

Б.И.Казakov

БЛИСТАТЕЛЬНЫЙ  
ПУТЕШЕСТВЕННИК



Р



**Б.И.Казakov**

**БЛИСТАТЕЛЬНЫЙ  
ПУТЕШЕСТВЕННИК**



**Москва**  
**«МЕТАЛЛУРГИЯ» 1981**

УДК 669.781(09)

Рецензент *В. Г. Киселев*

Оформление и рисунки художника **Л. М. ЧЕРНЫШЕВА**

**Казаков Б. И.**

**К14 Блистательный путешественник (Бор).** — М.: Металлургия, 1981. — 136 с., с ил.  
**ИСБН**

Трудно назвать сейчас отрасль промышленности, где не используют бор. Его применяют и для повышения урожайности, и для изготовления лекарств, и для производства обыкновенных глиняных кирпичей и металлокерамики; он необходим и при варке стекла, и при изготовлении уникальных оптических инструментов. Полимеры, ракетное топливо, материалы, работающие в космосе, электроника, создание новых сплавов, металлообработка — все теперь требует бора! С его помощью удалось решить множество задач, которые раньше казались непреодолимыми. В книге рассказывается о том, что дал бор различным отраслям народного хозяйства, и как это происходило.

Книга адресована всем любознательным, а особенно — молодежи.

**К**  $\frac{31000-131}{040(01)-81}$  11-81 2601000000

669.781(09)

**ИБ № 1698**

**Борис Игнатьевич Казаков**

## **БЛИСТАТЕЛЬНЫЙ ПУТЕШЕСТВЕННИК**

Редактор издательства **М. Р. Лаповская**

Художественный редактор **А. И. Гофштейн**

Технический редактор **В. В. Михайлова**, Корректор **М. Д. Носова**

Сдано в набор 16.02.81  
Формат бумаги 70×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
Гарнитура журнальная рубл.  
Усл. кр. от. 6,25  
Заказ 181

Подписано в печать 08.05.81  
Бумага книжно-журнальная № 2  
Печать высокая  
Уч.-изд. л. 6,21  
Цена 20 к.

T-07790  
Усл. печ. л. 5,95  
Тираж 60600 экз.  
Изд. № 0292

Издательство «Металлургия», 119034, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и  
книжной торговли  
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

© Издательство «Металлургия»

## КАРАВАН В ПУТИ

Вечно живет в сказаниях среднеазиатского Востока Ходжа Насретдин. Веселый мудрец, правдолюбец, «возмутитель спокойствия», постоянный скиталец, кочевал он из Бухары в Хорезм, из Хорезма в Багдад, спасаясь от преследований одураченных богатеев и властелинов.

Существовал ли вообще Насретдин или нет, доподлинно не известно. Может быть, образ его — всего лишь создание народной фантазии. Говорят, что жил он в XIII веке, но по легендам с таким же успехом можно считать, что это было в VIII—IX веках. Если так, то весьма вероятно, что, странствуя по Средней Азии, Насретдин не раз встречал караваны, груженные тюками с блестящим белым порошком.

— Мир вам, степенные купцы, да будет легка ваша дорога, да не оставит вас Аллах своим благословением, —



говорил, наверно, в таких случаях Насретдин. — Куда и зачем, о достославные, через степи и пустыни, пренебрегая опасностями столь трудного пути, направляете вы своих верблюдов? Что за груз обременяет их горбы, кому нужен и чем ценен этот бесцветный порошок?

— О путник, — отвечали Насретдину купцы, — да простит тебе всемогущий Аллах твое неразумение, мы держим путь во владения мудрейшего калифа Багдадского, да продлятся дни его жизни. Да будет дорога предстоящая и нам и тебе легче той, что уже позади. Мы пришли издалека через горные перевалы Памира. А белый порошок, о путник, что видишь ты, очень нужен в великом калифате, и лишь сам пресветлый калиф, да пребудет он во здравьи, может оценить его по достоинству. Долгий путь прошли мы со своим караваном, много тягот и невзгод испытали, но ждем, что за доставленный нами груз великий калиф не оставит нас своей милостью.

Не по пути было Ходже Насретдину с караваном купцов, ибо он знал: давно уже разыскивает его калиф Багдадский, и голова его «оценена по достоинству» — выкуп за нее назначен немалый... И потому, пожелав каравану доброго пути и благосклонности Аллаха и калифа, направился он в другую сторону... А караван продолжал свой нелегкий путь в Багдад.

В то время Багдад был большим густонаселенным городом, в котором шла оживленная торговля. При калифе Гарун-аль-Рашиде, о котором так много написано в сказках «Тысячи и одной ночи», арабская культура достигла высокого уровня. Возводились великолепные дворцы и мечети, строились каналы и ирригационная система, плодотворно работали ученые. Процветали самые различные ремесла: выделка кож, тканей, изготовление бумаги, всевозможных парфюмерных средств, керамических изделий. Но самым важным ремеслом была, конечно, обработка металлов. Ведь сила войска не

только в его числе, храбрости воинов и мудрости полководцев, но и в его оружии.

Чтобы обрабатывать поля, требовались металлические орудия, металл прочно вошел в повседневный быт. Слава воина жила в веках, слава кузнеца, случалось, переживала тысячелетия.

При изготовлении тех или иных металлических изделий приходилось соединять их отдельные части. Так возникли пайка и сварка металлов. Пайку ведут с помощью легкоплавких (мягких) и тугоплавких (твердых) припоев.

Твердые припои — это медные сплавы. Для их расплавления требуются высокие температуры, но они по сравнению с мягкими прочнее связывают между собой отдельные части металла. Кузнецы заметили, что твердые припои гораздо легче переходят в жидкое состояние, когда к ним прибавляют те или иные вещества — плавни.

С давних времен наилучшим из таких плавней считалась бура, она не только помогала быстрее расплавить припой, но и прекрасно очищала основной, подлежащий спайке, металл. После этого части его соединялись особенно прочно. Бура стала очень дорогим материалом.

Караван, который, возможно, встретил Ходжа Насретдин, шел в Багдад через далекий Памир, доставляя необходимую кузнецам буру. У купцов были все основания надеяться на милость мудрого калифа, прекрасно понимающего нужды металлообработки.

## **БОГАТСТВО ГОРНОЙ СТРАНЫ**

Известно, что во времена Гарун-аль-Рашида жил и работал великий ученый Джабир-ибн-Гайян, которого Европа знала как Гебера. Научная слава его была так велика, что спустя не одно столетие европейские алхимики для большей убедительности беззастенчиво подписывали свои сочинения именем Гебера.



В сочинениях Джабира, которые дошли до нас, сообщается о том, что в Багдад с отрогов Гималаев доставлялось вещество «борак». Привозили его и с малодоступного Памира. Если это вещество смешать с тугоплавкими металлами, то для получения сплава потребуется не такой высокий нагрев. Слово «борака» на языке жителей гор означало «блестеть». «Борак» и представлял собой блестящий белый порошок. Химики нашего времени говорят, что это была общеизвестная борная кислота, а также ее натриевая соль, называемая бурой.

В Гималаях и до сего времени из нескольких озер добывают бору или борную кислоту. Такие озера питаются подземными минеральными источниками и не имеют стока. Рассол его содержит поваренную соль и бору. Кристаллы соли осаждаются на дне озера, а бора отлагается по его берегам.



Издавна памирцы и тибетцы собирали буру, продавали ее в разных странах. А ремесленники постигали все новые ее свойства. Так, в Индии буру применяли не только первые «химики». Налет на коре деревьев, из которого приготавливали красный лак, после обработки бурой становился мягче. Забегая вперед, можно сказать об аналогичном использовании буры в наше время. Каучуконосное дерево—гевея со временем теряет способность вырабатывать достаточное количество латекса. Плантации «старой» гевеи вырубали и сжигали, так как древесина их хорошим качеством не отличалась. Но сейчас установлено, что если такую древесину сразу же после валки обработать раствором буры, то она становится прочнее и обходится гораздо дешевле той, которую обычно используют строители. Буру использовали и в шелковом производстве — для очистки коконов перед их размоткой.

Высоко в горах, в этой же части Азии есть озера, образованные горячими источниками. Из них в зимний период добывали борную кислоту, а затем, смешав ее с добытой поблизости содой, также получали буру и отправляли ее в дальние страны.

В восточном разветвлении горного хребта Каракорум буру добывали из озера Буль-тсе. Слово «буль» означает «бура», и таким образом речь идет о «борном озере». В Западном Тибете по горной котловине протекает река Пуга. Температура воды в ней достигает 25—30°C, так как она питается горячими источниками. Мощные отложения буры (до 60 см толщиной) по берегам этой речки люди использовали в течение многих столетий.

Несколько столетий всю Европу восхищало и поражало венецианское стекло, секрет выделки которого строжайшим образом сохранялся государственными законами. Для понижения температуры плавки стекольной шихты (что также было секретом) в Венеции пользова-

лись плавнем, доставляемым из Индии. Вещество это называлось «тинкал» или «тхали», и было не чем иным, как «булем» или «бораком», то есть бурой.

Индия стала у себя добывать это ценное вещество и доставлять его другим странам, но в основном она приобретала буру, в соседних горных местностях, которую с выгодой для себя перепродавала венецианскому правительству. Почти до XIX века нужды Европы и Азии удовлетворяли эти поставщики буры.

## РОЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТА

Такое удивительное вещество, каким в средние века оказалась бура, привлекало, конечно, к себе интерес алхимиков; они пытались получить ее в чистом виде. Но никаких сообщений об их успехах в этом деле до нас не дошло.

В самом начале XVIII столетия, в 1702 году, парижский врач и химик В. Гомберг, нагревая природную буру с серной кислотой, получил новое для того времени кристаллическое вещество — борную кислоту.

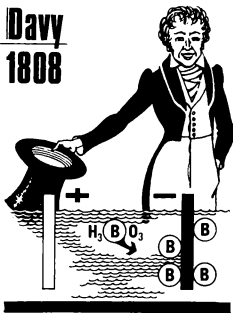
Об «успокоительной соли Гомберга», как назвал ее удачливый первооткрыватель, вскоре стало известно в Англии, где ее начали применять в медицине. Гомберг подробно описал получение нового вещества, но химическая связь между бурой и «успокоительной солью» была установлена далеко не сразу. Химик Иоанн-Генрих Потт при изучении нового вещества пришел к ошибочному выводу, что оно состоит из медного купороса и той же буры. Доказательств не было, но ошибка известного тогда ученого, видимо, несколько задержала дальнейшие исследования других химиков в этом направлении.

Лишь в 1747 году Ф. Барону удалось показать, что новое вещество при воздействии на него щелочи вновь превращается в буру. Сейчас это просто — сказать: бура есть соль борной кислоты; в те же времена все эти

термины — «соль», «кислота», «элемент» и другие еще «не имели права гражданства», и понятие о них было самое разноречивое. В 1787 году произошла «великая химическая революция»: прославленный французский ученый А. Лавуазье составил первую систематическую номенклатуру всех известных к тому времени химических веществ, обобщив в книге «Элементарный курс химии» результаты как собственных работ, так и трудов своих предшественников. В основу новой номенклатуры были положены все известные в то время химические элементы. С современной точки зрения эта номенклатура, конечно, не безупречна, но тогда она означала гигантский шаг вперед в развитии этой области науки. Селен, фосфор, углерод, сурьму, висмут, мышьяк, серебро, кобальт, медь, олово, железо, марганец, ртуть, молибден, никель, золото, свинец, вольфрам, цинк, кислород, азот — все их Лавуазье характеризовал как элементы, то есть вещества, которые уже нельзя разложить химическими способами, и назвал их радикалами. Лавуазье считал, что, соединяясь с кислородом, они дают кислоты. «Успокоительная соль» заняла свое место в химической номенклатуре как «буровая кислота», образованная неизвестным еще радикалом.

Начало XIX века ознаменовалась введением в практику химических исследований нового могущественного средства — электриче-

**Davy**  
**1808**



ского тока. Используя его для разложения едких щелочей, знаменитый английский химик Гемфри Дэви получил новые, неизвестные до того времени металлы — калий и натрий. Эти металлы быстро окислялись на воздухе и были столь активны, что разлагали воду.

Французские ученые Ж. Гей-Люссак и Л. Тенар стали выделять новые металлы химическим путем — сильным прокаливанием щелочей, смешанных железными опилками и угольным порошком. Полученный таким способом калий они использовали для восстановления «буровой» кислоты и... открыли совершенно новый элемент. Следом за ними, в том же 1808. году, к такому же результату пришел и Дэви, но по-другому: расплав борной кислоты он подверг электролизу. Изначальным продуктом в обоих случаях была бора, и поэтому новый элемент называли бурием.

«Бора» — слово персидское, арабская же транскрипция его «борак». В России «новорожденного» стали называть буротвором, затем бурием и, наконец, с 1815 года, по предложению русского ученого В. М. Севергина, — бором. Так он называется и в наше время.

## ТОСКАНСКИЕ ЛАГУНЫ

Химические исследования буры и борной кислоты, можно сказать, подталкивались развитием промышленности.

В 1747 году флорентийский врач Гедер нашел «успокоительную соль Гомберга» в лагунах Монте Ротондо в цветущей итальянской области Тоскана. Никаких немедленных последствий это открытие за собой не повлекло. Но после того как было установлено, что составной частью борной кислоты и буры является элемент бор, в 1815 году был построен завод для добычи борной кислоты из вод лагуны.

Дело, однако, не ладилось: затраты были слишком велики, чтобы окупить стоимость производства. Но что

представляло собой это европейское месторождение? В Тоскане, как и в Гималаях, имеются горячие источники. Из трещин (фумарол) на земную поверхность вырывается смесь горячей воды и газов, температура которой достигает  $120^{\circ}\text{C}$ . Сольфатары, как называют такие выделения, содержат до 0,5% борной кислоты. Часть ее, однако, улетучивается и в лагунах отлагаются лишь количества, соответствующие сотым долям процента. Добывать эти крохи было явно невыгодно.

Химиком Лардерелем разработан был технологический процесс, при котором содержание борной кислоты в растворе резко повышалось. Для этого использовалось тепло, выделяемое горячими источниками. В современном понимании это было обогащение, но если содержание элемента в руде повышается в результате извлечения от массы пустой породы, то здесь содержание бора возрастало за счет сгущения рассола.

Начатый удачно процесс с годами совершенствовался, но общая схема его сохранилась до нашего времени. Она сводится к следующему. Над трещинами, из которых выделяются пары, устраивают водоемы и заполняют их водой из соседних лагун (уже содержащей небольшие количества бора). Расположены эти водоемы «лестницей» — один за другим. Система труб заставляет пары, вырывающиеся из-под земли, проходить через воду верхнего вместилища. Борная кислота, находящаяся в парах, растворяется в воде. Нагревшуюся воду переводят в нижележащий бассейн и также пропускают через нее пары, затем в следующий и так далее. В последнем бассейне вода нагревается уже до кипения. В ней содержание борной кислоты увеличивается уже до 2%.

Почему, казалось бы, не продолжать эту операцию и еще больше не насыщать раствор борной кислотой? Но нет, — этим первая часть процесса и заканчивается, так как при большой концентрации и кипении раствора

борная кислота начинает заметно улетучиваться с парами воды и безвозвратно теряется.

Раствор отводят в отстойные бассейны. Когда взвешенные в нем частицы осядут на дно и он осветлится, то раствор медленно сливают на свинцовые сковороды стометровой длины и двухметровой ширины. Обычно эти сковороды представляют собой крыши помещений, внутри которых происходят выделения фумарол, более бедных борной кислотой. Тепло этих фумарол поддерживает температуру рассола на свинцовых сковородах в пределах 50—60°C.

За сутки с такого устройства испаряют до 20 т воды. После этого раствор сливают в прямоугольный бассейн, обогреваемый также парами и в нем происходит дальнейшее сгущение рассола. Когда концентрация борной кислоты в бассейне достигает 10—11%, его переводят в деревянные чаны для кристаллизации. Полученные кристаллы борной кислоты направляются на очистку, а маточный раствор возвращается в производственный цикл.

Такой процесс оправдал себя экономически. Производство все более расширялось и к началу XX века в поисках новых фумарол пришлось углубиться на 120 м от земной поверхности, где температура достигает 175°C, а давление 0,6 МПа (6 ат).

**БОР**

**ВОКРУГ НАС**

Для чего же так нужны были людям борные соединения?

Прежде всего, их все больше требовалось для металлургии и стекловарения, но, кроме того, открывались все новые области их применения в производстве.

Мы настолько привыкли к электрической лампочке, что подчас не замечаем ее. Читая описание какого-нибудь ослепительного бала в старые времена, не сразу задумываемся над вопросом, а при каком же освеще-

нии веселилась и танцевала знать? Свечи — вот что освещало роскошные залы дворцов, церковные храмы, помещичьи усадьбы, канцелярии самых различных учреждений.

О мелкой карточной игре говорят: «Игра не стоит свеч». Казалось бы, свеча — весьма несложный предмет: сальный, восковой или стеариновый цилиндр, по центру которого проходит фитиль. Кажущаяся простота. Не случайно великий ученый, прославивший себя работами в области электромагнетизма и электрохимии — Майкл Фарадей, написал книгу, назвав ее «История свечи».

Горение свечи сопровождается копотью и нагаром, который, накапливаясь, может погасить пламя. Существовали специальные щипцы для регулярного снятия свечного нагара и слуги устроителя бала все время следили за горением свечей и подправляли фитили.

Заводчикам, поставлявшим свечи, приходилось думать об улучшении их горения. Чтобы облегчить сгорание фитиля и способствовать сплавлению золы в маленькую капельку, стали пропитывать фитили слабым раствором серной кислоты или сернокислого аммония. Это дало неплохой эффект, однако значительно большего успеха добились, когда для той же цели стали применять раствор борной кислоты. Таким образом на определен-





ном этапе развития свечного производства и бор внес свою лепту — помог улучшить освещение.

Самые разнообразные производства XIX столетия стали обращаться к борным соединениям. Установили, что прибавка в целлюлозно-бумажную массу борнокислого аммония может сделать бумагу несгораемой. Некоторые фабриканты стали подмешивать буру к массе, используемой для покрытия больших дорожных сундуков — жофров.

Изготовление игральных карт давало тогда очень неплохие доходы, но соперничающих в этой области было много, и приходилось улучшать внешний вид выпускаемых карт, чтобы не оказаться «в хвосте» у конкурента. Нашли, что с помощью буры можно получать глянцевую поверхность карт. На это обратили внимание бумажные фабриканты: они использовали буру для выпуска специальной глянцевой бумаги.

Из той же буры, смешивая ее с казеином, то есть творожной массой, начали готовить клей. Прачечные, обрабатывая белье смесью крахмала с бурой, стали возвращать его заказчику в глянцево-белоснежном виде. Кожевенным заводам также понадобилась бура как прибавка к дубильному раствору и заменитель масел при выделке кож.

В XIX веке необычайно развилось красильное дело. И оно испытывало — нужду в борных препаратах. Прежде всего борную кислоту стали применять при изготовлении некоторых красок, таких, например, как смарагдава зелень.

При протравном крашении некоторые минеральные протравы (гидрат окиси алюминия или железа) нужно зафиксировать на тканях, иначе дальнейший процесс крашения невозможен. Этого удалось достичь при помощи буры. Ее же в дальнейшем использовали при печатании рисунка на тканях водорастворимыми красителями.

Чтобы окрасить пряжу, ее предварительно подвергают отбеливанию. Процесс этот первоначально был слишком «ароматным», так как протекал в ванне из коровьего помета. Использование буры избавило производство от этой «специфики».

Некоторые лаки готовили также с участием борных соединений. Так, например, смешивая борную и пикриновую кислоты с шеллаком, получили прекрасный золотистый лак, которым покрывали кожаную обувь. Чтобы такой лак быстрее высыхал, в него добавляли от 0,5 до 3% борнокислого марганца.

Использование борных соединений в различных производствах разрасталось, но и прежняя их роль — плавней и растворителей окислов при пайке и сварке, составной части стекольной шихты — росла.

## **ПРОТИВ НАСЕКОМЫХ И БАКТЕРИЙ**

После того как придворный врач герцога Орлеанского Гомберг опубликовал сообщение о своей «успокоительной соли», медицина стала широко использовать буру и борную кислоту в качестве антисептиков — обеззараживающих средств. С этой целью борную кислоту применяют и сейчас, например, для полоскания горла. Дантисты нашли, что ее очень удобно применять при чистке зубов. Косметологи воспользовались свойствами буры при изготовлении различных мазей и кремов.

В качестве дезинфицирующих средств оба борных препарата нашли самое широкое применение в быту. Сколько неприятностей доставляет нашествие тараканов! Чтобы бороться с этими рыжими и черными разбойниками, в углах комнат стали рассыпать буру. Прожорливые насекомые пробовали то, что «бог послал» и... избавляли от беспокойства обитателей квартиры.

Пользовались бурой и при стирке белья. В тяжелые годы это служило двум целям: дезинфекции и уменьшению расхода мыла.

Антисептические свойства борных препаратов попытались обратить на пользу своему делу и поставщики различных пищевых продуктов и напитков. Одно время такие препараты широко применяли в качестве консервирующих средств. Особенно отличались в этом американцы. Анализ продуктов показал, что копченая говядина, доставляемая из Америки, содержала от 0,5 до 3,8% борных препаратов, а свинина — от 2,73 до 4,05%.

Сохранность пищевых запасов, конечно, очень большое дело, но каким образом это достигается, далеко безразлично для потребителя. До революции русские рыбопромышленники с той же целью при засолке икры добавляли борную кислоту — до 1% массы продукта. Обработанная таким образом икра, действительно, сохранялась дольше, не приобретая при этом какого-нибудь неприятного привкуса. Окрыленные успехом, ры-



бопромышленники обратились в медицинский совет с ходатайством об узаконении такой меры. Совет рассмотрел просьбу купцов весьма внимательно, но, несмотря на всю красочность описания ожидаемых выгод, не решился удовлетворить ее. Еще бы: ведь от буры и тараканыдохнут!

Нельзя отказать совету в осмотрительности, так как дальнейшие исследования показали, что употребление борных препаратов внутрь далеко небезопасно для человека. В начале 1902 года медицинский департамент разрушил все надежды купцов, издав специальный циркуляр, запрещающий использование борных соединений в качестве консервирующих средств. Аналогичные запреты были изданы и во многих других государствах.

Что же показали врачебные и химические исследования?

Если в продолжение длительного времени человек ежедневно будет принимать всего 0,5 г борной кислоты или буры, он начнет неуклонно терять в весе, причем это будет продолжаться и после того, как он перестанет. При этом из организма будет усиленно выделяться фосфор — на 80 % более обычного. Азот же, наоборот, задерживается в организме. Существует клиническое понятие — азотистое равновесие. За ним очень внимательно наблюдают врачи. Прием незначительных доз борных препаратов нарушает это равновесие самым существенным образом. Что касается потерь фосфора при этом, то вряд ли стоит что-либо пояснять, если мы знаем о том, какую роль играет этот элемент в энергетике живого организма.

Если дозу ежедневного приема борных препаратов увеличить до одного-двух граммов, то признаки отравления появятся очень быстро. Принятие четырех граммов вызовет почти мгновенное отравление.

Все это относится к организму здорового взрослого человека. На ребенке же отравление скажется еще тя-

желее. Известен случай, когда по нерадивости и недосмотру няnek в молоке для детей вместо сахара развели борную кислоту. Хотя однократный прием ее составил всего лишь три грамма, однако этого оказалось достаточно для трагического исхода. Для взрослых смертельная доза — 15—20 граммов борной кислоты. Так что увлекаться борными препаратами в качестве консервирующих средств нельзя.

## БОР И СТЕКЛО-ВАРЕНИЕ

Венецианцы не были пионерами в стекольном производстве. До наших дней сохранились стеклянные изделия, изготовленные мастерами Древнего Египта.

Правда, в те времена стекло было лишь материалом для различных украшений, красивым, но непрозрачным.

Римские стеклоделы I века нашей эры умели выделывать из стекла изящные кубки, чаши, кувшины и

другую посуду. Им принадлежит честь изобретения стеклодувной трубки и стекловаренной печи. Прозрачное стекло впервые изготовлено римлянами, но того практического применения, которое оно получило через несколько столетий, римляне ему не придали.

В середине века венецианцы, помимо высокохудожественных стеклянных изделий, научились изготавливать и листовое стекло, а в связи с этим и великолепные по тем временам зеркала.



Оконное стекло в наши дни — один из самых незаменимых обиходных предметов. Сейчас трудно себе представить жизнь в средневековом замке: узкие окна давали мало света, холодный воздух врывается внутрь помещения. Поэтому деревянные щиты, которыми заслоняли оконные проемы, старались снимать реже. Круглые сутки в замке горели смолистые, чадающие факелы — они давали колеблющийся свет и неверное тепло... Еще хуже было в домах бедного люда — там окна затягивали тусклым бычьим пузырем, а иногда и просто затыкали тряпьем. Позже из далекой России в Западную Европу стали для «застекления» оконных переплетов привозить слюду. Поскольку этот природный минерал поступал из Москвы, то и название ему дали «мусковит».

Технология варки стекла совершенствовалась в течение веков, но это такая обширная область для научных изысканий, что и сейчас в ней непочатый край работы для исследователя, тем более, что современная техника ставит перед стеклоделами все новые и новые задачи, требует стекло с определенным сочетанием различных свойств.

Введение в стекольную шихту соединений бора ускоряет варку, понижает температуру плавления, дает возможность на 10—15% повысить производительность стекловаренных печей. По всей вероятности, венецианские стеклоделы обнаружили эти свойства у буры и потому не останавливались перед затратами, оплачивая груз, доставленный караванами из Индии, с отрогов Памира.

Интенсифицировать варку стекла можно и при помощи другого плавня — плавикового шпата. Однако он разрушающе действует на огнеупоры стекловаренных печей; от борных же соединений в стекольном производстве таких неприятностей не бывает.

В стекловарении бор — не только ускоритель процесса. Введение борного ангидрида (соединения бора с

кислородом) в состав стекольной шихты понижает склонность стекла к кристаллизации. Словом «рух» в стекольном производстве обозначается то же явление, что и словом «козел» в металлургии. Борный ангидрид широко используют в производстве термостойкого, химического, технического, цветного и других специальных стекол.

Йенское стекло, предназначенное для изготовления термометров, содержит от 2 до 12% борного ангидрида, а стекло для химической посуды — до 15%. Термоустойчивость стеклянного химического оборудования и посуды имеет огромное значение. Поэтому к составлению рецепта шихты для такого стекла отнеслись с особым вниманием. Лопается тонкостенный стакан или колба от того, что при нагреве возникают большие изгибающие усилия в местах перехода дна в стенки. Стеклоделы начали с того, что изучили, как расширяется стекло в зависимости от состава шихты. Выяснилось, что более всего расширению способствует сода, необходимая при варке. Испытания показали, что при замене ее борной кислотой расширение стекла при нагреве уменьшается в восемь раз. Таким образом и была разработана рецептура шихты замечательного термостойкого стекла «пирекс». Содержание окиси натрия, вводимой в шихту с содой, снизили с 10—12 до 0,2—1,7%, тогда как количество борного ангидрида увеличили с 2,5 до 12% в среднем, а иногда и до 15%. Химики без опаски ставят колбу из пирекса с огня в холодную воду. Если брызнуть холодной водой на горящую электрическую лампочку из пирекса, то тоже ничего страшного не произойдет. Оговоримся, что обычно «пирекс» на такие изделия не расходуют, но в специальных случаях, например для подводного освещения, его широко используют.

В современной технике пирекс особенно важен в изоляторах для авиасвечей, с помощью которых зажигают

горючее в двигателе. Такой изолятор погружен в цилиндр, где развивается жар свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ , тогда как верхняя его часть находится на крыше, постоянно охлаждаемой водой.

Обычную посуду из стекла изготавливали еще древние римляне. Ее ставили на стол, но на плите ей места не было, от нагрева она разрушалась. В наше же время можно приобрести толстостенную кастрюлю или даже сковородку из стекла. Использование в стекловарении борных соединений в корне изменило установившийся взгляд на стекло: «Огонь его родитель, огонь его губитель». Сегодня стекло выдерживает нагрев до высоких температур.

Широкой известностью пользуются изделия, изготавливаемые в городе Клиши (Франция). Главную массу его составляют боросиликаты цинка и калия.

## ОПТИКА

### ФИРМЫ „ЦЕЙСС“

Стеклоделие породило оптическую промышленность, значение которой возрастало с каждым годом. Оптические приборы — инструмент точнейших научных исследований. Однако создание телескопа Галилеем и «ночезрительной трубы» Ломоносовым не могло послужить толчком для общего развития оптической промышленности. Большого спроса на оптическое стекло тогда еще не было.

Великий голландский самоучка XVII века естествоиспытатель А. Лёвенгук всю жизнь мастерил замечательные для своего времени микроскопы. С их помощью Лёвенгуку удалось открыть живой микромир. В сообщении, посланном им в Британское Королевское общество, говорилось, что в капле воды находится «невероятное количество зверюшек». В дальнейшем выяснилось, что эти «зверюшки» — микробы — являются причиной многих заболеваний. Борьба с бичом человечества — эпидемиями потребовала тщательного изучения



болезнетворных микроорганизмов, поисков противодействия их губительному влиянию. Потребовалась высококачественная оптика. И все же и не это послужило причиной широкого развития производства оптического стекла.

Войны по-прежнему сотрясали мир. Технические усовершенствования приобретали все большее значение для ведения военных операций. Не телескоп или микроскоп, а подзорная труба и бинокль, увеличивающие дальность видения в морских просторах, помогающие следить за передвижением группировок противника, корректировать артиллерийский огонь, были необходимы воюющим армиям.

С появлением аэростатов наблюдение за противником велось с большой высоты. Но аэростаты не были недосыгаемыми: по ним вели интенсивный прицельный огонь; первые шаги только что народившейся авиации также были направлены на их уничтожение. Аэростаты должны были подниматься выше. Горизонт их наблюдения расширялся, но для этого требовалось особое, высококачественное оптическое оборудование.

К тому времени значительного развития достигла и фотография. Армию не устраивала фотосъемка, при которой приходилось делать большую выдержку: противник позировать не будет. Фотопромышленность стала выпускать аппараты с мгновенной выдержкой, появилась аэрофотосъемка, которой могли пользоваться и аэростаты, и аэропланы-разведчики. Произошло это, однако, не так-то просто. Помимо многих технических трудностей при создании фотоаппаратов такого типа, основным препятствием было отсутствие высококачественной оптики.

Изготовление линзы — очень сложное дело. Не говоря уже о том, что требуется высокая чистота обработки стекла — шлифование и полировка, затруднения создают сами свойства светового луча.

Со времени великого английского ученого XVII века И. Ньютона известно, что обычный солнечный луч неоднороден. Пропустив его через стеклянную призму, можно получить гамму лучей разной окраски — от фиолетового до красного. В природе подобное разложение солнечного луча на его составляющие мы наблюдаем в виде радуги после дождя. Лучи различного цвета отличаются друг от друга длиной волны или частотой колебаний. Проходя через прозрачный предмет (призму, линзу), они преломляются неодинаково. Если это не учесть при изготовлении линзы, то снимки, полученные с ее помощью, окажутся нечеткими, размытыми, а наблюдение через бинокль с такими линзами не даст ясного представления о рассматриваемом предмете. Для изготовления хороших оптических стекол требовался прежде всего высококачественный материал.

Стеклоделы, знающие о важной роли борных соединений в технологии варки стекла, углубились в изучение этого процесса.

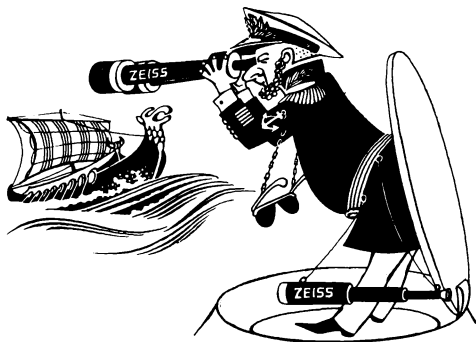
В 1846 году в городе Йене (Германия) механик Карл Цейсс попросил у городских властей разрешения на изготовление и продажу механических и оптических приборов, а также на открытие механической мастерской. Разрешение было дано, и Цейсс приступил к делу, поставив его сразу на солидную основу. В работах фирмы принял участие и широко известный физик Эрнст Аббе. Уже в 80-е годы заводы оптического стекла в Йене своими изделиями прославились на весь мир. Каждый сухопутный артиллерист или морской офицер мечтал о цейссовском бинокле, по дальности и четкости изображения превосходящего все известные тогда оптические приборы. Слава этого завода не угасла и по сей день.

В конце второй мировой войны, когда фашистские армии отступали под ударами советских войск, амери-

канские бронетранспортеры въехали на территорию Йенского завода и солдаты стали упаковывать техническую документацию, патенты и образцы новейших оптических приборов. Целый американский батальон был снят с фронта в помощь частям полковника Семпке, захватившим завод.

Когда стало ясно, что до прихода советских войск не удастся забрать с собой все, полковник созвал администрацию завода и объявил: «Господа, времени мало, вывезти всю документацию не успеем. Поэтому забираем «мозг». Пусть тем, кто придет, останется обезглавленное тело». Американцы увезли не только 180 тысяч патентов и описаний, важнейшие бумаги заводской канцелярии, редчайшие фотообъективы, но и несколько десятков ученых.

Полковник Семпке считал, что он обезглавил завод.



Жизнь там, действительно, на некоторое время замерла. Но прошли годы, и в штат Аризона на имя полковника Семпке от рабочих Йенского завода пришла краткая, но выразительная телеграмма: «А все-таки голова выросла». Фирма «Карл Цейсс», ныне социалистическое предприятие ГДР, в 1966 году отпраздновала 120-летие.

Всю рецептуру и описание технологических приемов фирма «Карл Цейсс» держала в строжайшем секрете. Работы были направлены прежде всего на то, чтобы усилить преломление световых лучей, особенно в синей части спектра. Для этого в стекольную шихту вводили огромное количество (до 56%) борного ангидрида. Так получают замечательный флинтглас для цейссовских ахроматических линз. Борные соединения стали играть исключительно важную роль в стекольной промышленности: они не только ускорители варки и предупредители кристаллизации («руха»), но и компоненты, ответственные за качество оптического стекла.

В стекольной шихте неизбежно присутствуют примеси, придающие стеклу в процессе плавки ту или иную окраску. При изготовлении бесцветного стекла в стекломассу вводят различные добавки, уничтожающие эту окраску. Но бывает и обратное. Для научных исследований, различных оптических приборов, сигналов требуется именно цветное стекло. Тогда в шихту специально вводят различные окислы, окрашивающие стекло. Не всегда процесс идет гладко, потому что далеко не все окислы хорошо растворяются в стекле. Этого затруднения в большинстве случаев удается избежать введением борных соединений, способных растворять окислы и по мере течения процесса равномерно распределять их в стекольном расплаве.

Таким образом, бор необходим и при изготовлении цветных стекол.

## РАЗОБЛАЧЕНИЕ «ШПИОНО-УПОРНОЙ» БУМАГИ

Когда во время первой мировой войны на фронт прибыли ученые-физики, то кадровые офицеры посмеивались над их неар-

мейским видом, хотя все они были в военном обмундировании и имели довольно высокие чины. Высшее командование не обращало внимания на отсутствие у них выправки и неумение лихо брать под козырек. Оно относилось к ученым с должным уважением, прекрасно отдавая себе отчет в том, какую пользу могут они принести армии. Ведь то было время, когда «технические неожиданности вошли в хронику».

Однажды в английскую разведку был любезно приглашен «чародей XX века», известный американский физик Роберт Вуд. Там его познакомили с различными хитроумными приемами криминалистики, использующими новейшие достижения химии и физики.

С нескрываемой гордостью английские офицеры продемонстрировали Вуду «шпионоупорную» бумагу. Это была почтовая бумага сероватого цвета, разграфленная линиями трех цветов: синим, зеленым и красным. Офицеры уверяли, что на этой бумаге невозможно сделать секретную надпись, так как одна из линий обязательно будет размыта.

Краски, которыми наносили линии, разводили в различных растворителях: воде, спирте и бензоле. Поскольку любые симпатические чернила могли быть разведены лишь в растворителях, относящихся к какому-либо из этих классов, то полагали, что тайные строки совершенно невозможно написать, не повредив линий на бумаге.

Английское правительство позаботилось о массовом выпуске такой почтовой бумаги, и офицеры разведки решили, что письма, написанные на ней, можно не проверять детально. Вуд осмелился высказать некоторое

недоверие к «безупречности» продемонстрированной ему почтовой бумаги. Ему предложили самому попробовать сделать надпись, которую спустя пять минут обнаружили. Неудача, постигшая его при этом, лишь возбуждала всеобщее веселье.

— Все же, мне кажется, я побью вас, если вы дадите мне попытаться еще раз, — сказал Вуд.

— Пожалуйста, попробуйте! — любезно ответили офицеры. Вуд попросил какой-нибудь резиновый штамп. Когда просьба была выполнена, он смазал штамп вазелином, после чего несколько раз насухо вытер его, чтобы штамп перестал оставлять какие бы то ни было следы на бумаге.

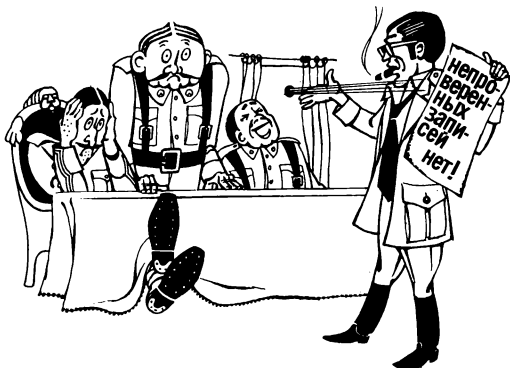
С нескрываемыми усмешками офицеры наблюдали за этими несложными манипуляциями. Вуд взял листок «шпионоупорной» бумаги и осторожно притиснул к нему резиновый штамп, после чего предложил осмотреть бумагу и убедиться, что на ней не осталось никаких следов. Когда осмотр был закончен, Вуд зашел в небольшую кабинку, вытащил из кармана привезенное с собой стеклышко и вставил его в аппарат.

Включив аппарат, он направил на бумагу поток невидимых лучей, и перед изумленными офицерами разведки засветилась надпись: «Непроверенных записей нет»!

В чем же дело? Стекло Вуда пропускало только ультрафиолетовые лучи, которые также находятся в солнечном спектре, но — за гранью видимой его части. Этим лучам посвящено много серьезных работ, с их помощью Вуд, большой шутник и мистификатор, проделал массу эффектных фокусов. В то время ультрафиолетовые лучи были еще мало изучены. Дальнейшие исследования выяснили столько чудодейственных их свойств, что они стали привлекать к себе все больше внимания. И до нашего времени они — объект изучения самых различных специалистов — химиков, физиков, биологов.

Ультрафиолетовые лучи бактерицидны: с их помощью можно излечивать целый ряд инфекционных заболеваний. Загар, полученный на пляже, не что иное как результат воздействия ультрафиолетовых лучей: повышение содержания витамина Д в организме.

В современных городах строят дома с огромными окнами. Масса солнечного света! Но вот беда: обыкновенное оконное стекло не пропускает ультрафиолетовых лучей. Для них прозрачно лишь кварцевое стекло, которое и используют в лампах «невидимого света». Несмотря на эти и другие замечательные качества, кварцевое стекло не подходит для того, чтобы делать из него листы для окон: для расплава такого стекла потребуется температура  $1700-1800^{\circ}\text{C}$ , какую выдержит далеко не всякая футеровка печей.



Выпуску листового кварцевого стекла препятствует целый ряд технологических трудностей, не говоря уже о том, что для этого нужны огромные средства. Ученые решили выяснить, что же задерживает и что облегчает прохождение ультрафиолетовых лучей через обычное стекло?

Оказывается, совсем не основные компоненты стекла задерживают эти лучи, а лишь некоторые примеси, в частности железо. Кроме того, удалось установить, что лучи легче проходят через стекло, если в нем содержится борный ангидрид. По рецепту стеклянной шихты с минимальным содержанием железа и большим — борного ангидрида получено увиолевое стекло, пропускающее и ультрафиолетовые лучи. К сожалению, в больших городах оно все же не принесет значительной пользы, так как ультрафиолетовые лучи, пробиваясь к земной поверхности сквозь толщу атмосферы, в значительной мере задерживаются дымом, копотью, газами различных производств. Но на окраинах городов, и сельской местности, в загородных больницах, здравницах — курортах, санаториях, домах отдыха — увиолевое стекло отлично служит человеку.

Кстати, стекло с большим содержанием бора изготовлять гораздо легче не только по сравнению с кварцевым, но и с обычным оконным стеклом, так как температура его расплава всего 500—600°C.

## **КЕРАМИКА И ЭМАЛИРОВАНИЕ**

Керамическое производство едва ли не самое древнее из всех ремесел человечества, если не считать изготовление каменных орудий.

Гончарный круг был одним из самых замечательных изобретений своего времени. Без горшечников не обходился ни один большой город самых давних, доисторических времен. Глиняная посуда заняла прочное место в быту человека. Ею пользуются и в наши дни.



После обжига в стенках сосудов, изготовленных из глины, всегда есть множество пор, через которые просачивается заключенная в них жидкость. Чтобы сделать сосуды влагонепроницаемыми, их внутреннюю поверхность покрывают глазурью.

Кроме обычной глины, к керамическим материалам относятся также фарфор и фаянс. В наши дни их используют для изготовления самых разнообразных бытовых предметов, а также сантехнического оборудования. Но в прежние времена такие материалы ценились очень высоко. Для приготовления фаянсовой глазури долго использовали свинцовые соединения, и лишь к концу XIX века свинец уступил место бору.

Ходжа Насретдин, встретившийся с караваном, как известно, отлично знал гончарное ремесло. Когда он поселился в доме горшечника Нияза, то сделанные им горшки были звонкими, гладкими, сохраняли воду ле-

дяной в самую сильную жару. Стало быть, веселый мудрец и защитник неимущих не забывал покрывать внутренность горшка глазурью. Что использовал для приготовления глазури Насретдин, мы не знаем, но, возможно, некоторое количество буры он и получил от караванных купцов.

В последующие столетия для пропитки глиняных изделий применяли природный борат кальция в смеси с полевым



шпатом. Керамические изделия всегда были не только предметом быта, но и выражением художественного вкуса мастера. По глазури научились рисовать специальными красками. Искусная роспись и узоры после обжига сохранялись на поверхности изделий. Эти эмалевые или муфельные краски готовили из смеси буры с окрашенными свинцовыми стеклами; смесь тщательно растирали в густом скипидаре или лавандовом масле.

Когда научились покрывать эмалью металлы, никто доподлинно не знает, но несомненно, что произошло это в далекой древности. Греки и римляне заимствовали это искусство у египтян. Известно, что в Византии при императоре Константине (III век н. э.) различные ремесла и особенно искусство эмалирования достигли расцвета. Но в 1204 году крестоносцы напали на своих единоверцев и подвергли столицу Византийской империи Константинополь жестокому разграблению.

В X—XI веках высоким мастерством отличались эмалировщики Италии и Франции. Примерно в то же время появились великолепные эмали русских умельцев. Изделия, покрытые финифтью, как называли тогда русские мастера эмаль, не знали себе равных. Эмалью украшали серебряную и золотую посуду, оружие, ювелирные изделия.

В 1782 году шведский металлург Ринман обратился к эмали как к материалу, которым он надеялся защитить поверхность железных сосудов от действия огня и влаги. Ему удалось разработать процесс покрытия железа эмалью, после чего внутренняя поверхность сосудов, чаш и других изделий не окислялась и ее смело можно было использовать в быту. Но надежды Ринмана на широкое использование его процесса в производственном масштабе не оправдались. Более удачливым оказался владелец одного немецкого завода Лаухаммер, разработавший в 1785 году технологический про-

цесс эмалирования посуды, изготовленной из чугуна. Он сумел наладить и фабричное ее производство.

К процессу Ринмана в конце XVIII столетия обратился англичанин Хаклинг. В 1799 году он предложил ряд усовершенствований в способе покрытия эмалью железной посуды. Но практическое применение способа оказалось очень незначительным. Это объяснялось тем, что еще не было налажено массовое производство листового железа. Когда это стало в 40-х годах XIX столетия возможным, то возобновились попытки изготовления железной посуды с эмалевым покрытием.

Однако овладеть новым процессом было нелегко. Эмалировщики приходили в отчаяние: старинная эмаль плотно держалась на металле, а на изделиях, которые пытались создать вновь в середине XIX века, она отскакивала при первом же толчке, при нагреве, а то и самопроизвольно. В чем тут было дело, понять долго не могли.

Оказалось, что не эмаль «виновата», а металл. Древние мастера покрывали финифтью не железо, а благородные металлы, которые хорошо с ней сцеплялись. Исследования металлургов и химиков помогли понять и усовершенствовать технологический процесс. Коэффициенты теплового расширения эмали и железа не одинаковы, необходимо было их сблизить, иначе отскакивание эмали от металла неизбежно. Кварцевый песок — основная составная часть эмалевой шихты. Температура плавления его значительно выше, чем у железа или чугуна. Надо было понизить эту температуру так, чтобы она на 300—500°C была ниже плавления эмалируемого металла. Если соблюсти эти условия, то при обжиге нанесенного на изделие эмалевого покрытия даже сильное размягчение металла не будет так сказываться на его деформации. Для решения этой задачи перепробовали многие плавни, но ни один из них не подошел. Лишь борное соединение — бура — дала возможность

наладить массовое производство красивой и практичной эмалированной посуды.

Эмалирование железных и чугунных изделий давно уже вышло из рамок изготовления кухонной посуды. Эмалью теперь покрывают медицинское оборудование, посуду для лабораторий, а также промышленную химическую аппаратуру. Существует обширная рецептура различных сортов эмали. Буре в ней отведено почетное место. В эмали для чугунной посуды содержится около 10 % буры; для покрытия же стальной химической аппаратуры буры требуется почти 60 %.

**БОРИРОВАНИЕ СТАЛИ** Уже в давние времена бор применяли в кузницах. Естественно, что без него не могли обойтись в производстве высококачественных металлов. В 1914 году началась первая мировая война. Россия остро ощущала нехватку высокопрочного металла. Исследователи вплотную подошли к решению этой проблемы и русским ученым Н. П. Чижевским был открыт процесс борирования сталей.

Металлургам хорошо известна цементация стали — насыщение ее поверхности углеродом. Цементация позволяет получить стальные изделия с твердой поверхностью и мягкой, но вязкой сердцевиной. В процессе, разработанном Чижевским, стальная поверхность насыщалась бором. Это придавало изделиям устойчивость против коррозии, высокую твердость, жаростойкость и износостойчивость при температурах до 1000°C.

С тех пор прошло более полувека. За это время исследованию процесса борирования сталей было посвящено много работ как советских, так и зарубежных ученых.

Бременский институт по исследованию методов упрочнения совместно с немецкой фирмой «Электрошнелльц-

верк» провел весьма детальное изучение процесса борирования стали. Проводили эксперименты, выясняющие возможность борирования в газовой, жидкой и твердой средах. В первом случае использовали фтористый или бромистый бор, а также бороводороды и их производные (бораны). Несмотря на то, что борирование в газовой среде обеспечивает равномерное покрытие, от этого метода пришлось отказаться: бораны не только дороги, но и весьма ядовиты, а при работе с галогенидами продукты коррозии иногда проникают в наносимую бористую пленку, что сводит на нет все преимущества. Пробовали борировать в жидкой среде, применяя главным образом электролиз расплавленной буры. Но здесь исследователи столкнулись с целым рядом помех, прежде всего с невозможностью регулировать температуру из-за высокой вязкости буры. В промышленную практику удалось ввести лишь борирование в твердой среде, для чего использовали ферробор, бор элементарный (аморфный) и карбид бора. Применение ферробора и элементарного бора не получило широкого распространения, так как в промышленных масштабах трудно добиться высокой чистоты первого, а второй стоит слишком дорого. Таким образом, карбид бора стал основным компонентом борирующих порошков, выпуск которых развернула фирма «Электрошнелльцверк», Кемптен. В эти порошки, кроме карбида бора, входят и активаторы, ускоряющие рост пленки. Главный из них — фторборат калия.

В зависимости от условий технического процесса на поверхности стали может быть получена боридная пленка, отличающаяся по составу. На один атом бора в пленке может приходиться либо один атом железа, либо — два. В первом случае бора в поверхностном слое больше, почему и твердость его выше (она меняется в пределах 18—21 ГПа, или 1800—2100 кгс/мм<sup>2</sup>). Однако для промышленных целей больше подходит вто-

рой случай, когда достигается уменьшенная хрупкость и возможна последующая термическая обработка, не вызывающая ухудшения свойств и прочности сцепления бора с основным металлом.

Трудность состоит в том, чтобы получить однофазную пленку, то есть пленку, однородную по составу. В противном случае между разными пленками возникают напряжения, от чего теряется прочность их сцепления. Пробовали борировать стали цементованные, но особых преимуществ это не дало. Азотированные же стали, поверхностный слой которых насыщен азотом, совершенно непригодны для борирования: упрочнения не получается, так как бор соединяется с азотом, образуя мягкий нитрид.

Твердость, износостойкость — очень важные свойства металла. Но не менее важно другое: как противостоит боридная пленка коррозии? Поставив этот вопрос, исследователи отборировали поверхность чистого, так называемого армко-железа, после чего подвергли его действию 18 %-ной соляной кислоты. Железо растворилось полностью, остался лишь «чехол» из борида. К настоящему времени в СССР разработано несколько методов борирования. Основными способами являются испарение бора в вакууме 0,7—1,3 кПа (5—10 мм рт. ст.) при 2500°C и распыление специальных борирующих составов с последующей термической обработкой.

Прекрасные результаты дало использование гидрида бора — соединения бора с водородом. При нагревании деталей в газовой среде, состоящей из гидрида бора — диборана, наступает пиролизтермическое разложение этого соединения на его составные части: бор и водород. Бор осаждается на нагретой детали, проникает в глубину, образуя сплав с основным металлом.

Можно получить очень ровное, блестящее покрытие высокой степени чистоты при относительно низких температурах — всего 300—400°C. При более высоких тем-

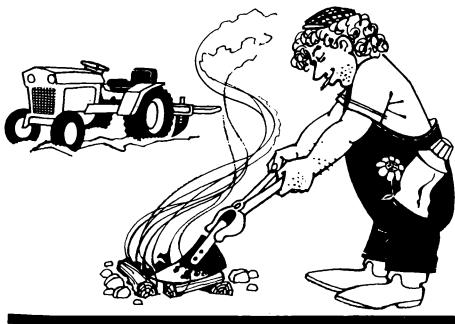
пературах — порядка 800—1000°C — покрытия получают более прочными и процесс идет гораздо быстрее. Это обусловлено диффузией (взаимопроникновением) бора и покрываемого металла. К сожалению, при высокотемпературном борировании покрытия имеют шероховатую поверхность. Значительной толщины гладкого покрытия (3 мм и более) достигают комбинированным путем: последовательным нанесением нескольких тонких слоев.

Подготавливая стальные детали к борированию, следует иметь в виду, что поверхность их должна быть обработана окончательно, так как твердость пленки борида очень высока. На поверхностях, подвергнутых пескоструйной обработке, пленка недолговечна, потому что проникновение атомов бора в поверхность стали идет строго перпендикулярно. Поэтому более подходит гладкая поверхность обрабатываемых деталей. Размеры же самих деталей должны быть несколько уменьшенными, чтобы нанесение пленки не вывело их за пределы заданных параметров.

Из борированной стали изготавливают точильные бруски, подшипники, прессоформы. Когда требуется соединить металл с керамикой или керамику с графитом, то борированный слой облегчает эту задачу.

Борирование стали требует сложного первоклассного оборудования. Технология борирования, как уже показано, имеет определенные тонкости. А нельзя ли сделать как-нибудь попроще, приблизить процесс к производствам, которые такую сталь эксплуатируют? Сегодня химико-термическая обработка металла, в частности борирование, могло бы принести огромный технико-экономический эффект мелким ремонтным заводам, мастерским, совхозам и колхозам, но для них это слишком сложно и дорого. До последнего времени казалось, что с таким положением придется смириться. Но наука идет вперед. Этой проблемой ученые занима-

лись упорно. И вот появился патент доктора технических наук В. И. Просвирина и его аспиранта Г. С. Ломанова из Инженерного училища ГВФ в Риге. Их изобретение позволяет выполнять химико-термическую обработку стали прямо в поле, не пользуясь печами, барабанами, ваннами, высокочастотными установками. Предложены так называемые энерговыделяющие пасты, которые нагревают металл за счет происходящих в них экзотермических реакций. В состав пасты входят кислородсодержащие вещества и порошки из алюминия, магния, кальция — металлов, активно взаимодействующих с кислородом. Кроме того, в пасте находится и диффузионно активное вещество, которое должно насыщать поверхность обрабатываемой детали, и определенное связующее. Нашли это простое решение при анализе технологии химико-термической обработки изношенных деталей. Их после зачистки обмазывают





энерговыделяющей пастой и засыпают сухим песком, а иногда даже оставляют лежать на открытом воздухе, после чего пасту поджигают. Детали сильно нагреваются, и бор (или другой элемент) внедряется в поверхность стали. Весь процесс занимает 2—3 минуты.

А как же регулировать температуру процесса? Все это предусматривают заранее, когда составляют пасту, и в поле приходится только пользоваться приложенной инструкцией, где уточняются толщина слоя, время выдержки и другие параметры.

Быстроизнашивающиеся детали землеройных машин и сельскохозяйственной техники теперь необязательно заменять новыми. Борирование можно выполнять на месте, не отправляя детали на завод.

## **БОРИСТЫЕ СТАЛИ**

Закономерным было и появление бора в металлургии в качестве легирующей добавки к стали. В свое время американский автомобильный король Генри Форд заявил: «Если бы не было ванадия, то не было бы и автомобиля». Использование прекрасных качеств ванадиевой стали дало тогда стимул развитию автомобильной промышленности. Но значит ли это, что ванадиевые стали «монополизировали» автомобиль? Отнюдь, нет. Наряду с ванадиевыми и хромованадиевыми сталями, используемыми для изготовления автомобиля, в практику вошли и стали, легированные другими элементами. Для деталей, испытывающих значительное напряжение, используют, например, хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

Впервые влияние бора на свойства стали обнаружил ученый Р. Вальтер. Он взял два патента на свое открытие — английский и американский. В них указано, что содержание этого элемента в стали от 0,001 до 0,1 % способствует измельчению зерна металла, а при 0,001—0,01 % сталь становится самозакаливающейся. Казалось

бы, замечательные свойства, и промышленники должны были «ухватиться» за патенты Вальтера. Но этого не произошло. Не получалось на поверку того, что было обещано этим исследователем. И все же бористая сталь пошла в ход. Произошло это в какой-то мере случайно. В 1935 году для раскисления стали использовали ферросплав, содержащий алюминий, титан, кремний и ванадий — на одну тонну всего лишь 900—1400 г! При испытаниях была обнаружена неожиданно глубокая прокаливаемость металла — значительное проникновение закали в глубину, увеличение толщины закаленного слоя.

Более детальное изучение ферросплава-раскислителя показало, что в нем содержится примерно 0,25 % бора. Откуда появился бор? Выяснилось, что он попадал в ферросплав из боратных шлаков, используемых при его изготовлении. Почему же не добились аналогичного эффекта, следуя рекомендациям Вальтера? Дело в том, что Вальтер упустил «маленькое» условие: в сталь одновременно с бором или перед его добавкой необходимо ввести сильный раскислитель. Бор сам является раскислителем, даже сильнее, чем кремний, но уступает в этом свойстве алюминию. Введенный в сталь без раскислителя бор связывает растворенный в ней кислород и уже не влияет на ее прокаливаемость.

Дальнейшие исследования показали, что при введении бора в сталь весьма полезна присадка к ней титана. Не только с кислородом, но и с азотом может взаимодействовать бор, и при этом сталь лишается его благотворного воздействия. Титан же связывает азот, содержащийся в стали, раньше бора.

Когда ученые поняли значение таких «фиксаторов» кислорода и азота, бористые стали быстро завоевали свое место в металлургической промышленности. Если учесть, что это произошло в 1937 году, то легко понять, почему в литературе того времени бор награждали

такими лестными эпитетами, как «интенсификатор», «витамин» и даже «уборщик».

В конце 30-х годов вторая мировая война стояла на пороге. Нужда в дорогих легирующих элементах возросла необычайно. Их успешно заменял бор, которого требовалось очень немного. В сравнительно короткий срок бористые стали приобрели, например в США, важное промышленное значение.

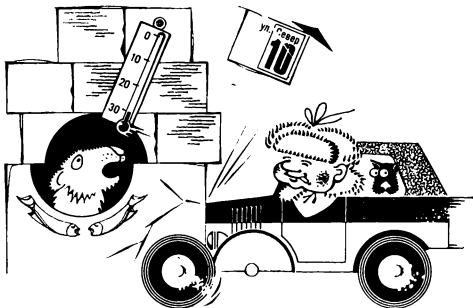
Кстати о количествах бора. Здесь нельзя действовать по пословице «кашу маслом не испортишь». Повышенное содержание бора в стали к добру не приведет. На это указывал еще Вальтер: он говорил, что при 0,2% бора металл приобретает хрупкость. Это происходит потому, что может образоваться эвтектический сплав боржелезо с резко пониженной температурой плавления (1174°C); такая сталь краснломка: при температуре красного каления в ней быстро появляются трещины.

Широкое развитие автомобильной промышленности требует применения новых высококачественных сталей. Исследованием сталей, легированных бором, в СССР занялись многочисленные научные институты. Огромнейшая экспериментальная работа позволила создать новый класс конструкционных сталей, обеспечивающих высокую прочность. Сокращение расхода дорогостоящих присадок молибдена и никеля, а также необычайно эффективное снижение общих затрат производства на обработку деталей достигается благодаря ничтожным количествам бора. Вместо хромоникельмолибденовой стали стало возможным использовать хромомарганцевобористую. Все требуемые эксплуатационные качества новая сталь обеспечивала и давала экономию по 75 рублей с каждой тонны! Добавка всего лишь нескольких тысячных долей процента бора в конструкционных малолегируемых сталях улучшает плотность слитка, качество поверхности проката, повышает про-

каливаемость, ударную вязкость и усталостную прочность.

Каждый элемент, введенный в сталь в качестве легирующей добавки, имеет и «свое лицо», то есть сообщает ей свойства, в которых он превосходит другие элементы. Каково же «лицо» бора? Повышает прокаливаемость? Однако известно, что в этом деле ни один элемент не может соперничать с молибденом. Увеличивает ударную вязкость? А разве не ванадий превосходит в этом своих собратьев?

Все это правильно, и все же есть свойства, которые может придать металлу только бор. Прежде всего о прокаливаемости. Бор повышает ее только у конструкционных сталей, содержащих не более 0,8% углерода. В производстве это играет очень важную роль. Цементации подлежат только низкоуглеродистые стали. Если в них присутствуют тысячные доли процента бора, то твердость цементованного слоя (а стало быть



и хрупкость) не превышает требуемых параметров. Цементированный слой как бы запирает путь прокатке, позволяя сохранить вязкую сердцевину изделия.

Говоря об ударной вязкости, следует иметь в виду, что она различна при изменениях температуры. Детали автомобиля, изготовленные из хромистой, хромоникелевой, хромоникельмолибденовой, хромомарганцевотитановой сталей, имеют высокую ударную вязкость при 20°C. Если температура окружающего воздуха падает, то резко снижается и ударная вязкость деталей, сделанных из этих высококачественных сталей.

В суровых условиях Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока автомобиль с такими деталями более подвержен поломкам из-за снижения ударной вязкости. Но при низких температурах (—40°C и ниже) ударная вязкость хромомарганцевобористой стали снижается весьма незначительно, что дает ей преимущество перед всеми другими. При —60°C лишь хромоникельмолибденовая сталь в какой-то степени может соперничать с хромомарганцевобористой.

Особенно важно, что бористые стали хорошо поддаются механической обработке. Хромомарганцевая сталь, легированная титаном, обладает прекрасными свойствами, однако при обработке ее на станке не случались неприятности. Прежде всего неудовлетворительным было качество поверхности деталей: при снятии стружки получались неровности, а то и вырывы металла. К тому же эта сталь требовала повышенного расхода режущего инструмента: кромка резца очень быстро изнашивалась. Испытание хромомарганцевой стали аналогичного состава, но легированной не титаном, а бором, показало совершенно иную картину: деталь обрабатывалась без всяких затруднений, чистота поверхности была замечательной, износ режущего инструмента весьма незначителен и при всем том требуемые параметры прочности, твердости и прочие бы-

ли несколько не ниже, чем у хромомарганцевой стали с добавкой титана.

Чем же объяснить такое различие в обработке, казалось бы, аналогичных сталей?

Титан, присутствуя в стали, вступает в соединение с растворенными в ней газами — не только кислородом, но и азотом. Нитриды его (соединения с азотом) обладают очень высокой твердостью. Прямоугольные кристаллы их распределены в массе основного металла. Они-то и есть причина неприятностей при механической обработке. Бор, находясь в стали, при высоких температурах также соединяется с азотом, но структурное строение его нитридов подобно тальку или графиту. Мягкие нитриды бора, равномерно распределенные в массе стали, обеспечивают как бы смазку режущего инструмента, резец идет «как по маслу», получается поверхность высокой чистоты.

Если учесть, что основная доля стоимости деталей приходится на их обработку, то следует отдать должное роли бора в удешевлении продукции металлообрабатывающей промышленности.

Но и это еще не все. Присадка бора к стали улучшает также и горячую механическую обработку. Известно, как много окалины скапливается на металлургических заводах — все это отходы производства, в большинстве случаев — безвозвратные потери. И не всегда знают, как от них избавиться.

Добавки бора к стали настолько улучшают поверхность проката, что отходов при горячей обработке практически нет.

Бор вводят в сталь в виде ферробора — железного сплава, в котором содержится от 6 до 12% бора и 5—6% алюминия. Куски ферробора утапливают в расплаве стали с помощью штанги, так как более легкий ферробор может, подобно шлаку, всплыть на поверхность и при этом выгореть. Кстати, угар бора при легирова-

нии им стали значителен — до 40 %, но имеет ли это значение, если нужно вводить такое малое его количество — лишь тысячные доли процента? Расчет ведется на 6—7 тысячных процента, а получают то, что требуется: 2—5 тысячных процента. Стоит это (включая угар) всего 50—60 копеек на тонну стали.

Применение бора в качестве легирующей добавки не ограничено только сталями. Сотые доли процента бора, добавленного к сплавам алюминия, никеля, меди и некоторых других металлов, улучшают их свойства. С помощью бора создан целый ряд коррозионно-устойчивых и жаростойких сплавов. В медных сплавах этот элемент, как выяснилось, повышает теплопроводность и прочность, что использовано при изготовлении специальных бронз.

**АБРАЗИВ, СТАНДАРТ И СВАРКА** Соединениям металла с углеродом — карбидам — принадлежит важное место в металлургии и металлообрабатывающей промышленности. В большинстве случаев эти соединения придают твердость легированной стали, их используют и в твердых сплавах.

Карбид бора впервые был получен еще в 1893 году французским ученым А. Муассаном, но к широкому использованию его в промышленности пришли значительно позже. Зерна карбида бора обладают очень высокой твердостью, износоустойчивостью и химической стойкостью. Самое разнообразное его применение в виде порошков и литых или спеченных деталей основано на этих качествах. Порошок карбида бора, нанесенный на чугунный круг, прекрасно шлифует твердые сплавы. Полученная при этом чистота обработки уступает только алмазной. Так, в часовой промышленности очень важный процесс — шлифовка рубина — выпол-

нялся только с помощью алмаза. Теперь же оказалось, что карбид бора прекрасно его заменяет.

Стандарт в современной жизни имеет исключительное значение. Все материалы, химикаты, инструменты, изделия — все укладывается в рамки того или иного ГОСТа. Популярно выражение: «без стандарта и застрелиться нельзя», ведь нестандартная гильза может не войти в патронник!

Для проверки размеров того или иного изделия необходимы штангенциркули, микрометры, калибры. Тысячи промеров выполняют при помощи каждого инструмента, и как только начнет снашиваться их рабочая кромка, они становятся абсолютно непригодными: неточность измерений влечет за собой массовый брак. Инструменты эти, как правило, стальные. Изготовленные из простой стали, они снашиваются быстрее, из легированной — служат дольше.

Вопросом продления срока службы инструмента занялись венгерские машиностроители: Институт проектирования машин с 1968 года активно занимается проблемой борирования сталей. В этом направлении и вели работы по упрочнению инструмента. Но на этот раз исследовали не низкоуглеродистую, конструкционную сталь, а другую — с большим содержанием углерода или даже легированную — инструментальную.





Она труднее принимает в свой поверхностный слой атомы бора. Но венгерским машиностроителям удалось достичь желаемых результатов. Из борированной легированной стали был изготовлен инструмент для холодной высадки гаек к колесам автомобиля «Чепель». И сразу производительность этого процесса резко возросла. Если раньше с помощью инструмента из легированной вольфрамовой стали изготавливали только 3,5—6 тысяч гаек, то теперь можно сделать их более 10 тысяч. Прекрасную оценку получил и калибровочный инструмент, которым в холодном виде флянцевали трубы. Сила толчка при прессовании допускалась теперь в 2,5 раза большей, чем сопротивление прессуемого материала на разрыв. Изучение излома инструмента из легированной стали показало, что поверхность его в некоторой степени деформирована, тогда как в изломе борированной инструментальной стали этого не было.

Современным отделам технического контроля металлообрабатывающих заводов не обойтись без карбида бора. Достаточно сказать, что изготовленные из него калибры в 200 раз долговечнее калибров из других материалов. В автомобильной промышленности таким инструментом проверяют диаметры фарфоровых автосвечей. Калибр-кольцо из стали выдерживает лишь 800 промеров, а из карбида бора — 1 250 000! Американские специалисты подсчитали эксплуатационный расход при использовании калибров из различных материалов. На одном из предприятий он составлял 50 долларов в день. Когда попробовали калибры из хромированной стали, то он снизился до 35, а с применением калибров из карбида бора ежедневный расход уже не превышал полдоллара в день.

Для того чтобы получить высококачественное гальваническое или лакокрасочное покрытие, нужна чистая поверхность детали. Достигается это пескоструйной

(или дробеструйной) обработкой. Частицы песка выбрасываются на деталь под давлением в несколько атмосфер и очищают с нее ржавчину или окалину. Но пескоструйный аппарат служил недолго — быстро вышло из строя сопло. Оно ведь подвергается ударам песка и быстро снашивается. Материала лучше чугуна для него не находилось. Когда сопла стали изготавливать из карбида бора, то менять их пришлось в 300 раз реже. Правда, они значительно дороже чугунных, но долговечность их дает несравнимую экономию, не говоря уже о том, что и расход воздуха при их использовании сокращается на 20 %.

Сварка металлов уничтожила профессию «глухарей» — клепальщиков. Очень редко можно увидеть сейчас склепанные листы металла. Но сварка — процесс очень сложный. Существует теория сварки, объясняющая ее как сложные физико-химические превращения, разработаны самые различные ее методы, применяемые в зависимости от материала, его толщины, профиля, условий технологии.

Уязвимое место инструмента для газовой сварки — сопло, которое подвергается воздействию высокой температуры и брызг расплавленного металла. В наше время большое развитие получила сварка плавящимся электродом в струе защитного газа. Все было хорошо и обнадеживало, когда начали применять ее в производстве. Однако вскоре появились неполадки, которые чуть было не скомпрометировали новый процесс.

Сварщики и инженеры начали «роптать»: зачем нам нужно это усовершенствование, если то и дело приходится прекращать работу? Брызги расплавленного металла приставали к наконечнику мундштука и к газопроводящему соплу; отверстие для подачи инертного газа забивалось налипшим металлом. Вся идея защиты зоны сварки от воздуха шла прахом... Сконструировали медные хромированные сопла с водяным охлажде-

нием; предполагалось, что применение их /облегчит удаление брызг с наконечника мундштука. Но оказалось, что это — не выход из положения: вся операция усложнялась, аппаратура становилась тяжелее, а необходимость подачи воды и вовсе затрудняла внедрение нового процесса.

Тогда решено было найти новые материалы, из которых можно сделать сопла. Пробовали карбиды хрома, титана и ряд других. Но ощутимых результатов не было: к поверхности сопла по-прежнему приставало много брызг металла. Лишь когда испытали сопла из карбида бора и карбида кремния, то поняли, что выход из тупика, наконец, найден. Небольшое количество брызг легко, сплошной коркой отделялось от сопла. При этом на поверхности его никаких следов не оставалось. Так карбид бора и карбид кремния «вывели в люди» процесс электросварки в защитном газе.

Изготовить сопло из карбида бора для пескоструйного или электросварочного аппарата, несмотря на несложность его профиля, совсем не просто. Карбид бора не обладает хорошей пластичностью. Это, как правило, порошок, состоящий из твердых кристаллов. Если его плавить обычно, как всякий металл, для того чтобы отлить его в форму, то он будет разлагаться. Осуществить это можно лишь в атмосфере инертных газов (аргона или гелия), подаваемых под давлением. Это, конечно, весьма затруднит производство. Гораздо удобнее процесс горячего прессования. Форма заполняется порошком карбида бора, который также под давлением нагревается до температуры, близкой к точке его плавления. Полученные таким образом изделия отличаются высокой плотностью. Совершенно беспористый карбид бора по своей плотности лишь немногим превосходит карбид, полученный методом горячего прессования. Такой материал хорошо шлифу-

ется и полируется, но «поддается» только очень твердым абразивам.

Целый ряд деталей из карбида бора нужно «крепить» на стали или друг с другом. Как это сделать, если карбид бора не сваривается и не паяется?

Для этого используют связующее вещество, состоящее из окиси меди, замешанной на 85%-ной фосфорной кислоте. Через какой-нибудь час при обычной комнатной температуре такой цемент твердеет и прочно связывает между собой детали.

А если изнасилась деталь? Неужели приходится выбрасывать весь узел?

Нет, не приходится. Его погружают на 12 часов в концентрированный раствор аммиака, после чего цементная связка ослабевает, и детали размонтируют.

А не повлияет ли такая ванна на сам материал детали — карбид бора?

Ни в коей мере. Карбид бора не только тверд и прочен, но еще и химически устойчив. Поэтому из него и делают различную химическую посуду, ступки и пестики, предназначенные для истирания хрупких и твердых материалов, детали установок для химических производств.

Карбид бора не смачивается ртутью и имеет высокую температуру плавления (или разложения). Эти свойства натолкнули исследователей на мысль использовать его для изготовления наконечников на электродах зажигания и ртутных выпрямителях.

Металлурги, подобно Н. П. Чижевскому, испытали карбид бора для получения борированного слоя на стали. Им удалось создать поверхностный слой, насыщенный одновременно и бором, и углеродом, прочный, твердый, износоустойчивый, жаростойкий и химически устойчивый. Присадка карбида бора к инструментальным молибденовым сталям повысила их режущие свойства.

Много выявлено прекрасных качеств карбида бора, но основное — это его твердость и абразивные свойства. Он является прекраснейшим материалом для изготовления правящего инструмента, заменяющим дефицитный алмаз и алмазometаллические карандаши

## ТАШКЕНТСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Великая отечественная война. Тяжелейший для советского народа 1942 год. Фашистские дивизии вторглись на русскую землю, уничтожают людей, посеы. Металлургические заводы страны, эвакуированные на Восток, работают день и ночь: все для фронта, все для победы! Многие из них отрезаны от источников сырья, на многих не хватает рабочей силы, оборудования; приходится подчас работать, используя всякие заменители, «эрзацы», но не время на это сетовать, считаться с трудностями, надо и невозможное сделать возможным.

Борное сырье в этот период стало особенно дефицитным. С 1940 года ученые Научно-исследовательского института физической химии им. Л. Я. Карпова, Б. Ф. Ормонт, В. А. Эпельбаум, И. Г. Шафран вели исследование сплава бора с кремнием и углеродом. Казалось бы, малоинтересная для обстановки военного времени, чисто научная тема, от которой практических результатов в ближайшее время ожидать не приходится.

Однако так только казалось. Именно в трудный для нас 1942 год эти ученые обратились с просьбой предоставить им возможность наладить производство нового абразивного материала — борунда, в состав которого входили бор, углерод и кремний. Естественно, что не обошлось без недоверчивых: в абразивных материалах, конечно, крайняя нужда, но ведь ученые требуют бор, которого и так не хватает! Что представляет собой предлагаемый ими борунд? Почти такой же кар-

борунд, состоящий из углерода и кремния, но требующий еще расхода дефицитного бора! Некоторые считали, что это — разбазаривание ресурсов ради чистой науки, что сейчас не время этим заниматься.

Несмотря на такие скептические доводы, все же было решено, что поскольку учеными разработан процесс, не нарушающий общего цикла производства карборунда, не требующий каких-либо переделок или перестановок оборудования, целесообразно провести опытные плавки. Ученые выехали в Ташкент, чтобы испытать свое изобретение на Ташкентском карборундовом заводе.

Еще в 1938 году англичанин Ф. Тоне выяснил, что в расплавленном карбиде бора карбид кремния растворяется; при этом карбид бора не разлагается, и его режущие свойства не ухудшаются при добавлении в него до 35% карбида кремния. Это была важная отправная точка исследования. Но в годы, предшествующие гигантскому пожару мировой войны, обмен научной информацией был затруднен, и советским ученым работы Ф. Тоне стали известны только впоследствии. Им пришлось открывать уже открытое. Но это не только не умаляет ценности их работы, а наоборот, лишь внушает уважение к их настойчивости и упорству в исключительно трудных условиях.

Ученые обратили внимание на то, что полученные ими в экспериментальных условиях кристаллы борунда имеют меньшие размеры, чем кристаллы карборунда, выделенные при той же температуре. Стало ясно, что бор не просто включается в кристаллическую решетку карборунда, но образует с углеродом и кремнием единое химическое соединение, влияя при этом на упругость разложения и упругость паров карбида кремния. Повысив температуру, можно было получить и более крупные кристаллы борунда. Нет слов, карбид бора, как абразивный материал, ценнее карборунда. Однако

при его производстве много бора безвозвратно теряется с отходящими газами. Факелы горячей окиси углерода при плавке карбида бора окрашены в интенсивно-зеленый цвет — цвет бора. Карбида бора не хватало, а заменяющий его карборунд требовал улучшения.

Первые же опытные плавки обрадовали исследователей: потерь бора, можно сказать, не было — отходящие газы почти не окрашены в зеленый цвет. Плавки дали кристаллы борунда различного размера. Мелкие кристаллы смешали с парафином и изготовили таким образом доводочную пасту. Ее испытали при обработке резцов. Карборунд лучшей марки «экстра» содержит 67,3% кремния и 30,5% углерода. Паста из «экстры» при обработке инструмента мало уступает пасте из карбида бора. Борунд, полученный в той же печи, где проводили плавку «экстры», показал, что по шлифовочной способности он уступает карбиду бора, не превосходит «экстру». А борунд этот содержал всего лишь 5,7% бора.

Печи Ачесона, используемые на Ташкентском заводе для плавки карборунда, оказались вполне пригодными для производства нового абразивного материала. Они позволяли вводить в шихту до 8% борного ангидрида и проводить плавку при температуре несколько выше обычной без заметного увеличения расхода электроэнергии. Обработав результаты и проведя вслед за этим экономический расчет, ученые заявили, что если бы даже полученный борунд повышал производительность труда всего лишь на 5% (а он повышает ее гораздо больше), то и тогда удорожание при замене им карборунда было бы во много раз перекрыто полученной экономией. Следует отметить, что борунд оказался в 10 раз дешевле, чем карбид бора.

Так работа советских ученых, проведенная на Ташкентском карборундовом заводе в трудное для стра-

ны время, дала возможность металлообрабатывающим предприятиям сократить расходы и, резко повысив производительность труда, ускорить обработку деталей машин, необходимых фронту.

К этому можно добавить, что борные соединения используют при создании других абразивных материалов, в состав которых сами по себе не входят. Корунд сильно отличается от карборунда, несмотря на созвучие названий. Второй, как уже сказано, это карбид кремния, тогда как первый — кристаллическая окись алюминия. Надо заметить, что кристаллических форм карбида кремния несколько, не каждая из них годится как абразив. Технический глинозем — сырьевой материал для производства корунда — обязательно должен пройти предварительный обжиг. С одной стороны, этим достигается перевод окиси алюминия в устойчивую кристаллическую форму, что исключает усадочные явления при окончательном обжиге; с другой (и это очень важно) — продукт очищается от щелочных ионов калия и натрия. Тому и другому способствует минерализатор — борная кислота. Она ускоряет первый процесс, а во втором — избавляет корунд от нежелательных примесей, так как образует с ними легколетучие соединения, удаляющиеся в процессе обжига.

## **ПОБЕДИТЕЛЬ АЛМАЗА**

В июне 1957 года корреспонденты многих газет и журналов США торопились в одну из лабораторий известнейшей фирмы «Дженерал Электрик». Представителей печати пригласили на пресс-конференцию, посвященную новому материалу, полученному фирмой, который, будто бы, тверже алмаза. Тема была захватывающей. Правда, не раз уже печатались сообщения о тех или иных сенсационных открытиях, которые впоследствии оказались блефом, но что



из этого: если даже это «открытие» окажется мистификацией фирмы, а сообщение о нем — газетной «уткой», то и оно для читателя будет достаточно сенсационным; такую «утку» можно прекрасно «зажарить», то есть получить за нее весьма недурный гонорар.

Пресс-конференцию проводил молодой американский химик Р. Уэнтрофф. Весьма любезно он рассказал представителям печати, что полученный им материал представляет собой нитрид бора, то есть соединение бора с азотом.

У многих присутствующих это вызвало недоумение: ведь нитрид бора — мягкий порошок чешуйчатого строения, чрезвычайно тонкозернистый; его еще называют «белой сажей» или «белым графитом». Уэнтрофф не отрицал этого. Совершенно верно, нитрид бора известен более 100 лет, он похож на тальк, но это ни о чем не говорит. Ведь всем хорошо известно, что твердейший природный материал — алмаз — пред-

ставляет собой чистый углерод, а мягкий графит по своему химическому составу от него не отличается. Несхожесть их в твердости порождает различие кристаллических структур. Кристаллы графита гексагональной (шестигранной) формы, они непрочны связаны друг с другом, тогда как в кристаллах алмаза все атомы углерода объединены в кубическую решетку. Между талькоподобным нитридом бора и полученным фирмой новым материалом — боразоном такая же разница,



как между графитом и алмазом. Новый материал, имеющий кубическую решетку кристалла, Уэнтроффу удалось получить, применяя давление около 4,6—6,0 ГПа (60 тыс. ат.) и температуру порядка 1600°C.

Но действительно ли боразон превосходит алмаз по своей твердости? Ведь в наше время создано очень много сверхтвердых сплавов, однако известно, что нет среди них такого, который по твердости может сравняться с алмазом. Один из сплавов и называется «видиа». Это слово — сокращенное «ви диамант» (то есть «как алмаз»). Но править «видиа» надо все тем же алмазом, — недаром слово «алмаз» переводится как «неодолимый».

Уэнтрофф, рассеял все сомнения, пожертвовав для этого алмазом: грань его он процарапал кристалликом нового вещества. Еще древние говорили, что только алмаз режет алмаз, и вдруг новый материал наносит ему царапины, а сам остается невредимым при «попытке» алмаза ответить ему тем же!

В свое время ученым Моосом была составлена шкала твердости, в которой цифрой 1 была обозначена твердость мягкого минерала талька, а цифрой 10 наивысшая твердость — алмаза. В наши дни об алмазе приходится говорить только как о самом твердом природном материале. Наука и техника современности создали искусственный материал, твердость которого выходит за пределы 10-балльной «алмазной» шкалы.

Уэнтрофф, конечно, уклонился от сообщения технологических подробностей производства боразона: это секрет фирмы «Дженерал Электрик». Однако такие производственные секреты не долго остаются тайной. И не столько потому, что о них «пронюхают», сколько потому, что обычно над решением многих технических проблем работают одновременно ученые разных государств и, конечно, получают свои результаты.

И действительно, вскоре советская печать информировала о том, что, Научно-исследовательский институт абразивов и шлифования создал новый материал — КНБ (кубический нитрид бора). Это тот же боразон. Испытания показали, что его можно применять для обработки металлов любой твердости. Стойкость его выше в 20 раз, чем у общеизвестных абразивов, и в 8 раз, чем у инструментов из естественного алмаза.

Превосходство КНБ перед алмазом еще и в том, что, применяя его, можно не опасаться науглероживания поверхности обрабатываемой детали. Немаловажно, что коэффициент термического расширения нитрида бора с повышением температуры значительно снижается. По сообщениям печати производство боразона обходится не слишком дорого.

Какие же еще преимущества боразона перед алмазом? Их немало. Философы древности сообщали последующим поколениям много ценных научных сведений, однако случалось не раз, что некоторые их категорические заявления совсем не соответствовали истине. Так было и с алмазом. «Загипнотизированный» его твердостью Аристотель сообщил, что алмаз при сильном ударе по нему молотом скорее разобьет наковальню, но сам останется целым. Но мы теперь знаем, что алмаз очень хрупкий материал, и простой удар молотком превратит твердейший минерал в пыль. Алмазными коронками бурят твердые породы, но если в таких породах окажутся трещины, то от алмазного бурения отказываются: алмазные «зубы» легко выкрошатся от ударов. Боразон же сопротивляется удару в значительно большей степени. Если алмаз нагреть до  $1090^{\circ}\text{C}$ , то через 2,5 минуты от него ничего не останется, кроме углекислого газа. Боразон и при  $2500^{\circ}\text{C}$  работает так же хорошо, как и при комнатной температуре. Из этого следует, что резцы с боразоновыми насадками можно применять в условиях высоких температур и невидан-

ных скоростей. Что же касается срока их службы, то он возрос неизмеримо.

Придерживаясь фактов, следует сказать, что применение боразона ограничено тем, что до сих пор удавалось получить лишь мелкие его кристаллы; однако это не значит, что более крупные уже не получены. А ведь применение их — путь к резкому повышению производительности труда на металлообрабатывающих предприятиях. Но и это еще не все. В наше время большие успехи достигнуты в области техники сверхвысоких давлений. Незаменимым материалом для аппаратуры до недавних лет считался карбид вольфрама. Боразон, как оказалось, очень упруг, хорошо сопротивляется сжатию. Следует ожидать, что в ближайшее время (а может быть, оно уже и наступило) станут возможными еще большие пределы сжатия в аппаратах высокого давления с цилиндрами, оправками, поршнями, изготовленными из боразона.

А что же «родитель» боразона — нитрид бора? Неужели он так и останется только сырьем для изготовления нового материала?

Ничего подобного! Нитрид бора давно уже используют как огнеупорную обмазку форм и тиглей. Предполагают изготавливать из него сливные носки миксеров и конверторов с расплавленным металлом. Нитрид бора не смачивается расплавленными сталями, бронзами, кремнием, и эту его особенность широко используют. Из него делают сосуды для жидких металлов и сплавов, наконечников термопар и многое другое. Он годится для игнитронных зажигателей. В высокочастотных индукционных вакуумных печах требуются термоизоляционные материалы; оказалось, что нитрид бора как нельзя лучше соответствует условиям, в которых они должны работать: даже при высоких температурах он прогревается индукционными токами. Несмотря на малую теплопроводность, нитрид бора весьма термостоек

и не разрушается при быстром охлаждении или нагреве (до  $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ). Благодаря своей температурной и химической стойкости нитрид бора используют в качестве смазки и материала для подшипников скольжения, работающих в агрессивных средах. Такие подшипники, правда, не выносят большой нагрузки, но прекрасно противостоят действию кислых растворов.

Нитрид бора широко применяют в механизации и автоматизации процессов черной и цветной металлургии.

## **БОР, ЖАР И ТЕПЛОВЫЙ УДАР**

Изучение бора и его соединений шло медленно. Только в начале XIX века был открыт этот элемент, и лишь в самом конце столетия серьезное и наиболее полное исследование соединений бора было проведено французским ученым Анри Муассаном.

Исследователь получил ряд соединений бора с металлами, назвав их боридами: в 1894 году — борид хрома, через год — борид титана, а еще через год бориды вольфрама и кремния. Тогда же Муассану удалось создать бористую сталь. Он возлагал на нее большие надежды, считая, что в дальнейшем можно будет заменить углерод в стали бором. Такое мнение знаменитого ученого не оправдалось. Причина ясна. Бор — прежде всего дефицитный материал, а углерода вокруг нас предостаточно. Да и зачем вводить в сталь бор в сравнительно больших количествах, когда даже незначительные добавки его резко повышают качество стали?

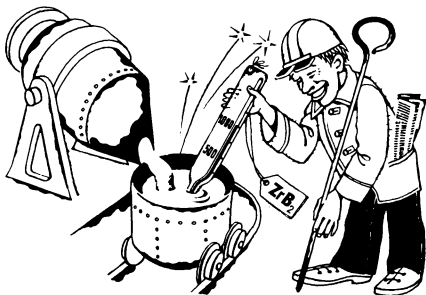
В 1909 году работы А. Муассана продолжил ученый Ведекин. Ему удалось представить миру почти все известные в наше время бориды — материалы, отличающиеся высокой тугоплавкостью.

Техника высоких температур, достигшая в наше время исключительного развития, требует материалов высо-

кой жаропрочности и жаростойкости. В чем, собственно говоря, разница между этими понятиями?

Жаропрочными называют материалы, способные выдерживать высокий нагрев. Однако они могут с трудом противостоять частой и резкой смене температур. В таких условиях не всякий жаропрочный материал будет жаростойким. Жаростойкость или способность выдерживать «тепловые удары» — качество материала, которое все более необходимо в технике высотных полетов и космической навигации.

Бориды тугоплавких металлов оказались материалами с прекрасной жаропрочностью и химической стойкостью. Такие качества всегда требовались в металлургии. Расплав металла постоянно действует разрушающе на футеровку печей, материал тиглей. Если говорят о стойкости такого материала, то всегда имеют в виду, сколько времени он сможет противостоять действию расплава. При этом следует учитывать, что чистым рас-



плав бывает лишь в исключительных случаях; как правило, в нем содержатся примеси, действие которых еще более агрессивно. Высокие огнеупорные свойства обнаружили бориды вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и даже радиоактивных элементов — тория и урана. В течение нескольких часов эти бориды выдерживают действие расплавленных чугуна или стали. Расплав бронзы или латуни почти не влияет на их состояние в течение 80—100 часов. Наибольшим коэффициентом жаропрочности характеризуется борид циркония. Тигли, изготовленные из него, не разрушаются после 50 плавов стали.

Высокие температуры «горячего» производства измеряют термопарами — двумя проволочками из разнородных металлов или сплавов, спаянными концами и заключенными в жаропрочную оболочку. Предел измерения температур этими приборами наступает значительно раньше, чем они начнут «сбиваться» в своих показаниях: оболочка их выдерживает только определенную температуру. Ввиду этого при измерении температур расплавленных металлов и стекла прибегают к оптическим методам. А вот совсем недавно на заводе «Криворожсталь» удалось внедрить в производство термопару, которой не страшна температура расплавленной стали. Погруженная в сталь, она непрерывно «следит» и даже автоматически подправляет ход плавки. Такой «градусник» удалось создать украинским ученым, изготовившим защитный чехол термопары из борида циркония. Между прочим, тот же борид циркония может служить и материалом самой термопары: в паре с графитом он обеспечивает очень устойчивую термоэлектродвижущую силу, линейно зависящую от изменения температуры.

Наряду с нитридом бора борид циркония используют для изготовления лодочек, в которых проводят не только плавки, но и испарение некоторых металлов.

Металлурги дали прекрасную оценку и ваннам для электролиза алюминия, изготовленным из борида циркония.

Многими цветными металлами, такими как медь, олово, цинк, алюминий, борид циркония не смачивается, почему из него делают насосы, перекачивающие жидкие металлы, а также сопла для их распыления.

Другие бориды также отлично «прижились» в новейшей технике: борид титана — в подшипниках реактивных двигателей, борид ниобия — в ракетостроении. Как исключительно огнеупорный материал, видимо, войдет в практику борид гафния. Карбид этого металла уже используют для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов ведущих двигателей.

Расплавленный уран очень агрессивен к материалу сосуда, и поэтому тигли для него покрывают боридом тантала. Бориды (а также карбиды) хрома сохраняют сравнительно высокую прочность, твердость, износостойкость при высоких температурах.

Замечательны качества боридов тугоплавких металлов, не правда ли? Но и у них есть свои недостатки. Они хрупки и не стойки к тепловому удару. Из-за этого перспективы их применения в значительной мере ограничены. Карбиды кремния и того же бора или титана гораздо устойчивее к частым температурным перепадам. Материалов же, которым свойственны одновременно и жаропрочность, и жаростойкость, все больше требуется в ракетной технике. Над проблемой жароустойчивости у боридов тугоплавких металлов работали ученые многих стран.

В итоге все пришли к единодушному мнению: сопротивления тепловому удару у боридов тугоплавких металлов можно достичь, приготовив из них композит с металлом, который может придать сплаву вязкость.

Еще в 1949 году металлургическая промышленность стала выпускать жаропрочный сплав на никелевой осно-



ве ЭН 437. Он был предназначен для изготовления лопаток авиационных турбин. Сплав сохранял длительную прочность при  $720^{\circ}\text{C}$ : 200 МПа (20 кгс/мм<sup>2</sup>) против 110 МПа (11 кгс/мм<sup>2</sup>) у карбида титана. Через два года машиностроение получило сплав ЭИ 437А, отличавшийся от предыдущего всего лишь чистотой исходных материалов. Он также сохранял длительную прочность, но температурный предел его эксплуатации повысился до  $760^{\circ}\text{C}$ . Затем в тот же сплав ввели всего лишь 0,01 % бора. Новый материал при том же значении длительной прочности можно было использовать уже при  $780\text{--}800^{\circ}\text{C}$ . В 1953 году Американская карборундовая компания, Электрометаллургическая корпорация и несколько других фирм объединили свои научные усилия для решения этой задачи. Результатом был серийный выпуск материалов, изготовленных из боридов с металлическим цементом — боролитом. Главными были боролит I (на основе борида циркония) и боролит III (на основе борида хрома). Первый был тверже и выдерживал более высокую температуру ( $2990^{\circ}\text{C}$ ); второй уступал ему в этих качествах, допуская нагрев на  $1000^{\circ}\text{C}$  ниже, но зато значительно лучше противостоял тепловому удару: он выдерживал 200 циклов, тогда как боролит I — всего 150—170.

Высокой жаростойкостью обладает также карбид бора (его ведь можно назвать и боридом углерода), цементованный железом (64 и 36 % соответственно): тот же карбид бора в сплаве с карбидом кремния (15 и 85 %) прекрасно противостоит тепловому удару, но жаропрочность у него ниже: иначе говоря, у такого сплава можно неоднократно и резко менять температуру, но нельзя поднимать ее выше определенного значения. Хорошо зарекомендовали себя сплавы на основе боридов титана. Особо прочные детали газовых турбин и реактивных двигателей требуют все больше таких материалов.

Узнав, что бориды для металла — все равно, что панцирь и кольчуга для древнего воина, мы не удивимся сообщению об изобретении двигателя внутреннего сгорания, все части которого, включая поршни, коленчатый вал, подшипники и сам корпус, изготовлены... из особой жаропрочной керамики. Этот двигатель, сконструированный английским инженером Н. Парром, может безотказно работать даже при температуре белого каления. Коэффициент расширения материала двигателя настолько мал, что допустимы резкие перепады температур до 1000°C. Возникает вопрос: а как же со смазкой, ведь без нее двигатели не работают? Смазка есть. Это керамическая паста, приготовленная на основе карбида бора.

Известны и не менее важные «земные профессии» боридных сплавов. Высокая твердость и изнosoустойчивость, а также меньшая по сравнению с карбидами хрупкость позволили использовать их при создании твердых металлокерамик. Сплав борида титана с железом, используемый для резания сталей, по стойкости выше известного титанокобальтового сплава. Прекрасными режущими свойствами обладает борид молибдена, сплавленный с никелем.

Слоем борида покрывают части буровых коронок из молибденовой и вольфрамовой сталей. Это резко повысило их твердость и изнosoустойчивость, почти не изменив прочности. Боридные покрытия служат защитой тугоплавких металлов и керамик, в частности, покрытие из сплава борида хрома и никеля надежно защищает поверхность труб, тиглей и других емкостей от агрессивного действия расплавленных алюминия, цинка, магния.

Чтобы пользоваться металлокерамическим резцом, нужно прикрепить его к державке. Это не так просто: не всякий припой соединяет металлокерамику с металлом. Для этого один из лучших материалов — смесь бо-

рида вольфрама с его карбидом. В технике дозольно часто необходимы вакуумплотные соединения тугоплавких металлов — молибдена, вольфрама, тантала, ниобия и других. Они должны быть соединены как друг с другом, так и с металлокерамикой. Лучший припой для этой цели — борид молибдена!

## **ВИЗИТНАЯ КАРТОЧКА ЭЛЕМЕНТА**

Что же представляет собой бор как элемент? По какому праву рассказ о нем — в компании рассказов о металлах? Ведь все говорит за то, что бор неметалл? Но так ли четко выражена грань между металлами и неметаллами? Всем прекрасно известен металл алюминий, имеющий самое широкое применение в промышленности и быту. Но разве не существует алюминиевая кислота и ее соли, в которых алюминий «действует» как неметалл? Разве не существуют цинкаты — соли цинковой кислоты, где также хорошо известный металл — цинк — проявляет себя как неметалл? Разве нет вольфрамовой или молибденовой кислот?

Так что, пожалуй, правильнее будет говорить о том, в какой степени тот или иной элемент проявляет металлические или неметаллические свойства. Бор преимущественно «выказывает» свойства неметалла, но это не отрицает полностью и его «качеств» как металла. Сейчас малоупотребительно выражение «металлические свойства бора», но в первые два-три десятилетия XX века его можно было встретить в самых серьезных химических трудах.

Вспомним, прежде всего — как англичанин Г. Дэви получил элементарный бор? Он разлагал расплавленную буру электрическим током, и при этом бор выделялся на катоде, как все металлы (или водород). Возможно, конечно, что это результат вторичной реакции: выделя-

ется натрий, а уже в свою очередь он восстанавливает буру с выделением элемента бора. Но пока это еще только предположение, не подтвержденное в достаточной мере экспериментами. В то же время установлено существование бористой соли метафосфорной кислоты, где бор занимает место металла. Бор, как и ряд других элементов, проявляет металлические свойства, хотя выражены они значительно слабее, чем, например, у алюминия или цинка. Роль же, которую бор играет в создании высококачественных сталей, твердых сплавов и различных тугоплавких материалов, дает все основания для того, чтобы включить его в одну «компанию» с металлами.

Когда в 1808 году ученые Парижского университета Гей-Люссак и Тенар, воздействуя на борный ангидрид калием, только что открытым Г. Дэви, получили элементарный бор, он был аморфен и внешне подобен графиту, только другого цвета — коричневого. Через 50 лет после этого элементарный бор попытались получить Ф. Вёлер и Сент-Клер Девиль. Они восстановили борный ангидрид алюминием. Результат оказался иным; перед ними лежал не аморфный, а кристаллический бор.

Детальное изучение бора все время наталкивалось на трудности, возникающие из-за того, что в условиях опыта он взаимодействовал с тем или иным элементом, и получить продукт достаточной степени чистоты не удавалось. Бор, выделенный Вёлером и Сент-Клер Девилем, например, содержал примеси карбида бора и бористого алюминия.

Анри Муассан показал, что всеми применявшимися ранее способами можно было выявить продукт, в котором элементарного бора содержалось не более 60%. Ученый положил много труда на изучение бора и его соединений, и в 1892 году разработал первый промышленный способ производства элементарного бора, используемый и в наше время. Процесс предусматривает

восстановление бора при действии магния на расплав борного ангидрида.

Сказать, что Муассану удалось получить совершенно чистый бор, нельзя. В его продукте были также загрязнения — борид магния и низкие окислы бора, но зато примесей этих значительно меньше, чем в боре, выделенном по технологии других исследователей. Муассан демонстрировал кристаллический порошок светло-каштанового цвета удельным весом 2,5. Помещенный в зону вольтовой дуги бор улетучивался, не плавясь. Эту работу Муассана продолжал Вейнтрауб. Спустя 101 год после открытия элемента он получил бор в чистом виде, восстанавливая водородом хлорид бора в электрической дуге. Лишь после этого можно было обратиться к систематическому изучению свойств элементарного бора. В наше время бор чистоты 99,9% получают восстановлением водородом соединений этого элемента с хлором и другими галогенами, термическим разложением их на раскаленной нити, а также крекингом бороводородов.

Вейнтраубу удалось расплавить бор. Для этого ученый поместил его в вакуумную электрическую печь и нагревал его почти до  $2500^{\circ}\text{C}$ . Тугоплавкость бора обратила на себя внимание, начались попытки использовать это качество в промышленности. Но пошло все далеко не гладко. Препятствием была ярко выраженная способность бора вступать в соединения с другими элементами.

Первые электрические лампочки имели угольную нить. Потом ее заменяли танталовой, осмиевой и другими, пока безоговорочно решили: вольфрамовая — самая лучшая! Чем более тугоплавка нить, тем большая температура нагрева возможна, тем сильнее и длительнее светоотдача. А разогревается металл тем быстрее, чем больше его электрическое сопротивление. Почему бы не попробовать бор как материал для нити электрической лампочки?

Первые опыты показали что-то невероятное: чем больше нагревали, тем выше становилась электропроводность! Такого свойства не обнаруживал еще ни один элемент: при нагревании бора до  $600^{\circ}\text{C}$  его электропроводность возросла в 100 раз.

Вейнтраубовский бор все же не был достаточно чистым для его фундаментальных исследований. Кристаллы бора необходимой чистоты были получены только в 1943 году. Изучение их показало, что существует несколько полиморфных модификаций элементарного бора. Для двух из них удалось полностью определить кристаллическую структуру. Последняя оказалась столь необычной, что заставила ученых многократно проверять и перепроверять полученные результаты. Основной структурной единицей в кристаллах бора служат икосаэдры (двадцатигранники), образованные двенадцатью атомами бора. Длина связей между этими атомами  $0,173\text{--}0,179\text{ нм}$  ( $1,73\text{--}1,79\text{ \AA}$ ). Но половина всех атомов связана с атомами соседних икосаэдров с длиной связи  $0,17\text{ нм}$  ( $1,71\text{ \AA}$ ). Другая половина атомов бора участвует в образовании треугольных перемычек между икосаэдрами с расстоянием  $0,203\text{ нм}$  ( $2,03\text{ \AA}$ ). Это в первой модификации. А во второй решетке модификация тетрагональная (четыре треугольных грани), но строение еще сложнее. Длина связей внутри икосаэдров близка к  $0,18\text{ нм}$  ( $1,80\text{ \AA}$ ). Икосаэдры соединяются между собой как непосредственно, так и с помощью промежуточных атомов бора, не входящих в состав какого-либо икосаэдра. Расстояние между ними равно  $0,17\text{ нм}$  ( $1,70\text{ \AA}$ ). Такое строение не встречалось даже самым опытным кристаллографам. На внешней оболочке атома бора всего лишь три электрона, то есть меньше одного электрона на каждую связь. Современная

наука знает об особом типе ковалентной связи — многоцентровой связи при дефиците электронов.

Не исключено, что изучение именно этих уникальных особенностей кристаллической структуры бора и приведет к объяснению феномену зависимости его электропроводности от температуры, которое иные исследователи готовы принять за «научную шутку». На пути ученых в разъяснении этого вопроса еще много трудностей. Подождем же, когда эти трудности будут преодолены.

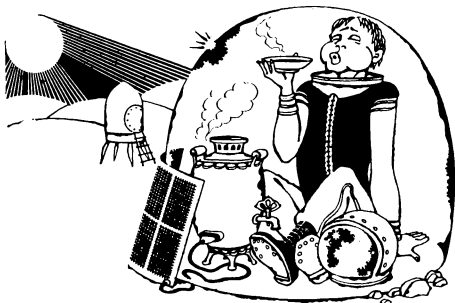
Фундаментальные исследования проводятся в наши дни по изучению сверхпроводимости. Электрическое сопротивление многих металлов не только падает, но совершенно исчезает при охлаждении до сверхнизких температур. Устройство «умных» вычислительных машин основано на использовании сверхпроводимости. В них работает огромное количество элементов — криотронов. Не будем подробно описывать устройство этих элементов. Скажем лишь, что работать они могут только будучи погруженными в раствор жидкого гелия. Неизбежно растут размеры вычислительных машин, нужны очень сложные конструкции для перекачки жидкого гелия. Представляете, сколько требуется гелия? А ведь он — «материал» дефицитный.

Но у нас есть бор. Его электрическое сопротивление не понижается при низких температурах; наоборот, он становится сверхпроводником при  $1000^{\circ}\text{C}$ ! Эту особенность бора изучают в крупнейших физических лабораториях мира, но о результатах исследований пока можно лишь гадать.

Сравнительно недавно в печати промелькнуло сообщение о работе американских ученых, создавших пластическую массу, приобретающую сверхпроводимость при обычной температуре. Если это не газетная «утка», то можно предположить, что здесь не обошлось без участия борных соединений. Пластические массы на ос-

нове бора известны уже давно, а падение электрического сопротивления с повышением температуры наблюдается не только у бора, но и у борных соединений.

В свое время были сделаны неудачные попытки изготовить из карбида бора нить электрической лампочки. Нитрид бора также необычно и резко меняет свое удельное электросопротивление с повышением температуры: если при  $25^{\circ}\text{C}$  оно составляет  $17 \cdot 10^{12} \text{ Ом/см}$ , то при  $1000^{\circ}\text{C}$  — только  $31 \text{ кОм/см}$ , а при  $1500^{\circ}\text{C}$  всего лишь  $0,6 \text{ кОм/см}$ . Можно сказать, что если температура возрастает в арифметической прогрессии, то электросопротивление нитрида бора падает при этом в прогрессии геометрической. Увеличение электропроводности с повышением нагрева — общее свойство полупроводников. Значение их для современной электроники и радиотехники огромно: они заменяют громоздкие радиолампы миниатюрными деталями, из них изготавливают выпрямители тока и многое другое.





Полупроводниковый приборчик — термистор — представляет собой крохотный (менее булавочной головки) кусочек проволоки («сопротивления»), позволяющий регистрировать малейшие изменения температуры по уменьшению или увеличению силы тока, проходящего через него.

На полупроводниковые свойства бора еще в 1909 году указал Вейнтрауб. Борные полупроводники все шире применяют в технике, хотя в большой мере это зависит от чистоты самого бора...

Пришло время — в небе засверкали искусственные спутники Земли. Мы знаем, что многие тончайшие приборы, установленные на них, питаются от солнечных батарей.

Выдающийся русский ученый А. Г. Столетов в 1888 году открыл явление фотоэффекта; под действием света, падающего на поверхность металла, возникает электрический ток. Фотоэлементы, действие которых основано на использовании этого свойства, вошли в промышленность, быт; они помогают в тончайших научных исследованиях нашего времени. Рассказом о них сейчас уже никого не удивишь.

В солнечных батареях использованы полупроводниковые свойства бора. Батарея представляет собой пачку пластинок из чистого кремния величиной с лезвие безопасной бритвы. С одной стороны пластина совершенно чистая, а с другой — покрыта слоем бора толщиной от 1 до 10 мкм (тысячные доли миллиметра), нанесенным при нагреве в вакууме. Атомы бора диффундируют в кремний — проникают на незначительную глубину в его толщу.

По двум металлическим проводникам от каждой пары таких пластинок к приборам подается ток, возникающий при их освещении.

Первоначально большой известностью пользовались селеновые фотоэлементы, однако коэффициент полез-

ного действия (к.п.д.) их сравнительно невелик — всего лишь 1 %.

Жизнь на Земле обязана великому процессу природы — фотосинтезу, осуществляемому растениями под действием падающего на их листья солнечного света. А ведь растения используют всего 2 % полученной энергии, фотоэлементы из кремния с добавкой бора превращают 12 % полученной солнечной энергии в электрическую, и это с учетом потерь, а их теоретический к.п.д. составляет 22 %. Эти фотоэлементы выгодно отличаются от других и своей исключительной химической стойкостью: концентрированная серная кислота, например, разрушает их только при кипячении.

Если такими фотоэлементами покрыть крышу дома средней величины, то преобразуемой ими солнечной энергии будет вполне достаточно для бытовых нужд дома. Читатель может спросить: а почему же в народном хозяйстве такие батареи не приобрели большого распространения?

Прежде всего, технически их не так легко выполнить, ведь требуются очень чистые исходные вещества. Получить их технологически сложно, это обходится дорого. Есть и еще веская причина: бесперебойной работе разнообразного типа гелиоустановок мешает непостоянство солнечного освещения. Не говоря уже о ночном времени, любая тучка или облачко могут остановить работу гелиобатарей. А вот в космосе этого бояться нечего. Там батарейка трех параллельных групп из десяти последовательно соединенных элементов дает ток силой до 0,1 А при напряжении около 0,4 В.

Этого достаточно, чтобы питать короткую телефонную сеть и портативные радиопередатчики на полупроводниках.

## БОРНЫЕ КОМПОЗИТЫ

Мы уже говорили, что по своей твердости кристаллы бора мало уступают алмазу. Химически они очень устойчивы: кислота почти не действует на них. Казалось бы, это прекрасный материал для буровых коронок и инструментов резания. К сожалению, это не так. Химически бор инертен лишь в обычных условиях. При повышенных температурах он очень активно взаимодействует с кислородом, хлором, бромом, серой, азотом. Разогрев инструмента, в котором был бы использован кристаллический бор, сводит на нет все его замечательные качества.

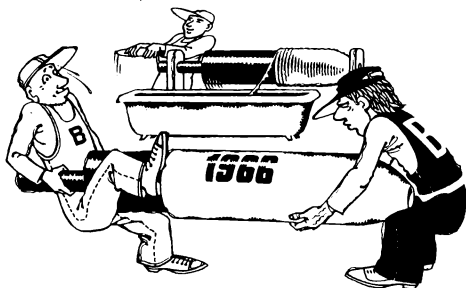
Почему же тогда боразон — прекрасный материал для технических целей?

Потому что в нем бор уже прочно связан с азотом, и ему не грозит окисление другими элементами при высоких температурах. Интересно, что такой активный элемент, как фтор, взаимодействует с элементарным бором уже при обычной температуре. Реакция их соединения сопровождается ослепительным светом.

Бор научились плавить и готовить из него волокно. По прочности и жесткости эти волокна превосходят все известные материалы. Неоценимое качество для современной техники! Однако и здесь использование его наталкивается на то же препятствие — активность бора при высоких температурах. Все же ученые нашли способ, как преодолеть этот недостаток. В технических журналах сообщалось, что группе американских ученых удалось составить композицию из борных волокон и эпоксидной смолы, твердеющей при нагреве, отличающуюся исключительной химической стойкостью. В 1965 году были проведены лишь исследования качеств такой композиции, а в 1966 году из нее создали корпус небольшой ракеты. Для этого борное волокно протягивали через ванну с эпоксидной смолой и наматывали на вращающийся сердечник. Получив-

шуюся сырую «форму» — корпус подвергли нагреву и, когда смола затвердела, сердечник из корпуса вынули. Оказалось, что новый материал прочнее стали и легче алюминия. Надо полагать, что в ближайшее время его будут применять для изготовления корпусов ракет, в авиационной и автомобильной промышленности, в строительстве подводных лодок. Хотя первый ракетный корпус обошелся очень дорого, это едва ли станет серьезным препятствием: как правило, удешевление процесса быстро наступает по мере его отладки и отработки, а качества полученного материала исключительно ценны.

Композиционным материалам или композитам, как их теперь называют, в наше время в технике открылась самая широкая дорога. Дело в том, что если в будущем и удастся получать металлы или сплавы, прочность которых близка к теоретической (бездефектной), то они будут хрупкими вследствие низкого



сопротивления распространению микротрещин в металлах и сплавах в их высокопрочном состоянии. Это, конечно, мешает их использованию. Композиционные материалы лишены этого недостатка. Основную часть нагрузки в них воспринимают волокна (в данном случае эпоксидная смола), а матрица лишь передает эту нагрузку от одного волокна к другому. Если в таком композите возникают трещины (допустим, разрушилось одно из волокон), то они не будут распространяться по всему материалу: их погасит матрица (связующее). Если добавить к этому другие положительные свойства композитов, такие как химическая и термическая стойкость, а также малую теплопроводность, то ясно, сколь ценны такие материалы.

Способ, которым американские ученые приготовили композит с борными волокнами, сегодня уже устарел. Сейчас для их создания широко применяют методы порошковой металлургии, диффузионной сварки, сварки взрывом, распыление и т. д. Очень эффективен новый метод с использованием сверхпластичности. Недостаточно пластичный металл при определенной обработке в условиях высокого нагрева приобретает способность вытягиваться; нити его становятся длиннее в сотни, а то и в тысячи раз. Хрупкий сплав алюминия и кремния, например, таким способом удается превратить в фольгу толщиной всего лишь в десятки микрон. И в этой фольге удалось разместить борные волокна и получить замечательный композит.

Советские ученые создали композит ВКА-1, основой (матрицей) которого служит алюминий, а упрочняющим материалом — волокна бора. По своим качествам он в два—три раза превосходит лучшие алюминиевые сплавы. «Крылатому металлу» — алюминию приходится потесниться. Накладки из такого композита на некоторые части самолета повышают его жесткость в полтора раза и во столько же раз снижают

массу. Изготовленный из ВКА-1 пробный фюзеляж самолета оказался на 23% легче по сравнению с другими.

Боксер любой ценой старается «согнуть вес», чтобы получить преимущество в состязании. Конструкторы воздушных кораблей думают о том же: важно и жизненно необходимо достичь наименьшей массы самолета, но при этом нельзя забывать об увеличении прочности и термостойкости. Разрешить эту задачу помогают композиты с борным волокном.

## ЦЕЙЛОНСКИЙ САМОЦВЕТ

Последние годы XV столетия ознаменовались открытием морского пути в Индию. Следом за португальцами в Индийский океан проникли английские и голландские эскадры. Во славу и ради богатства своих королей они сражались друг с другом, беспощадно грабили островитян и жителей африканского и азиатского побережий. К середине XVII века голландский флот восторжествовал над своими соперниками. Драгоценности, слоновая кость, черное дерево, пряности, отбираемые у туземцев, отправляли в Голландию на широкогрудых парусниках, управляемых лихими капитанами и вооруженными до зубов разбойными экипажами.

Из доставленных в 1703 году в Голландию дикинонок особое внимание привлекал минерал — самоцвет, привезенный с острова Цейлон. Много красавцев-драгоценных камней повидала Европа, но этот превосходил все разнообразием цветов: он то сверкал и переливался из синего в зеленый, красный, розовый, желтый, то вдруг при неожиданном повороте загорался темно-фиолетовым огнем, переходящим в черный. на Цейлоне этот камень был известен как «турумали», в Европе его называли турмалином.

Нечего и говорить, какой находкой был он для

ювелиров! Впоследствии выяснилось, что этот самоцвет добывают не только на Цейлоне. Месторождения его обнаружили в Бразилии, Финляндии, России и других странах. В 1848 году неподалеку от Нерчинска был найден розово-малиновый кристалл турмалина весом более четырех килограмм! Химическое исследование турмалина показало, что это сложный алюмоборосиликат переменного состава. Его постоянная основа — бор с кремнием, алюминием и кислородом; переменными компонентами могут быть натрий, калий, кальций — с одной стороны, и магний, железо, хром и литий — с другой. Оказалось, что в Германии давно была известна железистая разновидность турмалина — так называемый шерл. У нас в Забайкалье есть месторождение различных руд — Шерлова гора. Окраска турмалина зависит от того, какая примесь, какой именно переменный металл присутствует в кристалле. Особенно ценился всегда вишнево-красный турмалин Сарпулки и Липовки, что на Урале. Горщики добывали камни, превосходящие своей красотой турмалины Бразилии, Калифорнии и других мест.

Одной только красотой ценность турмалина далеко не исчерпывается. Этот боросиликат играет значительную роль в технике.

В учебниках минералогии давних времен можно встретить забавное название одного из кристаллов — «пеплопритягатель». Это не что иное, как турмалин. Почему же называли так красавец-самоцвет?

Было замечено, что нагретый кристалл турмалина притягивает к двум своим концам пепел или пыль, подобно тому как притягивает кусочки бумаги натертый кусок янтаря. Почему? А потому, что при нагреве кристалл турмалина наэлектризовывается. Если на нагретый кристалл турмалина сыпать через сито смесь порошков серы и сурика, то он разделит эту смесь: к одному концу притянется вся сера, к другому — весь

сурик. Только сито обязательно должно быть шелковым. Когда частички смеси трутся о шелковинки, они приобретают электрический заряд: сера — отрицательный, сурик — положительный.

Пирозлектрические свойства, как выяснилось в дальнейшем, могут проявлять не только кристаллы турмалина, но и многих других минералов.

Как изустные предания, так и старые руководства по минералогии со всей серьезностью указывали на целебные свойства сердолика. Сердоликом называли тогда прежде всего красный сплошной агат (разновидность кварца, или халцедон) и другие минералы, среди которых был и турмалин. Но сведения об их целебных свойствах относили к народным поверьям. Если же внимательно присмотреться к истокам этих легенд, то можно предположить, что они не столь безосновательны. Возможно, что именно пирозлектрические свойства турмалина, проявление которых было замечено, и послужили поводом к созданию такого поверья. Ведь разноименные электрические заряды на противоположных концах кристалла турмалина возникают при небольших изменениях температуры, которая могла появиться просто от соприкосновения с человеческим телом. Каково же целебное действие электрического заряда на организм, пока еще не изучено, но можно предполагать, что оно не исключено.

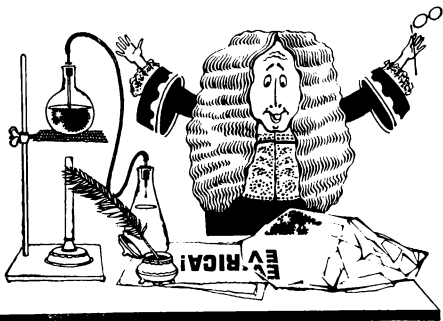
## **САХАР В ТУРМАЛИНОВЫХ ШИПЦАХ**

В 1669 году в руки профессора математики и медицины Копенгагенского университета Эразма Бартолина попали огромные кристаллы впервые привезенного из Исландии прозрачного кальцита. Изучая исландский шпат и описывая его свойства и геометрическую форму, профессор как-то положил прозрачный кристалл на свои записи. Поразительным показалось ему, что



строки, видные сквозь кристалл, казались двойными. Дальнейшее изучение кристаллов показало, что луч света, пропущенный через них, не только преломляется, как в стекле, но и раздваивается. Явление это было названо двойным лучепреломлением. Луч света, как известно, представляет собой колебательные движения вдоль оси его направления. Выяснилось, что кристалл, пропуская через себя луч (и раздваивая его), еще и ограничивает его колебательные движения. Луч, выходя из кристалла, становится, как говорят, поляризованным: его колебания совершаются в плоскости либо только вверх—вниз, либо вправо—влево.

Незначительные первоначальные наблюдения привели к созданию интереснейших инструментов исследования. Лучшим поляризатором света проявил себя тот же боросиликат — турмалин. Если взять две совершенно одинаковые пластинки, выпиленные параллельно из кристалла турмалина, и пропустить через них узкий луч света, то на экране возникает светлое пятно. Сто-



ит лишь повернуть одну из пластин на  $90^\circ$ , как пятно исчезнет: повернув же ее еще на  $90^\circ$  от первоначального положения, можно снова увидеть светлое пятно. Что же происходит?

Дело в том, что луч света, пройдя через первую пластинку, поляризуется и колеблется только в одной плоскости, скажем, вверх—вниз: вторая пластинка теми же свойствами, что и первая, приняв от нее луч с колебаниями в одной плоскости, пропустит его лишь тогда, когда плоскость ее поляризации будет параллельна первой. Повернутая же на  $90^\circ$  вторая пластинка сможет пропустить луч с колебаниями лишь вправо—влево, а он, уже поляризованный первой пластинкой, имеет колебания лишь вверх—вниз, и потому через вторую пластинку не пройдет.

Оптический прибор, в котором помещены две турмалиновые пластинки, заключенные в оправу, поворачивающиеся вокруг своей оси, называли турмалиновыми щипцами. Эти «щипцы» могут сразу определить, кристаллическое вещество исследуется или аморфное.

Для этого исследуемый материал помещают между пластинками на пути прохождения поляризованного луча. При повороте анализатора (то есть второй пластинки) на  $90^\circ$ , когда между пластинками ничего нет, светлого пятна на экране не должно быть. Если между поляризатором (первой пластинкой) и анализатором помещено аморфное вещество, картина не изменится. Если же исследуемое вещество — кристаллическое, то пятно на экране и при скрещенном положении поляризатора и анализатора не только не исчезает, но и окрашивается.

«Турмалиновые щипцы» совершенствовались и, в конце концов, они превратились в поляризационный микроскоп. В отличие от обычного, он, помимо объектива и окуляра, имеет еще и две поляризационные призмы. В такой микроскоп можно увидеть прозрачный шлиф гор-

ной породы, да еще и различить разноцветные ее кристаллические зерна. Более того, с его помощью удастся непосредственно наблюдать образование и рост кристаллов. Если, например, расплавить на стеклышке крупинку общеизвестного лекарства — салола и рассматривать это стеклышко в поляризационный микроскоп, то можно увидеть очень красивую картину: поле зрения при скрещенных поляризационных призмах остается темным, пока не начнется кристаллизация в остывающем расплаве салола. Сначала возникнет несколько светлых точек, число которых станет быстро расти, а через несколько секунд станет видно, что каждая из них представляет собой растущий ромбовидный кристаллик.

В природе встречаются вещества, молекулы которых способны поворачивать плоскость колебаний проходящего через них поляризованного луча. Их называли оптически активными. Явление оптической активности открыто французским ученым Домеником-Франсуа Араго еще в 1811 году на растворе сахара. Изучение его привело к созданию оптического прибора поляриметра, или сахариметра, позволяющего определять концентрацию сахара в растворе за несколько минут и с большей точностью, чем это можно сделать химическим анализом. Для этого раствор сахара в стеклянной трубке помещают между поляризатором и анализатором. Длина трубки и угол отклонения поляризованного луча, устанавливаемый анализатором, достаточные данные для определения концентрации сахара.

## **ЗАЩИТА ОТ СВЕТА**

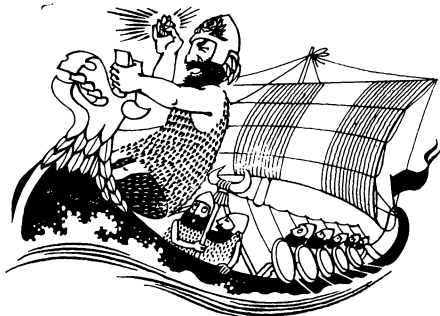
Свет, отраженный от любой гладкой неметаллической поверхности, в какой-то степени поляризован, так что нам с этим приходится сталкиваться постоянно. Основное свойство поляризованного света в том, что его можно погасить или ослабить, пропустив сквозь

кристалл. Не рекомендуется, например, читать книгу, освещенную ярким солнечным светом: отражаясь от глянцевых листов, лучи его слепят глаза. На Крайнем Севере в горах солнечный свет, отраженный снежным покровом, может вызвать тяжелое заболевание радужной оболочки глаза — конъюнктивит.

На поляризацию света лет 12 тому назад обратил внимание датский ученый Т. Рамскоу, когда попытался разрешить историко-географическую загадку. В наше время мало кто сомневается, что задолго до Колумба в Америке побывали викинги. Компасом в то время еще не пользовались. Ориентироваться в океане можно было лишь по солнцу и звездам. Но викинги плавали в высоких широтах, где солнце подолгу не выходит из-за горизонта. Т. Рамскоу обратился к старинным норвежским сагам и нашел в них указание на то, что отыскивать солнце мореплавателям помогал какой-то таинственный «солнечный камень». Сейчас хорошо известно, что пчела и другие насекомые безошибочно находят дорогу благодаря тому, что видят поляризованный свет. Т. Рамскоу верно предположил, что загадка «солнечного камня» именно в этом, и начал длительные поиски минералов в горах Скандинавии. Ему удалось, наконец, найти два таких, которые поляризуют свет. Тогда ученый предпринял полет над Гренландией во время полярной ночи. С помощью найденных им кристаллов ему удалось определить, в какой точке за горизонтом находится Солнце. Он просто смотрел через кристалл, обозревая горизонт, и, когда ось кристалла совпадала с направлением «глаз—солнце», кристалл из желтого становился красным. Вот еще одно подтверждение тому, что в древних сказаниях можно найти сведения о явлениях, на первый взгляд невозможных и невероятных, которые сегодня объясняются вполне научно.

Исследования поляризации света достигли очень больших масштабов, но где взять такое огромное количество кристаллов? Как мы уже знаем, турмалин — не единственный минерал, хотя у него это свойство выражено наиболее сильно. Но есть и другие, прежде всего исландский шпат. Перед учеными встала задача: найти материал, пригодный для исследования кристаллов. В результате созданы так называемые поляроиды — прозрачные пленки, также поляризующие луч света.

Ультрамикроскопические кристаллики иодированного бисульфата хинина, нанесенные на целлюлозную пластинку, иодированные же растянутые пленки поливинилового спирта и некоторые другие органические соединения надежно заменили турмалин и другие естественные кристаллы.



Прозрачный лист поляроида, положенный на страницу книги, позволяет читать текст и при ярком солнечном свете. Для защиты глаз от «снежной болезни» полярники до недавнего времени надевали очки синего стекла; поляроидные очки предохраняют глаза от слепящих равнин еще лучше.

Если военный самолет ночью появится над позициями противника, то прежде чем на него обрушится шквал зенитного огня, он будет «схвачен» лучами прожекторов. Эти лучи не только освещают цель зенитчикам, но и ослепляют летчика. Применение поляроидов в значительной мере ослабит эту опасность.

Автомобильные аварии происходят из-за многих причин, но одна из них — столкновение в ночное время из-за того, что фары встречной машины ослепляют шофера. В настоящее время разработан способ борьбы с этой опасностью. Фары автомашин и ветровые стекла рекомендуется изготавливать из поляроидов с направлением плоскостей поляризации света крест-накрест. Свет, выходящий из фар, поляризуется и, проходя через ветровое стекло встречной машины, в значительной мере уменьшается.

Казалось бы, серьезнейшая проблема разрешена, тем более что поляроиды дешевле естественных кристаллов. Однако использованию поляроидов для подобной цели мешает то, что они не выдерживают большого нагрева. Поэтому кристаллографы — работники одного из научно-исследовательских институтов АН СССР приступили к разработке технологии изготовления поляроидов, выдерживающих температуру до 120—130°C в течение длительного времени. Это большое дело, но все же кристалл турмалина был бы лучше. Если бы можно было получить его искусственно...

## ПУТЬ К СИНТЕЗУ ТУРМАЛИНА

Великий кристаллограф Е. С. Федоров создал множество приборов и методов исследования кристаллов. Теоретическими положениями и расчетами этого замечательного ученого пользуются исследователи всего мира. В 1889 году Федоров строго математически показал, что среди кристаллов можно встретить 230 пространственных групп. Он предсказал все возможные формы кристаллов. Однако это гениальное предвидение в то время еще не было подтверждено экспериментами.

В 1895 году немецкий физик Конрад Рентген открыл знаменитые икс-лучи, свободно проникающие через многие непрозрачные предметы. Открытие это вызвало сенсацию. Оно рассматривалось как величайшее научное событие того времени.

Несмотря на многочисленные попытки, исследователям не удавалось ни преломить, ни отразить эти лучи какой-нибудь поверхностью. Сквозь самое лучшее зеркало они проходили, как нож сквозь масло, и даже самые совершенные линзы ни в малейшей степени не отклоняли их. Уже тогда было высказано верное до сих пор мнение, что лучи Рентгена имеют очень короткую длину волн, значительно короче, чем у самого глубокого ультрафиолетового излучения, не превышающую нескольких стомиллионных долей сантиметра.

В 1912 году известный физик М. Лауэ обратил внимание ученых на то, что, согласно теории Е. С. Федорова, расстояния между атомами в кристаллах имеют примерно такие же величины. Исследователю пришла в голову мысль: а нельзя ли воспользоваться внутренней структурой кристаллов для того, чтобы получить дифракцию лучей Рентгена? Когда он заявил об этом другим физикам, то все они, в том числе и сам Рентген, только посмеялись, приняв высказывания Лауэ за остроумную шутку. И весело заключили с Лауэ пари о

том, что ему в месячный срок не удастся обнаружить дифракцию икс-лучей. Сам Лауэ не был настроен на легкий выигрыш и привлек к работе двух своих аспирантов.

Время шло, но никаких проблесков в решении поставленной задачи не было. Уже к концу подходил срок пари, как вдруг, когда молодые люди уже хотели бросить безнадежную работу, один из них наудачу поставил пластинку за кристаллом (а не сбоку, как делалось до этого), и на ней после проявления обнаружилось множество пятен, расположенных симметричным узором. Шуточное пари привело к замечательному открытию, положенному в дальнейшем в основу рентгеноструктурного анализа. Е. С. Федорову довелось увидеть торжество своих идей, хотя он предполагал, что наступит оно лишь лет через сто...

Создателями рентгеноструктурного анализа можно считать русского ученого Юрия Викторовича Вульфа и англичан — отца и сына Браггов. К сожалению, Российская Академия наук не отнеслась к рентгеноструктурному анализу с должным вниманием. В России за первые 20 лет после открытия Лауэ не было исследовано до конца ни одной структуры кристаллов, в то время как за рубежом их было определено уже несколько сотен. Когда было обращено внимание Академии на этот факт, то некоторые ее члены заявили, что развивать этот метод нет надобности, так как «все сливки с него сняты» и ничего нового для «большой науки» от него ожидать нельзя. С этим не был согласен ученик Федорова Николай Васильевич Белов, теоретически углубивший его идеи. В очень короткий срок он овладел всеми тонкостями рентгеноструктурного анализа и значительно усовершенствовал его.

Хотя зарубежные ученые и опередили русских в использовании метода, но им не удавалось установить структуру одного из важнейших для оптики кристал-



лов — боросиликата турмалина. Их безуспешные попытки продолжались более десяти лет. За эту трудную работу и взялся Н. В. Белов. Под его руководством Е. Н. Белова впервые правильно определила структуру сложнейшего кристалла. Какое же это имеет значение для техники?

В наше время все больше развивается изготовление искусственных кристаллов, в которых так нуждается промышленность. Достаточно сказать, что все часовое производство использует сейчас искусственные рубины. Их получение было очень непростой задачей, хотя химический состав рубина и несложен: это всего лишь окись алюминия с некоторой примесью хрома. С помощью рентгеноструктурного метода было изучено строение его кристаллов, не отличающееся сложностью. Это и позволило создать их искусственным путем. В природе лишь изредка можно встретить рубин, весящий 2 г, тогда как в лабораториях выращивают кристаллы, достигающие 400 г.

В радио- и электронной технике большое значение приобрел титанат бария. В природе он встречается редко. По структуре кристаллы его значительно сложнее рубиновых, но и их сейчас получают искусственно, в массовом количестве. Успешно решена задача производства больших искусственных кристаллов кварца. Осуществилась давняя мечта ученых и инженеров — изготовление искусственных алмазов. Огромное значение для разных отраслей промышленности имеет слюда. Ее поставляют из природных месторождений. Химический состав слюды очень сложен — это алюмосиликат, как и турмалин, переменного состава. О том, чтобы создать ее искусственным путем, и думать не приходилось. И тем не менее советскому минералогу Д. П. Григорьеву удалось вырастить кристаллики слюды. Они, правда, были небольшие, всего 1—2 см<sup>2</sup>. Однако позже появились сообщения о том, что удалось

вырастить и кристаллы величиной до 25 см<sup>2</sup> (возможно, что очень скоро будет разработана технология получения еще больших кристаллов).

Очередь была за турмалином. По сложности состава этот боросиликат не так уж далек от слюды. В блестящей работе Н. В. Белова представлена его кристаллическая структура. Магистерская диссертация М. В. Ерофеева (известного впоследствии профессора кристаллографии и минералогии) на тему о кристаллизации турмалина была защищена еще в 1844 году. Но тогда речь шла лишь об естественных условиях кристаллизации этого минерала; об искусственном же синтезе его еще никто и не помышлял.

Однако пришло время и этому. Сейчас в гидротермальных условиях при температуре около 400—500°C получен и этот минерал. Нет никакого сомнения в том, что этот синтез поможет разрешить многие задачи современной оптики.

Невидимое ультрафиолетовое излучение также может поляризоваться. В одном из институтов АН СССР изготовили поляроиды из пленки поливинилового спирта и иода. Дополнительная обработка их соединениями бора позволила работать с поляризованными ультрафиолетовыми лучами.

## **РАКЕТНОЕ ГОРЮЧЕЕ**

В дни гигантского развития газовой промышленности все слышали о метане. Что же он собой представляет? Этот природный газ — простейший углеводород. Когда обсуждают проблемы газовой промышленности, то часто затрагивают и нефтяное производство. И газ, и нефть — углеводороды легкие или тяжелые, с короткими или длинными углеродными цепями. Могут быть газообразными, жидкими или твердыми.

Но только ли углероду присуще такое качество —

образовывать длинные цепи? Оказалось, нет: кремний, например, также образует подобные цепочки.

Соединения кремния с водородом называют силанами. Возможностью получения соединений бора с водородом специально интересовался в свое время ученый Шток. В 1912 году ему удалось получить первые бороводороды (бораны). Простейшие из них, то есть имеющие короткую цепь, были газообразными, более сложные — жидкими, а некоторые даже твердыми веществами. Интерес к таким соединениям бора проявился в самое последнее время в связи с развитием сверхскоростных полетов.

Сердце самолета — двигатель, работающий на лучших сортах бензина. Какое же горючее движет ракету? Бензин, но более легкий, чем авиационный?

Нет, как раз наоборот, не бензин, а более тяжелый керосин.

Чем объяснить этот «возврат к старому»? Оказывается, это не возврат. Эффективность топлива зависит от теплоты, выделяемой им при сгорании, иначе говоря, его теплотой сгорания, которую определяют сжиганием образцов топлива в специальном аппарате, так называемой «калориметрической бомбе». Однако ее можно и рассчитать, не прибегая к непосредственному определению. Зная химический состав топлива и теплоту сгорания составляющих его элементов, этот расчет выполняют без особых затруднений.

При сгорании 1 кг угля (то есть углерода) выделяется 78, кремния — 7,16, а ослепительно сгорающий килограмм магния выделяет всего лишь 5,92 ккал тепла. Самым пригодным оказался водород; 1 кг его при сгорании выделяет 28,7 ккал тепла. Чем больше водорода в молекулах топлива, тем выше его теплота сгорания. Однако «топить» водородом очень сложно, не говоря уже о том, что в свободном виде он почти не встречается. Таким образом самое эффективное топ-

ливо — углеводороды, то есть газ и нефть, причем чем длиннее углеводородные цепи, тем лучше. Поэтому-то керосин по своей теплоте сгорания и превосходит бензин.

Но ведь водород необязательно может быть в соединении с углеродом. Взять хотя бы кремневодороды, силаны — это ведь тоже топливо?

Конечно, но кремний по теплоте сгорания уступает углероду, и замена керосина силанами никакого преимущества не дает.

Исследования показали, что применение бора почти вдвое выгоднее углерода. Бораны стали рассматривать как перспективное горючее. Действительно, пентаборан (с пятью атомами бора в молекуле) — жидкость на 10% легче бензина, превосходящая его по своей теплоте сгорания на 54%. В этом бору уступает не только бензин, но и керосин: при сгорании 1 кг керосина выделяется 10,3 ккал, а пентаборан дает 16—17 ккал тепла. Строго говоря, теплота сгорания горючего, состоящего из водорода и бериллия, еще выше, чем бороводородного, но бериллий — дефицитный металл, расходовать его таким образом явно нецелесообразно, да и технология его добычи и выделения весьма сложна.

Ученые дали очень лестную характеристику пентаборану как синтетическому горючему. В Америке, а потом и в Англии после проверки экспериментальных установок была создана новая отрасль промышленности — производство синтетического борного топлива. Сказать, что бораны как горючее лишены недостатков и в их использовании все идет гладко, было бы слишком смелым утверждением. В газотурбинных двигателях энергия продуктов сгорания перед выбросом их в атмосферу используется еще и для вращения турбины. Здесь бораны едва ли покажут себя с лучшей стороны. Продукт их сгорания — окись бора — имеет

слишком высокую температуру кипения (порядка  $1700^{\circ}\text{C}$ ). Когда она попадает на лопатки турбин, ее температура снижается и она конденсируется на них (становится жидкой). Вследствие этого к. п. д. турбины резко падает. К тому же происходит эрозия металлических частей и на лопатках турбины образуются наросты.

Выходит, что бораны нельзя применять в газотурбинных деталях?

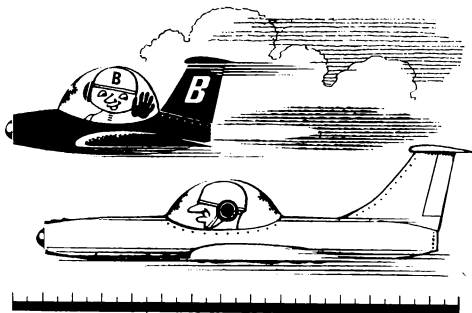
Нет, можно, но с ограниченной продолжительностью работы. К сожалению, бораны обладают неприятными качествами. Во-первых, токсичностью. Вдыхание их паров вызывает быстрое отравление человеческого организма (иногда даже смертельное). Во-вторых, неустойчивостью. Бораны разлагаются с огромной скоростью, со взрывом, причем произойти может это просто в жаркую погоду. Наличие таких, можно сказать, катастрофических свойств у бороводородного горючего заставило ученых срочно искать другие соединения, пригодные для этой цели. Эксперименты показали, что можно употреблять не просто бороводороды, а бороорганические соединения (метилованные и этилированные бораны). Теплота сгорания такого топлива несколько ниже (примерно на 900 кал), но она все же значительно выше, чем углеводородов. Зато новое топливо стало гораздо менее ядовитым и вполне безопасным при хранении.

Помимо пентаборана признание ученых получил и декаборан. В отличие от пентаборана он представляет собой не жидкость, а твердое вещество. Рекомендуют использовать декаборан в виде суспензии в углеводородном горючем. Пентаборан также предлагали растворять в углеводородах. Этот прием предотвращает токсичность боранов, и их самовоспламеняемость.

Но, собственно говоря, зачем нужны все эти ухищ-

рения? Чем бораны лучше обычного углеводородного топлива? Только более высокой теплотой сгорания? Так ли выгодно их применять, ведь они, надо полагать, дороже продуктов переработки нефти?

Конечно, выгодно, потому что не только высокая теплота сгорания отличает боран, а еще и высокая скорость горения. Размер камеры сгорания реактивного двигателя полностью зависит от быстроты сгорания топлива. При низкой скорости сгорания камеры приходится делать длинными, иначе часть топлива будет выброшена несгоревшей. А камера сгорания воздушно-реактивного двигателя по длине занимает основную часть всей установки. Применение боранов позволяет сделать короче камеры сгорания. Это облегчает всю двигательную установку, увеличивает мощность двигателя и дальность полета. Реактивный самолет или управляемый снаряд на борановом топливе без заправки горючим пролетит гораздо дальше, чем на углеводородном. В свое время некоторые ученые сомнева-



лись в целесообразности применения боранового горючего на ракетах. Однако вскоре после этого пресса сообщила, что один из американских спутников Земли вышел на орбиту с помощью боранового топлива.

Заметим, что американцы не были здесь оригинальными, ибо такое горючее было предложено еще в 1929 году одним из пионеров советской ракетной техники Ю. В. Кондратюком. Но следует отдать им справедливость: они весьма рационально использовали ряд технических идей этого ученого. Ведь выход космического корабля на окололунную орбиту и отделение от него взлетно-посадочного аппарата, предусмотренных и осуществленных в программе «Апполон», были разработаны в трудах Ю. В. Кондратюка.

Присоединив к бороводородам такие металлы, как бериллий и литий, получили твердые топлива с высокой теплотой сгорания. Они бурно реагируют с водой, при этом выделяется большое количество водорода и тепла.

Значение бороводородного горючего трудно переоценить. Если принять во внимание, что в наши дни обнаружены большие запасы борного сырья, следует ожидать, что борановое топливо все шире будут применять в технике высотных и сверхвысотных полетов.

О твердых же топливах из лития, бериллия и бора химики говорят как об энергетическом источнике, заполняющем прежде пустовавшее место между обычным углеводородным горючим и ядерной энергией.

## **БЕНЗИН, РЕЗИНА, ПОЛИМЕРЫ**

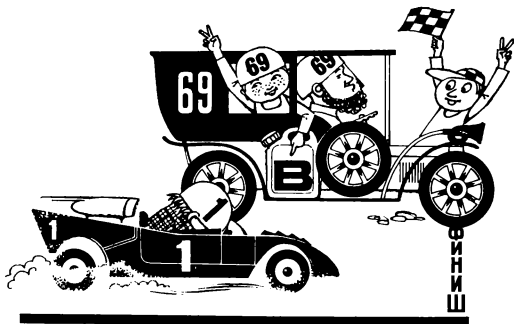
Не так давно владельцы предприятий, производящих борное сырье в капиталистическом мире, заволновались. Причина тревоги заключалась в том, что компания «Стандарт-Ойл» стала проявлять к бору особый, повышенный интерес. (Об этой

нефтяной компании говорили: неизвестно, где кончается американское правительство и начинается «Стандарт-Ойл»!). Спрос на борное сырье резко повысился, цены на него возросли...

Но зачем же понадобился бор компании «Стандарт-Ойл»? Не думают ли владельцы этого гиганта прибрать к рукам и борную промышленность? Ведь такие примеры известны: «Ванадий корпорейшн» уже давно вмешалась в производство никеля, хрома и других легирующих металлов. Нет ли здесь аналогии?

Но тревога оказалась преждевременной: «Стандарт-Ойл» по-прежнему была поглощена нефтяными делами. Бор же понадобился ей как подсобный материал. В лабораториях компании был разработан способ получения борсодержащих бензинов.

Еще до этого в пиротехнике бор применяли как высокотеплопроизводительную добавку, как активатор горения. Использование же его в бензинах позволило





резко увеличить степень сжатия в автомобильных двигателях, а стало быть и повысить их к. п. д. Выпуск таких бензинов — очередное оружие «Стандарт-Ойл» в борьбе со своими конкурентами. Но с технической точки зрения бензиновый двигатель от этого только выиграл.

Транспорт потребляет большие количества не только бензина, но и каучука. Шины автомобиля снашиваются и требуют замены. Резину получают из каучука, подвергая его термической обработке с применением серы — вулканизации.

Работая с декабораном, химики обратили внимание на то, что его с успехом можно использовать как заменитель серы при вулканизации. Он сравнительно мало летуч, стабилен (не разлагается при температуре вулканизации), растворим в органических растворителях, удобен в обращении. Прекрасные результаты получали при вулканизации как натурального, так и синтетического каучуков. Выявился и ряд преимуществ декаборана: там, где серы требуется 3%, достаточно всего лишь несколько десятых процента декаборана. Резины, полученные с помощью декаборана, не только не уступают тем, которые вулканизированы с применением серы, но даже превосходят их по своим эксплуатационным качествам. Если вулканизационный процесс с серой требует нагрева  $130\text{--}150^{\circ}\text{C}$ , то для такого же процесса с декабораном достаточно  $100^{\circ}\text{C}$ .

Наше время не без оснований называют веком полимеров. Каучук — только один из видов огромнейшего числа полимерных материалов. Бор не миновал и этой отрасли промышленности. Большое внимание уделяется сейчас кремнийорганическим смолам. Из них также можно изготавливать разнообразные полимеры, конкурирующие с резиной. Недостаток резины в том, что она чувствительна к изменениям температуры — трескается и при нагреве, и на морозе, а что это зна-

чит на дорогах Крайнего Севера или в пустынях Средней Азии, каждый может себе представить. Кроме того, резина склонна к старению: постепенно она теряет свою эластичность. Вулканизируя с декабором кремнийорганические смолы, смогли получать полимерные продукты, недостатки которых меньше, чем резины.

Стойкость резины весьма относительна при соприкосновении с маслами и другими углеводородами. Декаборан, как мы уже говорили, легко растворяется в органических растворителях, а на его полимерные азотсодержащие производные не действуют ни бензин, ни масла. Это открывает перспективу изготовления эластичных деталей для жестких эксплуатационных условий, там где безуспешно пытались применять самые лучшие сорта резины. О важности этого вопроса можно судить по тому, что синтез таких полимеров был включен правительством США в программу исследования каучуков для военных целей.

Жесткие условия — это также и высокий нагрев. Резина таким условиям явно не соответствует. На помощь снова приходит бор. Один из борфосфорных полимеров, как сообщалось в иностранной печати, устойчив до  $204,4^{\circ}\text{C}$ , другой — не меняет своих качеств даже при  $538,8^{\circ}\text{C}$ . Для получения таких высокотемпературных эластичных материалов ведомства военной авиации и военно-морских сил в США объединились и пригласили возглавить эту работу известного американского ученого, крупного специалиста по гидридам бора В. Берга.

Полимерные материалы с бором применяют не только в особо важных отраслях промышленности. Им открыта дорога и в повседневный быт. Пожалуй, самый общеизвестный и ходовой полимерный материал — полиэтилен. Из него готовят флаги, канистры, детские игрушки и бесконечное количество самых раз-

нообразных обиходных предметов. Бор способен образовать полимер, подобный полиэтилену, отличающийся тем, что получить его можно без применения высоких давлений. Пока еще рано говорить об этом, как о совершившемся факте, но ряд ученых утверждает, что вскоре бор станет основой нового неорганического полимерного производства.

## **БОР В ГАЛЬВАНО- ТЕХНИКЕ**

За полстолетия до того как французские химики Гей-Люссак и Тенар стали работать совместно, немецким ученым Маркграфом впервые была получена плавиковая кислота, разъедающая стекло. Названию она обязана своим «происхождением»: ее производят, обрабатывая плавиковый шпат. В состав кислоты входил неизвестный до того времени элемент. Попытки выделить его были цепью драматических событий: один за другим химики получали тяжелые отравления, нередко приводившие к гибели. Гей-Люссак и Тенар также пытались определить, что же это за элемент, и тоже тяжело пострадали. Чистый фтор, как впоследствии назвали этот элемент, им выделить не удалось, но в 1909 году они получили соединение бора с фтором — трехфтористый бор. Когда они растворили его в холодной воде, то стали свидетелями бурной реакции — вода закипела. Исследовав остывший раствор, ученые нашли в нем борную кислоту и совершенно новое соединение — кислоту борфтористоводородную; от «страшной» плавиковой кислоты она отличалась лишь тем, что в ней присутствовал и бор, но она оказалась совершенно безопасной.

Спустя некоторое время борфтористоводородную кислоту совершенно иным путем получил знаменитый шведский химик Я. Берцелиус: в концентрированной плавиковой кислоте он растворил кристаллы борной

кислоты. Этот процесс также сопровождался бурной реакцией с бурным выделением большого количества тепла.

Надо сказать, что ни Гей-Люссак с Тенаром, ни Берцелиус этому своему открытию большого значения не придали, а новое полученное вещество не скоро нашло практическое применение. Все же, и такое время подошло. Новой кислотой стали пользоваться как катализатором (в большинстве случаев в смеси с окисью ртути) для многих органических синтезов.

При обработке этой кислотой магниевых сплавов удалось в значительной мере предохранить их от коррозии. В последнее же время борфтористоводородная кислота стала приобретать все большее значение в гальванотехнике.

Может показаться странным утверждение, что это практически безвредное вещество представляет собой более сильную кислоту, нежели разъедающая стекло плавиковая. Но это так. Сильной кислотой называют такую, молекулы которой в водном растворе в большей степени распадаются на составляющие их ионы. В водном растворе 98% всех молекул серной кислоты распадаются на ионы, почему ее и называют сильной. Плавиковая же кислота, несмотря на ее токсичность и разрушительные свойства, распадается на ионы всего лишь на 30%, и потому ее считают кислотой средней силы. В гальванотехнике степень диссоциации (расщепление на ионы) имеет первостепенное значение, и потому, если бы даже и удалось избежать всех опасностей, связанных с плавиковой кислотой, интереса для гальваников она не представляет. Другое дело ее детище — борфтористоводородная кислота; значительно превосходя плавиковую в степени диссоциации, она «пробила» себе широкую дорогу в гальванотехнику.

Лучшими гальваническими электролитами долгое время считали растворы цианистых солей. Из них по-

лучают равномерные, плотные, мелкозернистые осадки. Но цианистые соли — весьма ядовитые вещества, и при работе с ними необходимо очень строго соблюдать меры безопасности. Внедрение в гальванотехнику борфтористоводородной кислоты все более вытесняет из практики цианистые электролиты. Поскольку она вполне безопасна, ее используют при свинцевании, меднении, кадмировании, серебрении, хромировании и многочисленных других процессах гальваностегии. Покрытия, полученные с ее помощью, отличаются высоким качеством и не уступают другим, например цианистым.

Важный параметр гальванических процессов — плотность тока, измеряемая числом ампер на один квадратный дециметр поверхности покрываемой детали. Гальванический процесс очень чуток: качество покрытия немедленно резко ухудшается, если превышена допустимая для данного процесса плотность тока. Рыхлость осадка, посторонние включения и так называемый пригар уже покрытых деталей — признаки брака. Чем больше плотность тока, тем быстрее идет процесс, тем выше производительность гальванической ванны. Поэтому научные исследования направлены на поиски электролитов, позволяющих значительно повысить этот параметр. Такому требованию, как нельзя лучше, соответствуют борфтористоводородные электролиты.

Соли борфтористоводородной кислоты применяют в промышленности и как флюсы, используемые при пайке.

## ГАСИТЕЛЬ ПЛАМЕНИ МАГНИЯ

Первооткрывателям бора — Гей-Люссаку и Тенару, с одной стороны, и Дэви, с другой, — пришлось вступить в ожесточенную научную полемику. Но не бор явился «яблоком раздора». Спор шел о хлоре, элементарную природу которого сумел доказать Дэви. Этому научному мнению энергично возражали французские ученые, так как оно противоречило определению их великого соотечественника А. Лавуазье, утверждавшего, что всякая кислота должна содержать в себе кислород и, стало быть, хлор может быть только каким-то окислом, ибо в соединении с водородом он образует соляную кислоту. Однако Дэви оказался в этом споре победителем, и все противники публично признали правильность его взглядов.

Естественно, что Дэви очень интересовало, как же будут взаимодействовать два открытых им элемента? В трубчатую печь, нагретую до 400—500°C, ученый поместил порошок аморфного бора, после чего стал пропускать через него сухой хлор. Образовалась жидкость, которая была собрана в охлажденный приемник. При легком нагреве жидкость закипела. Попытка растворить ее в воде вызвала бурную реакцию, сопровождаемую выделением большого количества тепла, после чего в растворе Дэви обнаружил борную и соляную кислоты. Выяснилось, что полученная жидкость очень нестойка: в металлическом сосуде ее, в всяком случае, не сохранишь — она тут же разлагается с выделением аморфного бора. Из металлов лишь ртуть и цинк не взаимодействовали с новым веществом. В стеклянной или фарфоровой посуде оно сохранялось, но только при низкой температуре, при нагреве же и в присутствии воздуха взаимодействовало со стенками сосуда.

Треххлористому бору, как стали называть новое вещество, отведена роль катализатора в различных ор-

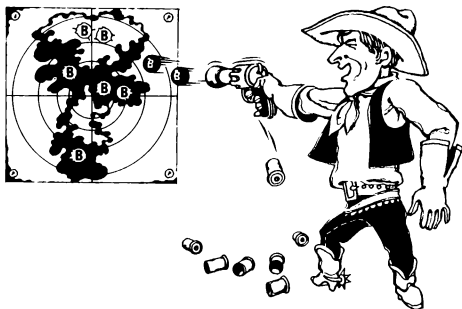
ганических синтезах. Для получения токсического вещества метилхлорарсина, а также различных бороорганических полимеров необходимо присутствие треххлористого бора.

В наше время вышел из употребления такой прежде постоянный инвентарь фотографии, как лампа магниевой вспышки, которой пользовались при съемке с недостаточным освещением. Чистый магний загорается ослепительным светом, скорость горения очень велика. Можно представить себе, какой катастрофой грозит пожар на магниевом складе! Для тушения таких пожаров один из изобретателей рекомендовал вещество, образующее на горящем металлическом магнии пленку хлорида магния, останавливающего горение. Ему выдали патент на применение в подобных случаях предложенной им жидкости. Эта жидкость была ничем иным, как открытым еще Дэви треххлористым бором! Самый чистый бор, в котором так нуждается современная техника, уже сейчас получают восстановлением треххлористого бора водородом.

## **РЕГУЛЯТОР ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ**

Веками мечтали алхимики о превращении элементов. На скорбном пути алхимии много больших и ценных открытий, масса скандальных происшествий и трагических историй. Алхимия была осуждена, ее верования объявлены химерой. Но началось XX столетие, и научное превращение одного элемента в другой было совершено. Великий ученый Эрнст Резерфорд стал, образно говоря, первым удачливым алхимиком. Превратив в 1919 году азот в кислород, он потряс весь мир науки того времени. Слово «атом», что значит «неделимый», потеряло свое первоначальное значение. Замечательные работы Резерфорда были основаны на обстреле атомов

элементов ядрами гелия — альфа-частицами. Превращение азота в кислород было только началом серии опытов такого типа. Ядерные реакции Резерфорду удалось вызвать в 17 легких элементах. Но когда он перешел к более тяжелым, успех уже не сопутствовал опыту. Объяснение этому дал сам Резерфорд. Превращение совершается тогда, когда альфа-частица попадает в ядро атома. Но оба они несут положительный заряд и потому взаимно отталкиваются. Ядра тяжелых элементов имеют большой заряд, и направленные на него альфа-частицы отбрасываются с большой силой. Ученый предсказал существование частицы с массой, равной массе протона (основной составляющей ядра), но лишенной заряда. Такая частица не должна отбрасываться ядром. Через 12 лет после этого предсказания английский физик Дж. Чедвик открыл эту частицу и назвал ее нейтроном.





Обстреливанием ядер элементов нейтронами занялись ученые многочисленных физических лабораторий мира, и это привело к целому ряду поразительных открытий. В 1938 году супруги Ирэн и Фредерик Жолио-Кюри установили, что воздействием нейтронов можно вызвать искусственную радиоактивность различных элементов. Группа молодых физиков во главе с итальянским ученым Энрико Ферми провела много работ в этом направлении. Измеряя искусственную радиоактивность, эта группа установила, что нейтрон не всегда захватывается ядром: обладая большой энергией, он просто «пронзает» его, не вызывая никаких заметных изменений.

Пропуская нейтроны через различные преграды, Ферми выяснил, что легкие вещества замедляют их, после чего они с большей вероятностью захватываются ядром и вызывают повышенную радиоактивность.

Свинцовая преграда толщиной 10 см поглощала половину всех быстролетающих нейтронов. Тот же эффект по отношению к замедленным нейтронам достигался пластинкой родия, толщина которого была всего лишь  $\frac{1}{4}$  мм. Когда же перед ними была поставлена преграда из слоя бора толщиной всего 0,1 мм, то почти все замедленные, или, как их называют, тепловые нейтроны были задержаны. Любопытно, что облученный бор не становился радиоактивным; он превращался в другой, но вполне устойчивый изотоп.

Вскоре было обнаружено, что ядро тяжелого элемента — урана раскалывается медленными нейтронами на два ядра других более легких элементов, и при этом освобождается колоссальное количество энергии.

Во время второй мировой войны в США в совершеннейшем секрете приступили к изготовлению атомной бомбы. Энрико Ферми, бежавший от фашистского

режима Италии, возглавил работы по пуску первого атомного реактора. «Урановый котел», как его тогда называли, был размещен под трибуной чикагского стадиона. Схематически он представлял собой цепь последовательно расположенных слоев урана и графита. Вылетающие из урана нейтроны замедлялись графитом и, попадая в следующий слой урана, раскалывали его ядро, причем количество нейтронов возрастало в геометрической прогрессии.

Нет слов, этот опыт таил в себе огромнейшую опасность. Мог произойти такой взрыв, что ничего не осталось бы не только от работающих у «котла», но и от всего Чикаго, находящегося в полном неведении. Ядерный «пожар» необходимо было как-то регулировать, ограничивать, а в известный момент и вообще ликвидировать. Тормозом ядерной реакции в котле служили стержни из кадмия и бористой стали. Кадмий и бор — элементы, наиболее эффективно поглощающие тепловые нейтроны. Введение их в «котел» постепенно гасит или полностью прекращает процесс. Бористая сталь, конечно, была не такой, о которой говорилось ранее; в ней содержалось значительно больше бора, ибо здесь важны не механические свойства стержня, а присутствие больших количеств этого элемента, захватывающего нейтроны.

Такие регуляторы используют и в современных атомных реакторах. Японские физики при создании реактора учитывали опасность, которая могла возникнуть в случае землетрясения: заклинивание регулирующих стержней и возможная неуправляемость ядерной реакции. В их конструкции стержни не сплошные, а трубчатые. При подземном толчке регистрирующий его сейсмограф включит аварийное устройство, и в реактор по стержням-трубкам полетит несколько миллионов крошечных дробинки из бора, которые и остановят ядерную реакцию.

## БОР В РУКАХ КУРЧАТОВА

В 1945 году была разгромлена фашистская Германия. На Потсдамской конференции 24 июля 1945 года президент США Г. Трумэн «между прочим» сообщил о том, что американцы располагают новым оружием невероятной разрушительной силы. По-видимому, он ожидал, что это сообщение ошеломит делегацию Советского Союза. Вопреки ожиданиям президента, со стороны русских к сообщению не было проявлено особого интереса.

Чем объяснить незаинтересованность Советского Союза? Тем, что русские уже узнали об этом? Так предполагали высокопоставленные лица Америки. Но в действительности для милитаристских кругов США дело обстояло еще неприятнее.

К практическим работам по высвобождению энергии ядра в СССР решено было приступить еще в августе 1940 года, до того, как фашисты напали на нашу отчизну.

Если над созданием атомной бомбы США работал весь цвет ученого мира Европы, то советские ученые провели эту работу своими силами.

В июне 1943 года замечательный ученый Игорь Васильевич Курчатов с группой сотрудников в замоскворецкой лаборатории приступили к разработке уран-графитового реактора. Конечно, было немало трудностей. Выявилось, например, что о возбуждении ядерной реакции и мечтать нельзя, если содержание бора в графите превысит хоть несколько миллионных долей. Даже линолеум с пола пришлось убрать из опасения загрязнить графит бором.

Разыскивали графит исключительно высокой чистоты. Когда такие жесткие условия были поставлены перед одним из заводов, то его инженеры решили, что из графита ученые собираются получать искусственные алмазы. Предстоящая работа представляла собой

секрет особой важности, и потому заводских инженеров не спешили выводить из заблуждения.

Воспрепятствовать ядерной реакции бор мог, присутствуя не только в графите, но и в самом уране. Достаточно сказать, что если в тонне урана содержится более десятой доли грамма бора, то качество ядерного топлива резко ухудшится. Много надежд и разочарований пережила группа Курчатова и наконец,— 25 декабря 1946 года советский реактор заработал.

Бор, бывший такой помехой в осуществлении ядерной реакции, сразу же стал лучшим ее помощником. Еще во время первых лабораторных исследований появилась проблема: как следить за возникновением и течением ядерной реакции? При обстреле ядер того или иного элемента альфа-частицами контроль осуществляется счетчиком Гейгера—Мюллера. Альфа-частицы, пролетая через камеру, заполненную непроводящим газом, ионизируют его атомы (отрывают у них электроны); при этом возникает электрический ток, который можно регистрировать. Но если в камеру попадает не имеющий заряда нейтрон, то ток не возникает. Как быть? Здесь-то и пришел на помощь бор. Была сконструирована так называемая борная камера. Заполняли ее газообразным трехфтористым бором. Попадая в нее, нейтроны не вызывали ионизации, но жадно поглощались ядрами атомов бора, которые превращались в ядра гелия (альфа-частицы) и сверхтяжелого водорода—трития. Как обнаруживают себя альфа-частицы, мы уже знаем.

В последующие годы реакцию взаимодействия бора с тепловыми нейтронами взяли на вооружение геологи — поисковики и физико-химики. Когда ядро бора поглощает нейтрон, то полученная энергия выделяется в виде гамма-лучей. Направляя поток нейтронов на борсодержащие породы и регистрируя идущие от них гамма-излучения, бор в месторождении обнаруживали

без кирки и лопаты, без исследования проб в химической лаборатории.

Как же, собственно говоря, все это происходит?

Ядро бора, захватывая нейтрон, превращается в ядро лития с выбросом альфа-частицы. Почти все ядра (93%) образующегося лития находятся в возбужденном состоянии. Переходя (тут же) в основное, устойчивое состояние, они испускают гамма-лучи.

Содержание бора в доставленном в лабораторию образце можно определить очень точно, не прибегая к химическим реактивам. Для этого через образец пропускают пучок замедленных нейтронов, и по его ослаблению судят о содержании бора. Метод не требует разложения образца кислотами или щелочами, большой затраты времени (нужно всего несколько минут) и отличается высокой точностью.

Читатель может спросить: а так ли? То говорилось, что бор, поглощая медленные нейтроны, превращается в устойчивый нерадиоактивный изотоп, то сообщается об образовании из него гелия и трития, а теперь уже и литий — продукт реакции?!

Противоречие это кажущееся. Энрико Ферми при облучении бора нейтронами действительно получил устойчивый изотоп — это исторический факт. Дело в том, что замедление нейтронов может быть разным. При одном — нейтроны несут большую энергию, при другом — меньшую. Замедленные в одной степени нейтроны, попадая в ядро бора, не вызывают его превращения, в другой — превращают его в литий, а в третьей — разлагают бор на гелий и тритий.

Взаимодействие бора с нейтронами используют и в медицине для лечения рака. В организм человека вводят бор, который через некоторое время сосредоточивается в злокачественной опухоли. Направленный после этого на опухоль поток нейтронов поглощается ядрами бора и вызывает радиоактивное излучение, ко-

торое как бы изнутри разрушает злокачественные образования. Брукхейвенской национальной лабораторией комиссии по атомной энергии в США проводятся исследования по применению этого способа лечения.

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА**

В производстве атомной энергии одна из центральных проблем — защита обслуживающего персонала от различного рода излучений, вызывающих тяжелые, а подчас и смертные заболевания.

Альфа- и бета-частицы (электроны) не так уж трудно задержать тонкими слоями металла. Для гамма-лучей и потока нейтронов такое препятствие явно недостаточно. Массивный щит из свинца может защитить от гамма-лучей, но не от потока нейтронов. И опять взоры ученых с надеждой обратились к бору.

Использованию той или иной конструкции биологической защиты нередко препятствует ее масса. Ведь транспортные средства, такие, например, как подводные лодки или корабли с атомными двигателями, принуждены нести на себе огромный и бесполезный «мертвый груз». В качестве материала для защитных экранов сочли возможным применять бор в виде его соединения с углеродом (карбидом) или азотом (нитридом). Однако материалы эти представляют собой порошок; чтобы изготовить из него изделие, надо найти какой-то связующий компонент.

Метод порошковой металлургии позволяет изготавливать различные изделия, для чего порошки прессуют с борным ангидридом. Связующий материал казался замечательным! Но вскоре обнаружили «минусы»: борный ангидрид гигроскопичен, он притягивает к себе влагу воздуха.

Тогда попробовали борат свинца. При 800—1000°C с его помощью выпрессовывали изделия из карбида и

нитрида бора. Новый материал не был гигроскопичен и к тому же задерживал не только нейтроны, но в какой-то степени и гамма-излучение. В последние годы в качестве связующих материалов были испытаны некоторые органические смолы. Результат показал, что температура прессования может быть снижена до 100—150°C.

В стационарных атомных установках применяют облегченную конструкцию защитных экранов, выполненных из парафина (известный замедлитель нейтронов) и борных соединений. Вместо тяжелых свинцовых или бетонных сооружений поставлены плиты из борного парафина; их легко заменять, изготовление их не требует большой затраты времени, обходятся они значительно дешевле.

От радиации приходится защищаться не только в стационарных конструкциях, но и в облегченных, в частности в самолетах. Размещение в них экранировки —

очень трудная задача. По сообщениям печати в результате большой исследовательской работы получен легкий материал — борал — смесь карбида бора с химически чистым алюминием. Листы, изготовленные из него, правда не отличаются большой прочностью на разрыв и в значительной мере хрупки, однако они тверды, тугоплавки, химически инертны, легки и хорошо поддаются механической обработке.

Этот материал, по-видимому, найдет применение



при изготовлении защитной экранировки внутренних секций атомного реактора в авиации, контейнеров для хранения и перевозки распадающихся веществ.

## **АРАЛО-ПРИКАСПИЙСКАЯ БОЛЕЗНЬ**

Роскошна весной степь Арало-Прикаспийской низменности. Обычная белая полынь там уже не белая,

а сочно-зеленая; шерстистая солянка, невзрачное растение, становится неузнаваемой — настолько опущена, что приобретает серебристый цвет, растения солерос и биюргун укорачивают свои междоузлия и становятся мясистыми.

Манит к себе такая степь истосковавшихся по зеленой корму животных, и они жадно поедают великолепные сочные травы. Но не радовались пастухи овечьих стад: скот тощал на глазах. Овцы хирели и, как это ни странно, в знойной степи простуживались — у них находили плеввропневмонию; иногда же ветеринары обнаруживали у животных поражение почек, центральной нервной системы.

Все это тревожило животноводов и ученых. Было уже известно, что то или иное заболевание скота вызывается нехваткой в кормах какого-нибудь химического элемента. Недостаток кобальта, например в почвах Латвии, Эстонии, Белоруссии, приводил к страшной болезни животных — сухотке. Недостаток йода в той или иной области, как известно, вызывает нарушение функций щитовидной железы, а иногда и появление зоба не только у животных, но и у человека. Сколько поисков, сколько трудов положили исследователи, прежде чем разгадали эту загадку!

Все говорило о том, что в воде и почвах Арало-Прикаспийской низменности неблагополучно с содержанием какого-то микроэлемента. Но чего именно не хватает? Ученые терялись в догадках. Тщательно про-



веденные анализы не указывали на что-нибудь определенное. По сравнению с почвами других областей, земли Арало-Прикаспийской низменности располагали всеми известными микроэлементами — и совсем не в меньших количествах. Да и пышность растений не давала оснований думать об этом. И тогда возник вопрос: почему, собственно говоря, следует искать недостаток? Может быть избыток чего-нибудь также вредно отражается на здоровье животных?

Эта мысль была результатом логического развития поисков и привела, наконец, к разрешению тяжелой проблемы. Да, именно, избыток микроэлемента вызывал тяжелое заболевание скота. Растительность пышна от того, что в почве содержалось сравнительно много борных соединений. Травы накапливали в себе бор. Животные, поедая их, вводили в свой орга-



низм борные соли, — вот, в чем была причина их заболеваний. Ежедневно на этих пастбищах овцы поглощали до 35 мг бора, тогда как в других местах — всего лишь 5 мг. Изучение органов погибших животных показало, что многие из них пересыщены бором: в печени в 2—4 раза больше нормы, в мышцах — в 2,5—7,6 раза, в почках в 8—14 раз, в головном мозгу — в 6—23; селезенка же подчас содержала в 75 раз больше бора, чем при обычных кормах животных.

Причина заболевания была выяснена. Однако, почему бор так пагубно влияет на обмен веществ в организме?

Сказать, что это вполне выяснено, было бы преждевременным утверждением. Но уже сейчас исследования многих ученых прояснили основную проблему. Большие количества бора угнетающе действуют на некоторые ферменты — биологические катализаторы. Это-то и ведет прежде всего к расстройству пищеварения. Некоторые витамины, такие как  $B_2$  и  $B_{12}$  инактивируются соединениями бора, то есть не усваиваются организмом. В этом заболевание скота Арало-Прикаспийской низменности весьма сходно с латвийской сухоткой. Кобальт, необходимый для образования витамина  $B_{12}$ , в почвах был, витамин в организме синтезировался, но бор нейтрализовал его действие.

Итак, борные соединения — яд для животного организма?

Не надо торопиться с выводами. Избыточные его количества действительно вредны, но небольшие просто необходимы. Прежде всего бор входит в состав зубной эмали животных и человека, и его отсутствие в организме сказывается весьма пагубно. В костях человека содержится от 16 до 138 мг бора на каждый килограмм живого веса. Большую роль играет бор в углеводном обмене, и это используют при лечении такого серьезного заболевания, как диабет. Мно-

гие сахара связываются борной кислотой, и потому снизить их содержание в крови удастся введением в организм борных соединений.

Сущность заболевания диабетом в том, что организм теряет способность усваивать сахар — важнейшие энергетические вещества живого организма; поэтому-то они и накапливаются в крови, не подвергаясь полимеризации и депонированию. У подопытных животных диабет можно вызвать, вводя им азотистое соединение — аллоксан. Ученые заметили, что если аллоксан вводить совместно с борной кислотой, то его вредное влияние значительно снижается. Почему?

Бор усиливает действие гормона — инсулина, который способствует полимеризации сахара (глюкозы), и таким образом противодействует влиянию аллоксана. Все это лишь некоторые стороны поведения бора в животном организме.

Но вернемся к бедному скоту Арало-Прикаспийской низменности. Что же делать с ним — не выпускать на пастбище и кормить только сухим кормом? Отнюдь нет! У бора есть биологические антагонисты. Введение в рацион животных определенных количеств медных солей предотвратит вредное действие избыточных солей бора.

## **БОР И УРОЖАЙ**

Значение борных соединений для растений было выяснено задолго до того, как их обнаружили в организме животных. Определенные количества бора в почвах просто необходимы для нормального развития растений. Рост растений при недостатке бора резко замедляется. Виной этому, прежде всего, нарушение углеводного обмена. В соответствии с этим наблюдается снижение процента хлорофилла в зеленом листе. Бор, как оказалось, увеличивает активность амилазы-фермента, расщепляющего крахмал. Давно заметили,

что при детальном анализе некоторых сортов туркестанских вин в их составе постоянно обнаруживали присутствие борной кислоты. Особенно требуется бор растению в период завязи и плодоношения. По данным ученого Джая в сердцевинах различных фруктоз содержится от 1,5 до 6,4 г бора на 1 кг общего веса.

Свекловодам огромнейшую неприятность приносила болезнь ценного корнеплода — гниль сердечка. Долгое время не удавалось установить, в чем его причина. Когда же в почву стали вводить небольшие дозы борных солей, то не только вылечили свеклу, но и значительно подняли ее урожайность. В Чехословакии стали применять удобрения из селитры, к которой примешаны небольшие количества бора. Это привело не только к увеличению веса корнеплодов, но и повышению содержания сахара в них. Аналогично влияет бор и на картофель — клубни содержат больше крахмала. В ряде овощей борные удобрения повысили содержание витамина С.

Пагубно отражается недостаток бора на посевах льна: растения чахлые, волокно, полученное из них, низкого качества. Ранее наблюдали, что в заболевших растениях всегда присутствуют бактерии, живущие за счет его тканей и выделяющие некоторые ядовитые для него вещества, такие как ацетон, бутиловый спирт, масляную кислоту.

Заметив, что растение выздоравливает после введения в почву бора, многие ученые склонны были объяснить целебный эффект его бактерицидными свойствами; ведь хорошо известно, что борную кислоту с давних лет использовали как обеззараживающее средство. Опыты, однако, показали, что хотя растения, получившие бор, выздоравливают, бактерии в них продолжают здравствовать и размножаться. Понятие «бактериоз льна» потеряло смысл. Вывод напрашивается сам собой: бор отнюдь не убивает микробов, а

«всего лишь» улучшает условия питания растений, и необходимых веществ хватит и самому растению, и паразитирующим на нем бактериям. Культуры льна плохо развивается на известковых почвах. Введение в них микроколичеств бора приводит к тому, что клетки корневой системы растения становятся более проницаемыми, поглощение питательных солей не затруднено, и растение развивается вполне нормально. Клевер же и люцерна при борной подкормке увеличивают урожай семян на 20—30%.

В качестве борных микроудобрений не обязательно использовать буру или борную кислоту, доставленные с заводов; этой цели могут служить и природные соединения.

Кристаллы турмалина, о которых мы уже много говорили, не всегда представляют ценность для оптической промышленности, так как они бывают очень малых размеров. Такая «мелочь» — прекрасное борное микроудобрение, требующее, правда,

перед введением его в почву некоторой дополнительной операции. Чтобы сделать его растворимым в воде и, стало быть, пригодным для усвоения растениями, турмалиновую мелочь спекают с известью или какой-нибудь щелочью.

В Литве и на Псковщине с помощью турмалинового спека повышают урожай льна, а на Украине — сахарной свеклы. Некоторые другие природные борты (гидроборацит, ашарит) также могут служить микро-



удобрением, но по содержанию бора они значительно уступают турмалину.

Растения менее чувствительны к избытку бора, нежели животные, но нельзя сказать, что они совершенно к нему безразличны. Чрезмерно большое содержание бора в почве приводит не только к их заболеванию, но и гибели.

Наземные и водные растения содержат неодинаковые количества бора. Больше всего бора — 0,0912 % — обнаружено в одном цветковом морском растении, значительно меньше его в водорослях — 0,0296 %. Известно, что зеленому покрову суши требуется гораздо меньшее количество борных соединений.

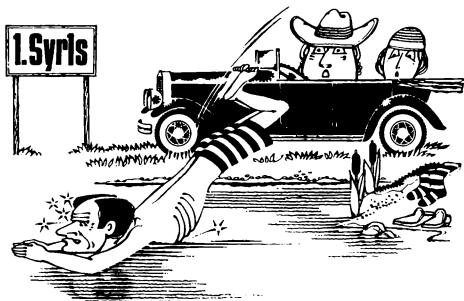
## КАЛИФОРНИЙСКОЕ ЧУДО

В яркий солнечный день по пустынной местности шли автомашины. Истомленные пассажиры с радостью заметили сверкавшую вдали поверхность озера. Но всех поразила необыкновенная, безжизненная гладь поверхности воды. Казалось, озеро сковано льдом. Но лед в такую жаркую погоду! Это, конечно, было совершенно непонятно. Автомобиль между тем, не снижая скорости, подошел к озеру и продолжал двигаться по «льду», сверкавшему под лучами солнца.

Такое чудо удивляет лишь тех, кто прибыл в пустыню Моахава впервые. Это озеро Сирлз в штате Калифорния (США). На его поверхности не ледяной покров, а корка из соляных отложений. Можно пересечь все озеро, не замочив колес. Собственно говоря, машина давно уже шла по зеркалу озера, хотя пассажиры этого и не замечали. Общая площадь его 116 км<sup>2</sup>, из которых только 40 км<sup>2</sup> не покрыты наносами с окружающих холмов. Сейчас на озере буровые вышки двух американских фирм («Америкен потэш энд кеместри» и «Уэст Индкемикел») эксплуатируют природные бо-

гатства. Толщина соляного «льда» 21—27 м, но это только верхняя линза, ниже которой расположен слой ила в 3—5 м, а за ним вторая соляная линза толщиной 7—12 м. Из скважин качают соляной рассол — рапу, которая поступает на сгущение в вакуум-аппараты. В рассоле содержится сода, глауберова соль, хлористый кальций, фосфаты, сульфат калия, бромид калия, углекислый литий и бура. В этом рассоле концентрация солей составляет 28—29%, из них 4% приходится на буру. Комплексная разработка месторождений с получением такого особенно ценного сырья, как бор, калий и литий, приносит большие доходы эксплуатирующим его предприятиям.

Борные богатства озера Сирлз были открыты в 1873 году. Тогда же началась и их разработка, но, конечно, самыми примитивными приемами. Вследствие испарения рассола по краям озера образовалась корка буры толщиной около 2,5 см. Эту корку взламыва-



ли и собирали лопатами, после чего добытую буру очищали в кипящей воде с минеральной кислотой. Отстоявшийся раствор сливали в оцинкованные сосуды и через некоторое время выбирали из них выкристаллизовавшуюся буру. Добывали буру также и выщелачиванием озерной тины.

Ни в какое сравнение подобный способ добычи не может идти с современной технологией, когда каждая скважина ежеминутно дает 190 л рассола, а в результате дальнейшего разделения солей получают не только борное сырье, но и ряд других ценных компонентов. Это объясняется как уровнем техники, далеко шагнувшей вперед, так и растущим спросом на бор, области применения которого постоянно расширяются. Следует заметить, что фирмы, эксплуатирующие богатства озера, и об этом не забывают: хорошо оснащенные лаборатории изучают свойства борных соединений и технологию получения новых борсодержащих продуктов, в частности борорганических. Их интересуют и возможности использования этих продуктов в самых различных отраслях производства. На расходы фирмы идут охотно, ведь широкая реклама нового применения борных соединений обязательно повысит спрос на их продукцию.

В той же Калифорнии расположено и другое месторождение бора — Крамер. Как по запасам, так и по качеству борного сырья, оно превосходит озеро Сирлз. Но здесь не выкачивают рассол, а разрабатывают руды шахтным способом. Подземная добыча не обеспечивала достаточно полного извлечения руды, часть их оставалась в целиках. В последнее же время фирма «Юнайтед Стейтс Боракс» перешла на открытую добычу, требующую больших затрат, но гарантирующую и больший выход руды. Часть ее перерабатывают в буру и борную кислоту, другую же — направляют на построенную рядом обоганительную фаб-



рику, с которой к потребителю поступают концентраты, содержащие до 45% борного ангидрида.

Почти весь бор, добываемый в США, получают на этих двух месторождениях. Ежегодно они дают около 1 млн т боратов. Совсем недавно недалеко от Крамера, в районе реки Керн, открыто новое месторождение бора. В США добывают 95,5% борного сырья, используемого во всех капиталистических странах.

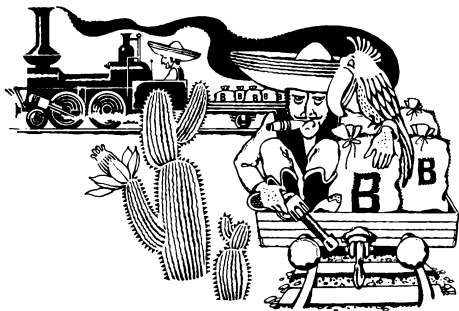
**БОРНЫЙ РЫНОК** До самой середины прошлого века Европа потребляла бор, добываемый в Италии, Тибете, Индии. Резкий скачок в развитии металлургии вызвал увеличение спроса на борное сырье. Если в 1840 году общая добыча его составляла лишь 1000 т, то через каких-нибудь четыре года она возросла до 2,4 тыс. т в год.

Из Азии в Европу бор шел через Турцию. Примерно в эти же годы Турция стала разрабатывать собственные месторождения и направлять в Европу борные концентраты. Самое крупное турецкое месторождение расположено на берегу Мраморного моря, к югу от порта Пандерма, почему и получил борсодержащий минерал (борат кальция) свое название — пандермит.

В 1878 году были открыты не только калифорнийские месторождения, но и богатые залежи бора в Перу. Это повлекло за собой быстрое падение цен на борное сырье на мировом рынке. Привилегированное положение, однако, оставалось в то время за Англией, ибо она не только имела монополию на добычу итальянского бора в Тоскане, но еще ухитрилась прибрать к рукам и турецкий бор: разработкой пандермита в месторождении Султан-Чаир была занята английская компания «Боракс Консолидайт Константинополь». До начала первой мировой войны цены мирового рынка на борное сырье устанавливала Англия.

Еще не развернулась широким фронтом добыча боратов в Калифорнии, как в Южно-американских пустынях Тарапака и Атакама, разработку бора начали в Чили. К 1914 году Чили, Турция и США оказались самыми крупными производителями бора, они поставляли на внешний рынок 96% общего количества борного сырья. Почему же не Перу, а Чили вышло в первые ряды добытчиков и поставщиков бора?

В конце 80-х годов пустыня Тарапака была предметом раздора между этими государствами. Богатством ее были залежи не только бора, но и (прежде всего) селитры, столь необходимой в производстве пороха. Трехлетняя «селитряная» война окончилась победой Чили, успевшей к тому времени построить среди горных перевалов железную дорогу. Провинция Тарапака с залежами не только селитры, но и бора, отошла к Чили. Вывоз борного сырья из Чили облегчался тем, что месторождение находилось всего в



340 км от крупного тихоокеанского порта Антофагаста, куда вела прямая железная дорога.

В Перу, однако, известны и другие месторождения бора. Одно из них — «Дьявольское» расположено на высоте 5 тыс. м над уровнем моря. И другие соседи Чили — Аргентина и Боливия — располагали рудами бора, причем даже более высокого качества. Однако детальную разведку их в то время не проводили, и залежи были неподсчитанными, транспортное же превосходство оставалось за Чили.

Общая добыча борных руд ко времени первой мировой войны составляла уже 90 тыс. т в год, из которых 40 тыс. т потребляла Америка. В 20-х годах США широко развернули работы на своих калифорнийских месторождениях и стали почти монопольными производителями борных продуктов, поступающих на мировой рынок.

Когда разгорелся пожар второй мировой войны, германская промышленность очень скоро начала ощущать нехватку стратегического сырья. Хотя в стране и были свои Стассфуртские месторождения бора, но их продукция, естественно, не могла покрыть все возрастающих военных потребностей. Из оккупированных стран Германия вывозила и сырье и готовую продукцию — все, что требовалось. Наряду с этим практиковалась и «покупка» по заведомо низким ценам. Оккупационные власти обеспечивали успешное проведение таких сделок. Посредством жульнических операций, поддержанных германскими штыками, «Прейсише штатсбанк» скупил акции югославских борных рудников и стал их фактическим хозяином.

По окончании войны рост добычи боратов в США отличался исключительной интенсивностью. Если в 1944 году добыто 251 840 тонн, то в 1950 — 587 тыс. т, а в 1955 году уже 839 тыс. т; к 60-м годам ежегодная добыча достигала 1 млн. т в год бора. Способствова-

ло этому то, что промышленность США не пострадала от бедствий, а также открытие разработок на новых месторождениях (Невада).

Бор все шире применяли в различных отраслях производства, и промышленные компании США стремились удержать в своих руках монополию на борную продукцию на внешнем рынке. В этом стремлении капиталисты США испытывают все большие затруднения. Раны войны, нанесенные Европе, залечивались, промышленность восстанавливалась, открывались и разрабатывались новые перспективные залежи бора. В Турции, например, в 1958 году было выявлено месторождение, общие запасы бора в котором оцениваются в 7 млн. т. Кроме того, разрабатываются борные залежи в Саксонии и Румынии. Пока неизвестно, каковы запасы бора в Африке и Австралии, но, по-видимому, они есть и там.

Абсолютному господству США на мировом рынке препятствует и независимая экономическая политика стран социалистического содружества и поддержка этими странами слаборазвитых государств. На территории, занимаемой социалистическими и экономическими самостоятельными государствами, находится значительная часть мировых запасов бора. Благодаря взаимному обмену необходимыми товарами они перестали нуждаться в американских поставках.

## **УРМИЙСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ**

В начале XX века России требовался бор. Сырьевых его источников на обширнейшей территории государства не обнаруживалось. Вся потребность в борных соединениях покрывалась за счет импорта, главным образом из Германии и Австро-Венгрии, который к 1912 году почти полностью монополизировали эти две державы.

Поступали не только готовые к применению пре-

параты, но и «полуфабрикаты», требующие очистки или переработки. Получением чистых буры и борной кислоты из такого сырья занимались в основном всего лишь три предприятия: химический завод в г. Вильно (Вильнюс), химический завод К. В. Гокиной в Людиновке Калужской губернии и селитряное отделение Русского общества для выделки и продажи пороха.

Запылала первая мировая война — спрос на борное сырье повысился, а основные поставщики его в Россию оказались во враждебном стане. Надо было срочно найти отечественные ресурсы.

Еще в 1871 году в минералах, присланных из Баку в коллекцию Горного института, было установлено присутствие бора. Спустя 30 лет В. И. Вернадский и С. П. Попов обнаружили в грязях некоторых сопок Керченского полуострова природную бору. После этого Э. Э. Штебер обследовал грязевые воды почти всех сопок не только Керченского, но и Таманского полуостровов, а также в Кубанской области, у Баланджарской сопки и в окрестностях Баку.

Анализы показали, что бор входит в состав всех исследованных проб, но о возможных количествах его, которые добывались бы из сопочной грязи, еще нельзя было составить представление. Э. Э. Штебер и В. В. Бекетов собрали большой материал и показали возможность технического использования сопочных грязей для извлечения из них не только борной кислоты, но и йода, и брома. Близ Булганакской и Тархановской сопки, грязи которых к тому времени были наиболее изучены, начали строить завод для выделения буры и йода.

Пока строили завод, потребность в борном сырье возросла еще больше: ведь ввоз его из-за границы почти прекратился. А. Е. Ферсман, тогда еще профессор минералогии, и геолог А. А. Стоянов доложили в Военно-химическом комитете о минеральных источниках в окрестностях Урмийского озера на территории

Персии (Ирана) и о том специальном интересе, который могут они представить ввиду их богатств и близости к границам России. С согласия тогдашнего верховного начальника санитарной и эвакуационной части принца Ольденбургского на организацию в этот район экспедиции была ассигнована необходимая сумма. Осенью 1916 года экспедиция, возглавляемая геологом А. А. Стояновым и химиком В. Г. Хлопиным, отправилась в Карскую область и Северо-Западную Персию на поиски борного сырья.

Разведчики шли по маршруту, пройденному более 50 лет тому назад русским академиком Абихом, и руководствовались прежде всего его указаниями о том, что минеральные источники близ Урмийского озера содержат до 0,5% буры. Путь их к намеченному району проходил через местечко Ольти Карской области. Из старых сведений было известно, что один его источник — Бура-Хан — содержит такое количество буры, которое позволяет ставить вопрос об его промышленной разработке.

Экспедиция посетила Кавказское горное управление и ознакомилась со всеми материалами об этом источнике, но сведения не были утешительными. Выяснилось, что еще академик Абих описал Бура-хан и отнес его к типу богатых глауберовой солью, но о буре при этом никаких данных не было. Много лет спустя, по настоянию окружного инженера III Кавказского горного округа А. Курмакова, пробы воды из источника были отправлены в лабораторию министерства финансов, которая сообщила о наличии в ней буры, наряду с содой, глауберовой и поваренной солями.

Бура-хан прежде принадлежал Турции. Как выяснилось, из него добывали буру. Впоследствии же он отошел к России, и его не удавалось сдать в аренду. Один только раз прельстился источником торговец из Карса. Внеся 100 рублей арендной платы, он за год выварил

200 пудов буры, после чего от дальнейшей аренды отказался, заявив, что его продукция не находит достаточного сбыта. Так и остался источник Бура-хан в графе «государственная доходная статья, лежащая втуне».

В Кавказском горном управлении после этого вообще были скептически настроены, считая, что новые данные не подтверждают наличия буры в водах Бура-хана. В. Г. Хлопин, однако, провел целую серию опытов, сделал вновь анализы и пришел к убеждению, что источник вполне пригоден для добычи буры, хотя неблагоприятным обстоятельством для эксплуатации является сравнительно низкая температура вод ( $12,7^{\circ}\text{C}$ ) и высокое содержание в них поваренной соли.

Отметив удачное расположение источника вблизи запасов топлива (дрова и уголь), Хлопин полагал, что если немедленная постройка завода в Ольтинском районе и не выгодна, то изучение этого района заслуживает особого внимания.

Прибыв к конечной цели своего путешествия, изыскатели нашли около небольшой курдской деревушки богатый бурой источник Исти-Ису, что означало «Горячая вода». Именно его и описал в 1864 году академик Абих. Температура струй достигала  $38^{\circ}\text{C}$ .

Здесь был построен бассейн, к которому приходили жители всей округи — купание в водах, насыщенных сероводородом, излечивало от самых различных недугов. Еще академик Абих писал, что местные жители выпаривали воду источника, и полученную смесь солей сбывали на базаре в близлежащем городе Дильмане, к которому вел весьма благоустроенный почтовый тракт. «Таника», как называлась эта смесь солей, представляла собой нечистую буру, содержащую значительную часть соды и небольшое количество поваренной и глауберовой солей.

Прибывшая русская экспедиция узнала, что персидское правительство за 200 рублей в год сдало источник

в аренду одному из местных жителей и тот добывал буру примитивным способом. Прочие жители, невзирая на это, также промышляли, кто как мог, но делали это еще проще: они не выпаривали воду в котлах, а пользовались для этого летней жарой. В сухую погоду весь откос покрывался налетом буры, соды и серы. Сметая эту хрупкую корку метелочками в корзины, «промысловики» продавали ее местным кузницам по сходной цене.

Экспедиция весьма детально и добросовестно провела свои изыскания и по возвращении в Россию изложила свои соображения и расчеты относительно вполне возможной и выгодной эксплуатации источников близ Урмийского озера. Все же никаких серьезных результатов это изыскание русской борной промышленности не дало.

В России наступили грозные события: революция, а затем гражданская война. Они отодвинули на время решение многих научно-технических проблем. А Урмийское озеро, к тому же, находилось лишь в сфере влияния царской России, но не на ее территории...

## **ПОДАРОК ИНДЕРА**

Отгремела гражданская война. Молодая Советская республика восстанавливала разрушенное белогвардейцами и интервентами народное хозяйство. Советская Россия крепла, и западные державы, теряя надежды на недолговечность Советской власти, одна за другой признавали ее и заключали с ней торговые договоры. Налаживалось хозяйство, промышленность страны, но в борьбе по-прежнему ощущалась острая нужда. Капиталисты Европы и Америки не отказывали в поставках борного сырья, но платить за них приходилось очень дорого.

Керченский заводик успел выдать продукцию лишь в 1917 году. Работа его была возобновлена только в



1926—1927 годах, но, конечно, при потребностях промышленности, набравшей темпы, продукция этого завода была буквально каплей в море. К тому же завод работал только на свежеизверженной жидкой грязи, не отличавшейся высоким содержанием бора. Надежды на широкое производство борных препаратов на этой основе пришлось оставить.

Но от иностранной зависимости необходимо было освободиться.

В 1930, 1932 и 1933 годах соляная лаборатория Академии наук СССР организовала несколько экспедиций на Керченский и Таманский полуострова. Изучить возможности расширения производства буры из сопочных грязей — вот задача, которая стояла перед исследователями. Нельзя сказать, что экспедиции прошли безрезультатно, нет, они собрали большой, ценный материал, но все же этого было явно недостаточно.

До первой мировой войны основной поставщик химического сырья — Германия — экспортировала в Россию не только бор, но и многое другое, в том числе и калийные соли. Когда ввоз прекратился, академик Н. С. Курнаков в 1916 году обратился к царскому правительству с просьбой о посылке экспедиции в Индерские горы, находящиеся на левом берегу реки Урал, для розыска калийных месторождений, так как в воде Индерского озера Курнаковым отмечено повышенное содержание калия. Но ходатайство ученого поддержки не встретило, и экспедиция не состоялась.

Советское правительство с первых же своих шагов иначе отнеслось к стремлениям академика. Уже летом 1918 года им было проведено опытное получение калийных солей из Соликамских рассолов. После разгрома белогвардейцев на Урале были развернуты большие поисковые работы, которые привели к открытию, а затем и промышленным разработкам богатейшего соликамского калийного месторождения.

Тогда Н. С. Курнаков снова поднял вопрос о поисках калия в Индерских горах. В 1927 году Геологический комитет направил в этот район поисковую партию, возглавляемую геологом А. Н. Волковым. Экспедиция должна была уточнить сведения о наличии калия и выполнить геологическую съемку района.

Прибывшим на место изыскателям открылась унылая картина. Индерские горы лишь слегка возвышались над степью, а громадная впадина озера Индер была заполнена сверкающими под палящим солнцем кристаллами поваренной соли. В окружающей озеро бескрайней степи очень мало воды. В некоторых колодцах — «кудуках» она есть, животные ее пьют, но человек не может, и без «уральной» воды ему обойтись трудно, а до нее 14—18 километров.

В первое лето геологам удалось достичь немногого, работы должны были возобновиться на следующий год.



Однако ряд неотложных задач оттеснил этот срок к 1931 году. Но и в этот сезон не все пошло, как хотелось. Было намечено глубокое бурение, но станок, которым надеялись воспользоваться, срочно потребовался для других работ, и он был переброшен на гору Магнитную. Разведку пришлось вести при помощи небольшого трехдюймового ручного бура, рассчитанного на неглубокие скважины. Индерские горы сложены из гипсов и песчаников. С помощью своего нехитрого оборудования геологи изучали породы этих гор, отбирали интересные минералогические образцы, вели геологическую съемку. В северной части Индерских гор им встретились небольшие выходы какого-то минерального образования, похожего при рассмотрении в лупу на крепко спрессованную вату. В некоторых же местах этих выходов попадались кристаллики красивой звездчатой формы.

А. Н. Волков очень заинтересовался этой находкой; отобрав образцы, он описал местонахождение и условия залегания минерала. Образцы послали в Ленинград в Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт (ЦНИГРИ), но особого внимания к себе они не привлекли и в 1934 году были переданы в Центральный геологический музей. Тут бы, казалось, и покоиться им в качестве экспонатов на выставке, но случилось по-другому.

Образцами заинтересовалась заведующая отделом солей М. И. Добрынина: красивый минерал, но что же он собой представляет? Она отправила несколько образцов в минералогический кабинет ЦНИГРИ с просьбой провести кристаллооптическое исследование. Вскоре сотрудница кабинета А. М. Болдырева сообщила, что оптические константы кристаллов совпадают с константами борного соединения гидроборацита.

Бор! Ради этого стоило пожертвовать некоторыми красавцами-образцами, разрушить их и подвергнуть хи-

мическому анализу. Это и сделала сотрудница лаборатории ЦНИГРИ Т. Б. Поленова.

Сомнений не оставалось: кристаллы радиально-лучистой формы — не что иное, как редко встречающийся боратовый минерал — гидроборациит. В ЦНИГРИ заволновались. В своих сообщениях Волков писал о таких размерах выходов этого минерала, которые вполне обеспечат промышленную эксплуатацию борного месторождения. Сектор минерального сырья института возбудил ходатайство о немедленной посылке в район Индерского озера новой экспедиции, возглавляемой все тем же энтузиастом А. Н. Волковым: Вместе с ним без промедления выехали на поиски борного сырья в Индерских горах геохимик А. Д. Желонкин и прораб М. И. Фрей. Вскоре они обнаружили 11 выходов боратов на земную поверхность и подтвердили несомненное промышленное значение этих запасов.

Интерес к горам, окружающим далекое озеро, охватил местную общественность: газеты, сотрудники архивов, отдельные граждане по собственной инициативе сообщали все, что было им известно о находках борных материалов в районах, прилегающих к Индеру.

Еще в 1919 году. В. Г. Хлопин отметил, как очень интересные, хотя и требующие проверки, указания на залежи борнокислых солей в тогдашних Эмбенском и Гурьевском уездах Уральской области. А сейчас Свердловская газета «На смену» сообщила о найденном в делах Екатеринбургского горного департамента письме некоего Лебедева об открытии им месторождения бора в болоте Кара-Кульсор в 240 верстах от степного города Темира на реке Эмба и о просьбе выдать ему разрешение на эксплуатацию этого месторождения.

Из Илецкой Защиты в сектор минерального сырья геолог А. А. Иванов сообщал, что инженер илецкого пудника В. И. Мальцев доставил ему образец породы, взятой из толщи каменной соли; А. Н. Волков, заинте-

ресовавшись образцом, изучил его под микроскопом и обнаружил в нем присутствие бора. Ясно было, что речь идет не только об уникальности Индерских гор, но и о целой бороносной провинции.

Данные, полученные последней экспедицией Волкова, поступили в Народный комиссариат тяжелой промышленности, и оттуда вскоре последовало распоряжение: немедленно приступить к освоению открытых месторождений, для чего создать трест «Индерборстрой», которому выделить необходимые средства. Было дано задание: в течение 1935 года вывезти сотни тонн боратной руды. Решено было также запроектировать крупные разведки и выдать ассигнования на проведение расширенных детализированных поисковых работ, общее руководство которыми возложить на старшего геолога А. Н. Волкова.

Уже в начале мая экспедиция прибыла на место и для выполнения правительственного задания избрала одно из найденных в 1934 году месторождений. Вскоре поступило сообщение, что запасы бора в месторождении значительно превосходят те, на которые ориентировались ранее, но размах разведочных работ явно недостаточен — не хватало оборудования для бурения и геофизических работ. Июньским приказом Наркомтяжпрома были отпущены дополнительные средства на проведение геофизических и буровых работ.

Геологи бурили «гипсовую шляпу», разыскивали выходы породы на поверхность. За одно только лето 1935 года они отыскиали 30 новых «рудных точек». Добытки же боратов дали за этот год столько руды, что втрое перевыполнили план. Возле открытого рудника раскинулся вскоре и поселок, а фронт работ как геолого-разведочных, так и горнодобывающих все рос и ширился.

Индерское борное месторождение оказалось одним из крупнейших в мире. Уже в 1936 году Советский Союз отказался от ввоза зарубежного борного сырья, не-

достаток которого так остро ощущался промышленностью. Сейчас даже за границей едва ли можно найти геолога или горного инженера, которым были бы неизвестны озеро Индер и поселок Индерборский.

## **ПОПУТНЫЕ РУДЫ**

## **И СОПОЧНЫЕ ГЯЗИ**

В Индерских горах советские геологи нашли не только гидрорацит, но и другие борсодержащие минералы: борацит, боронат-рокальцит и ашарит. Впервые были найдены и получили имена два новых минерала: один — индерборит или индерит, другой — курнаковит, по имени академика Н. С. Курнакова. Собственно говоря, химический состав этих минералов почти одинаков: это окись магния и борный ангидрид. Разница лишь в количестве кристаллизационной воды.

Индерские руды требовали особой технологии переработки. Химики под руководством академика Курнакова изучили состав индерских боратов и создали технологию извлечения из них борных препаратов. Можно себе представить, в какой короткий срок была проведена эта большая и сложная работа, если уже на следующий год СССР отказался от импорта бора.

Запасы бора в Индерских горах очень богаты. Некоторые ученые утверждают, что их хватит не на одну сотню лет. Значит ли это, что не следует стремиться к расширению нашей борной базы, к поискам бора в других районах Союза? Ни в коем случае!

Прежде всего борные соединения требуются промышленным предприятиям, размещенным в самых различных местностях нашей страны, и если можно сократить транспортные расходы (а также не загружать излишне транспорт), то к этому всегда следует стремиться. Затем нужно учитывать, что научная база и техническая оснащенность современной добывающей промышленности сильно отличаются от прежних ее возможностей.

Она все больше становится комплексной. Это значит, что при добыче того или иного рудного сырья, другое, встречающееся попутно, — пустую породу — не выбрасывают в отвал, а также перерабатывают, ведь она может содержать другой ценный элемент (пусть даже в малых количествах).

Как мы уже видели, использование борных соединений в самых различных отраслях народного хозяйства все ширится. Рассказано лишь о важнейших их применениях, но далеко еще не о всех.

Особенно высока концентрация бора в нефтяных водах и водах грязевых вулканов. Борная кислота содержится в некоторых минеральных источниках Кавказа и Закавказья. Если в свое время сопочные грязи Керченского и Таманского полуостровов не оправдали надежд как источники борного сырья, то сейчас этот вопрос рассматривают иначе.



На одном только Таманском полуострове 23 действующих грязевых вулкана. Современная техника позволяет не ждать их извержения, чтобы воспользоваться грязевой лавой; современная технология дает возможность получить не только бор, но и бром, йод, поваренную и глауберову соли. Вот подтверждение того, что в химии нет грязного, а есть только неиспользованное. Переработка 650—700 т грязи дает одну тонну борных соединений, три тонны поваренной соли и пять тонн глауберовой, а остающаяся от переработки глина представляет собой хорошее отбеливающее средство, используемое в нефтяном деле.

## **БОР ПРИМОРЬЯ**

Характер горообразования в различных точках земного шара неодинаков. Возраст горных хребтов весьма различен. Условия формирования горных пород и накопления в них того или иного элемента подчинены сложным геологическим процессам.

В нашу задачу не входит описание аспектов рудообразования бора в различных месторождениях. Изучение геохимии бора в СССР проводилось под руководством члена-корреспондента АН СССР А. В. Николаева.

При нанесении на карты местонахождений борных руд, образовавшихся по-разному, в различных условиях и в разное время, геологам пришлось показать их в виде определенных поясов. Это вовсе не означает, что все открытые к нашему времени месторождения генетически связаны между собой. На картах показано лишь то, что обнаружено к настоящему моменту. Не исключено, что в дальнейшем будут найдены месторождения, не примыкающие к этим поясам.

Борные месторождения западного полушария тянутся вдоль тихоокеанского побережья обоих американских континентов: в Южно-Американских Кордильерах, Калифорнии, на Аляске. На противоположных берегах Тихо-



го океана зарегистрированы рудопроявления бора, также расположенные в направлении с Юга на Север. Южный Китай, Корея, Приморье, Камчатка. Аналогичное направление имеют и месторождения, находящиеся западнее: от острова Цейлон через всю Индию и на Территории СССР — через Восточную Сибирь и Якутию почти до берегов Ледовитого океана. Эти пояса нельзя рассматривать как проявление единой геологической закономерности. Их расположение, возможно, во многом зависело и от того, чем руководствовались при поисках. Пока что это всего лишь графическое изображение эмпирических поисковых данных, карта найденного или обнаруженного. Но, как известно, найденное всегда может стать отправной точкой для дальнейших поисков. Разведочные данные позволили геологам нанести на карту и два широтных пояса: от Италии до советского Тихоокеанского побережья и от Турции до северо-восточного Китая. На пересечении двух таких поясов и расположены давно известные месторождения, в свое время снабжавшие бором всю Европу.

Для разработки борного минерала, названного детолитом, потребовалось создать новую специальную технологию — не только обогащения, но и извлечения бора, так как то, что годилось для индерских руд, оказалось совершенно неприменимым для тетюхинских.

На базе месторождения, которое стало гордостью Приморья, создан крупный промышленный комплекс, с новейшим оборудованием и современной техникой...

Перелистаем назад страницы времени. Еще в директивах XX съезда КПСС было предусмотрено обеспечение разведанных запасов бора на ближайшее пятилетие в размере 40—45% от запасов на начало 1956 года. С тех пор прошло значительное время. Нужно ли говорить, что не только разведка, но и добыча бора ушла от этих цифр далеко вперед. В этом — немалый вклад советского Приморья.

Владивосток — «город-то нашенький», и от его имени можно сказать: живем у моря, но за бором мы за море не пойдем — есть для Родины нашенький бор!

## **БОР МНОГОЛИКИЙ**

**(Вместо послесловия)**

Вот и закончена книга о боре. Это очень интересный элемент. Он не вошел в промышленность так стремительно, как вольфрам или ванадий. Это произошло постепенно, на первый взгляд незаметно, но очень фундаментально. Ведь если начать с простых кузнечных горнов, то в «адской кузнице» — урановом котле бор сыграл очень важную роль. Его часто именуют многоликим, имея в виду разнообразие использования в промышленности.

И это совершенно справедливо. Как не отметить интересную особенность этого элемента: ему все время приходилось решать задачи, нередко противоположные по своей сущности.

Мы рассказали, как бор вошел в мир полированных граней — оптику, но прошли мимо того, что с помощью борных соединений получают самые разнообразные фосфоресцирующие и флюоресцирующие вещества, а эта область приобретает все большее значение и в практике, и в научных исследованиях. Французский ученый Гиде показал, что такие вещества получают, когда в борную кислоту в процессе ее кристаллизации вводят самые различные ароматические или гетероциклические соединения, такие как фенацтрен, ангидрид фталевой кислоты, уранин и тому подобные.

В гальванотехнике бор потеснил весьма ядовитые цианистые электролиты, не имевшие до этого соперников по качеству получаемых металлических покрытий. Но вот мы узнаем, что борная кислота образует комплексные соединения и с фосфатами, и с молибдатами, и с вольфраматами. Это дает основания думать,

что с помощью бора в области комплексных электролитов будет получено еще немало достижений. В металлургии, создании новых сплавов, их обработке бор все время решает задачи самого разнообразного характера. Даже после широкого внедрения в промышленность алмазов металлообработчикам приходилось прибегать к так называемым «щадящим» режимам. Освоение производства боразона позволило расстаться с этими режимами и резко поднять производительность труда без каких-либо опасений. Из сверхтвердого материала эльбора одним из советских заводов еще в 1968 году было освоено серийное производство обрабатывающего инструмента. Совсем недавно киевскими учеными на основе нитрида бора создан сверхтвердый материал — кибор. Его прочность почти втрое превосходит все подобные материалы, он выдерживает огромнейшие давления и температуры, неизбежные при скоростной резке. Детали, обработанные инструментом из кибора, можно не отправлять на дорогостоящую шлифовку. Говоря об упрочнении поверхностного слоя стали путем борирования, мы прошли мимо того, что в практике нередко нужно прибегать и к разупрочнению. Деборирование стали проходит сравнительно легко, но оно сопровождается и обезуглероживанием.

Специальный патент взят на процесс деборирования без сколько-нибудь заметного обезуглероживания.

О боре можно сказать еще очень много.

Мы назвали его «блистательным путешественником» не без оснований: с давних пор он путешествовал не только географически, но и по самым разнообразным отраслям промышленности — и везде помогал!

Что же касается слова «блистательный», то уже в начале книги видно, что бор оправдывает этот эпитет — и ролью, которую он играет в промышленности, и своими замечательными свойствами, и многоликостью.

# СОДЕРЖАНИЕ

Караван в пути . . . . .	3
Богатство горной страны . . . . .	5
Рождение элемента . . . . .	8
Тосканские лагуны . . . . .	10
Бор вокруг нас . . . . .	12
Против насекомых и бактерий . . . . .	15
Бор и стекловарение . . . . .	18
Оптика фирмы «Цейсс» . . . . .	21
Разоблачение «шпионоупорной» бумаги . . . . .	26
Керамика и эмалирование . . . . .	29
Борирование стали . . . . .	33
Бористые стали . . . . .	38
Абразив, стандарт и сварка . . . . .	44
Ташкентский эксперимент . . . . .	50
Победитель алмаза . . . . .	53
Бор, жар и тепловой удар . . . . .	58
Визитная карточка элемента . . . . .	64
Борные композиты . . . . .	72
Цейлонский самоцвет . . . . .	75
Сахар в турмалиновых щипцах . . . . .	77
Защита от света . . . . .	80
Путь к синтезу турмалина . . . . .	84
Ракетное горючее . . . . .	87
Бензин, резина, полимеры . . . . .	92
Бор в гальванотехнике . . . . .	96
Гаситель пламени магния . . . . .	99
Регулятор ядерной реакции . . . . .	100
Бор в руках Курчатова . . . . .	104
Биологическая защита . . . . .	107
Арал-Прикаспийская болезнь . . . . .	109
Бор и урожай . . . . .	112
Калифорнийское чудо . . . . .	115
Борный рынок . . . . .	118
Урмийская экспедиция . . . . .	121
Подарок Индера . . . . .	125
Полутные руды и сопочные грязи . . . . .	131
Бор Приморья . . . . .	133
Бор многоликий (Вместо послесловия) . . . . .	135