось и приобретало вид тонкого диска. Воздух проходил перпендикулярно плоскости диска. Такая конструкция давала возможность подвергать воздух действию высокой температуры лишь в течение очень короткого времени. За это время молекулы азота и кислорода успевали распасться на атомы, атомы успевали соединиться друг с другом и дать молекулы окиси азота. Далее окись превращалась в двуокись, а двуокись, реагируя со щелочами, превращалась в различные соли — селитры. Так можно было получить натриевую, кальциевую или калиевую селитры.

Некоторое время этот способ довольно широко применяли. Он получил значительное распространение в тех странах, где была сравнительно дешева электрическая энергия. Однако постепенно от способа Биркеланда и Эйде отказались, так как он все же был очень дорогим и затрата электрической энергии на килограмм получаемой селитры, несмотря на все усовершенствования, оставалась чрезмерно высокой.

Другой метод связывания атмосферного азота носит название цианамидного. При пропускании азота через раскаленный карбид кальция образуется новое вещество — цианамид кальция. При обработке цианамида горячим водяным паром получают аммиак — простейшее соединение азота с водородом ( $\text{NH}_3$ ).

Аммиак — бесцветный газ с резким запахом (нашатырного спирта), легко растворимый в воде, является основным источником для получения различных продуктов, в состав которых входит азот.

Карбид кальция — широко распространенное и доступное сырье, поэтому цианамидный метод и до сих пор занимает важное место в промышленности, производящей соединения азота.

Третий способ фиксации атмосферного азота связан с применением катализаторов.

Удалось найти несколько катализаторов, которые ус-

коряли реакцию соединения азота и водорода. Одним из наиболее дешевых и удобных катализаторов в настоящее время считается металлическое железо с примесью окислов алюминия и калия. При пропускании смеси азота и водорода через такой катализатор, нагретый до  $600^{\circ}$ , и под давлением порядка 100 атмосфер удается получить газообразный аммиак.

Раствор аммиака в воде можно непосредственно употреблять в качестве удобрения. Для этого раствор аммиака с помощью специальных машин вводят в почву в бороздку на глубину не менее 10 сантиметров. После этого бороздку засыпают землей.

Для производства азотной кислоты из аммиака применяют платиновые катализаторы. Катализаторы изготовляют в форме сетки (для большей устойчивости обычно пользуются сетками из сплава платины и металла родия). Через такую сетку, предварительно нагретую до  $900^{\circ}$ , быстро пропускают смесь воздуха и аммиака, содержащую около 10% аммиака. Газы соприкасаются с сеткой в течение очень короткого времени, измеряемого тысячными долями секунды. Этого оказывается достаточно для превращения аммиака почти на 100% в окислы азота.

Окислы азота поглощаются водой, и при этом образуется азотная кислота. Азотная кислота может быть использована для приготовления разнообразных солей, которые и служат основными составными частями азотных удобрений.

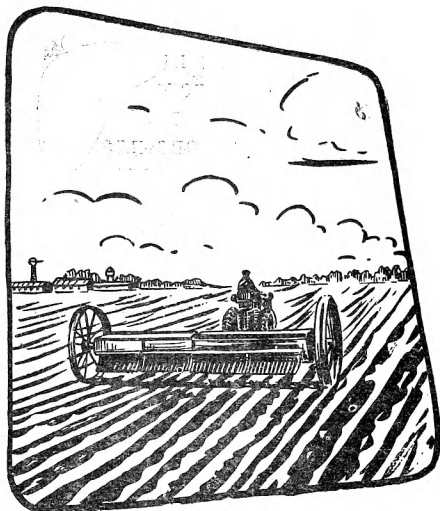
## СЕЛИТРЫ НА СЛУЖБЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Одним из наиболее эффективных удобрений является натриевая селитра ( $\text{NaNO}_3$ ). Она содержит около 15% азота. Это хорошо растворимое в воде вещество, поэтому селитру хранят в сухом помещении. При сильном нагревании селитра разлагается и в присутствии легко воспламеняющихся веществ (дерева, угля) может дать сильную вспышку и вызвать пожар.

Кальцевая селитра  $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$  содержит около 17% азота. Эта селитра при длительном хранении обнаруживает заметную слеживаемость. Поэтому ее выпускают в продажу в виде чешуек. Так же как и натриевая селитра,

это удобрение особенно пригодно для нечерноземной полосы.

Цианамид кальция ( $\text{CaCN}_2$ ), содержащий до 19% азота, дает хороший эффект на кислых почвах. За последнее время применение его в качестве удобрения сократилось, и его используют больше всего для предуборочного опрыскивания хлопчатника. В результате опрыскивания листья растений усыхают, и уборка хлопка машинами облегчается.



Очень велико содержание азота в том продукте, который получается при взаимодействии азотной кислоты и аммиака. Это так называемая аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Из формулы видно, что в молекуле аммиачной селитры находятся два атома азота. Эта селитра содержит около 35% азота, и поэтому применение ее весьма выгодно. Надо иметь в виду, однако, что оба атома азота не вполне одинаковы и корни растений усваивают их по-разному. В то время как тот атом азота, который входит в состав остатка азотной кислоты (группа  $\text{NO}_3$ ), легко и быстро всасывается корнями, аммиачный азот, т. е. азот группы  $\text{NH}_4$ , усваивается медленнее, частично подвергается окислению и под действием бактерий прев-

ращается в конечном счете в нитраты — соли азотной кислоты.

Аммиачную селитру применяют в качестве основного удобрения, а также вносят ее и под зябь. Аммиачная селитра — вещество взрывоопасное, при нагревании легко разлагается, хранение ее требует соблюдения специальных мер противопожарной безопасности. Эта селитра легко поглощает влагу и обнаруживает склонность к слеживанию и сплыванию, если остается длительное время во влажном воздухе.

При соединении аммиака с серной кислотой получается соль, имеющая формулу  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Это сульфат аммония; он содержит около 21% азота. Сульфат аммония настолько сильно поглощается почвой, что не вымывается грунтовыми водами даже при использовании его на рисовых полях, которые, как известно, полностью залиты водой. Сульфат аммония несколько подкисляет почву, поэтому рекомендуется добавлять к нему некоторое количество известняка.

В ряде случаев используют не чистые вещества, а различные смеси, дающие хороший результат при внесении их в почву. Применяют смеси аммиачной селитры с сульфатом аммония, с хлористым калием, с суперфосфатом. При приготовлении таких смесей необходимо принимать во внимание химические свойства смешиваемых веществ. Так, например, при смешивании аммиачной селитры с золой или известью начинается реакция, в результате которой выделяется газообразный аммиак; вполне очевидно, что при хранении таких смесей будут наблюдаться значительные потери азота.

Число различных удобрений, содержащих азот, довольно велико и с каждым годом растет. Однако во всех случаях в удобрениях мы имеем химически связанные атомы азота; именно в форме химического соединения азот проявляет свои удивительные и разнообразные способности, сделавшие его элементом, безусловно необходимым для жизни растений.

---





## ТАИНСТВЕННОЕ СВЕЧЕНИЕ

**А**лхимики, искавшие философский камень, который должен был, по их мнению, превращать металлы в золото или обеспечивать своему обладателю вечную молодость, производили огромное количество химических экспериментов. Они смешивали, нагревали, прокаливали разнообразные вещества, используя остатки продуктов жизнедеятельности организмов, различные неорганические соли и т. п. Их фантастическая работа не всегда бывала бесплодной. Иногда случайное стечение обстоятельств приводило их к крупным открытиям, значение и важность которых они сами не были в состоянии оценить.

В 1669 году немецкий алхимик Брандт прокалил сухой остаток от выпаривания мочи с углем и песком. В результате химических превращений, совершившихся в этой смеси, из нее выделились пары нового вещества, свойства которого показались Брандту поразительными. Это вещество светилось в темноте зеленоватым светом. Таинственное свечение очень удивляло алхимиков. Они дали загадочному веществу название фосфор, т. е. светоносный, и часто именовали его «фосфорус мирабилис», т. е. чудесный фосфор.

Способ получения фосфора долгое время сохранялся в секрете в узком кругу ученых, осведомленных о работе Брандта. Только через 24 года в результате публикации письма английского химика Бойля Английскому королевскому обществу сведения о фосфоре стали известны многим химикам.



В 1771 году фосфор начали получать по способу Шееле из костяной золы. В настоящее время его получают из минералов фосфорита или апатита посредством нагревания в электропечах с коксом и кварцевым песком.

Брандт и первые химики, работавшие с фосфором, конечно, не знали, что удивительные свойства этого элемента отнюдь не ограничиваются способностью светиться в темноте. Свечение было эффектом, легко доступным для непосредственного наблюдения. Оно обусловлено реакцией между фосфором и кислородом воздуха. Таким образом, фосфор уже в момент открытия обнаружил резко выраженное стремление соединяться с кислородом. Это свойство фосфора отличает его от азота, который, как мы уже знаем, с трудом реагирует с кислородом.

## БЕЛЫЙ И КРАСНЫЙ ФОСФОР

Атомы фосфора также совершают в природе своеобразный круговорот. Проследим путешествие фосфора от того момента, когда частицы минералов, содержащих фосфор (например, фосфорита или апатита), вступают во взаимодействие с почвенными кислотами. В результате образуются более растворимые кислые соли фосфорных кислот, хорошо усваиваемые корнями растений. В растениях фосфор входит в состав сложных ве-

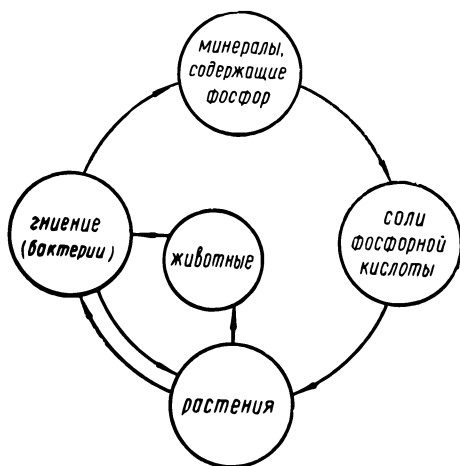


Схема 2. Круговорот фосфора в природе.

ществ, в частности в состав белков. Растения служат пищей животным, и фосфор, следовательно, переходит в организм животных.

После гибели животных их трупы подвергаются процессам гниения. В этих процессах участвуют фосфобактерии, превращающие органические соединения снова в неорганические соли фосфорных кислот (схема 2).

Фосфор отличается от азота и по ряду других признаков. Так, фосфор является твердым телом и лишь при высокой температуре переходит в газообразное состояние. Молекула фосфора при высоких температурах, так

же как и молекула азота, состоит из двух атомов. При низких температурах молекула фосфора имеет более сложное строение, в ее состав входит большее число атомов. Так же как и азот, фосфор может соединяться с водородом, образуя газ — фосфористый водород ( $\text{PH}_3$ ). В отличие от аммиака фосфористый водород очень неустоек.

Одной из замечательных особенностей фосфора следует считать его способность существовать в различных формах, которые отличаются друг от друга не только по внутреннему расположению атомов, но и по запасу энергии. Если охладить пары фосфора, то получается светлая, похожая на воск масса белого фосфора. Это очень активная разновидность. Белый фосфор самовоспламеняется на воздухе, и его приходится хранить под водой; он очень ядовит, плавится при  $44^\circ$  и обладает большой химической активностью. Однако если его оставить лежать под слоем воды на солнце (особенно в присутствии следов иода), он медленно переходит в другую разновидность — красный фосфор.

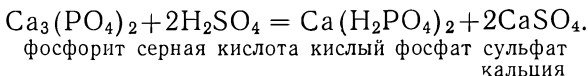
Эта разновидность резко отличается от первой и кажется совершенно другим веществом. Красный фосфор почти не ядовит, плавится при температуре около  $530^\circ$  и при этом испаряется; мало активен, может свободно сохраняться на воздухе. Эта разновидность беднее энергией, чем первая; превращение белого фосфора в красный сопровождается выделением энергии. Имеются еще и другие мало активные разновидности фосфора, на которых мы сейчас не будем останавливаться.

Фосфор образует кислоты, отличающиеся очень большой прочностью, — нужно затратить много энергии, чтобы отнять у них кислород. Следовательно, именно прочная связь с кислородом и составляет типичную, характерную черту фосфора.

Из всех кислот фосфора мы познакомимся только с ортофосфорной кислотой ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Молекула этой кислоты содержит три атома водорода; при замещении этих атомов на металл получают соли фосфорной кислоты — фосфаты. В виде кальциевой соли фосфор встречается в природе. Эта соль называется фосфоритом [ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ]. Фосфориты — источник для получения всех соединений фосфора.

## ФОСФОРИТНАЯ МУКА, ГУАНО И ТОМАСОВ ШЛАК

Мелко размолотые фосфориты могут быть непосредственно использованы в качестве удобрения. Однако существенным недостатком фосфоритов является чрезвычайно слабая растворимость их в воде. Лишь некоторые культуры, как, например, гречиха, люпин, горчица, могут усваивать фосфор из размолотого фосфорита (из так называемой фосфоритной муки). Эти растения выделяют в почву небольшие количества кислот, под влиянием которых фосфорит превращается в кислый фосфат, растворимый в воде, и начинает всасываться корневой системой растений.

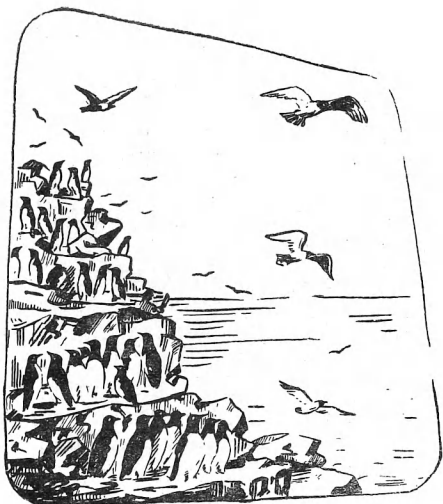


Вот почему фосфориты оказываются более эффективными на кислых почвах.

Для того чтобы превратить фосфорит в растворимое удобрение, его следует обработать серной кислотой. В результате получится смесь кислой соли и сульфата кальция. Сульфат кальция представляет собой балластное вещество, и поэтому целесообразно применять способ, который позволяет получать растворимые кислые фосфаты без него. Это достигается обработкой фосфорита фосфорной кислотой, полученной из того же фосфорита. При этом часть фосфорита расходуется на получение фосфорной кислоты, а часть идет на переработку в кислую соль. Так получают двойной суперфосфат, содержащий около 48% фосфора. Его формула  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

Большое количество фосфорных соединений содержит птичий помет — гуано. Особенно большие количества гуано находятся на пустынных островах около западного побережья Южной Америки (Перу), где постоянно живут миллионы морских птиц. Залежи гуано здесь образуют пласты толщиной в несколько метров. Твердую массу приходится взрывать и разламывать, прежде чем она станет пригодной для применения в промышленном масштабе. Эксплуатация залежей гуано представляет важную статью дохода в экономике Перу. В районе

островов запрещена ловля рыбы салаки, которой питаются птицы. Интересно, что попытка применить для целей удобрения непосредственно высушенную и измельченную салаку не дала хороших результатов. Переработка, которой подвергаются фосфорные соединения в пищеварительном тракте птиц, по-видимому, повышает удобную ценность этих соединений.



Хорошим фосфорным удобрением могут служить отходы черной металлургии, так называемый томасов шлак. В нем содержится около 14% фосфора. В качестве удобрений применяется также прицепитат ( $\text{CaHPO}_4$ ), содержащий около 40% фосфора. Это удобрение растворяется в очень слабых кислотах и легко усваивается растением.

Фосфор, так же как и азот, безусловно необходим для нормального питания растений. Дело в том, что фосфор в виде сложных соединений входит в особые белки, так называемые нуклеопротейды. Они сосредоточены в ядрах клеток и выполняют исключительно важные функции в накоплении и использовании химической энергии клетки.

Растения, получающие достаточное количество фосфора, не только быстрее развиваются, но и приобретают

более высокую питательную ценность. В плодах и овощах увеличивается содержание сахара и крахмала, у зерновых увеличивается доля зерна в общем урожае, у технических растений, например у льна, получается волокно более прочное и тонкое. Кроме того, растение, обеспеченное фосфором, оказывается более холодостойким и легче переносит заморозки.

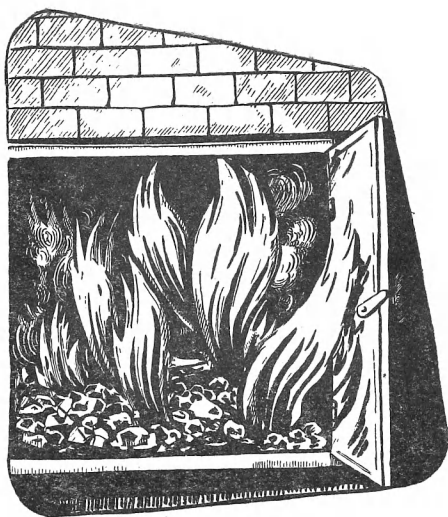
Введение фосфора в почву дает возможность получить следующие прибавки урожая (в расчете на каждый килограмм фосфорного ангидрида —  $P_2O_5$ ): хлопка 5—6 килограммов, сахарной свеклы 40—60 килограммов, картофеля 40 килограммов, кормовой свеклы 45—125 килограммов.

## ТОПЛИВО ВНУТРИ НАС

С давних пор человек обращался к химическому процессу для получения новых веществ. Однако, сжигая уголь в печах и топках, люди мало интересуются тем, какие вещества образуются при этой реакции. В процессе горения угля выделяется определенное количество тепла, а также газообразное вещество — углекислый газ. Выделяющееся при горении тепло — это энергия, и очевидно, что углекислый газ, образующийся при этом, беднее энергией, чем уголь. Теперь если бы мы пожелали разложить углекислый газ на составные части и вновь получить кислород и углерод (уголь), нам пришлось бы затратить энергию. Реакции, протекающие с выделением энергии, называют экзоэнергетическими, а те, которые совершаются с поглощением энергии, — эндоэнергетическими. Реакция горения угля экзоэнергетическая, а обратная реакция — разложения углекислого газа — эндоэнергетическая. Представим себе теперь, что какое-то вещество образовалось в результате реакции, сопровождавшейся поглощением значительного количества энергии. При разложении этого вещества мы сможем вновь получить энергию. Этими свойствами обладают, например, все взрывчатые вещества, молекулы которых, разлагаясь, освобождают за небольшой промежуток времени огромное количество энергии. В результате быстро повышается температура, происходит резкое расширение газообразных продуктов реакции, часто появ-

ляется свет, т. е. протекают те процессы, совокупность которых мы обозначаем словом «взрыв».

В иных случаях выделение энергии при разложении вещества происходит гораздо медленнее, и освобождающаяся энергия может быть использована для совершения



той или иной работы. Важно уметь регулировать процесс освобождения энергии при разложении веществ, в которых она накоплена, — тогда появляется возможность ее разнообразного и полезного применения.

Синтез белков в организме требует затраты энергии. Она расходуется на химическую «переработку» молекул белков, поступающих с пищей. Также требуется энергия и на некоторые превращения в организме жиров и углеводов.

Попробуем зажечь сахар и внесем его для этого в пламя газовой горелки. Сахар расплавится, обуглится и лишь при очень сильном нагревании загорится. Но в клетках организма человека температура составляет всего около  $37^{\circ}$ . Почему же сахар там окисляется, сгорает, так же как и в пламени? Очевидно, молекула сахара стала в организме более активной. Сначала она под влиянием особых катализаторов соединилась с водой и

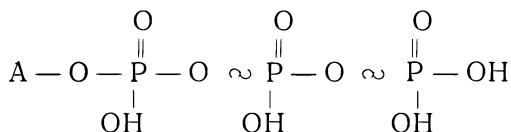


распалась на более простые молекулы глюкозы, а затем каждая молекула глюкозы вступила в соединение с фосфорной кислотой. Химическая связь фосфорной кислоты с некоторыми органическими веществами отличается важной особенностью — она очень богата энергией. Такие связи биохимики называют макроэргическими и условно обозначают символом  $\sim$ .

Молекула, в которой образовалась макроэргическая связь, легче вступает в определенные химические превращения — она более «деятельна».

Откуда же взялась фосфорная кислота? Оказывается, организмы содержат соединения азота и фосфора, имеющие в своем составе одну или две (на молекулу) макроэргические связи. Когда такие вещества накапливаются, то это значит, что клетка накапливает энергию — запасает ее в форме химической энергии. Наоборот, при разложении этих веществ полученная энергия может быть использована для различных целей, например для синтеза нужных клетке сложных соединений, в частности белков.

Формулы таких веществ, являющихся носителями энергии, довольно сложны. Наличие азота и фосфора является обязательным условием построения молекул таких богатых энергией веществ — фосфагенов, как их называют биохимики. Важнейшее из них аденозинтрифосфорная кислота, или сокращенно АТФ, построена так:



Две связи, обозначенные символом  $\sim$ , и являются богатыми энергией, т. е. макроэргическими. Если к АТФ присоединяется молекула воды и отщепляется молекула  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , то получается аденозиндифосфорная кислота — АДФ и выделяется энергия — около 12000 калорий на грамм-молекулу кислоты. АТФ представляет собой источник макроэргических связей, которые могут перемещаться с одной молекулы на другую, изменяя их свойства и повышая их химическую активность.

Теперь мы можем более ясно представить себе, что же происходит с глюкозой, попавшей в организм. Глюкоза реагирует с АТФ: к ней последовательно присоединяются две молекулы АТФ (в расчете на одну молекулу

глюкозы). Затем получившееся соединение разлагается, и вместо одной молекулы глюкозы мы получаем две, менее сложные молекулы. В ходе дальнейших превращений к продуктам реакции присоединяется фосфорная кислота и отщепляются два атома водорода. В результате этих реакций в молекуле образуется богатая энергией фосфоглицериновая кислота. После этого начинается отщепление остатков фосфорной кислоты: соединение, содержащее фосфор, реагирует с АДФ, отдает ей остаток фосфорной кислоты и превращает ее в АТФ. АТФ получается больше, чем было израсходовано в первых стадиях всего процесса, так как в реакцию входила также и неорганическая фосфорная кислота. В итоге этих превращений глюкоза дает так называемую пировиноградную кислоту. Пировиноградная кислота реагирует с водородом и дает в зависимости от характера действия клетки те или иные продукты: в процессе дыхания получается вода и углекислый газ, в процессе брожения образуется спирт или молочная кислота и т. д. Освобождающаяся при этом энергия опять накапливается в форме АТФ, т. е. снова возникают богатые энергией связи (схема 3).

Каждая молекула глюкозы, сгорая до углекислого газа и воды, приводит к образованию 38 макроэргических связей, т. е. граммолекула глюкозы доставляет организму около 456 тыс. калорий.

Организм с помощью соединений азота и фосфора использует для своих целей около 60% энергии, которая выделяется при окислении глюкозы. Это очень большой коэффициент использования. Еще недавно основным источником движущей силы на железных дорогах был паровоз, у которого лишь около 8% всей энергии, получавшейся при горении угля, превращалось в полезную работу.

Для каких целей и каким образом может быть израсходован этот запас энергии в организме?

Прежде всего на уже упоминавшейся нами синтез белка.

Частица белка состоит из целого ряда соединенных друг с другом остатков аминокислот. Всего в состав молекулы белка входит до 20 различных аминокислот. Каждый определенный индивидуальный белок характеризуется не только числом, но и строгой последователь-

ностью чередования аминокислот. В настоящее время полностью расшифрован состав и строение лишь немногих, сравнительно простых белков. Так, хорошо известна схема строения инсулина. Этот белок состоит из двух цепочек, соединенных атомами серы. Одна цепочка содержит 21, а другая 30 аминокислот. Создание таких сложных структур требует очень совершенных химических «механизмов».

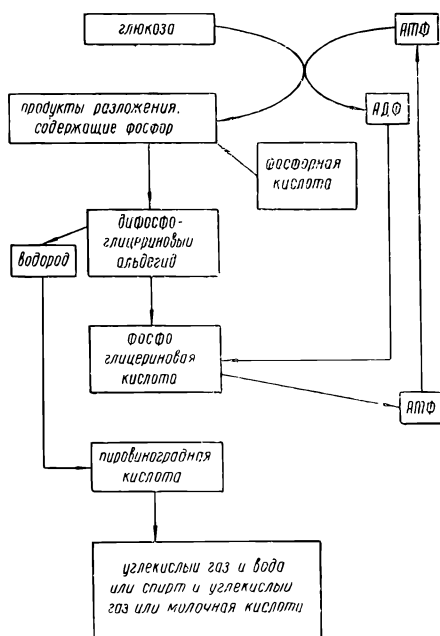
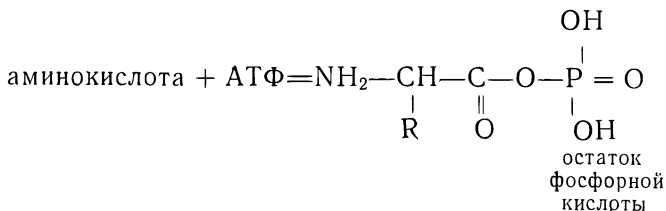


Схема 3. Схема важнейших стадий превращения глюкозы в клетке.

Общий характер превращения веществ при синтезе белка в организме в настоящее время более или менее ясен.

Процесс строительства белков из отдельных аминокислот начинается с того, что аминокислота, полученная с белками пищи, реагирует с аденозинтрифосфорной кислотой (АТФ). От АТФ отщепляется остаток фосфорной кислоты и переходит к аминокислоте:



Такая форма аминокислоты химически более активна. Следующая реакция заключается в том, что к этой активной форме присоединяется вторая молекула амина-

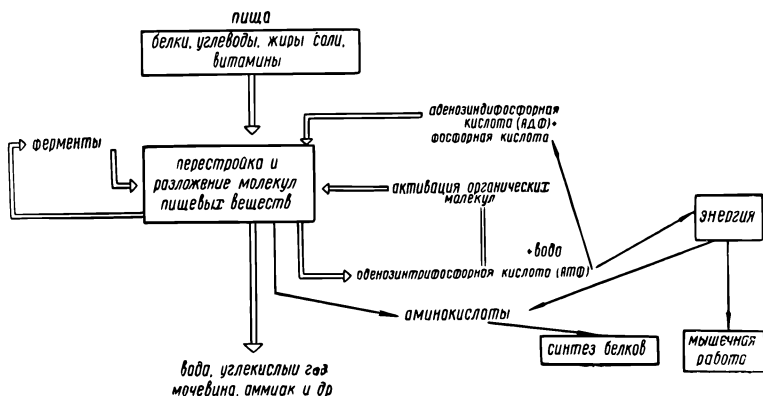


Схема 4. Основные этапы переноса и использования энергии в организмах.

кислоты и получается второе звено. Далее процесс повторяется, и цепь аминокислот наращивается и достигает значительной длины. В этом процессе принимают участие специальные ферменты — катализаторы, а также рибонуклеиновая кислота, переносящая богатые энергией молекулы аминокислот к тем местам клетки, где совершается их сцепление в определенном порядке (схема 4).

Исследование ферментов, находящихся в организмах животных и растений, показывает, что в их состав также входят азот и фосфор.

Вот почему эти элементы так важны для нормального развития всех живых организмов на Земле, от амёбы до человека.



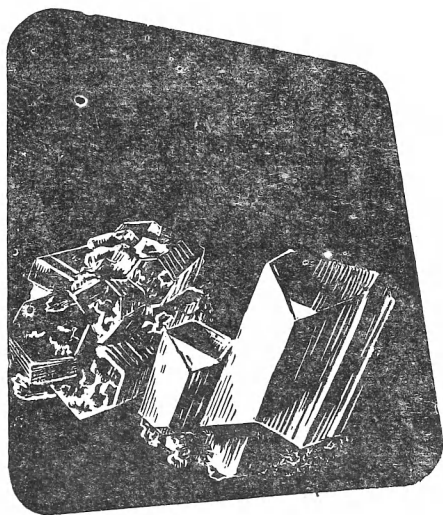
## ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Среди многих простых, но очень эффективных химических опытов есть и такой. В сосуд с водой бросается кусочек вещества. Как только кусочек коснется поверхности воды, раздается треск, шипение, кусочек начинает крутиться и прыгать по поверхности воды, которая как бы закипает вокруг него. Это вещество, так бурно реагирующее с водой, представляет собой металл калий. Химики познакомились с ним сравнительно поздно: калий был открыт англичанином Дэви в 1807 году. Пропустив через расплав гидроокиси калия сильный электрический ток, Дэви наблюдал, как на катоде (электроре, заряженном отрицательно) появляются небольшие блестящие шарики жидкого металла, легко вспыхивающие на воздухе и сгорающие фиолетовым пламенем.

Калий обладает очень большой химической активностью. С точки зрения теории строения атома это объясняется тем, что атом калия имеет один слабо связанный электрон на внешнем электронном слое. Этот электрон легко отрывается и переходит к другим атомам (например, если калий соединяется с кислородом, то электрон переходит к атому кислорода). Атом калия при этом приобретает положительный заряд — делается ионом, как говорят химики. Ион калия с трудом присоединяет элек-

трон — его химическая активность поэтому гораздо слабее, чем у атома калия.

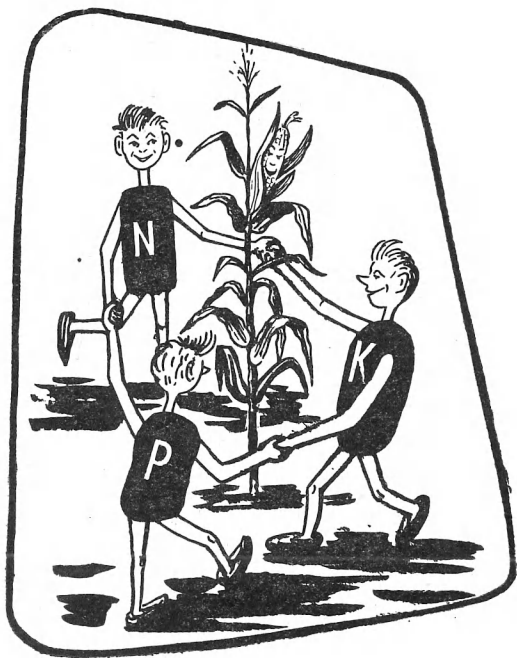
Ионы калия входят в состав кристаллов целого ряда различных солей и минералов. Полевые шпаты, слюда и другие породообразующие минералы содержат калий. Однако для сельского хозяйства особенный интерес представляет хлористый калий, используемый в качестве удобрения. Кристаллы хлористого калия построены из



одинакового числа положительных ионов калия и отрицательных ионов хлора; в целом такой кристалл электрически нейтрален. В природе хлористый калий встречается как в чистом виде, так и в сочетании с другой солью — хлористым магнием, который оказывает на растения вредное действие. Поэтому химикам пришлось затратить много труда, прежде чем были разработаны удобные методы очистки калийных солей от магния. Лишь в 60-х годах прошлого века началось широкое промышленное производство калийных удобрений. Наша страна обладает исключительно богатыми залежами различных калийных солей, сосредоточенных главным образом в районе города Соликамска, и поэтому наше сельское хозяйство полностью обеспечено этим важным видом удобрений.

## СОДРУЖЕСТВО ТРЕХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изучение биохимической роли калия показывает, что ионы калия в организме действуют в тесном содружестве с соединениями азота и фосфора. Недаром агрохимики считают, что эти три элемента (азот, фосфор и калий) должны составлять основу всех удоб-



рений. И хотя теперь мы знаем, что растению нужны еще и другие элементы, но все же значение этих трех остается очень большим. В настоящее время доказано, что под влиянием калия в растениях усиливается образование и улучшается передвижение сахаров. Калий влияет на ход образования белков, а также повышает стойкость растений к холоду.

В организме животных калий играет важную роль — он повышает активность фермента карбоангидразы. Этот фермент необходим для правильного процесса дыхания,

так как он ускоряет распад солей угольной кислоты в крови, проходящей через легкие. Калий сильно влияет на нервную систему, в частности на деятельность блуждающего нерва, регулирующего работу сердца.

Ион калия участвует в процессах взаимодействия аденозинтрифосфорной кислоты с органическими веществами: перенос остатков фосфорной кислоты требует присутствия ионов калия.

Следовательно, калий необходим для роста и развития растений, для дыхания и движения животных.

## КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

**Н**аибольшее количество калия содержится в картофеле, свекле, табаке, подсолнечнике, поэтому эти культуры испытывают особенную нужду в калийных удобрениях. Для подкормки под пропашные культуры калийные удобрения (хлористый калий) вносят на глубину 8—10 сантиметров. Целесообразно также заблаговременное внесение калийных удобрений под вспашку. Следует иметь в виду, что песчаные и супесчаные почвы, как правило, бедны калием. В других почвах калий может находиться в такой форме, которая трудно доступна для усвоения растениями, например в виде полевого шпата. Такие почвы также требуют калийных удобрений.

Наша промышленность выпускает различные калийные удобрения — сильвинит, хлористый калий, каинит, сернокислый калий.

Сильвинит содержит хлористый калий и хлористый натрий. Как удобрение в чистом виде его используют только в районах его производства, так как он содержит всего около 15% калия. После переработки из него получают важнейшее и наиболее распространенное удобрение — хлористый калий, содержащий 61,9% калия.

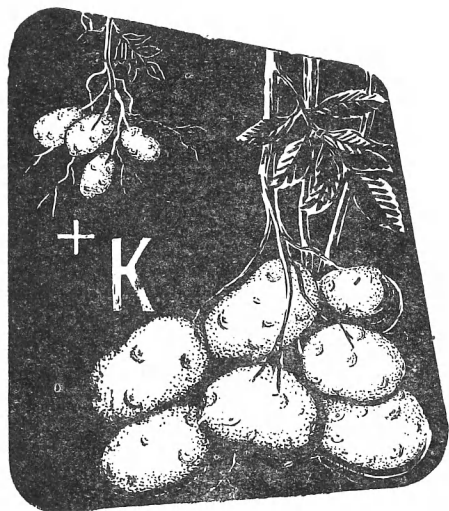
В некоторых случаях к хлористому калию добавляют молотый сильвинит, т. е. сознательно вводят хлористый натрий. Дело в том, что морковь, брюква, турнепс, капуста нуждаются не только в калии, но и в натрии.

Люпин, картофель, многолетние бобовые травы хорошо развиваются при наличии в почве небольших количеств магния. В этом случае целесообразно применение



калийных удобрений с примесью магния. Под табак применяют сернокислый калий, который получают из соли, содержащей сульфат калия и сульфат магния (лангбейнит).

В заключение укажем, что соединения, образуемые азотом, фосфором и калием в организмах животных и растений, разнообразны и часто весьма сложны по составу и строению. Это не только различные белки, но и



обширная группа природных катализаторов—ферментов, управляющих всеми важнейшими химическими превращениями в клетке. Значительная часть витаминов, например витамины группы В<sub>1</sub>, являются соединениями азота и фосфора. Антибиотики, гормоны, все вещества, обуславливающие передачу нервного возбуждения, и многие другие биологически активные соединения содержат эти элементы.

Нельзя недооценивать практического значения этой знаменитой «тройки» в сельском хозяйстве: от правильного и своевременного введения в почву этих веществ зависит урожайность всех сельскохозяйственных культур.

В постановлении январского Пленума ЦК КПСС 1961 года указывается на значительное увеличение производства минеральных удобрений как на важнейшую и неотложную задачу, стоящую перед соответственными отраслями народного хозяйства.

По семилетнему плану развития народного хозяйства СССР осуществляется значительное расширение промышленности азотнофосфорнокалийных удобрений. В 1965 году производство азотнофосфорнокалийных удобрений в нашей стране возрастет по сравнению с 1953 годом более чем в 5 раз.

Улучшается качество удобрений и вместе с тем растет и число отдельных видов удобрений, приспособленных для применения в различных условиях. Уже в 1954 году наша промышленность выпускала 14 видов удобрений; в 1956—1958 годах было организовано производство таких удобрений, как нитрофоска, содержащая все три элемента (азот, фосфор и калий), аммонизированный суперфосфат, жидкие азотные удобрения. Предполагается широкое внедрение двойного суперфосфата и мочевины, богатой азотом.

Производство и применение удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, требует глубокого исследования тех химических превращений, в которых участвуют и которые обуславливают соединения этих элементов. Советская биохимическая наука, развивающаяся на основах, заложенных такими выдающимися учеными, как К. А. Тимирязев, Д. Н. Прянишников, В. И. Палладин, С. П. Костычев, А. Н. Бах, в результате работ А. И. Опарина, В. А. Энгельгардта, А. Л. Курсанова и многих других талантливых советских ученых добилась крупных успехов в понимании роли и механизма действия соединений азота, фосфора и калия.

Нет сомнений в том, что тесный контакт работников сельского хозяйства и биохимиков явится важным условием плодотворного применения достижений науки в повседневной практической борьбе за дальнейший подъем нашего народного хозяйства.

---

# Интересно, полезно знать

## ВЕЩЕСТВА ПРОСТЫЕ И СЛОЖНЫЕ

**В**ещества делят на простые и сложные. К простым относятся такие, которые нельзя разложить химическим путем. Это железо, медь, кислород, азот, водород, углерод, фосфор и др. В настоящее время известно 102 простых вещества. Соединяясь химически друг с другом, простые вещества образуют сложные вещества. Так, водород, соединяясь с кислородом, дает новое вещество — воду. Вода является сложным веществом, поскольку ее можно разложить на водород и кислород. Для этого достаточно пропустить через воду электрический ток: на положительном электроде выделится кислород, а на отрицательном — водород. Сложными являются такие вещества, как серная, азотная или фосфорная кислоты, окислы металлов и металлоидов, множество соединений, встречающихся в природе: минералы, белки, соли и т. п. Окислы — соединения простых веществ с кислородом. Если окисел, реагируя с водой, дает кислоту, то мы называем его ангидридом, а простое вещество относим к классу металлоидов, или неметаллов. Так, при горении серы получается ее окисел — сернистый газ. Сернистый газ, реагируя с водой, дает сернистую кислоту. Если же окисел образует с водой щелочь, то простое вещество следует отнести к классу типичных металлов. Например, окисел натрия, взаимодействуя с водой, образует щелочь — едкий натр (каустическая сода).

Многие простые вещества обладают смешанными свойствами: их окислы не взаимодействуют непосредственно с водой, но могут реагировать с кислотами и давать соли. Таков, например, окисел алюминия.

Окислы переходных (промежуточных) простых веществ, которые не реагируют с водой, но образуют с кислотами соли, носят название основных окислов. Это, например, окислы таких металлов, как железо, медь, цинк и т. п.

Соль получается из кислоты при замещении водорода в кислоте на металл. Щелочи и свободные металлы, реагируя с кислотами, дают соли.

Так, если на едкий натр подействовать соляной кислотой, то получится соль — хлористый натрий и вода.

**К**ак получают ставшие привычными в нашем обиходе изделия из полихлорвинила, легкую полиэтиленовую пленку, стрептоцид и изящную нейлоновую ткань? Полиэтилен получают из газа, являющегося продуктом переработки нефти; черные куски карбида кальция и горючий газ ацетилен — родоначальники мягких сумочек и плащей из полихлорвинила; стрептоцид для своего приготовления требует серной кислоты, бензола и аммиака.

Как же все эти виды «сырья» превратить в то, что нам нужно? Вот тут-то на помощь химикам и приходят катализаторы — вещества, которые активно входят в реакцию, направляя ее по самому «быстрому» пути, а затем вновь выходят из реакции, имея тот же состав, что и в начальный момент. Таким образом, катализатор влияет на скорость реакции, но в конечном счете остается неизменным.

Катализаторы иногда ускоряют химическое превращение в тысячи и миллионы раз, и поэтому в настоящее время они получили широкое применение во всех отраслях химической промышленности. Обычно промышленные катализаторы представляют собой металлы, окислы или соли. Чаще всего используют соединения железа, меди, хрома, молибдена, ванадия и др. Во многих случаях катализатор является смесью упомянутых веществ, так как добавление других веществ часто дает возможность резко повысить активность катализатора и увеличить срок его службы. Катализатор сначала сам соединяется с одним или несколькими веществами и делает их более активными. Затем это соединение испытывает химическое превращение, в результате которого катализатор «возрождается» и одновременно образуются конечные продукты реакции.

В организмах животных и растений действуют мощные и очень активные катализаторы белковой природы, содержащие сложные вещества и иногда соединения металлов. Эти катализаторы называют ферментами. Практически все химические реакции в организмах регулируются ферментами.

### ОПЫТЫ, КОТОРЫЕ МОЖНО ВЫПОЛНЯТЬ В НЕБОЛЬШОЙ ЛАБОРАТОРИИ

**Д**ля производства опытов необходимо следующее оборудование и реактивы:

- кристаллизатор диаметром 20—30 сантиметров;
- банка с обрезанным дном или стеклянный колокол;
- фарфоровый тигель диаметром 1—3 сантиметра;
- стеклянный стакан (300—400 мл);
- пробирки (1—6 штук);
- железные ложечки с длинной ручкой (2—3);
- держатель для пробирок;
- фосфор красный;
- азотная кислота (концентрированная), удельный вес 1,4;
- скипидар;

серная кислота (концентрированная), удельный вес 1,84;  
калий (металлический);  
селитра калиевая;  
аммиак водный (25%);  
раствор лакмуса;  
лучинка, песок, асбест.

Все это есть в школьной лаборатории, а также можно приобрести в магазинах химических товаров.

*Опыт 1. Получение азота из воздуха.* В стеклянную чашку-кристаллизатор (можно взять низкую и широкую кастрюлю) погружают стеклянную банку с отрезанным дном. В горло банки вставлена пробка, снабженная коротким отрезком проволоки. На конце проволоки укрепляют кусочек жести в форме ложечки. В чашку наливают воду так, чтобы она заняла приблизительно четверть объема банки.

В ложечку помещают кусочек фосфора (красного), зажигают, опускают в банку, закрывают пробкой ее верхнее отверстие. После окончания горения и охлаждения воздуха вода внутри банки поднимается. Доливая воду во внешний сосуд, убеждаются, что вода заняла около одной четверти объема банки.

В банке теперь содержится только азот. Внося в банку зажженную лучинку, можно показать, что азот не поддерживает горения — лучинка гаснет.

*Опыт 2. Окислительные свойства азотной кислоты.* Для опытов употребляют концентрированную кислоту. Обращаться с ней надо осторожно, избегая вдыхать ее пары, так как они ядовиты. При попадании на кожу кислота вызывает ожоги. Если капли кислоты случайно попали на руку, следует смыть ее водой и промыть кожу слабым раствором аммиака или соды.

1—2 миллилитра кислоты наливают в фарфоровый тигель, добавляют 0,5 миллилитра концентрированной серной кислоты и помещают на дно стеклянного стакана. В пробирке подогревают скипидар (0,5—1 миллилитра) и быстро вливают в тигель. Азотная кислота окисляет (сжигает) скипидар так энергично, что он вспыхивает. Серная кислота облегчает реакцию, отнимая воду, получающуюся в результате окисления.

*Опыт 3. Окислительные свойства солей азотной кислоты.* В пробирке расплавляют 1—2 грамма селитры (калиевой). В расплавленную массу бросают зажженный кусочек угля. Уголь бурно сгорает в селитре. Кусочек серы горит в селитре ослепительным пламенем, и пробирка иногда расплавляется.

*Опыт 4. Образование солей аммиака.* Стакан, в котором находится 1—2 миллилитра водного аммиака (нашатырный спирт), накрывают блюдечком, предварительно слегка смоченным концентрированной соляной кислотой. Стакан быстро наполняется густым белым дымом — это мельчайшие частицы хлористого аммония. Если взять азотную кислоту, то получится азотнокислый аммоний, применяемый в качестве удобрения.

---

<sup>1</sup> Опыты с фосфором опасны, так как фосфор (белый) легко вспыхивает, причиняя серьезные ожоги. Поэтому следует по возможности применять для опытов красный фосфор.

*Опыт 5. Получение раствора фосфорной кислоты*<sup>1</sup>. В стеклянную банку вносят на железной ложечке зажженный фосфор. Для опыта достаточно взять 0,1 грамма фосфора. Когда горение окончится, добавляют в банку 30—40 миллилитров воды, закрывают пробкой и энергично встряхивают. Белый дым, получившийся при горении, растворяется в воде. Дым — это фосфорный ангидрид. С водой он образует фосфорную кислоту. Для проверки к воде прибавляют синего лакмуса. Лакмус окрашивается в красный цвет.

*Опыт 6. Получение белого фосфора.* В пробирку помещают около 0,2 грамма красного фосфора. Отверстие пробирки закрывают ватной пробкой. Захватив пробирку в держатель с длинной ручкой, осторожно нагревают ее на небольшом огне. Под горелку надо положить лист железа или асбеста на случай, если пробирка лопнет. В этом случае горящий фосфор быстро засыпают песком. При медленном нагревании фосфор переходит в пар и частично окисляется кислородом, имеющимся в пробирке. Большая часть паров оседает на холодных стенках пробирки в виде налета белого фосфора. Как только налет беловато-желтого цвета стал заметен, нагревание прекращают и дают пробирке немного остыть. Для демонстрации свойств белого фосфора осторожно щипцами вынимают ватную пробку и длинной лучинкой снимают со стенки немного белого фосфора. Как только лучинку вынимают из пробирки, фосфор тотчас же загорается.

*Опыт 7. Действие калия на воду.* В кристаллизатор наливают воду и бросают туда небольшой кусочек металлического калия, предварительно тщательно очистив его от поверхностной корочки.

Калий немедленно вспыхивает и горит фиолетовым пламенем.

Смысл этого явления заключается в том, что калий активно действует на воду, вытесняя из нее водород; при этом выделяется так много тепла, что водород загорается. Пары калия окрашивают пламя в фиолетовый цвет. В конце реакции частично сгорает и сам калий, образуя расплавленную массу перекиси. Поэтому опыт заканчивается небольшим взрывом, и частицы перекиси разбрасываются во все стороны. Необходимо соблюдать осторожность и не употреблять для опыта кусочки калия больше чем с горошину.

---

---

## СОВЕТУЕМ ПРОЧИТАТЬ

**Химия в сельском хозяйстве.** Под ред. Я. В. Пейве и А. В. Петербургского. Сельхозгиз, 1959.

В этой книге читатель найдет разнообразные сведения о всех важнейших удобрениях и способах их применения. Книга написана простым языком и доступна лицам, не имеющим специальных химических знаний.

**Шпаусус З.** Путешествие в мир химии. Пер. с нем. под ред. Б. М. Беркенгейма. М., Учпедгиз, 1959.

В этой книге, написанной очень живо и популярно, можно найти ряд полезных сведений о химии азота и фосфора, а также исторические данные о применении удобрений.

**Физика и химия в жизни** (сборник статей). Пер. с англ. под ред. В. П. Коноплева. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1960.

В книге описаны процессы фотосинтеза, изложены проблемы строения белков и энергетические закономерности обмена веществ, в котором участвуют соединения азота и фосфора. Книга рассчитана на подготовленного читателя.

**Кретович В. Л.** Основы биохимии растений. М., Изд-во «Высшая школа», 1961.

В первых главах книги читатель найдет подробное описание аминокислот и белков. Книга написана хорошим языком, но чтение ее требует знания химии по крайней мере в объеме средней школы.

**Прянишников Д. Н.** Азот в жизни растений и в земледелии. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1945.

Очень хорошее и полное изложение химии азота и роли азота в сельском хозяйстве.

---

---

## КРАТКИЙ СЛОВАРИК К ТЕКСТУ БРОШЮРЫ

- Аминокислоты** — органические соединения, входящие в состав всех белковых веществ в организмах животных и растений.
- Антибиотики** — химические вещества, образуемые микроорганизмами и обладающие способностью убивать других микробов.
- Атмосфера** — газообразная оболочка Земли.
- Белки** — органические вещества очень сложного строения, постоянные и важнейшие составные части живого вещества.
- Гидроокиси** — соединения окислов химических элементов с водой.
- Глюкоза** — виноградный сахар, входящий в состав многих сложных сахаров (крахмала, гликогена, молочного сахара и других).
- Гормоны** — активные вещества, выделяемые железами внутренней секреции в организме животных.
- Грамм-молекула** — число граммов вещества, равное его молекулярному весу.
- Двуокиси** — название окислов, в состав молекул которых входят два атома кислорода на один атом вещества.
- Карбид кальция** — соединение кальция с углеродом; кристаллическое вещество.
- Каустическая сода** — техническое название едкого натра.
- кгм** — килограммометр, единица измерения работы и энергии.
- Кислые соли** — соли, содержащие водород, способный замещаться металлом.
- Костяная мука** — продукт переработки костей домашних животных, используемый в качестве удобрений.
- Магнитное поле** — пространство, в котором действуют магнитные силы.
- Минерал** — природное тело, приблизительно однородное по химическому составу и физическим свойствам.
- Минеральные соли** — неорганические соединения, распадающиеся в водных растворах на ионы металла и кислотного остатка.
- Платина** — химический элемент, металл, встречающийся в природе преимущественно в самородном состоянии (в виде зерен и чешуек разной величины).
- Почвенные кислоты** — кислоты, находящиеся в почве.
- Рибонуклеиновая кислота** — сложное органическое соединение.
- Ферменты** — катализаторы белковой природы, образующиеся в организме.
- Фосфорный ангидрид** — наиболее устойчивый окисел фосфора.



**Цианамид кальция** — неорганическое соединение кальция, углерода и азота; бесцветное кристаллическое вещество.

**Черная металлургия** — отрасль тяжелой промышленности, производящая чугун, сталь, прокат.

**Щелочи** — гидроокиси металлов (например, натрия, калия), растворимые в воде.

**Электрическая дуга** — вид электрического разряда, в котором все явления сосредоточены в узком, ярко светящемся пространстве между электродами.

---

6 коп.

