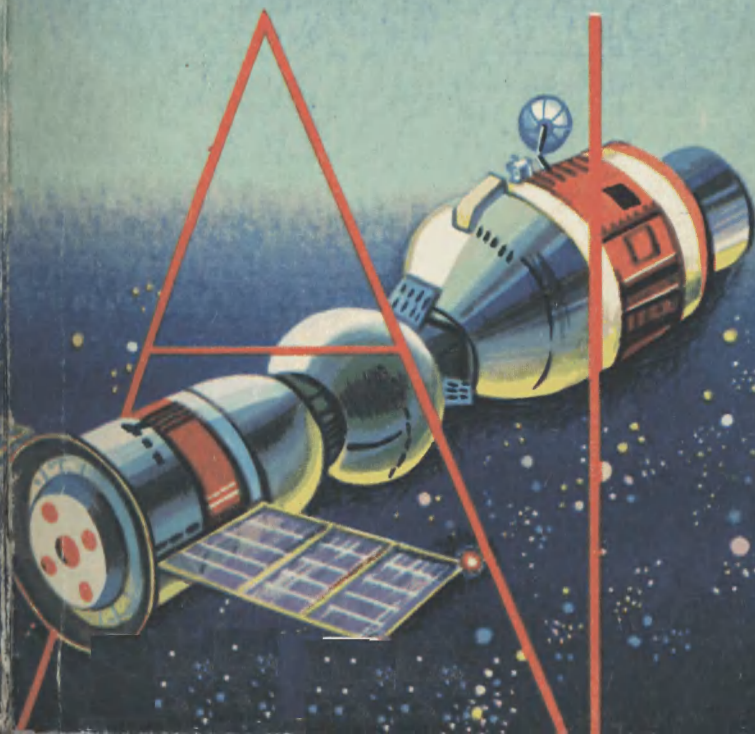


Б.Я. РОЗЕН
Я.Б. РОЗЕН

МЕТАЛЛ ОСОБОЙ ЦЕННОСТИ



МЕТАЛЛ ОСОБОЙ ЦЕННОСТИ

Б.Я. РОЗЕН
Я.Б. РОЗЕН

О ЧЕМ ЭТА КНИГА ?

О важных открытиях отечественных и зарубежных ученых, которые помогли освободить "узника" из "темницы", где он томился миллиарды лет, и заставить его служить с пользой людям.

О многих необыкновенных качествах алюминия, с помощью которых человек покоряет воздушную стихию, овладевает Космосом, спускается на дно морей и океанов.

О подземных "квартирах" алюминия, разбросанных по всей планете, о его местопребывании в разных уголках нашей Родины.

О том, как он, знакомый человеку еще в древности, сменил свою "фамилию" и приобрел новые профессии, участвуя сам или вместе со своими братьями в строительстве общественных зданий и жилых домов, в постройке быстрходных судов и скоростных поездов, в изготовлении электронных и космических аппаратов и приборов.

О громадных заводах, оснащенных новейшей техникой и воздвигнутых самоотверженным трудом советских рабочих, инженеров и ученых в глухой тайге и пустынной тундре, выжженной солнцем степи и снежных горах, где алюминий становится металлом особой ценности.

Б. Я. РОЗЕН
Я. Б. РОЗЕН

МЕТАЛЛ ОСОБОЙ ЦЕННОСТИ

2-е издание,
переработанное
и дополненное



МОСКВА
«МЕТАЛЛУРГИЯ»
1988

УДК 669.2/8

Р е ц е н з е н т докт.техн.наук. *В.Я.Абрамов*

Рисунки художника *Л.М. Чернышова*
Обложка художника *А.А. Астрецова*

Р о з е н Б.Я., Р о з е н Я.Б. — **Металл особой ценности.** — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1988. 224 с., ил., 0,94 л. ил.

Удивительна судьба алюминия. Более ста лет назад он стоил дороже золота и увидеть его можно было разве что в ювелирных изделиях. Сегодня из него делают самолеты и автомобили, химическую аппаратуру и электрические провода, ядерные реакторы и оконные рамы, елочные игрушки и посуду. Алюминий — самый распространенный на Земле металл. Он обладает совершенно исключительными свойствами — легкий, прочен, пластичен, хорошо проводит тепло и электричество, легко сплавляется с другими металлами. Книга рассказывает об истории открытия алюминия, о его замечательных качествах о том, как его получают и где используют. Рассчитана на самого широкого читателя.

ББК 34.32



Scan AAW

Р 2602000000 – 177 108–88
040 (01) – 88

ISBN 5-229-00117-8

© Издательство "Металлургия", 1988

НЕСКОЛЬКО СЛОВ К ЧИТАТЕЛЯМ

Уже в самом названии этой интересной книги отражена огромная роль алюминия в развитии современного научно-технического прогресса и в повседневной жизни человека.

Среди многих цветных металлов, применяемых ныне в разных отраслях народного хозяйства, алюминий благодаря многим своим достоинствам занимает первое место. Он принадлежит и к числу самых распространенных металлов в земной коре.

Никогда еще в истории металлургии не было такого быстрорастущего производства какого-либо другого металла. Так, в 1896 году было произведено всего лишь 2 тысячи тонн алюминия, спустя 10 лет — в 10 раз больше. А за тридцатилетие — с 1890 по 1920 год производство алюминия увеличилось в 1650 раз.

Необычайно широк диапазон применения этого необыкновенного металла — от ложки до космического корабля. Важную роль играет он в судостроительной и автомобильной промышленности, в электротехнической и пищевой. За последние годы резко

возросло применение алюминия и в строительстве. Огромный спрос на алюминиевые изделия и конструкции способствовал не только быстрому росту алюминиевой промышленности, но и расширению использования разных видов алюминиевого сырья для его производства.

Авторы, подробно освещая историю развития технологии производства алюминия в разных странах, рисуют яркую картину начала и становления отечественной алюминиевой промышленности. Они не забывают также отметить и приоритет русских и советских ученых в разработке и усовершенствовании способов производства алюминия. В книге достаточно подробно отражены перспективы дальнейшего роста производства алюминия, внедрения новых технологических методов, а также применения этого металла в разных отраслях народного хозяйства.

Занимательная форма изложения, доступная самому широкому читателю, позволяет ознакомиться с технологией добычи алюминиевого сырья и производства из него металла. Книгу прочтут с интересом и пользой не только учащиеся старших классов, но и учителя, студенты, производственники.

*Академик, лауреат Ленинской премии,
Герой Социалистического Труда
Н.В.Белов*



ДОРОГОЙ НЕРАСКРЫТЫХ ТАИН

И греки, и римляне

До сих пор не разгадана тайна Атлантиды — легендарного острова, погрузившегося много тысяч лет назад в пучину океана. У греческих естествоиспытателей и философов мы находим описание жизни и нравов островитян. По мнению Платона, они пользовались разными металлами. Среди них был металл, называемый "орихалк". Мы не найдем металла с таким названием ни в периодической системе элементов Д.И.Менделеева, ни в химической номенклатуре прошлых веков.

Какой же металл называли так атланты? Возможно, алюминий. Такую чисто интуитивную догадку высказал в свое время знаменитый русский поэт Валерий Брюсов. Правда, ему было известно, что для получения алюминия пользуются силой электрического тока. Однако слишком скудны сведения об этой древней цивилизации, и мы не знаем, располагали ли атланты простейшими электрическими машинами и не применяли ли какой-либо иной способ получения алюминия.

Существует древняя легенда, что однажды к римскому императору Тиберию пришел известный мастер и принес ему в дар серебристую чашу. Император взял ее в руки и с удивлением заметил, что она очень легкая.

— Из какого же металла ты ее изготовил? — спросил он гостя.

— Я добыл этот легкий и прочный металл из “глинистой земли”, — ответил мастер.

Царь не оценил подарка. Он испугался, что новый металл может обесценить золото и серебро... и приказал казнить изобретателя.

Мог ли в действительности древний мастер превратить глину в металл или это только красивая легенда? Пожалуй, на том уровне техники такая задача была бы римскому мастеру не по плечу.

В течение многих столетий ученые пытались выяснить истину, но безуспешно. Разгадать эту тайну удалось лишь в нашу эпоху химику из ГДР В.Якобу. Он смешал белую глину и угольную пыль с поташем и поваренной солью. Смесь нагрел в тигле древесным углем, полагая, что древний металлург пользовался теми же материалами. Они ведь были известны еще в глубокой древности. Предположения В.Якоба подтвердились — он получил после плавки слиток алюминия.

В I веке нашей эры в Древнем Риме жил выдающийся ученый Плиний. Слава о нем не померкла и поныне. Написанные им 37 томов “Естественной истории” наиболее полно отражают знания, накопленные на протяжении веков в странах древнего мира. Зоркий глаз писателя, широкая эрудиция ученого позволили ему дать столь точную характеристику многих явлений природы, что нередко и теперь мы можем добавить к ней очень немногое.

Неутолимая жажда знаний и желание оставить потомству как можно больше сведений послужили причиной его трагической гибели. В 79 году нашей эры во время извержения Везувия, когда вулканическим пеплом были засыпаны города Геркуланум и Помпея,

Плиний подплыл на корабле слишком близко к вулкану. Движимый стремлением лучше рассмотреть, что происходит на берегу, он задохнулся в клубах ядовитого дыма, валившего из жерла вулкана.

В своем грандиозном труде Плиний описал движение небесных светил, повадки животных, приготовление лекарств и красок; много внимания он уделил описанию камней и металлов.

У него мы находим слово "алюмен" (что означает "вяжущий"). Нет, это еще не алюминий, а лишь одно из его соединений. Так Плиний называл квасцы, которые тогда уже применяли красильщики в качестве протравы при окраске тканей. Еще ранее "алюмином" называл квасцы греческий историк Геродот, живший



в V веке до нашей эры. Видимо, они были знакомы и греческим мастерам красильного дела. Вероятно, древние умели получать квасцы из алунита — квасцового камня, месторождения которого встречаются в Италии, Греции, есть они и в Америке, Азии, Австралии. На территории нашей страны крупные месторождения алунита известны в Азербайджане.

Квасцы служили не только делу мира, но иногда применялись и на войне. Есть легенда о том, что однажды, в начале нашей эры, неприятель, осадивший римлян, решил поджечь крепость, в которой укрылись легионеры. Укрепление было деревянным. Солдаты обложили башни крепости связками хвороста и подожгли. Ветер раздувал огонь, но стены незыблемо стояли и даже не были опалены. Их словно заколдовали. Враги так и не поняли, что за чудо произошло. А ведь в те времена верили в чудеса и сверхъестественные силы! Но все оказалось гораздо проще. Римляне, видимо, знали кое-что о квасцах. Они обмазали деревянные башни и стены раствором квасцов, и дерево стало огнестойким.

Прошло почти полторы тысячи лет, прежде чем ученые по-настоящему заинтересовались квасцами и попытались разгадать тайну их состава.

Первым, кто научно доказал, что квасцы являются замечательным веществом с удивительными свойствами, был знаменитый швейцарский врач Парацельс.

Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм, чаще называемый Парацельсом, ставил медицину превыше всех других наук, однако усердно занимался и философией, и химией.

Парацельс впервые высказал мысль, что все процессы, совершающиеся в организмах людей и животных, — сложные химические превращения, а следовательно, основной целью химии должно быть приготовление

лекарств. "Это волшебные стрелы, поражающие болезнь", — говорил он. По его мнению, для приготовления лекарств нужно широко пользоваться не только органическими веществами, но и различными соединениями металлов.

Еще в древности римские, греческие, индийские, китайские врачи пользовались для лечения различных болезней соединениями ртути, мышьяка, сурьмы, однако применение лекарств из минерального сырья носило тогда лишь случайный характер.

Пропагандируя широкое использование лекарств,готавливаемых с помощью химии, Парацельс стал основоположником нового направления в науке — ятрохимии. Зародившееся в XVI веке, оно стремилось поставить химию на службу медицине. В поисках все новых веществ, из которых можно было приготовить эффективные медицинские препараты, швейцарский ученый, исследовав однажды квасцы, обнаружил в них оксид алюминия.

Тогда это открытие осталось незамеченным — слишком сильны были еще алхимические воззрения. А в центре внимания алхимиков все еще оставались поиски способов превращения неблагородных металлов в золото.

Потребовалось еще почти полтора столетия, чтобы проявился интерес к квасцам как сырью для получения из них неизвестного до тех пор металла — алюминия. Выделить его из квасцов пытались ученые в конце XVIII века. Пытался это сделать и выдающийся английский ученый — химик Гемфри Дэви.

Дэви терпит фиаско

В начале прошлого века союзником химиков наряду с огнем становится электричество.

Уже несколько столетий назад было известно, что электричество можно получить трением. Однако в те времена еще никому не приходило в голову, что электрический ток возникает также в результате химической реакции.

На рубеже XVIII и XIX веков два итальянских ученых — Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта сделали это выдающееся открытие, которому суждено было начать новую эру в развитии науки и техники. Они заметили также, что электрический ток может непрерывно и долго течь по замкнутой цепи. Гальвани первый обнаружил это явление, но правильно объяснить его сумел Вольта. В 1799 году он построил прибор — так называемый вольтов столб, с помощью которого можно было непрерывно и безотказно получать электричество.

Пластинки, изготовленные из разных металлов — цинка и серебра или меди, прокладывались кружками из картона, кожи или сукна, пропитанными соленой водой или кислотой.

Такие пары с прокладками налагали друг на друга. Чем больше их в "столбе", тем сильнее ток.

В 1802 году подобную электрическую батарею построил в Петербурге русский ученый В.В.Петров. Она состояла из 2100 пар медных и цинковых кружков. Если эти кружки положить друг на друга, то получился бы столб высотой с трехэтажный дом. Недаром Петров называл свою батарею "наипаче большой". Не успело в научных журналах появиться сообщение о создании физиками вольтова столба, как им уже заинтересовались химики. Они словно чувствовали, что

вскоре он станет верным их союзником, помогая без огня и пламени осуществлять удивительные химические превращения.

Возможность построить электрическую батарею самим в любой химической лаборатории вызвала бесчисленное количество разных экспериментов с применением электрического тока. Редакции научных журналов едва успевали печатать все новые и новые сообщения о необычных результатах экспериментов с участием вольтова столба.

Оказалось, что достаточно было пропустить электрический ток через воду, как она немедленно разлагалась на свои составные части — водород и кислород. Если же в воде растворяли какую-нибудь соль, например медный купорос, и замыкали гальваническую цепь, то из синего раствора вскоре на одной из пластин появлялся ровный слой чистой красной меди. Та же картина повторялась, если брали для опыта растворы солей серебра, золота и некоторых других металлов.

Могучая сила электричества, прирученная физиками, открывала новые горизонты для химиков и особенно для "охотников за металлами". Среди них вскоре оказался и англичанин Гемфри Дэви.

Так начиналась первая глава в истории открытия алюминия.

С давних пор химикам всего мира были хорошо известны щелочи — едкие натр и кали. Еще в средневековых лабораториях они занимали почетное место среди многочисленных веществ, с помощью которых алхимики безуспешно пытались получить мифический "философский камень".

В те времена среди ученых было широко распространено мнение, что едкие щелочи — простые, неразложимые тела. Их считали такими же элементами, как се-

ра, фосфор, азот, железо. Лишь в 1789 году Лавуазье высказал сомнение в элементарности едких натра и кали. Он склонялся к мысли, что эти реактивы представляют собой оксиды неизвестных металлов.

Опираясь на могущественную силу электрического тока, Дэви решил проверить догадку Лавуазье. В опытах Дэви поток электронов обрушивался на кусочек едкого кали, слегка отсыревшего на воздухе (сухой кали не проводит тока); он быстро плавился, и вскоре у одного из электродов появлялись маленькие металлические шарики, похожие на ртуть. Некоторые из них сейчас же после своего образования сгорали ярким пламенем со взрывом, другие не сгорали, а лишь тускнели, и поверхность их покрывалась в конце концов белой пленкой.

“Многочисленные опыты вскоре показали, что эти шарики состоят из того вещества, которое я искал и которое является легко воспламеняющимся основанием кали”, — так докладывал Дэви об открытии калия Лондонскому королевскому обществу 20 ноября 1807 года.

Вскоре ему удалось успешно провести опыты по разложению едкого натра. “Калий” и “натрий” — вот имена, которые я решился дать двум новым веществам... По поводу этого словообразования я советовался со многими выдающимися учеными нашей страны, и большинство одобрило мой выбор”, — писал впоследствии Дэви.

Изучив свойства новооткрытых веществ, Дэви уверенно причислил их к металлам, несмотря на их малую плотность. Открытие калия и натрия, выделенных Дэви из едких щелочей с помощью электричества, всколыхнуло научный мир. Последовали новые эксперименты. На очереди были вещества, которые химики называли щелочными землями: известь, барит, стронциан.

Не прошло и месяца, как в печати появились статьи о замечательном открытии Дэви, а ученый вновь ставит электрохимические опыты. Целые дни он проводит в лаборатории, словно спешит наверстать упущенное.

Хотя щелочные земли в отличие от едких щелочей почти не растворялись в воде, не боялись огня и пламени — не плавилась, как долго бы их ни прокаливали, Дэви не сомневался в том, что и в них скрываются металлы и ему удастся их извлечь. Казалось, надо действовать тем же испытанным методом — смочить сначала водой кусочек той или иной "земли" и пропустить электрический ток посильнее.

Однако на деле все оказалось не так просто. Правда, на проволоках, по которым подводили ток, появлялись какие-то тонкие налеты. Подобно калию или натрию, они тускнели на воздухе, вытесняли из воды водород, что свидетельствовало об их высокой химической активности. Однако получить сколько-нибудь значительное их количество не удавалось. Выделенных крупинок было явно недостаточно, чтобы выявить металл и описать его свойства. К тому же, вероятно, это был даже не чистый металл, а соединение с железом из расплавляющихся проводов.

Часами пропускал Дэви ток через щелочные земли, но так и не добился успеха. Он уже собирался совсем приостановить опыты, как вдруг пришло письмо от известного шведского химика Берцелиуса, который рекомендовал Дэви воспользоваться другим, разработанным им способом. Берцелиус пропускал ток не по железной проволоке, а через столбик ртути. Преимущество этого способа состояло в том, что выделившийся при этом металл растворялся в ртути. А так как ртуть при нагреве превращается в пар, то ее нетрудно отогнать из получившегося сплава металла со ртутью.

Дэви последовал совету своего друга, и успех не замедлил прийти. Ученому удалось получить новые металлы из всех "земель", которые он разлагал током. Первый из них он назвал кальцием, поскольку этот металл был выделен из извести, а известь тогда получали обжигом мела, называемого по-латыни "калькс". Металл, извлеченный из магнезии, был наречен магнием, а два другие — барием и стронцием. Так их называют и поныне.

Окрыленный успехом, Дэви решил подвергнуть анализу другие щелочные земли, которые, подобно магнезии или извести, считались неразложимыми элементами. То были глинозем, кремнезем и оксиды циркония и бериллия, незадолго до этого открытые учеными в некоторых редких минералах. Особенно привлек его внимание глинозем. В 1808 году он даже записал в своем дневнике: "Если бы мне посчастливилось получить металлическое вещество, которое я ищу, я предложил бы для него название — алюминий". Разумеется, он знал о квасцах, и ему было известно их латинское название "алюмен".

Дэви был настолько уверен в своей очередной победе, что заранее дал имя этому неизвестному тогда металлу, занимающему третье место по распространенности в земной коре. Однако на этот раз удача не сопутствовала ему.

Может быть, сказалось переутомление. Ведь в течение ряда лет Дэви работал с колоссальным напряжением. Его часто лихорадило от нервного возбуждения, нередко он раздражался из-за сущих пустяков. И все же его не покидало упорное желание выделить из глинозема металл, раскрыть тысячелетнюю тайну алюминия. Однажды ему показалось, что цель уже достигнута. Он нагревал в тигле белый порошок глинозема, смешанный с железными опилками. Пары калия окружали

смесь, и она расплавлялась. Когда реакция закончилась и тигель несколько остыл, ученый увидел на дне слиток серебристого цвета. Он был тверже, но гораздо легче железа.

“По-видимому, алюминий, — решил Дэви. — Но что покажет анализ?”

Результаты анализа были обнадеживающими. Слиток состоял из сплава железа и неизвестного металла. Это был шаг вперед, но предстоял еще длинный путь к победе, которая так и не досталась Дэви.

Вскоре Дэви заболел. Болезнь надолго приковала его к постели. Врачи не могли определить характер заболевания и поставить правильный диагноз. К тому же медицина того времени не располагала столь эффективными препаратами, как в наши дни. Молодой организм (Дэви было в то время всего 30 лет) сам постепенно преодолел недуг. Прошло почти два года, прежде чем ученый смог возобновить работу в лаборатории. И первые же опыты, которые он ставит после выздоровления, преследуют ту же цель — разложение глинозема.

За время болезни Гемфри Дэви лондонцы собрали по подписке деньги и купили для его лаборатории новый большой вольтов столб. То была дань высокого уважения и любви к нему земляков.

И вот наступил день решающего опыта. Располагая теперь мощной электрической батареей, которая позволяла получать вольтову дугу, Дэви несколько изменил характер эксперимента. Сначала приготовил на платиновой пластинке щепотку тонкоизмельченного глинозема. Затем взял куски железной и платиновой проволоки и, осторожно вставив их в порошок глинозема, включил батарею. Как только ее полюсы соприкоснулись с концами проволочек, вспыхнул ослепительный свет вольтовой дуги, на несколько секунд лишивший

исследователя зрения. Еще мгновение, и ток расплавил железную проволоку и окись алюминия... Выключен вольтов столб, медленно остывает полученный белый кусочек какого-то вещества. Дэви не терпится, ему хочется поскорее сделать анализ. "Теперь-то, наверно, это чистый алюминий, — ведь вольтова дуга должна расщепить глинозем", — рассуждает Дэви.

Однако снова его постигла неудача. Как и в первый раз, маленький слиток — это лишь сплав железа и алюминия. Рушится надежда взять штурмом твердыню глинозема. Дэви и не делает больше попыток.

Лишь спустя три четверти века другие ученые успешно завершили осаду неприступной крепости — глинозема, воспользовавшись более мощным оружием, нежели вольтов столб, — динамомашинной. Но этому еще предшествовали атаки знаменитых европейских химиков и физиков — Фридриха Вёлера, Роберта Бунзена, Ганса Эрстеда.

Однако Гемфри Дэви остается в истории науки первым ученым, приоткрывшим краешек завесы, скрывавшей тайну алюминия. Его идеи были использованы позднее "охотниками за металлами" и, несомненно, во многом способствовали успешному решению этой волнующей проблемы.

Желанием раскрыть тайну алюминия загорелся и молодой химик Вёлер, родившийся в первый год прошлого века в Германии неподалеку от города Франкфурта-на-Майне.

Еще в гимназии от твердо решил стать медиком. Тихий и впечатлительный мальчик мечтал о том времени, когда он вырастет и будет исцелять больных, облегчать страдания людям.

В 1829 году Фридрих окончил медицинский факультет знаменитого Гейдельбергского университета. Исполнилась заветная мечта, завершён курс медицинских наук, и Вёлер уже готовился к врачебной деятельности.

Однако не медицина стала его призванием. Как и многие талантливые химики прошлого — Леблан, Фуркруа, Шапталь, которые получили медицинское образование, Вёлер сменил профессию. Химия захватила его на всю жизнь.

А началось все с того, что знаменитый химик — профессор Гмелин, у которого он учился в Гейдельберге, обратил внимание на его студенческие работы. Маститый учёный разглядел в них подлинный талант. Гмелин стал уговаривать Фридриха Вёлера посвятить себя научной деятельности в области химии.

“Химик больше, чем кто-либо, сможет при желании оказать неоценимые услуги человечеству, — говорил он. — Медицина без химии никогда не будет в состоянии превратиться из несовершенного искусства в научную отрасль знаний”.

Неделя прошла в мучительных раздумьях, но убедительные доводы наставника нашли отклик в душе Вёлера.

Вскоре Вёлер по совету своего учителя отправился в Стокгольм к выдающемуся шведскому химику Берцелиусу, любезно предоставившему ему возможность работать в своей лаборатории. Почти год провёл здесь молодой учёный, выполнив ряд блестящих исследований, привлёкших к ним внимание научных кругов Европы. Его успехи вызывали искреннее восхищение Берцелиуса. В лаборатории великого шведа Вёлер узнал о работах датского учёного Ганса Эрстеда с хлористым алюминием. Эрстед — более физик, чем химик, охотно занимался сложными химическими проблемами. Поэтому он предпринял попытку продолжить эстафету, начатую

Дэви в поисках методов извлечения металла из глины. Изучая различные оксидные соединения, Эрстед разработал новый метод превращения их в хлористые. Используя опыт Берцелиуса, он задумал провести эксперименты по выделению алюминия из глинозема.

Сначала он решил превратить глинозем в хлористое соединение алюминия — ведь ему уже было хорошо знаком способ обработки оксидных соединений. Расчет оказался верным. Прокаливая кусочки глинозема в тигле с углем и вытесняя затем кислород, Эрстед в 1825 году впервые получил хлористый алюминий.

Казалось, что "невидимка", столько раз ускользавший из рук исследователей, теперь будет достигнут. Тогда уже было хорошо известно, что калий — более активный металл, чем алюминий. Значит, рассуждал Эрстед, с помощью какого-либо соединения калия металл можно вытеснить из хлористого алюминия. Однако опыты с амальгамой калия не дали желаемого результата. Как и Дэви, Эрстеда постигла неудача — чистого алюминия получить не удалось.

На этом и закончились попытки Эрстеда "поймать" неуловимый металл. Больше никаких опытов по выделению алюминия он не ставил, а занялся изучением другой очень важной проблемы — электромагнетизма. Возвращаясь из Швеции на родину, Вёлер решил посетить Эрстеда в Копенгагене и подробнее ознакомиться с его работами, связанными с поисками способов извлечения алюминия из глинозема. Датский ученый радушно принял в своей лаборатории талантливого ученика Гмелина и раскрыл ему свои "секреты". Прощаясь, Вёлер обещал Эрстеду продолжить столь успешно начатые атаки на глинозем и освободить "пленника" из темницы. И выполнил свое обещание.

Вернувшись из Копенгагена, Велер с энтузиазмом, целеустремленно начал проверять опыты Эрстеда.

Спустя два года он напишет: "Я повторил опыт Эрстеда, но не получил определенных результатов... Поэтому я стал искать другой метод, не утверждая, что по методу Эрстеда получение алюминия невозможно".

Вёлер начал с того, что нагревал амальгаму калия с хлористым алюминием. Когда же затем он перегонял амальгаму калия, то на дне тигля оставался серый расплавленный металл, который при повышении температуры нагрева стал испаряться зелеными парами и выделился в виде чистого калия.

Повторяя этот опыт несколько раз, Вёлер неизменно получал все тот же результат. Сомнений не было. То, что Эрстед принимал за алюминий, было лишь калием, содержащим алюминий.

Огорченный неудачей молодой ученый (ему было тогда



26 лет) не сложил, однако, оружия; он настойчиво продолжал свою "охоту".

В новых опытах он воспользовался вместо амальгамы калия чистым калием, хотя работа с ним представляла большие трудности. Но терпение и труд все перетрут — гласит мудрая пословица.

И вот, 22 октября 1827 года, "зверь" был пойман. В этот памятный день наконец-то "родился" первый в мире алюминий. Удалось получить его совсем немного — всего тридцать граммов. Это была внушительная, но еще не окончательная победа. Еще много предстояло трудностей, которые нужно было преодолеть, немало сомнений, которые предстояло разрешить.

Тщательно изучив опыт своих предшественников — Дэви и Эрстеда, избегая их ошибок, Вёлер ставил все новые и новые опыты, видоизменяя их в том или ином направлении.

Но лишь спустя почти двадцать лет он сможет с глубоким удовлетворением наконец написать своему близкому другу и коллеге — также широко известному немецкому химику Либиху: "Я нашел способ получения алюминия в виде зерен величиной с булавочную головку!"

Итак, Вёлер первым выделил чистый алюминий, хоть и в мизерных количествах. Однако дальше дело у него не пошло. Промышленный способ получения алюминия еще ждал своего изобретателя.

**На Земле
и в Космосе**

Четверть века спустя новый шаг в этом направлении сделал соотечественник Вёлера

замечательный немецкий химик Роберт Вильгельм Бунзен.

Сын профессора новых языков Геттингенского университета, он не пошел по стопам отца, как это часто

бывает в семьях ученых, а выбрал химию. В двадцать два года Бунзен защитил диссертацию, а спустя шесть лет стал профессором химии в родном городе.

Читая курс лекций студентам, молодой профессор не забывал и о научной работе. Он занимался геологическими исследованиями и археологическими изысканиями, изучением химического состава разных солей.

Среди научных работ Бунзена можно обнаружить исследования выплавки чугуна в домнах на древесном угле и влияния света на смесь газов — хлора и водорода. Почти семнадцать лет преподавал Бунзен химию в Геттингенском университете. И зимой, и летом вставал он рано, посвящая утренние часы работе за письменным столом: он писал научные статьи, готовил доклады, проверял вычисления, изучал результаты исследований. В 1852 году Бунзену предложили занять кафедру химии в Гейдельбергском университете. Ему жаль было расставаться с родным городом. Но работа в старейшем и одном из лучших университетов Германии была очень заманчива. Бунзен принял предложение и переехал в Гейдельберг.

Здесь, как и в Геттингене, жизнь его текла размеренно — лекции чередовались с работой в лаборатории, научные исследования — с прогулками по окрестностям.

Выбирая темы для новых работ, Бунзен решил продолжить исследования Вёлера по изучению способов получения алюминия. Но опыты стал проводить по-другому. Смешивал хлористый алюминий с поваренной солью и нагревал почти до тысячи градусов. Через расплавленную смесь пропускал электрический ток. Повинуясь законам электролиза, на отрицательном электроде батареи выделялись блестящие капельки металлического алюминия. Это было доказательство возможности получать алюминий с помощью электричества.

В тот же год Бунзен вместе со своим другом профессором физики Кирхгофом сделал еще одно очень важное открытие: они разработали новый способ исследования химического состава веществ — спектральный анализ. Этот метод, позволяющий быстро и просто, без сложных и кропотливых взвешиваний, без выпаривания и фильтрования, без кристаллизации и возгонки определять состав разных веществ и находить микроскопические загрязнения, стал поистине чудесным инструментом, волшебным ключом, открывающим одну за другой тайны окружающего мира.

Спектроскоп, словно охотник-следопыт, обнаруживающий по неуловимым признакам притаившуюся добычу, открывал малейшие следы элементов там, где их меньше всего можно было ожидать. Он безошибочно указывал на самые ничтожные примеси, даже если они не превышали нескольких миллионных долей миллиграмма. Достаточно было Бунзену взять платиновую проволочку потными пальцами, как в бесцветном пламени газовой горелки начинали проскакивать желтые искры, а в спектре появилась жирная желтая линия. Так спектроскоп помог обнаружить в поте человека хлористый натрий.

Однажды к Бунзену в аудиторию после окончания лекции зашел Кирхгоф. Он был страшно возбужден, глаза лихорадочно блестели. Весь его вид свидетельствовал о необычном происшествии.

— Густав, что с тобой? На тебе лица нет. Случилось какое-нибудь несчастье? — спросил приятеля Бунзен.

— Нет, — ответил Кирхгоф, — я обнаружил натрий в спектре солнечных лучей. А это значит, что спектроскоп поможет нам изучить химический состав атмосферы Солнца и других небесных светил.

Вспомнив о своих работах по алюминию, Бунзен воскликнул:

— Следовательно, мы найдем и алюминий на звездах и других планетах!

Прошло несколько лет. Спектральный анализ помог обнаружить присутствие ряда редких элементов в разных космических телах. С помощью спектроскопа не только удалось изучить химический состав звезд, но и измерить их температуру.

Исполнилось и пожелание Бунзена — алюминий был найден на всей нашей планете.

Усилия Дэви и Эрстеда, Бунзена и Вёлера не пропали даром — они заложили прочный фундамент, на котором со временем было построено грандиозное здание алюминиевой промышленности.

И первый камень в нем заложил француз Анри Сент-Клер Девиль.



ЛЕГЧЕ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ

**Ему не страшен
огонь**

При раскопках древних городов и курганов археологи обнаруживают много старинного оружия. Чего тут только нет: секиры, мечи, щиты, кольчуги... Верно они послужили нашим предкам, помогая им отражать набеги и нашествия неприятеля и самим наносить ему удары.

Некогда сияли они в лучах солнца, а теперь лежат покрытые толстым слоем ржавчины. Когда археологи счищают с оружия бурые корочки, оно часто рассыпается на сотни мелких кусочков.

Почему же изделия древних умельцев-оружейников превращаются в груды трухи?

Главный враг железа и стали — кислород. Присутствуя в воздухе, воде и земной коре, кислород поражает металлы тяжелой болезнью — коррозией. Одно из проявлений этого недуга — ржавление. В древности люди, сталкиваясь с ржавчиной, считали причиной ее возникновения и губительного действия козни злых богов. Даже древнеримский ученый Плиний Старший, тонкий наблюдатель и неутомимый собиратель знаний, считал ржавчину проклятием, лежащим на железе за преступления, совершаемые при его помощи руками разбойников и убийц.

С тех пор как люди научились из железа и его сплавов

с другими металлами изготавливать разные изделия, ржавчина неотступно следует за ними, выбирая лишь удобный момент для нападения. Оставьте нож или топор на несколько дней в сыром помещении — на поверхности металла появятся бурые пятна ржавчины, а при долгом пребывании во влажной атмосфере на нем образуются язвочки и даже сквозные отверстия.

Огромные убытки приносит коррозия при ржавлении отдельных деталей мостов, паровых котлов, турбин. А сколько труда и усилий приходится затрачивать, чтобы удалить проржавевшие детали из крупной и сложной машины!

Ежегодно коррозия разрушает более четверти всего добываемого железа. Десятки миллионов тонн металла гибнут безвозвратно. Во всех странах мира затрачиваются громадные средства для защиты металлов от их беспощадного врага — ржавчины. Только в США на борьбу с коррозией расходуется свыше 2,5 миллиардов долларов в год.

Кислород яростно атакует не только железо, он не щадит и цветные металлы — медь, латунь, бронзу, алюминий. Медные кастрюли зеленеют, а алюминиевые изделия тускнеют от коррозии.

Все металлы, которые находятся в земной коре, за исключением золота, серебра, платины, всегда соединены с какими-либо неметаллами: кислородом, серой, хромом. Когда металл получают в чистом виде из руд, то затрачивая электрическую, тепловую или химическую энергию, вырывают из молекул соединений (оксидов, солей) атомы других элементов, связанных с металлом.

“Освобожденный” металл, однако, стремится вернуться в исходное состояние, поэтому коррозию можно рассматривать как процесс перехода металла в естественное состояние, в котором он встречается в природе.

Алюминиевая вилка или ложка (даже в сухом помещении) быстро теряет свой блеск и становится матовой. На поверхности металла образуется гончая невидимая простым глазом оксидная пленка, состоящая из продуктов химической реакции атомов кислорода с атомами металла. В самом начале взаимодействия кислорода с металлом ее нельзя различить даже в микроскоп; толщина ее не превышает нескольких сот миллионных долей сантиметра. Но пленка быстро растет. Атомы кислорода проходят через нее и движутся навстречу атомам металла, которые в свою очередь стремятся к кислороду.

В конце концов получается настолько прочная пленка, что дальнейшее окисление алюминия прекращается. Она не только прочна, но и гибка, и тверда. Она не отста-



ет, даже если алюминиевую деталь растягивать, сжимать или изгибать.

“Как показали электронографические исследования, — пишет И.Н.Фридляндер, — оксидная пленка, вырастая на алюминиевой подложке, в первых своих слоях воспроизводит решетку алюминия, образуя очень прочное соединение пленки и алюминиевой подложки, сопровождающееся искажением пограничных слоев алюминия и окиси алюминия”¹.

Эта пленка, словно броня, защищает алюминий от атак его врагов — кислорода, сероводорода, углекислоты и других газов. Толщину защитной пленки можно увеличить и искусственно, выращивая ее химическими и электрохимическими способами. По желанию можно приготовить и цветную оксидную пленку, вводя в нее разнообразные наполнители.

Этой надежной защитнице алюминия от коррозии не страшны ни жар, ни электрический ток. Бледно-голубой слой оксида алюминия плавится при 2050°С, тогда как чистый металл — всего лишь при 660°С. Обладая исключительно высоким электрическим сопротивлением, защитная пленка выдерживает напряжение, значительно превышающее 500 вольт.

Нежелательные “соседи”

Большинство металлических изделий (в том числе и алюминиевых) во время

своей службы в той или иной степени соприкасается с водными растворами кислот, солей и щелочей. А как известно, такие растворы являются электролитами и поэтому способны проводить электрический ток.

¹ Фридляндер И.Н. Алюминий и его сплавы. — М.: “Знание”, 1965. С. 5.

Такое соседство не сулит ничего хорошего металлам, иногда оно даже заканчивается трагически. Газовые и водопроводные стальные трубы перед укладкой в траншею тщательно покрывают специальными защитными смолами и обертывают бумагой, иначе, находясь во влажной почве, они быстро придут в негодность. На многие металлы губительно действует даже воздух, насыщенный влагой. Еще хуже, если воздух загрязнен примесями оксидов серы, диоксида углерода и другими вредными веществами.

Изучая коррозию металлов в электролитах, ученые заметили, что она не похожа на обычное химическое окисление. Поскольку процесс разрушения металлов происходит в результате протекания электрического тока от одной части металла к другой, такую коррозию назвали электрохимической — процесс ее протекания подобен тому, что происходит в гальванических элементах.

Если в стакан с серной кислотой опустить цинковую и медную пластинки и соединить их проволокой, то получится источник электрического тока — гальванический элемент. Цинк, вступая в реакцию с серной кислотой, вытесняет положительные ионы водорода, которые оседают на медной пластинке. Медная пластинка заряжается положительно. Если теперь соединить эти два электрода проводником, то по нему пойдет ток.

Теория электрохимической коррозии была разработана более ста лет назад швейцарским химиком Де-ля-Ривом, но лишь в наше время получила широкое признание — она позволила объяснить результаты взаимодействия металлов и электролитов и выяснить причины их разрушения.

Теперь уже общепризнано, что коррозия металлов в электролитах происходит в результате возникновения в металлах множества микроскопических гальванических элементов.

Чем больше в нем примесей, тем больше образуется мельчайших гальванических элементов. Поэтому чистый

алюминий или цинк растворяется в кислоте медленнее, чем загрязненные примесями металлы. Электрохимическая коррозия во многом зависит и от строения самого металла.

Если разломить алюминиевый пруток, то на месте излома будут явственно видны мельчайшие зернышки — кристаллы. Металл в твердом состоянии — кристаллическое тело. Атомы его, как и других веществ, имеющих кристаллическое строение (серы, углерода, фосфора), располагаются в определенном порядке в так называемой пространственной решетке. Металл состоит из огромного числа мельчайших кристалликов, называемых кристаллитами.

Однако нельзя сказать, что кристаллики, образующиеся при затвердевании расплавленных металлов, идентичны "идеальным" кристаллам. Отдельные участки пространственной решетки могут быть деформированы. Некоторые узлы кристаллической решетки пусты, в них отсутствуют атомы металла. Решетку искажают трещины, поры (включения газа), примеси различных веществ — металлов и неметаллов.

Рассматривая под микроскопом тонкую стружку, снятую с поверхности алюминия или другого металла (шлиф), можно заметить, что грани кристаллитов сильно искажены, а границы между ними неправильны. Пространственная решетка на границе между кристаллитами теряет свой нормальный вид. Здесь чаще всего скапливаются примеси, присутствующие в металле, которые являются микрокатодами электрохимических элементов. Между гранью и ребром кристалла возникает гальванический элемент, и на пограничных участках между кристаллитами выделяются пузырьки водорода. Виновниками электрохимической коррозии не всегда бывают только мельчайшие гальванические элементы, располагающиеся на поверхности металла. Во многих

случаях металл разрушается в результате работы весьма крупных гальванических элементов, которые образуются в металлических изделиях.

Иногда при сборке металлических конструкций листы скрепляют болтами или заклепками, изготовленными из другого металла. Например, на одном заводе сделали несколько алюминиевых баков для питьевой воды, скрепив алюминиевые листы медными заклепками. Как известно, алюминий при соприкосновении с водой не ржавеет и алюминиевая посуда служит очень долго. Но стенки этих баков вскоре начали разрушаться, так как алюминиевые листы представляли собой аноды, а медные заклепки — катоды.

При проектировании морских и речных судов, при постройке мостов и крупных металлических сооружений конструкторы и инженеры должны предусматривать опасность образования гальванических пар на стыке некоторых металлов. Ни в коем случае нельзя допускать соприкосновения алюминия с медными сплавами или нержавеющей и специальными сталями, содержащими хром, ванадий и молибден.

Если медь "работает" в воде, соседствуя с алюминием, то атомы алюминия, растворяясь, отдают свои электроны ионам водорода¹ и восстанавливают их в молекулы водорода. При этом положительно заряженные ионы алюминия соединяются с гидроксильными ионами (которые заряжены отрицательно) и образуют молекулы гидроксида алюминия.

¹ В воде всегда в незначительном количестве присутствуют ионы водорода (H^+) и гидроксила (OH^-).

Блестит всегда,
блестит везде

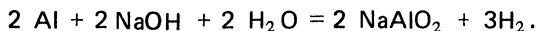
Чем чище металл, тем он
меньше подвержен электро-
химической коррозии, тем

меньше можно опасаться за его прочность. Возьмем две полоски алюминия — технического (чистота 99,5 %) и сверхчистого (99,96 %) — и опустим в стакан с раствором 50 %-ной серной кислоты. Если спустя сутки взвесить оба образца, то окажется, что первый “похудел” почти в три раза больше, чем второй. Эта разница окажется еще значительнее, если выдерживать образцы в растворах соляной кислоты.

Стойкость сверхчистого алюминия в этом электролите в десятки раз выше, чем технического.

Алюминий, поступающий в промышленность, содержит около 0,3 % примесей других металлов — железа, титана, кремния. Для повышения чистоты металла до 99,996 % его подвергают повторному электролизу. Сверхчистый алюминий, содержащий одну десятитысячную или стотысячную долю примесей, получают, применяя зонную плавку с перекристаллизацией металла.

Так же легко, как и в разведенной серной или соляной кислотах, алюминий растворяется в щелочах, образуя алюминаты, соли метаалюминиевой кислоты HAlO_2 :



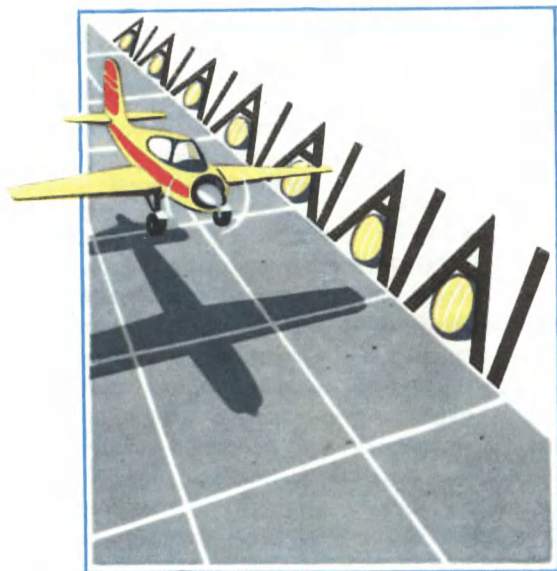
В то же время азотная кислота, даже концентрированная “на холоду”, не растворяет алюминий. Наоборот, после взаимодействия с ней металл приобретает новое свойство — становится “пассивным” и не боится разбавленных серной и соляной кислот. Поэтому азотную кислоту хранят и перевозят в алюминиевых цистернах. Равнодушен чистый алюминий и к действию различных органических кислот — уксусной, щавелевой, лимонной и многих других органических веществ, в том числе пищевых продуктов. Недаром уже более ста лет назад на заре развития производства алюминия делали алюминиевую посу-

ду: кастрюли, сковороды, ложки, подстаканники, которые быстро вошли в быт.

Фабриканты эмалированной посуды, боясь потерять свои доходы, пустили слух, что пользование посудой из алюминия приводит к раковым заболеваниям. Однако новые изделия, легкие и приятные на вид, охотно раскупались и прочно занимали свое место в обиходе. Сейчас на изготовление алюминиевой посуды расходуется свыше 15 % мирового производства алюминия.

Алюминий — серо-голубоватый металл; он настолько мягок, что его можно резать острым ножом. В то же время он обладает достаточной прочностью — 60 — 80 МПа, которая меньше прочности железа лишь в два с половиной раза.

Занимая тринадцатую "квартиру" в периодической систе-



ме Менделеева, наш герой "прописан" в третьей ее группе.

Как и любой металл, алюминий обладает металлическим блеском, который возникает за счет отражения световых лучей его поверхностью. Но его отражательная способность гораздо выше, чем у других металлов; к тому же она сохраняется на долгие годы даже в промышленных районах, где воздух, как правило, загрязнен вредными примесями. Вот потому-то из алюминия изготавливают разнообразную световую аппаратуру, которую используют в шахтах, на морских маяках, на взлетных дорожках аэродромов. За последние годы нередко из этого металла делают рефлекторы для прожекторов. Алюминий высокой чистоты ничуть не уступает в степени отражения света серебряному покрытию и превосходит нержавеющую сталь. К тому же он легче и дешевле.

Большинство металлов (даже серебро), если их превратить в порошок, приобретают черный или серый цвет. Алюминий же и в раздробленном виде сохраняет серебристый блеск.

Как и любой металл, алюминий состоит из отдельных кристаллов, то есть представляет собой кристаллическое вещество. В кристалле атомы алюминия располагаются в строго определенном порядке, образуя так называемую пространственную кристаллическую решетку.

Согласно современным воззрениям, в узлах решетки атомы металла располагаются в виде положительно заряженных ионов, а отщепленные от них электроны находятся в промежутках между ними. Электроны под влиянием даже небольшой разности потенциалов начинают перемещаться. Ионы, удерживаемые на своих местах в решетке силами межатомного взаимодействия, совершают лишь небольшие колебания. При нагреве

эти колебания усиливаются, а движение электронов в промежутках между ионами затрудняется. Когда температура металла достигает точки плавления, силы взаимодействия не могут более удерживать ионы алюминия на своих местах, решетка разрушается, и металл из твердого состояния переходит в жидкое. Нагрев изменяет и другие свойства алюминия.

Наличие подвижных свободных электронов обуславливает высокую электропроводность алюминия — в этом он превосходит многие технические металлы — железо, магний, свинец и уступает только меди. Интересно, что при нагреве сопротивление перемещению электронов возрастает и поэтому электропроводность алюминия снижается.

К числу достоинств алюминия относится и его малая плотность — $2,7 \text{ г/см}^3$; она примерно в 3,5 раза ниже, чем у железа и меди.

Некогда М.В.Ломоносов писал, что "металл — это светлое тело, которое ковать можно". Алюминий прекрасно поддается и другим видам обработки давлением — прокатке, прессованию, штамповке. Высокая пластичность его (как и многих других металлов) непосредственно связана с внутренним строением. В кристаллических решетках металлов существуют два способа расположения в них "шаров" — атомов. В одном случае они размещаются так, что занимают вершины кубов и центры граней, в другом — располагаются в гексагональной (шестигранной) решетке. У алюминия кубическая решетка с центрированными гранями. Расстояние между параллельными плоскостями $4,04$ стомиллионных долей сантиметра. А этот тип решетки дает возможность деформировать металл при относительно малых усилиях. Когда кусок металла подвергается внешнему воздействию, то происходит легкое скольжение одних слоев атомов относительно других. Однако при механической

обработке металла пластичность его постепенно уменьшается, а твердость возрастает. Это также обусловлено внутренним строением металла. В процессековки или штамповки ионные слои много раз смещаются, порядок расположения "шаров" — атомов в кристаллической решетке нарушается, и металл становится как бы аморфным. Но и после механической обработки металлу можно вернуть его пластичность. Например, тянутую алюминиевую проволоку для этого подвергают отжигу — нагревают ее до такой температуры, при которой ликвидируются искажения решетки и металл снова становится кристаллическим.

Большинство природных химических элементов состоит из нескольких изотопов. Алюминий принадлежит к числу немногих элементов, которые состоят только из одного природного изотопа. У него, правда, есть несколько искусственных радиоактивных изотопов, но все они короткоживущие, за исключением одного с периодом полураспада в миллион лет.

Лед и пламень

Если мелкоизмельченный алюминий (или тонкую алюминиевую фольгу) сильно нагреть, то порошок вспыхнет ярким пламенем и превратится в оксид (Al_2O_3). Горение происходит мгновенно. Современные фотографы или фотокорреспонденты часто вместо магниевой вспышки пользуются специальной электрической лампочкой. Она заполнена тончайшими листиками металла и кислородом. Внутри лампы — тоненькая проволочка, которая легко накаляется и алюминий воспламеняется при включении лампочки в сеть.

По ночам на трамвайных путях можно увидеть ослепительное сияние расплавленного металла. Это ремонтные рабочие сваривают рельсы. Сварку они ведут не с помо-

щью ацетиленом или водорода, источником тепла служат не газы, сгорающие в кислороде, а термит — смесь алюминиевого порошка с измельченным оксидом железа (применяют также и оксиды других металлов).

Если термитную смесь поджечь, то начинается бурная химическая реакция, алюминий отнимает у оксида железа (или другого металла) кислород, превращаясь в оксид, а железо выделяется в чистом виде. Атомы алюминия вытесняют атомы железа из молекул оксида и сами становятся на их место.

Алюминий с такой "жадностью" отнимает кислород, что реакция протекает очень быстро. При этом выделяется столько тепла, что вся масса термита плавится. Она сильно раскаляется и светится ярким белым светом. Температура расплавленного металла достигает 3000°C . Жители крупных городов, расположенных на берегах больших рек, иногда зимой могут любоваться эффектным зрелищем "горящего" льда. На первый взгляд такое утверждение может показаться фантастическим. Лед и пламень — два противоположных начала. Как можно соединить их воедино? На помощь приходит термитный порошок. Когда нужно ликвидировать ледяные заторы, то его насыпают на лед и поджигают. Расплавленное железо, вытесненное из его оксида алюминием, огненными струйками потечет по льду. Произойдет новая химическая реакция. Железо разложит замерзшую воду на составные элементы — кислород и водород. Кислород немедленно соединится с железом, образуя оксид, а водород загорится. Лед растечется, разрыхлится и "сгорит".

Если в толщу льда заложить термитную мину и поджечь, то она вспыхнет ослепительно белым пламенем. Издали кажется, что вся глыба льда раскалилась добела. "Горение" льда, вызываемое термитом, происходит почти бесшумно. Устранение ледяных заторов с помощью

термита не может повредить мостовые быки, не глушит рыбу и не приносит никакого другого ущерба.

В День Победы, когда звучит торжественный артиллерийский салют, в вечернее небо взлетают тысячи разноцветных огней. Здесь тоже не обойтись без алюминиевого порошка. Сгорание его с добавками различных веществ сопровождается ярким светом. Поэтому так празднично горят огни фейерверка.

Алюминиевая пыль в составе взрывчатки — аммонала — помогает взрывать массивы твердых горных пород. Тот же мелкораздробленный алюминий выступает не только как "агрессор", но и в роли защитника. Серебристая краска, получаемая при смешении порошка с лаком или другими красителями, надежно защищает от коррозии железо и сталь. И недаром все чаще сталь-



ные конструкции мостов, нефтехранилища, уличные фонари, железнодорожное оборудование покрывают алюминиевой краской.

У мелкоизмельченного алюминия есть еще одно удивительное свойство, которое пригодилось строителям. Если порошок нагревать в смеси с бетоном, то он вступает в химическую реакцию с некоторыми составными частями бетона. Происходит бурное вспенивание массы, так как выделяющиеся в результате реакции пузырьки водорода и других газов равномерно распределяются по всей массе. Получается пенобетон — очень легкий строительный материал.

Алюминий, подобно другим металлам, образует с неметаллами — хлором, серой, азотом — различные соли. Из них наибольшую известность получили сульфат $Al_2(SO_4)_3$ и хлорид $(AlCl_3)$ алюминия. Первый широко применяется в бумажном производстве — для проклейки бумаги, второй (в качестве катализатора) — в органическом синтезе.

Реакция

с двойной фамилией

В середине прошлого века далеко за пределами Франции славилась лаборатория

французского химика академика Вюрца при Парижской медицинской школе. В эту маленькую лабораторию, рассчитанную на прием всего шестнадцати студентов, приезжали учиться и работать химики из разных стран — России, Германии, Италии, США.

В начале 60-х годов у Вюрца появился новый ученик — Джеймс Мейсон Крафтс. Он был родом из Бостона (США). Много ценных исследований провел здесь молодой американский ученый в области органической химии.

У Вюрца Крафтс познакомился с французским химиком Шарлем Фриделем, который работал в этой лаборатории

уже семь лет и имел солидный опыт научной работы. Общие научные устремления и непоколебимая привязанность к органической химии положили начало глубокому научному и человеческому содружеству двух химиков, в результате которого спустя 15 лет и появилось открытие реакции, названной реакцией Фриделя — Крафтса.

На заседании Парижской академии наук 18 мая 1877 года было сделано сообщение, что Фридель и Крафтс начали изучать действие хлористого алюминия на различные хлористые соединения, углеводороды и смеси веществ различного состава.

Так началось триумфальное шествие по земному шару нового замечательного катализатора. Химики в разных странах находили ему все новое применение. С каждым



годом росло число реакций, успешному осуществлению которых помогали белые кристаллики хлористого алюминия, увеличивалось количество соединений, синтезированных с помощью мельчайших крупинок этого необыкновенного вещества.

Весьма велика роль русских и советских химиков — Г.Г.Густавсона, А.Ф.Добрянского, Н.Д.Зелинского, Б.Н.Меншуткина — в осуществлении различных превращений органических веществ с помощью хлористого алюминия.

Густавсон впервые показал, что с помощью этого вещества происходит более глубокое расщепление нефти, называемое в технике крекингом (при нагреве 500°C и выше), при котором получается гораздо больше бензина и других ценных продуктов, чем при обычном нагреве. В 1919 — 1920 годах в нашей стране полыхало пламя гражданской войны и царил хозяйственная разруха. Южные районы были заняты белогвардейцами. Советская Россия, отрезанная от источников нефти, остро нуждалась в горючем. Вот тут-то и пригодился хлористый алюминий. Из отходов нефти и тяжелых масел, скопившихся в нижегородских нефтехранилищах, Н.Д.Зелинскому удалось получить ценнейшие сорта авиационного бензина.

И это была еще одна победа, одержанная с помощью алюминиевой соли.



НА ВСЕХ КОНТИНЕНТАХ

В разных обличьях

Несколько миллиардов лет назад поверхность Земли была покрыта огромными озерами, в которых клокотала огненная жидкая магма. Из кратеров исполинских вулканов на раскаленную Землю изливались потоки лавы, низвергались тучи пепла, сыпался град камней. Из трещин и провалов, из жерл вулканов и лавовых озер с шипением и свистом вырывались струи газов, вздымались облака водяных паров.

На протяжении своей геологической истории лик нашей планеты неоднократно менялся. Нередко ее сотрясали подземные толчки страшной силы. С грохотом, подобным залпу тысяч артиллерийских орудий, рушились горы, возникали глубокие озера, каньоны, водопады. Проходили миллионы лет, и на месте равнин вновь громоздились горы. С течением времени под действием воды и ветра они снова разрушались — выветривались. Так повторялось много раз.

Когда Земля начала остывать, то в ее нарождающейся тонкой коре преобладали более легкие металлы — алюминий и кремний. Тяжелые же элементы — железо, золото, свинец постепенно опускались вглубь — к центру Земли. Соединяясь с кислородом, алюминий и кремний

образовали со временем многочисленное семейство алюмосиликатов.

Если сделать разрез земной коры, то он будет похож на своеобразный слоеный пирог, состоящий из разной "начинки" — комплексов различных горных пород и полезных ископаемых. Почетное место среди них занимают всевозможные силикаты и алюминиевые минералы, составляющие почти 80 % земной коры.

Насчитывается свыше 250 минералов, в состав которых входит алюминий, а он по содержанию в земной коре занимает третье место среди всех химических элементов (8,8 %).

Большую часть алюминиевых минералов, из которых слагаются горные породы, представляют собой алюмоси-



ликаты, состоящие из атомов алюминия, кремния, кислорода и щелочных щелочноземельных элементов.

Алюмосиликатам суждено было сыграть исключительно важную роль в развитии цивилизации. По существу все орудия каменного века — ножи, топоры, наконечники для стрел и ножей, а также разнообразные постройки были выполнены из алюмосиликатов. Их можно встретить в руинах городов, в остатках древних сооружений — всюду, где обитал доисторический человек.

Кому не знакомы граниты, еще в древние времена украшавшие дворцы царей и вельмож. Они придают городам парадность и монументальность. Великолепное творение Фальконе — памятник Петру Первому в Ленинграде установлен на массивной гранитной скале, привезенной из Лахты. Москвичам знаком памятник Карлу Марксу, высеченный из глыбы украинского гранита. Гранитные колонны Исаакиевского и Казанского соборов, цоколи Адмиралтейства, Фондовой биржи и многих других исторических зданий в Ленинграде и других городах неизменно вызывают восхищение всех ценителей искусства.

Выдающийся норвежский скульптор Густав Вигеллан создал из гранита изумительную композицию из двухсот каменных фигур, изображающих всю человеческую жизнь — от рождения до смерти. Пожалуй, гранит — один из самых распространенных на Земле алюмосиликатов — с давних пор привлекал внимание зодчих, скульпторов, строителей своей прочностью, надежностью, долговечностью.

Уже несколько тысячелетий на берегах Невы перед зданием Академии художеств в Ленинграде "живут" египетские сфинксы, вытесанные из красного гранита (египетского сиенита). Они были привезены в Петербург в 1832 году, а найдены в 20-х годах во время раскопок вблизи Фив. Ни зной, ни холод, ни вода не смогли их разрушить.

Еще большую роль в истории культуры и техники сыграли продукты выветривания алюмосиликатов — глины. Им обязаны своим происхождением гончарные изделия древних и современный художественный и технический фарфор; кирпич, "рожденный" из глины, стал соперником камня в строительстве и позволил древним и современным зодчим быстро возводить жилые дома и монументальные общественные здания. Мало кому известно, что глина может служить... продуктом питания. В конце XVIII века академик Э.Г.Лаксман путешествовал по Сибири, изучая образцы различных руд и горных пород. В районе Охотска его как почетного гостя угощали местным лакомством, приготовленным жителями из оленьего молока и каолина. Известно, что и на севере Дальневосточного края охотно ели "земляную смета-



ну" — замешанную с водой белую, похожую на студень коалиновую глину¹.

Съедобные глины были известны и в других областях нашей Родины. Например, в Узбекистане, в Хорезмском крае. Гораздо шире ассортимент съедобных глин в Австралии и на некоторых островах Океании. Путешественники и туристы отмечают, что местные жители по праздникам подают на стол особые сорта белых и цветных глин — синих, зеленых.

С незапамятных времен внимание человека привлекали драгоценные камни, представляющие собой соединения

¹ Такая глина образуется в результате выветривания продуктов перетложения. — Я.Р.



алюминия с некоторыми примесями. Ярко светятся в предутренней дымке рубиновые звезды на островерхих башнях московского Кремля. Основа рубина — оксид алюминия — корунд с незначительной примесью хрома. Взгляните вечером на залитую яркими электрическими огнями витрину ювелирного магазина. Вот нарядная брошь. Синими огоньками сияют сапфиры. Это тот же корунд, лишь вместо хрома природа наделила его титаном. Рядом массивное ожерелье из голубовато-зеленых аквамаринов напоминает сиянием лазурное южное море в полуденный час. Они обязаны своим происхождением алюмосиликату бериллия.

А вот футляры с кольцами. Каких тут только нет камней: бирюза, как голубое небо в майский день, — алюмосиликат меди; темно-красные, как спелые вишни, гранаты, которые некогда назывались карбункулами, — кристаллы железистого алюминия, бледные и нежные лейко-сапфиры — прозрачные кристаллы безводных оксидов алюминия.

Но самое почетное место (по распространенности) занимают среди алюмосиликатов полевые шпаты: они составляют почти 60 % этих горных пород. Кроме оксидов алюминия и кремния, они содержат еще и оксиды других металлов — калия, натрия, кальция. Эти породы белого или красного цвета нередко образуют мощные залежи, а также встречаются в составе других сложных горных пород, например гнейсов и гранитов, совместно со слюдой.

Тонкие, гибкие листочки, на которые способен раскалываться этот содержащий алюминий минерал, в течение нескольких столетий заменяли на Руси стекло в окнах боярских теремов, княжеских и царских дворцов¹. В

¹ В XVI веке на Руси пуд слюды стоил 100 рублей. Тогда за эти деньги можно было купить 50 тонн хлеба. — Б.Р.

наш век слюде нашли новое применение. Обладая высокими диэлектрическими свойствами, исключительной термостойкостью и значительной механической прочностью, она оказалась первоклассным изоляционным материалом. Слюда применяют в электрических машинах высоких напряжений и больших мощностей, турбо- и гидрогенераторах, тяговых электродвигателях. Из листовой слюды изготовляют также конденсаторы и различные детали для радиоприемников, телевизоров, электронных приборов.

Слюда принадлежит к числу весьма распространенных минералов. Содержание ее в земной коре 3,8 %. Наряду с основными элементами — кремнием, кислородом, водородом, натрием, калием, алюминием и магнием — в ее составе свыше 30 других (бериллий, рубидий, стронций, никель, медь). Известны залежи этого минерала на Украине, в Сибири, Карелии, Казахстане, а за рубежом — в США, Индии, Канаде.

Особое место среди главнейших минералов, содержащих алюминий, занимает криолит. За внешнее сходство со льдом его часто называют "ледяным камнем". По химическому составу он представляет собой двойную — натриевую и алюминиевую соль фтористоводородной кислоты ($3 \text{ NaF} \cdot \text{AlF}_3$).

Страна вечных льдов Гренландия — родина мощных залежей "ледяного камня". Таких крупных залежей криолита не встречается больше нигде.

В середине прошлого века на юго-западном побережье острова у поселка Ивигтут впервые начали добывать этот ценный минерал. Там залегает он в граните почти монолитным пластом, местами чистый, местами со значительными примесями других минералов — свинцового блеска, цинковой обманки, плавикового шпата.

Сначала его добывали для производства саоды, потом из него стали непосредственно извлекать алюминий. Когда

же алюминий начали получать электролизом, то криолит составил главную часть расплава.

В небольших количествах его применяют и в некоторых других производствах: в стекольном — при изготовлении молочного стекла, в керамическом — для приготовления эмалей. Криолит является также хорошим плавнем при выплавке меди из руд. Глыбы его, добываемые на разработках в Гренландии, подъемными кранами загружают в трюмы судов и отправляют преимущественно в Данию и США.

Бурный рост алюминиевой промышленности потребовал больших количеств криолита. Гренландского “ледяного камня” давно уже не хватает, чтобы удовлетворить растущие потребности алюминиевого производства в разных странах. Химики разработали способы получения криолита искусственным путем, поэтому природный минерал потерял свое былое значение.

На Севере и на Востоке

В витрине геологического музея под стеклом лежат серые, красно-бурые, коричневые ноздреватые камни — бокситы, которым суждено было стать главным сырьем в производстве алюминия. Из них сначала извлекают глинозем, а затем уже из него получают алюминий. Образцы этой горной породы были обнаружены во Франции в первой четверти прошлого века. В 1821 году известный французский химик Бертье, проезжая по одному из южных департаментов страны, возле деревушки Ле-Бо, неподалеку от ее околицы, заметил выходы кроваво-красных глинистых пород. Ученого заинтересовал их необычный цвет. Отобрав несколько образцов, он сделал их анализ. Оказалось, что в этой горной породе, по внешнему виду очень похожей на глину, но не обладающей ее пластичностью содержится до 60 % глинозема с примесью оксидов железа, кремния и

других элементов. В память о живописной деревне (по-французски "ле-бо" — красивый) Бертье назвал минерал бокситом.

В то время никто не обратил внимания на открытие французского химика. Бокситы просто были внесены в соответствующую рубрику геологических справочников и учебников, заняв положенное им место среди других известных уже алюминиевых минералов. Прошло еще более шестидесяти лет, прежде чем бокситами заинтересовались геологи и промышленники. Появление в 1887 году первого крупного алюминиевого завода в Европе, где алюминий получали электролитическим способом из глинозема, вызвало необходимость широкого поиска бокситов. Их начали искать на всех континентах и



находили во многих уголках земного шара — в Азии и Америке, в Европе и Австралии.

За сто лет непрерывных поисков геологи обнаружили на нашей планете несколько тысяч мелких и крупных месторождений бокситов.

В Европе они встречаются в Австрии, Северных Альпах, около Унтерсберга (Зальцбург) и северо-западнее Куфштейна. В Албании, Югославии много бокситовых залежей найдено в меловых формациях, которые тянутся от Истрии на Юг параллельно побережью Адриатического моря.

Еще более богата бокситами Венгрия, которая в тридцатых годах занимала одно из первых мест по их добыче и экспорту в другие страны, в частности в Германию. Самые крупные венгерские залежи бокситов находятся в предгорьях Вертеша, в районе Ганта.

Многочисленные месторождения бокситов обнаружены и в Греции, однако запасы их составляют всего лишь 80 100 миллионов тонн, примерно, в четыре — пять раз меньше венгерских.

Пожалуй, самые крупные греческие бокситовые залежи тянутся от предгорья Парнаса на юго-восток к берегу и через острова вплоть до Малой Азии. Промышленные месторождения бокситов расположены в разных районах Югославии (Боснии, Герцеговине, прибрежной Далмации, в Черногории), в Испании.

Не обидела природа запасами этой ценной руды и Францию (50 миллионов тонн), которая первой в мире начала ее добывать. Из всех французских бокситовых залежей — в департаменте Буш-де Рон у подножия горы

¹ Кирпаль Г.Р. Промышленные типы месторождений бокситов и их геолого-экономическая оценка. — М.: Недра, 1977. С. 236 — 250.

Нуар — больше всего разрабатывается месторождение в департаменте Вар.

Значительно меньше запасы бокситов в Румынии (10 миллионов тонн), залегающих преимущественно в Бихарском горном массиве и в Италии (10 миллионов тонн), где их находят в Аbruццо, в римских Аппенинах, в Кампании в предгорьях Гаргано на восточном берегу. В других европейских странах — ГДР, ФРГ, Норвегии, Дании, Швеции, Швейцарии — промышленных запасов бокситов нет вовсе.

Если в поисках алюминиевого сырья мы отправимся за океан, то самые крупные залежи бокситовых руд расположены в Суринаме, Бразилии, Венесуэле.

В Северной Америке наиболее бедны бокситами США (40 миллионов тонн), которые покупают их, главным образом на Ямайке, где большинство залежей разбросаны по всему острову, и из Доминиканской Республики.

В Азии рекорд по запасам бокситов побил Китайская Народная Республика, насчитывающая в своих недрах свыше одного миллиарда тонн. Соседка КНР — Индия, располагает значительно меньшими количествами.

По мнению ученых самые богатые месторождения находятся в Африке. В силу особо благоприятных для химического выветривания климатических условий и особой формы ландшафта образовались крупные залежи. Особенно много больших месторождений встречается в поясе саванн, который тянется от западного берега Африки — от Гвинейского залива до Сахары через весь континент к Восточной Африке и Мадагаскару.

Крупные залежи бокситов обнаружены в большинстве стран громадного африканского континента. Первое место занимает Гвинейская Республика, обладающая почти половиной мировых запасов бокситов — около миллиарда двухсот миллионов тонн.

Второе место в Африке по запасам бокситов занимает

Гана, более мелкие залежи бокситовой руды встречаются в Марокко и Мозамбике, Нигерии и Чаде, Того и Сенегале.

Начиная с пятидесятых годов геологическая разведка выявила крупные запасы алюминиевого сырья в Австралии, преимущественно в северной части страны — месторождения Уэйпа, Гоа, и Митчелл-Плато, и в Новом Южном Уэльсе. Богатые залежи бокситов обнаружены в трех округах на острове Тасмания.

Найдены богатые залежи бокситов на Соломоновых и Каролинских островах. Имеются они и в Новой Зеландии, на Гавайских островах Фиджи.

**На родных
просторах**

В недрах нашей Родины, как и в подземных кладовых многих стран мира,

спрятаны громадные залежи бокситов. Советский Союз располагает месторождениями на Урале, в Башкирской АССР, Казахстане, Западной и Центральной Сибири, на Русской платформе.

Еще в 1882 году А.Е.Бренн обнаружил залежи бокситов в районе реки Воложбы, неподалеку от города Тихвина (ныне Ленинградская область). Царские чиновники не обратили внимания на сообщение Бренна; не заинтересовались им тогда и промышленники. Алюминий не находил еще большого спроса, и его продолжали ввозить из-за границы.

В 1914 году вспыхнула первая мировая война. Спустя год в связи с резко возросшей потребностью военной промышленности, особенно артиллерии, были начаты усиленные поиски алюминиевых руд в стране. Военное ведомство объявило крупную денежную премию — 50 тысяч рублей — тому, кто укажет месторождение боксита.

На призыв правительства откликнулись геологи, стара-

тели, краеведы. Спустя год инженер П.Н.Тимофеев обнаружил в Тихвинском районе значительные месторождения бокситов, которые в годы первых пятилеток стали основной рудной базой молодой советской алюминиевой промышленности.

Тогда же председатель созданной в 1915 году комиссии по изучению естественных производительных сил, профессор, а позднее академик В.И.Вернадский направил на поиски бокситов своего ученика А.Е.Ферсмана. В те времена никто не знал, где их надо искать в России. Ферман начал с Монголии, полагая, что они должны образоваться в тамошних степях, но ученый ошибся. Развита им довольно стройная теория была неверной. На обратном пути он продолжил поиск на Урале и тоже безрезультатно, хотя позднее, в советское время, неподалеку от мест, исследованных Ферсманом, бокситы все же обнаружили.

Незадолго до Февральской революции на Урале бокситы искала ставшая впоследствии весьма известным геологом В.А.Варсанофьева. Но это были лишь одиночки, искавшие по существу, наобум.

Лишь после Великого Октября начинается планомерный поиск алюминиевого сырья широким фронтом. Гражданская война и последовавшая за ней разруха задержали поисковые работы на несколько лет. Но уже в 1923 году геолог Н.А.Смолянинов докладывал об открытии залежей боксита на западном склоне Урала, в Пашийском районе, на Журавлинском месторождении красных глин. Прошло семь лет, и на геологической карте появилось новое месторождение вблизи города Алапаевска на восточном склоне Урала.

Эти находки воодушевили геологов. Теперь их взгляды были обращены прежде всего на Урал. Особенно энергично продолжал там искать алюминиевые руды Н.А.Архангельский, и удача сопутствовала ему. Спустя год пос

ле своей первой находки он с помощью местного краеведа — горного мастера П.В.Бурмакина — обнаружил залежи бокситов неподалеку от села Верхняя Синячиха, а вскоре и в Режевском районе.

Но главной сенсацией того года было открытие крупнейшего в Советском Союзе месторождения "Красная Шапочка" геологом Н.А.Каржавиным.

С 1 мая 1930 года на Урале начала работать Турьинская геологоразведочная база, техническим руководителем которой был назначен Каржавин. Уже в июне стали бурить разведочные скважины на Воронцовском руднике. Однако вскоре один буровой станок сломался, другой вместо бокситов встретил красноземы.

"Но складывать руки не в моем характере — вспоминал впоследствии Каржавин в своей книге "Красная Шапочка". — Я вновь углубился в изучение каменного материала федоровского геологического музея¹ и установил тщательное наблюдение за разведочными выработками Богословского рудоуправления на Воронцовском железном руднике.

В одну из поездок на Воронцовский рудник старший горный мастер С.И.Казанцев привел меня к отвалу только что пройденного шурфа. На глубине примерно 16 метров встретили настоящий каменистый боксит кирпично-красного цвета.

При первом взгляде на боксит меня охватила огромная радость. Мои прогнозы оказались верными... Теоретические выкладки начали приобретать материальную оболочку. Сразу же встал и другой вопрос. Как и что нужно делать, чтобы найти промышленные месторождения бокситов... Я вспомнил первые шаги поисков глины на

¹ Н.А.Каржавиным было просмотрено свыше 100 тысяч образцов. — *Б.Р.*

Богословском Севере, когда в основу был положен стратиграфический принцип. Он дал блестящие результаты... Дальнейший путь исследовательской работы уже вырисовывался — соединить стратиграфический метод с методом глубокого изучения вещества путем химических анализов”.

Из множества просмотренных Каржавиным образцов (около 50 тысяч!) всего 14 напоминали бокситы. Их-то и отправил ученый на анализ в химическую лабораторию Надеждинского завода. В сопроводительном письме Каржавин выражал надежду, что анализы будут сделаны тщательно и в самый короткий срок. Действительно, вскоре, несмотря на загруженность лаборатории текущей оперативной работой, он получил результаты. Из 14 образцов половина оказалась высококачественными бокситами мирового класса.

“После того как стали известны результаты химических анализов, — пишет Каржавин, — нетрудно было по картографическому материалу в сейфах музея установить их географическое положение, координаты. И вот кружки с выявленными бокситовыми залежами стали в ряд через весь Богословский горный округ — от реки Сосьвы на севере до реки Турьи на юге. С севера на юг были — Черемуховское и Кальинское месторождения (по названиям речек), “Красная Шапочка” (на левом берегу реки Варган”). Это название было дано Н.А.Каржавиным, когда он приехал на Благовещенское железорудное месторождение, где обнаружили бокситы. “Мы подошли к аккуратно сложенному штабелю обожженных руд. — писал он. — В штабеле я увидел типичные шаровые образования красного боксита от трети метра и до более полуметра диаметром и тут невольно возникла мысль назвать месторождение “Красной Шапочкой”.

Это месторождение вместе с другими — Ново-Кальинским, Сосьвинским, Всеволодо-Благодатским — входит в

состав пользующегося теперь мировой известностью Североуральского бокситового бассейна. Он тянется цепочкой вдоль шестидесятого меридиана, который некогда один из уральских журналистов назвал серебряным, хотя его следовало бы правильнее назвать алюминиевым.

Бурное промышленное развитие Сибири в послевоенные годы дало толчок к поискам на ее обширной территории разных металлических руд, полезных ископаемых и, конечно, бокситов. Труды геологов не пропали даром. Было разведано девять бокситоносных районов.

Ученые полагают, что крупные залежи бокситов могут быть обнаружены также в недрах Прибайкалья, на Алтае, в Саянах, в Приангарье и на Енисее.

Велики запасы алюминиевой руды в подземных кладовых Русской платформы: Тихвинского, Северо-Онежского, Средне- и Южно-Тиманского, Белгородского и Высокопольского районов. Раньше всего начали разработку и добычу бокситов в Тихвинском районе. Там обнаружено свыше 30 месторождений, из которых эксплуатируется семь: Синенское, Подсосненское, Пуповское и др. Значительно менее изучен Северо-Онежский бокситоносный район, на территории которого обнаружено пока только три относительно крупных месторождения: Иксинское, Плесецкое и Дениславское. Геологи считают, что на территории этого района, особенно в северной его части, в ближайшем будущем будут найдены новые залежи бокситов.

Весьма перспективны и Тиманские районы, в которых уже разведано несколько более десятка бокситовых залежей: Тимперская, Пузлинская и др.

Большие надежды возлагают ученые на Белгородский бокситоносный район Курской магнитной аномалии, где уже разведаны два важных месторождения (Висловское и Белгородское) и множество мелких, а также возможно выявление новых, особенно на юго-востоке района.

Открытие залежей бокситов на Урале и в других местах Советского Союза нельзя считать случайной удачей того или иного талантливое геолога. Это результат упорного самоотверженного труда и непрерывных поисков многих геологических партий, вооруженных накопленными к тому времени солидными знаниями о происхождении и типах этих алюминиевых руд.

Солнце и ветер атакуют

На протяжении нескольких геологических эпох моря и океаны на нашей планете изменялись. Море то наступало на сушу, заливая все новые и новые пространства, то отступало, обнажая дно на значительной территории. На поверхность выступали нередко подводные горы или крупные массивы горных пород. Среди них были минералы с высоким содержанием глинозема. Лишенные водной защиты, они подвергались непрерывным атакам солнца и ветра. Происходил непрерывный процесс выветривания. Особенно активно он развивался в тех областях земного шара, где были наиболее благоприятные условия для выветривания алюмосодержащих пород, — прежде всего в тропических зонах. Жаркий и влажный климат, пышная растительность, обилие водоемов и рек способствовали образованию продуктов выветривания, называемых латеритами.

Горные породы, нагреваемые днем горячими лучами солнца и сильно охлаждаемые ночью, постепенно покрывались сетью трещин. В них проникала вода, продолжая разрушительную работу, механическое выветривание сопровождалось химическим. Вода уносила с собой растворимые элементы: калий, натрий, кальций, магний, а также и некоторую часть кремнезема, оставляя нетронутыми оксид алюминия (свободный глинозем) и железа, диоксид титана.

Если долгое время боксит, который нашел во Франции

Бертье, считали минералом состава $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ с незначительными примесями железа, то теперь уже хорошо известно, что эта осадочная порода состоит из гидроксидов алюминия и железа, примесей алюмосиликатов и титановых соединений.

Химическому выветриванию во многом способствовали воды, насыщенные углекислотой, которой тогда было значительно больше в атмосфере, чем ныне, органическими кислотами, возникшими при гниении растений в болотах. Но самым сильным разрушителем была серная кислота. В древних рудах нередко содержались сульфиды – соединения серы с металлами, например серный колчедан FeS_2 . При их разложении появлялись оксиды серы, которые, соединяясь с водой, превращались в серную кислоту.



Она-то и разрушала чрезвычайно прочную связь оксидов алюминия и кремнезема в алюмосиликатах. Глинозем, освобожденный из "темницы", сначала превращался в растворимую соль серной кислоты. Но если сернокислотный раствор сталкивался на пути следования с поверхностными водами, то из-за уменьшения кислотности глинозем выпадал в осадок — происходило образование залежей бокситов.

Латерит не обязательно находится всегда на одном и том же месте. Об этом позаботятся речные воды. Гумусовые¹ вещества, которые в них содержатся, образуют с алюминием легкорастворимые соединения. Когда же речные воды несут их в море, то при смешении пресных и соленых вод происходит новая метаморфоза, в осадок выпадают гидроксиды железа и алюминия. Вот так возникали мощные пласты бокситов вблизи морских берегов. А как же рождались бокситы в озерах и болотах, которые никогда не были связаны с морем, иначе говоря, бокситы, континентального происхождения? Гниение растений, трупов умерших животных, работа невидимых могильщиков — различных бактерий — разрушали пестроцветные глинистые породы, которые сопутствовали другим минералам, подвергавшимся выветриванию. Поэтому бокситы — наследники древних озерных бассейнов — часто встречаются разных оттенков — красного, желтого, лилового, зеленовато-серого цвета.

Бокситовые месторождения, в зависимости от их происхождения, делят на несколько групп. Еще в 1946 году советский геолог М.Ф.Викулова предложила разделить их на пять основных типов: латеритный, лагунный или прибрежно-морской, озерный, долинный, карстовый.

¹ Продукты, образовавшиеся в результате накопления и изменения органического вещества в торфяниках. — *Б.Р.*

В настоящее время существует много разных классификаций, учитывающих форму и размер залежей, условия залегания, генетические и геологические факторы. Авторы этих классификаций выделяют, в зависимости от того или иного признака, положенного ими в основу своей классификации, от двух до шестнадцати разных типов. В 1974 г. Г.Р.Кирпаль предложил новую классификацию типов промышленных бокситовых месторождений, с учетом геологических особенностей и экономических соображений каждого месторождения. Он делит их на четыре группы: латеритные, полигенные, осадочные — терригеновых толщ, осадочные — карбонатных толщ.

К первому типу относятся: в СССР месторождения в районе Курской магнитной аномалии; в Западной Африке — в Гвинее, Гане, Мали, в Индии и Бразилии. Полигенные месторождения больше всего распространены в СССР, США, Австралии.

Третий тип бокситовых залежей чаще всего встречается в Советском Союзе — в Казахстане и в Северо-Онежском районе. К осадочным месторождениям карбонатных толщ принадлежат бокситовые залежи в СССР — на Северном Урале, в Европе — в Югославии, в Венгрии, Греции, Франции; в Центральной Америке — на острове Ямайка.

В течение почти 20 лет А.Е.Ферсман отдавал Хибинам свои силы, энергию. Неизменно воодушевляемая личным примером неутомимого разведчика недр, вдохновенно трудилась молодежь. Сначала работали одиночки, но затем пришли многочисленные исследовательские партии, целые отряды настойчивых искателей подземных сокровищ.

“Были годы, когда вся жизнь, все интересы вращались только вокруг Хибин, заостряя целеустремленность, укрепляя взаимным интересом; создавая молодых и старых хибинцев — целое “племя” увлеченных людей. —

писал Ферсман. — Только этим упорством и упрямством, только огромной работой мы смогли добиться результатов в этой стране чудес”.

Огромны разведанные запасы бокситов в нашей стране, однако они не обеспечивают полностью нужды быстрорастущей алюминиевой промышленности. Дело в том, что большинство известных их месторождений, как правило, находится в таких областях Советского Союза, где нет дешевых источников энергии, либо в труднодоступных районах. К тому же многие из выявленных бокситовых руд — низкого качества.

Вот потому-то взоры геологов и металлургов обратились к другим горным породам, содержащим большое количество оксида алюминия, и прежде всего к алунитам и нефелинам.

**Из Кольской
шкатулки**

Нефелиновые месторождения находятся в Хибинах — на Кольском полуострове,

в Красноярском крае, в Кемеровской области. Нефелин в природе никогда не встречается в чистом виде, а всегда содержит примеси других минералов (биотита, полевого шпата, эвдолита, агарина). Это нестойкий минерал, который легко выветривается и разрушается, замещаясь другими минералами — халцедоном, цеолитом, гидраргиллитом; иногда он переходит в канкринит или содалит. Самые разнообразные нефелиновые руды встречаются на Урале (миаскиты), на Украине (мариуполиты), в Армении и Средней Азии (сиениты). Нефелиновые сиениты содержат 18 — 24 % глинозема.

Нефелин присутствует почти во всех породах Хибинского массива. Из них наиболее богаты нефелином уртиты (75 — 85 %), иолиты (35 — 60 %), апатиты (10 — 30 %). Самые выгодные для производства алюминия отходы апатитовой промышленности — “нефелиновые хвосты”.

Хотя содержание нефелина в них не выше, чем в урти-тах, но они гораздо удобнее для переработки, так как находятся в природе в мелкораздробленном виде, что позволяет, применяя флотацию, легко получать ценный концентрат. А ведь в нем содержится до 30 % глинозема. Немало пришлось потрудиться советским ученым и инженерам, прежде чем им удалось создать такой процесс переработки "хвостов" на глинозем, который был бы эффективным, экономически выгодным. Дело в том, что бокситов для получения одинакового количества оксида алюминия нужно вдвое меньше, чем нефелинового концентрата. Однако извлечь глинозем из нефелина значительно труднее, чем из бокситов. Разрушить молекулы нефелина и "вытянуть" из них молекулы оксида алюминия — дело чрезвычайно сложное и трудоемкое.

Впервые алюминий из нефелиновых руд стали получать в 50-х годах на Волховском алюминиевом комбинате. А спустя примерно двадцать лет вступил в строй крупнейший в СССР Ачинский глиноземный комбинат, построенный на базе Кияшалтырского нефелинового месторождения.

Одним из самых крупных резервов алюминиевого сырья остаются апатитовые хвосты.

Открытие апатито-нефелиновых руд на Севере, создание крупных предприятий по их переработке неразрывно связаны с именем выдающегося советского геохимика и минералога академика А.Е.Ферсмана. В 1920 году администрация Мурманской железной дороги обратилась к нему с просьбой принять участие в работах комиссии по обследованию природных богатств края и состояния дороги. В работах комиссии, кроме А.Е.Ферсмана, приняли участие и некоторые другие ученые — президент Академии наук академик А.П.Карпинский, геолог Геологического комитета А.П.Герасимов. В конце мая комиссия выехала в Мурманск.

“Так впервые, при полуночном солнце, в полярную светлую ночь попал я на Кольский полуостров и впервые поднялся на одну из вершин Хибинских гор, — вспоминал об этой поездке Ферсман. — Не могу забыть впечатления, которое произвела на нас развернувшаяся перед нами обширная панорама. Все было непонятно и ново: перед нами расстилались громадные хребты, дугами уходившие на восток, так мало напоминавшие представления, сложившиеся у нас по имеющимся картам и описаниям.

Перед нами была девственная природа Кольского полуострова. Здесь же сразу мы столкнулись с замечательными и совершенно неизвестными минералами. В некоторых случаях я не мог назвать ни одного из минеральных тел, которые образовали кристаллы разных цветов и разной величины.

Я твердо решил взяться за изучение этого диковинного массива, несмотря на всю его недоступность, суровость, несмотря на все трудности того времени. Мне удалось вовлечь в эту работу молодежь Минералогического музея Академии наук, Географического института и Ленинградского университета”¹.

В середине июля 1922 г. на станции Имандра Мурманской железной дороги из теплушки выгрузилась небольшая изыскательская партия, руководимая академиком А.Е.Ферсманом. Нелегко был путь геологов, стремившихся проникнуть в глубину Хибинских гор. Донимал тяжелый зной, мучили комары. В поисках проходимых троп приходилось спускаться по обрывистым кручам, подниматься на крутые склоны, покрытые мелким щебнем. Под ногами тут и там возникали глубокие пропасти. Малейшая оплошность — и конец.

¹ Ферсман А.Е. Наш апатит. М.: Наука, 1971. С. 341.

Все чаще стали попадаться куски и пласты редчайших минералов.

Но что это? В скале, словно зеленые змеи, протянулись жилы апатита. А вот и целые глыбы желтоватого с зеленью камня. Это была первая находка, а затем последовали новые экспедиции, новые поиски и новые открытия. С тех пор ежегодно маленькая группа энтузиастов во главе с А.Е.Ферсманом направлялась в Хибины, исследуя шаг за шагом этот безмолвный и пустынный край. В экспедициях принимали участие не только минералоги, петрографы, геологи, но и научные работники многих других специальностей — почвоведы, ботаники, географы.

Так, находка первых образцов апатита привлекла пристальное внимание к этому краю и привела к его бурному промышленному и экономическому развитию. На диком и безлюдном месте возник новый центр крупной горнорудной промышленности — город Кировск.

Сначала ее добывали в открытых разработках. Зимой забои часто заносило снегом. Их приходилось расчищать вручную. Это сильно затрудняло работу. Теперь в Кировске создан механизированный рудник. В разные стороны разбегаются бесконечные штольни, штреки. Мощные экскаваторы насыпают руду в вагонетки. Электровозы тянут их по штольням к стволу шахты. Искристые глыбы руды поднимают на поверхность и отправляют на обогатительную фабрику.

Здесь апатит отделяют от нефелина. Сначала руду растирают на огромных мельницах в мягкий как мука порошок. Затем эту "муку" насыпают в большие чаны, заливают водой и добавляют некоторые органические вещества. Через чаны продувают воздух. Пузырьки воздуха собираются на поверхности воды, образуя пену. Органические добавки делают пену устойчивой, с пеной всплывают зеленые частицы апатита. Они плохо смачи-

ваются водой и прилипают к воздушным пузырькам. На дне чанов остается плотной массой серый нефелин. За последние годы на Кольском полуострове выявлены новые залежи апатито-нефелиновой руды. Разведочными работами, начатыми на Кошве еще в 1960 г., было обнаружено три месторождения — Ньюркпахк, Эвеслогчорр (на языке саами — “самая высокая гора”) и Партомчорр. В нашей стране горных пород, содержащих глинозем, хватит еще на сотни лет, особенно нефелинов, сиенитов, кианитов. Роднят их хибинские недра, а несходство “характеров” проявляется пока в некоторых загадках, которые пытаются разгадать геологи. Химический анализ образцов этих руд показал достаточно высокое содержание в них нефелина.

Ценным сырьем для алюминиевой промышленности наряду с “апатитовыми хвостами”, содержащими много нефелина, могут стать и кианиты — алюмосиликатные минералы. Кристаллы чистого кианита голубого, синего или белого цвета. Содержание в них глинозема — 63,19 %. Однако в природе они не встречаются в чистом виде; в них входят примеси — железо, титан, кальций и магний. Потому в кианитовых рудах глинозема обычно не больше 58 — 60 %.

Из кианитовых концентратов нельзя добыть чистый алюминий, но они могут стать источником для производства силумина — сплава алюминия с кремнеземом. Советскими инженерами разработана эффективная технология обогащения кианитовых руд, позволяющая получать концентрат, содержащий до 95 % кианита. Бурно развивается в СССР и за рубежом алюминиевая промышленность, быстро растет добыча бокситов и других видов алюминийсодержащего сырья. В капиталистических странах уже бьют тревогу по поводу того, что к 2000 году будет выработано 30 % залежей бокситов. У советских металлургов нет оснований для беспокойства.



ПЕРЕВОРОТ В НАУКЕ

Кирпичи мироздания

Почти весь мир кристалличен, — говорят физики и минералогии. Действительно, кристаллы окружают нас повсюду. Мы их обнаружим в щепотке белоснежной соли и в куске черного угля, в тонком срезе металла и в обыкновенном булыжнике. Даже мягкая, пластичная глина имеет мельчайшие кристаллические чешуйки. Они невидимы ни простым глазом, ни под микроскопом, но легко обнаруживаются с помощью рентгеновских лучей.

Состоят из кристаллов и все алюмосиликаты (как и силикаты, не содержащие алюминия). По своему химическому составу они представляют самые сложные неорганические вещества на свете. В них, кроме атомов кремния и кислорода, часто присутствуют атомы других металлов: кальция, магния, титана, бериллия, натрия, калия. Найдем мы в их составе молекулы воды, а также и различные анионы: SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , F^- , Cl^- .

Изучением поведения, свойств и структуры всего многообразия кристаллов занимаются кристаллографы. С самого начала возникновения этой науки в основу развиваемых ею представлений была положена идея о плотной упаковке частиц.

Как известно, атом (диаметр которого равен одной или нескольким стомиллионным долям сантиметра) имеет

очень сложное строение. В его центре находится маленькое, очень плотное ядро, обладающее положительным зарядом. У ядер тяжелых элементов заряд больше, у легких — меньше. Вокруг ядра по замкнутым орбитам движутся электроны — мельчайшие материальные частицы отрицательного электричества. Электроны образуют вокруг ядра несколько вложенных одна в другую оболочек. У тяжелых атомов оболочка состоит из нескольких слоев. Кристалл любого вещества состоит из огромного числа элементарных ячеек, заполненных внутри плотноупакованными частицами, которые можно себе представить в виде шаров. Рентгеновские снимки кристаллов показывают, что атомы — шары — укладываются в несколько слоев. Поскольку форма элементарной ячейки повторя-



ется в кристаллах через равные промежутки, независимо от того, какое бы мы ни выбрали направление, следовательно, и расположение слоев упаковки атомов строго повторяется через равное число слоев.

Если плотно укладывать шары одинакового размера, то между ними остаются пустоты. Учеными подсчитано, что в плотной упаковке кристаллов химических элементов, составленных из атомов одинакового размера, объем пустот составляет около 1/4 общего объема.

В кристаллах веществ, состоящих из атомов разного размера, меньшие атомы размещаются в пустотах, образовавшихся от расположения крупных атомов. В сложных веществах "строительным" материалом кристаллов служат главным образом заряженные атомы.

Пустоты в плотной упаковке заполняются атомами и



ионами по-разному. Различное число слоев, из которых построены плотные упаковки, а также разные способы заполнения пустот создают величайшее многообразие структур кристаллов. В кристалле поваренной соли крупные ионы хлора уложены в три слоя, ионы же натрия заполняют все пустоты между ними. Каждый ион натрия окружен шестью ионами хлора.

В плотной упаковке молекул углекислоты в кристалле (такие кристаллы существуют только в "сухом льде", то есть при низкой температуре) атомы углерода окружены двумя атомами кислорода.

От характера плотной упаковки в кристалле зависят и его многие свойства. Они наглядно проявляются на примере обычной поваренной соли. Для того чтобы кристалл, имеющий форму куба, расколоть по диагонали, требуется усилие, в четыре раза большее, чем для того, чтобы разбить его по центральной оси.

Объяснить это можно тем, что диагональ проходит через различные атомы, заряженные положительно и отрицательно. А ведь, как известно, плюс притягивает минус. Центральная же ось проходит по одноименно заряженным атомам хлора, и, следовательно, прочность по этой линии будет меньше (минус отталкивает минус!), и в этом направлении кристалл легко ломается. Основу в кристаллах образуют более крупные по размеру отрицательно заряженные ионы. Положительно заряженные ионы обычно заполняют не все промежутки между ними. И это также служит причиной уменьшения прочности кристалла в определенных местах. Так, например, в слюде наряду с полностью заполненными пустотами между атомами имеются слои менее "густонаселенные", то есть такие, в которых много пустых промежутков. Поэтому слои слюды легко рвутся. Этим минералоги объясняют способность слюды легко расщепляться на тонкие пластинки.

**Обязательное
условие**

Кристаллы слюды, как и всех других силикатов и алюмосиликатов, построены

великим архитектором — Природой — по тому же основному принципу, что и знакомые нам довольно простые химические соединения: поваренная соль, сода, селитра и другие. Но есть в силикатных "постройках" и существенные отличия. В то время как, например, в поваренной соли анионы представляют собой отдельные атомы или состоят из двух (например, в серной кислоте SO_4) или трех (в питьевой соде HCO_3) различных атомов, в силикатах даже относительно менее сложного состава большая часть анионов кремнекислоты (SiO_4) не изолирована друг от друга.

"Атом кремния всегда имеет координационное число 4, таким образом ближайшими атомами, окружающими его, являются 4 атома кислорода, образующие тетраэдр, — пишет в своем труде "Кристаллохимия" известный советский кристаллограф профессор Г.Б.Бокий. — Радикалы $(SiO_4)^{4-}$ — охотно объединяются друг с другом через общие атомы кислорода, нейтрализуя валентность последних. В результате образуются более сложные радикалы поликремниевых солей. Такое объединение радикалов $(SiO_4)^{4-}$ происходит путем обобщения только вершин тетраэдров, а не ребер или граней. Однако в каждом тетраэдре SiO_4 могут быть обобщены первая, вторая, третья или все четыре вершины. В результате получается большое разнообразие отношений $Si : O$ в силикатах"¹.

Итак, обязательным условием существования силикатной "постройки" является расположение четырех атомов кислорода вокруг центрального атома кремния с образованием простейшей геометрической фигуры —

¹ Бокий Г.Б. Кристаллохимия. — М.: Наука, 1971. С. 340.

тетраэдра. Любопытно, что этот незыблемый принцип выдерживается и в том случае, если не хватает атомов кислорода, чтобы окружить атом кремния со всех четырех сторон. Некоторые кислородные атомы участвуют одновременно в постройке двух силикатных тетраэдров, то есть принадлежат им обоим. В каждом из двух тетраэдров имеется по три "собственных" атома кислорода и один "общий". Соединяясь через кислород, тетраэдры образуют непрерывную цепочку.

Такие цепочки создают "костяк" пироксенов, составляющих 17 % земной коры, диопсида, рамзаита. В некоторых случаях принцип нахождения каждого атома в окружении четырех атомов кислорода может быть выдержан лишь тогда, когда цепочки из тетраэдров замыкаются 4,6,8-звенными кольцами. Такую структуру имеют соответственно: силлиманит, изумруд, ксонотлит.

Если соотношение атомов кремния и кислорода в силикате 1:1, то принцип окружения атомов кремния четырьмя атомами кислорода может быть сохранен лишь в том случае, когда каждый из них будет находиться в совместном владении двух атомов кремния. Такое расположение приводит к тому, что вместо бесконечных цепочек в одном измерении, и листов, бесконечных в двух измерениях, мы имеем дело с каркасами, бесконечными во всех трех измерениях.

Если соотношение числа атомов кислорода к числу атомов кремния в том или ином силикате равно 3:2, то цепочки тетраэдров соединяются в бесконечные листы или "скатерти". Сотканые из атомов кремния и кислорода, соединенных в двух измерениях, они простираются от одной грани отдельного кристалла до противоположной. Таково строение слюды, коалинита, андалузита.

Кристалл слюды представляет собой как бы трехслойный пакет, который состоит из двух слоев, составлен-

ных тетраэдрами, и промежуточного слоя из октаэдров. В кристалле диаметром всего лишь в сантиметр между противоположными стенками располагается почти 30 миллионов атомов кремния и кислорода. Они-то и образуют единый анион. Потому силикаты в отличие от обычных солей, у которых анионы состоят из одного или нескольких атомов, не растворяются. Если же расплавить силикат, то при застывании расплава он застынет в виде аморфной стеклоподобной массы. У многих листовых силикатов атомы кремния замещаются атомами алюминия. В слюде (мусковите) такое замещение достигает 25 %, в маргарите 50 %, а в ксантофиллите оно еще больше.

Если процент замещения атомов кремния атомами алюминия в тетраэдрах столь велик, то это отражается на стойкости цепочки. Она теряет свою прочность как в твердом, так и жидком виде. Потому анортит в первую очередь выветривается в полевых шпатах, которые при этом обогащаются альбитом. Характерно, что и жидкая масса состава анортита также легко выкристаллизовывается. Такова роль алюминия в метаморфозах, претерпеваемых силикатами. Изучение поведения атомов алюминия в природных силикатах имеет большое практическое значение. Например, если на стекольном заводе вводят в шихту нефелин с высоким содержанием этого элемента, то малейшее нарушение режима технологического процесса может привести к браку. Алюмосиликатные цепочки могут разорваться, и поэтому произойдет преждевременное выделение закристаллизовавшейся массы, иными словами, как говорят производственники, — образование "козла".

В каркасных силикатах тетраэдры в цепочках могут соединяться не только друг с другом, но и с атомами различных металлов, чаще всего с магнием, кальцием, железом, а также с титаном, марганцем, цирконием и

другими. В них обязательно есть атомы алюминия. Важнейшие представители этой группы силикатов: нефелин, содалит и ультрамарин.

Некоторые из металлов, входящих в состав силикатов, обладают способностью имитировать кремний, то есть изоморфно замещать его.

“Это прежде всего Al, B и Be, которые так же, как и кремний, имеют координационное число по отношению к атомам кислорода 4 и координационный многогранник — тетраэдр. Размеры таких тетраэдров тоже близки к размерам кремнекислородных тетраэдров. Из этих трех элементов — имитаторов кремния наиболее близки по размерам B и Be, поэтому аналогия между ними и Si более полная.

Атом (ион) алюминия крупнее атома кремния, поэтому алюминий в силикатах встречается как в тетраэдрах, так и в октаэдрах.

В первом случае вещества называются алюмосиликатами, во втором силикатами алюминия”, — пишет Г.Б.Боккий. В этих сходных названиях, однако, наглядно отражено расположение атомов в алюмосиликатах. В алюмосиликатах атом алюминия замещает часть атомов кремния и совместно с ними образует единую цепочку. Однако во второй группе минералов он уже не союзник кремния при постройке тетраэдров и октаэдров, а скорее, такой же “квартирант”, как и другие металлы, и прежде всего кальций и магний. Иными словами, он представляет собой самостоятельный катион.

Разделение силикатов на алюмосиликаты и силикаты глинозема¹ по геометрическому принципу, несмотря на

¹ В некоторых силикатах, например в мусковите, атом алюминия “един в двух лицах”, то есть играет одновременно обе роли. Поэтому такие породы называют алюмосиликатами алюминия (и других металлов, если они в них присутствуют). — Б.Р.

всю его важность, нельзя признать абсолютно строгим. В природе не существует столь уж резкой разницы между двумя состояниями алюминия в них.

Принадлежность к той или иной группе нередко устанавливают определяя, в каком количестве, атомы кремния замещают атомы алюминия. Если замещение не превышает 25 %, то соответствующий каркас (в трех измерениях) будет менее устойчив, чем однородный, построенный из атомов кремния.

Это свойство алюмосиликата широко используется в стекольной промышленности. Особенно его учитывают в производстве стекол, которые формируют механическим способом, когда желательнее получить более пластичную стекловую массу. В этом случае алюминий оказывает положительное влияние на ее свойства. И еще пример из стеклоделия. Альбитовое стекло так же вязко и столь же плохо кристаллизуется, как и обычное. Введение же алюминиевых тетраэдров, несколько снижает жесткость каркаса из тетраэдров кремния.

Союзник

или соперник?

Все горные породы на нашей планете состоят, как правило, всего лишь из

двух-трех основных минералов, рожденных из магмы. Магма, поднимаясь из расплавленных недр Земли к верхним ее слоям, постепенно застывала и из нее выкристаллизовывались те или иные вещества.

“Именно этой постоянной кристаллизации и обязаны мы богатством и многообразием веществ, которыми может похвастать минеральный мир, — писал академик Н.В.Белов. — Родоначальником всех начал магматического сотворения породообразующих материалов можно считать два основных оксида — MgO и CaO ”.

По мере остывания магмы и снижения ее температуры именно эти оксиды становятся все агрессивнее, выры-

вают из нее все большее количество кристаллов, в которых содержится кремний. Это тетраэдры O_4 (AlO_4). "Разбойником" является и железо. Правда, магний и железо слабые элементы — радиус действия электрических сил у них невелик. Поэтому магма представляет для них слишком крупное "сито". Следовательно, им легче вырваться из магмы и начать образование своих собственных кристаллов.

Однако на этом дело не кончается. Магний начинает вести "агрессию" в более широком масштабе. Сначала вырывает одиночные тетраэдры кремния, а затем и кусочки отдельных цепочек.

Так, в природе в результате этого процесса образовался сначала оливин, а позднее — асбест, в "рождении" которого принимали участие спаренные тетраэдры кремния.

Когда же температура магмы стала совсем низкой, то оксид магния стал захватывать уже целые цепочки тетраэдров. Так образовались пироксены. А в конце застывания магмы "родились" черные слюды — биотиты. По мере снижения температуры магмы проходили и другие процессы. К оксиду магния присоединился оксид железа, и его становилось все больше, причем повышалась и активность железа, которое понемногу превращалось также в коварного агрессора.

Одновременно рождались и полевые шпаты. В процессе их образования главную роль играл оксид кальция. Когда оксид магния выхватывал из магмы по мере ее остывания все большее количество кремниевых тетраэдров, то оксид кальция заполнил образовавшиеся пустоты в непрерывной сетке кристаллов кремния и алюминия.

Чем больше понижалась температура магмы, тем меньше становились колебания температуры и ослабевала прочность кремниевых тетраэдров. В этих условиях увеличивается возможность укрепления расшатывающих

ся структур, наблюдается понижение активности оксида кальция. Проявляется новый "агрессор" — калий. Так образовались кислые полевые шпаты.

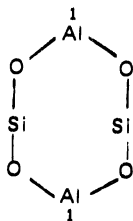
"В эту схему великолепно укладываются почти все элементы таблицы Менделеева и соответственно образующиеся из магмы минералы, — пишет академик Н.В. Белов. — Магма застыла. Минералы выкристаллизовались — минералогическое творение мира закончено. А дальше вступают в действие внешние агенты. Становится до некоторой степени самостоятельным алюминий, до той поры лишь верный союзник кремния. Образуются топазы. С участием бериллия возникают александриты"¹.

Трудно переоценить роль силикатов в "минеральных" событиях, которые разыгрывались в земной коре на протяжении геологической истории нашей планеты. Детально изучаемые уже почти столетие геохимиками в разных странах, они привели к концентрации в некоторых районах земного шара различных полезных ископаемых. Поэтому понимание природы и раскрытие тайн их строения весьма важны для разработки современных методов поиска руд и минералов.

Еще в 1891 году В.И. Вернадский заинтересовался алюмосиликатами. Изучая роль алюминия в их образовании, он пришел к выводу, что глинозем, подобно кремнезему, является кислотным ангидридом и играет аналогичную роль.

"Химия алюмосиликатов и история их образования в земной коре позволяют полагать, что каолиновые глины и все их производные имеют одинаковое строение. Для него характерно одно и то же прочное кольцевое ядро атомов, которое и называется каолиновым ядром.

¹. Белов Н.В. Минералогическое сотворение мира.//Техника молодежи, 1966. № 6. С. 3.



На основе этой формулы В.И.Вернадским были предложены формулы для ряда алюмосиликатов: каолина, лейцита и других. Они построены по аналогии с формулами для органических веществ. Тогда ученые полагали, что и все неорганические вещества, подобно веществам органическим, имеют молекулярное строение. Позднее выяснилось, что это не соответствует действительности. Поэтому неверными оказались и молекулярные формулы силикатов.

Тем не менее попытка В.И.Вернадского выяснить, какова роль алюминия в алюмосиликатах, и отразить его связи с кремнием и кислородом в молекулярной формуле имела важное значение для позднейшей расшифровки их сложных структур.

Неверными эти формулы оказались еще и потому, что в органической химии структурные формулы соединений устанавливали, исходя из химических реакций, которые практически обычно протекают в растворах. Силикаты же, как известно, не растворяются ни в воде, ни в спирте, ни в каких-либо других обычных растворителях, а плавятся они при очень высоких температурах (например, точка плавления корунда 2015°C).

**Невидимое становится
видимым**

Потребовалось, однако, бо-
лее 30 лет прежде чем уда-
лось доказать несостоятель-

ность предложенных различных вариантов структурных формул силикатов и раскрыть тайну их архитектуры. Помог ученым рентгеноструктурный анализ, позволивший "увидеть" структуру этих соединений и установить для них правильные формулы.

В 1926 – 1931 годах группа известных европейских и американских ученых (Л.Полинг, В.Захариасен, В.Тейлор и другие), возглавляемая В.Брэггом, расшифровала с помощью рентгеноструктурного анализа строение ряда силикатов. Это было началом крушения старых взглядов и триумфа кристаллохимии, изменившей коренным образом прежние представления о природе силикатов.

"Пользуясь рентгеновским лучом, позволившим исследовать твердое тело без его разрушения или растворения, мы поставили своей задачей принять участие в новой, еще не существовавшей химии кремния, — писал в 1952 году академик Н.В.Белов, которому суждено было произвести подлинный переворот в науке. — Мы не в единственном числе пошли по этому пути. Небезуспешны опыты расшифровки структуры силикатов металлов, предпринимаемые в Англии в 20-х годах этого столетия. Но на исследовании 15 минералов там дело остановилось.

Английские исследователи не постарались узнать, являются ли закономерности, установленные ими для этих 15 минералов, общими или это музейные случаи.

Мы же поставили своей задачей выяснить именно общие закономерности, которым подчиняется этот интереснейший класс природных материалов"¹.

В начале 30-х годов В.Брэгг выпустил книгу "Структура

¹ *Белов Н.В.* Секреты кристаллов.//Техника молодежи, 1952, № 6. С. 23.

силикатов” (русский перевод ее вышел в 1937 году), в которой он привел структурные схемы силикатов. Они стали своеобразным стандартом для всех кристаллографов — у нас и за рубежом — почти на 25 лет.

Основная идея Брэгга и его школы заключалась в том, что химией природных силикатов, несмотря на то что они составляют 95 % земной коры, управляет минимальное число закономерностей. Иными словами, все структуры определяются лишь небольшим числом сочетаний тетраэдров кремния или кремнекислотных радикалов.

Приходится только удивляться, как в течение почти четверти века ученые находились в плену воззрений Брэгга и не пытались ни изменить, ни дополнить предложенную им систематику силикатов. Н.В.Белов был первым кристаллохимиком, показавшим несовершенство постулатов Брэгга.

Николай Васильевич Белов родился в 1891 году в городе Янове в семье уездного врача. В Варшавской гимназии, которую Николай Васильевич окончил с золотой медалью в 1910 году, он проявил незаурядные способности к наукам, особенно к естественным наукам и иностранным языкам. Поэтому после окончания гимназии Белов уезжает в Петербург и поступает в Политехнический Институт. После окончания Политехнического Института до 1930 года Н.В.Белов занимается разнообразной инженерной деятельностью. Сначала в Овруче проектирует мосты, здания, инспектирует местную промышленность, позднее, в Ленинграде, в 1928 — 1929 годах заведует химической лабораторией в Институте по изучению Севера.

В эти годы он все больше сближается с А.Е.Ферсманом и принимает участие в работах возглавляемым им Минералогического и геохимического института имени М.В.Ломоносова Академии наук СССР.

Николай Васильевич активно включается в работу по освоению хибинских подземных кладов. Особенно заинтересовался он нефелинами и предложил неожиданное и оригинальное их использование для дубления кож (это было отмечено благодарностью в печати и премией Ленинградского Совета депутатов). Одновременно он настойчиво занимается теоретическим анализом нефелиновой проблемы.

В 1934 году Академию наук СССР переводят в Москву, несколько

позднее переезжает в Москву и старший научный сотрудник академического института Н.В.Белов. С тех пор всю свою жизнь он посвящает кристаллохимии минералов и в первую очередь силикатов.

Систематически исследуя совместно со своими сотрудниками различные силикаты и алюмосиликаты, он подметил некоторые особенности в их структуре, не замеченные ранее ни Брэггом, ни другими исследователями.

“В свете этих чисто структурных результатов Н.В.Белов в 1953 году сделал казавшееся ранее парадоксальным заключение, что строительной основой силикатов служат не кремнезем и не анионные кремнекислородные радикалы, а, наоборот, катионы, обычно укладываемые в стержни из кислородных октаэдров (вокруг каждого катиона), и к этим основным архитектурным конструкциям лишь приспособляются кремнекислородные радикалы”, — писал Г.Б.Бокий.

Все отдельные строительные элементы силикатной “постройки” — цепочки, ленты, сетки и даже кольца — обладают достаточной прочностью. В то же время они легко деформируются и приспособляются к различным конструктивным условиям, определяемым расположением катионов (Ca, Mg, Al, Fe), вокруг которых атомами кислорода строятся структурные элементы — октаэдры, призмы и т.п. Н.В.Белов значительно развил и преобразовал теорию плотных упаковок, что позволило расшифровать целый ряд сложных структур силикатов — рамзаита, диоптаза, ильваита, турмалина.

Много труда и времени требует расшифровка структуры силикатов. Сначала кристаллик исследуют под микроскопом, а затем просвечивают в рентгеновском аппарате (иногда несколько десятков часов).

Вот кристаллик турмалина (в поперечнике не более 0,5 миллиметра). Его просвечивали несколько раз в течение почти 70 часов. Во время каждого сеанса автомат передвигали и поворачивали так, чтобы рентгеновские лучи

пронизывали его во всех направлениях. Если взглянуть на рентгеновские снимки, то мы увидим замысловатый узор из темных и светлых пятнышек разной величины. В середине — след прямых лучей, не отклоняющихся от первоначального направления, остальные же лучи отклоняются. Глядя на эту рентгенограмму, мы можем измерить углы отклонения и яркость пятен. Но как же по этим данным расшифровать строение турмалина? "Чтобы увидеть структуру кристаллов, — писал Н.В.Белов, — нужен "математический микроскоп". Пользуясь результатами просвечивания, нужно вычислить расположение атомов в кристалле. Вычисления продолжались более года. Высказывались разные догадки о возможной структуре. Они проверялись, некоторые при проверке отбрасывались как неправильные, в других устранялись ошибки. И так постепенно таинственный узор на рентгеновском снимке становился все понятнее, а строение турмалина яснее. Оказалось, что в кристалле турмалина имеются шестизвенные кольца, состоящие из атомов кремния и кислорода, как в берилле. Они объединяются треугольниками бора и октаэдрами алюминия.

До того как Н.В.Белов приступил к исследованию турмалина, не была даже известна его химическая формула. В молекуле этого минерала свыше 70 атомов, среди которых девять химических элементов (Al, Mg, Ca, Fe и др.). Пользуясь разработанным им математическим методом, Н.В.Белов смог с большой точностью не только определить положение всех атомов в ячейке турмалина, но и вычислить расстояние между атомами кремния в кольце (3,07 Å). Если сто тысяч таких колец положить друг на друга, то слой будет не толще волоса. Работы Н.В.Белова и его учеников помогли создать правильные представления об атомной структуре разных алюмосиликатов, показать их генетическую структурную связь и роль в образовании разных горных пород в природе.



КОГДА ПРИХОДИТ УСПЕХ

**“Отец” алюминиевой
промышленности**

Шел тревожный для России 1854 год. В осажденном Севастополе русские воины — пехотинцы, артиллеристы, моряки — стояли на смерть, геройски отражая яростные атаки турок, англичан и французов.

Вот несколько строк из очерка “Севастополь в декабре месяце” Л.Н.Толстого, побывавшего в городе во время осады:

“Главное, отрадное убеждение, которое вы вынесли, — это убеждение в невозможности взять Севастополь, и не только взять Севастополь, но поколебать где бы то ни было силу русского народа...”

Парижские газеты ежедневно помещали сводки о военных действиях в Крыму в духе победных репортажей, хотя французы и их союзники несли большие потери от защитников крымской морской твердыни.

Среди этих сообщений иногда мелькали более скромные по размеру и тону заметки — о новых научных открытиях, которых было не так много в 50-х годах прошлого века. Одна из них вызвала живейший интерес в научных и промышленных кругах. В ней шла речь о новом промышленном способе получения алюминия (о свойствах которого уже тогда немало писали), разработанном профессором химии Высшей нормальной шко-

лы в Париже Девилем. Имя молодого изобретателя было уже известно, его исследования публиковались в научных журналах, а лекции охотно посещали студенты. Химик по призванию, но медик по образованию Анри Сент-Клер Девиля, как и многие выдающиеся французские ученые (Фуркруа, Воклен, Бертолле), еще в ранней юности увлекся химией.

Будучи студентом, изучая ревностно медицину, он на свои скудные средства устраивает небольшую домашнюю лабораторию, где проводит почти все свободные от занятий часы. В течение десяти лет в одиночку, без учителя он пытается, и небезуспешно, проникнуть в тайны строения вещества, постигнуть важнейшие законы химии. За эти годы он многому научился — и получать новые вещества, и изготавливать необходимые для работы приборы. Он сумел заставить себя не впадать в уныние, когда опыт не получался.

Оптимизм важный фактор в работе ученого, но для плодотворных исканий нужно еще и сознание возможности использовать на практике полученные результаты. 1844 год стал переломным в жизни будущего основоположника алюминиевой промышленности. Ему шел 26 год. Уже получен диплом доктора медицины. Анри Сент-Клер Девиля по-прежнему влечет химия. Но никто не предлагает ему работу химика ни в промышленности, ни в учебных заведениях. Казалось, уже нет надежды, что его мечта — посвятить себя любимой науке — исполнится.

Но вот спустя несколько месяцев городской совет небольшого городка Безансона — на юге Франции предложил ему организовать факультет естественных наук. Девиля энергично берется за дело. Вскоре он уже декан и профессор химии нового учебного заведения.

Проходит еще шесть лет, и молодой ученый снова возвращается в Париж, где прошли его студенческие годы.

Высшая нормальная школа приглашает 33-летнего профессора занять кафедру химии. Он горячо берется за работу. Теперь, как он полагает, ему удастся широко развернуть исследовательскую работу.

Главное для химика — это хорошо оборудованная лаборатория, в которой было бы все необходимое для проведения опытов: печи, вакуум-насосы, перегонные аппараты. Нужны, разумеется, и химические реактивы, и разнообразная химическая посуда.

К сожалению, Девилю в наследство от своего предшественника — профессора Анри Балара (того самого, который открыл бром) досталось "помещение для коллекций", как оно официально именовалось. Оно и в самом деле больше оправдывало свое название, чем было похоже на настоящую химическую лабораторию.

Немало пришлось потрудиться Девилю совместно с помощниками, прежде чем в этом помещении стало возможным проведение химических исследований.

Девиль начал с конструирования и усовершенствования лабораторных печей. Изучение процессов образования некоторых минералов, которыми увлекался в это время молодой профессор, требовало высоких температур. Как же их создать в условиях довольно плохо оборудованной лаборатории? Он разрабатывает способ повышения температуры пламени: топливо сжигает в воздухе, обогащенном кислородом. Светильный газ, смешанный с кислородом, дает ослепительное пламя; даже тугоплавкая платина не выдерживает такой температуры. Но возникает новая проблема: какие тигли ставить в этой печи? Ведь обычные фарфоровые быстро размягчаются и разрушаются. И тут выручает интуиция и изобретательность ученого. Девиль находит новые материалы, которые выдерживают температуру 2000 — 3000 градусов. Это оксид кальция и магния. В таких тиглях удается расплавить оксид алюминия с различными добавками.

Охлажденный расплав кристаллизуется, и перед взором восхищенного исследователя в тиглях рождаются кроваво-красный рубин, голубовато-синий сапфир или золотисто-коричневый полупрозрачный циркон. Так в лаборатории Девиля раскрывались тайны превращения оксида алюминия в драгоценные камни. В короткий срок эта лаборатория становится известной не только во Франции, но и во всей Европе. Выдающиеся зарубежные ученые охотно ведут с Девилем переписку, нередко приезжают знакомиться с достижениями талантливого химика.

Девилю было что показать и рассказать своим гостям. Вот прибор, с помощью которого можно наблюдать термическую диссоциацию, сконструированный ученым, а вот образцы титана, впервые в мире полученные в



этой лаборатории. Открытий было так много, что Девиль завел порядок по воскресеньям рассказывать своим гостям о результатах опытов за неделю. С утра сотрудники приводили помещение лаборатории в надлежащий вид, обтирали закопченные стены, подкрашивали столы, разъеденные кислотой или прожженные горячими тиглями.

Ровно в 10 часов двери лаборатории открывались для посетителей. Студенты, профессора и даже академики, а подчас и просто парижане, которые хотели быть в курсе последних научных новостей, неизменно заполняли гостеприимную аудиторию.

**Помогла
поваренная соль**

Опыты с оксидом алюминия, которые столь успешно проводил Девиль, побу-

дили его заняться разработкой способа получения алюминия. Ему хорошо были известны эксперименты Вёлера, который еще в 1827 году смог выделить лишь крохотные крупинки алюминия. Причиной неудачи Вёлера было то, что эти крупинки на воздухе немедленно покрывались тончайшей пленкой оксида алюминия, которая, как броня, защищала их от жара; потому-то и невозможно было сплавить эти крупинки в монолитный кусок металла.

Девиль начал с того, что повторил опыты немецкого ученого. После охлаждения реакционной платиновой трубки он обнаружил в ней блестящие серебристые частицы нового металла.

“Да это же благородный металл! К тому же от так легко. Какое широкое поле применения открывается перед ним, — думал Девиль, — тем более, что сырьем для его получения служит обыкновенная глина”.

Но как же получить большие количества металла? Как же удешевить способ его производства?

Прежде всего Девиль решает заменить в процессе получения металла калий более дешевым натрием и провести лабораторные опыты в крупном масштабе.

Сначала получали хлористый алюминий. Извлеченный из белой глины оксид алюминия смешивали с углем и эту смесь при нагреве обрабатывали газообразным хлором. Выделенный хлористый алюминий загружали в большую железную трубу, в которой на равном расстоянии друг от друга были расставлены керамические сосуды, наполненные металлическим натрием.

При нагреве молекулы $AlCl_3$, который является летучим веществом, легко распадались на составные части. Хлор связывался с натрием, а частицы алюминия оседали на дно трубы. Чтобы их сплавить в более крупные зерна, трубу некоторое время еще нагревали. Полученные зернышки тщательно собирали. Когда их набиралось довольно много, то их плавил в керамическом сосуде и получали слитки металла.

Новый способ производства алюминия оказался очень трудоемким. Но ведь с его помощью впервые получили слитки этого металла. Поистине — это было выдающееся открытие. И недаром сообщение Девиля, сделанное им в Парижской академии наук в середине 1854 года, и особенно лежавший на бархатной подушке маленький слиток серебристого металла вызвали взрыв восхищения у академиков.

Было единогласно принято решение предоставить Девилю из скудных средств академии три тысячи франков для расширения работ по проверке его способа производства алюминия.

Известие о получении нового металла дошло и до императора Франции — Наполеона III. Заинтересованный в использовании алюминия для военных целей, он проникся "блестящей" идеей — одеть своих солдат в легкие алюминиевые кирасы и каски.

Сент-Клер Девилю была назначена аудиенция во дворце. — Франции нужен алюминий и притом в большом количестве, — сказал император.

— Мы пока делаем первые шаги в деле получения алюминия, у меня только скромная лаборатория, Ваше величество, — заметил Девиль.

— Вам выделяют необходимые средства. Заводы Жавеля в Вашем распоряжении. Нужно только немедленно приступить к опытам. Вам будут помогать мои советники — академик Дюма и полковник Фаве.

Заканчивая аудиенцию, император добавил:

— Я считаю, господин Девиль, что из первого же полученного алюминия должна быть отлита медаль с Вашим изображением. Вы вполне этого заслужили.

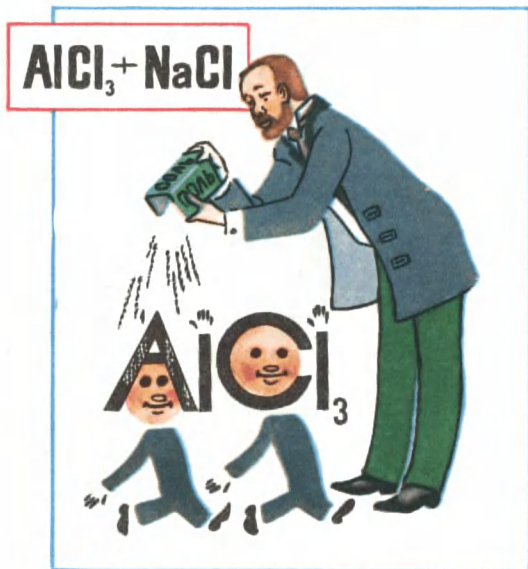
— Большая честь для меня, государь, но приоритет принадлежит не мне, а Фридриху Вёллеру. Его изображение и должно быть выбито на памятной медали, — ответил Девиль. Из дворца он возвращался воодушевленным и несколько обеспокоенным. Сумеет ли он оправдать возложенные на него надежды? Ведь полученный им алюминий еще так дорог — дороже золота, и предстоит еще долгий и упорный труд, чтобы научиться получать дешевый алюминий.

Девиль с головой уходит в работу. В то время стоимость алюминия находилась в прямой зависимости от стоимости натрия. Поэтому Девиль прежде всего ищет средство, как удешевить натрий, — он вносит ряд важных усовершенствований в способ получения этого металла, разработанный Гей-Люссаком и Тенаром.

Но главная трудность в другом — взаимодействие паров хлористого алюминия с натрием нередко протекает со взрывом. Когда в процессе получения алюминия реакцию проводили на лабораторной установке, эти взрывы не представляли серьезной опасности. В заводских же условиях они могли бы вызвать катастрофу.

Девиль нашел способ, как избавиться от взрывов: он заменил хлористый алюминий смесью AlCl_3 с NaCl . Поваренная соль помогла ученому решить сложнейшую проблему. Теперь реакция стала протекать по-иному. Ее участники находились не в газообразном, а в расплавленном состоянии. Результат превзошел ожидания. Не только не досаждали взрывы, но, что самое главное, вместо небольших зернышек алюминия, которые надо было собирать вручную, теперь уже получали значительное количество жидкого металла. Понижилась и себестоимость металла, производимого этим способом. Позднее цена алюминия еще уменьшилась, когда смесь хлористых алюминия и натрия заменили криолитом (Na_3AlF_6).

Опыты на заводах Жавеля увенчались успехом. 18 июля



1855 года был получен первый слиток металла по усовершенствованному способу — за один раз удавалось получать слитки в 6 – 8 килограммов.

В том же году посетители Всемирной выставки в Париже с интересом рассматривали лежавшие в витрине под стеклом небольшие алюминиевые брусочки и тонкие полоски серебристого металла. А год спустя знаменитый химик Дюма докладывал на заседании Французской академии наук об успехах в производстве алюминия.

В 1854 году алюминий на русские деньги стоил 1200 рублей килограмм, а в 1856 году его цена упала до 120 рублей. Это всецело следует приписать неутомимым трудам Девиля.

Дюма демонстрировал присутствовавшим на заседании



академикам каску, изготовленную из алюминия. Каска была красивой, легкой, но слишком дорогой.

Девиль открывает в предместье Парижа — Гласьере — первую в мире мастерскую по производству нового металла.

В тигли, установленные на вагонетках, загружали “по рецепту” смесь двойной хлористой соли алюминия и натрия (10 частей), плавикового шпата (5 частей) и металлического натрия (2 части). Соль сначала плавил. После окончания реакции на дне тигля скапливался жидкий алюминий, который выливали в изложницы. Вскоре, однако, Девиль вынужден был закрыть мастерскую в Гласьере и перевезти все ее оборудование в другое предместье столицы — в Нантерре. Причиной был хлор, которым пользовались для получения двойной соли. Жильцы из соседних домов подали жалобу префекту Парижа, умоляя избавить их от губительного действия хлора.

“Окна квартиры, даже наглухо закрытые, — писали они, — не мешают хлору проникать в жилище. Наши дети не могут играть во дворе. Хлор кладет зеленую печать смерти не только на растения района, но и на лица людей. Мы просим убрать проклятую фабрику хлора подальше от наших домов”.

В глухом и пустынном Нантерре, расположенном в излучине реки Сены, за плотной стеной Булонского леса Девиль мог спокойно продолжать свои исследования. Непрерывно из месяца в месяц увеличивалось и производство алюминия на маленькой фабрике. Удалось понизить цену выпускаемой продукции до 27 франков за килограмм алюминия. Однако она все же несколько превышала стоимость серебра. Поэтому алюминием тогда еще пользовались лишь как заменителем драгоценных металлов, главным образом для изготовления украшений и ювелирных изделий.

Девиль, однако, ясно представлял, какое важное значение для будущего имеет полученный им металл. В его записках мы читаем: "При производстве безделушек алюминий приобретает белый цвет и особый чрезвычайно приятный блеск. Эта особенность металла позволяет добиться исключительного эффекта в гравировании, она допускает выполнение таких деталей, которые не могут быть выполнены на серебре по причине его слишком большого блеска.

Алюминий заменяет драгоценные металлы, поэтому он занимает как бы промежуточное место между простыми и благородными металлами. Мне кажется очевидным, что скоро алюминий будут употреблять везде, где необходим неокисляющийся металл".

Предвидение Девиля осуществилось, но это произошло гораздо позднее, когда были разработаны другие, более совершенные способы промышленного производства алюминия.

Итак, эстафету производства алюминия химическим способом, начатую Вёлером в 1827 году, продолжил Девиль, а вслед за ним русский ученый Н.Н.Бекетов.

Отличается крайней простотой

В 1865 году Н.Н.Бекетов занял кафедру химии в Харьковский университет.

Молодой экстраординарный профессор впервые в России — на 20 лет раньше, чем в Западной Европе — начал читать курс физической химии, изучению которой он посвящает свою научную деятельность. Уже в докторской диссертации, выдвинувшей его в первые ряды русских химиков, он рассматривает одну из фундаментальных проблем физической химии — условия протекания химических реакций в зависимости от природы реагирующих веществ и внешних факторов. Представленные им в диссертации соображения предвосхищают

выводы закона действующих масс.

В те годы Бекетов изучал способность одних элементов вытеснять другие из их соединений. На основе своих опытов он составил таблицы, пользуясь которыми можно было точно предсказать, в каком порядке один элемент вытесняет другой. Пропуская водород через растворы солей различных металлов, он установил, что водород в восстановительном ряду занимает место после свинца и восстанавливает стоящие за ним металлы: медь, ртуть, серебро, палладий, золото, платину.

Переходя от опыта к опыту, он заметил, что металлический алюминий при взаимодействии с оксидом бария становится на его место. Иными словами, алюминий восстанавливает барий.

Этот опыт натолкнул ученого на мысль, что алюминий должен восстанавливать все щелочные металлы из их соединений и оксидов.

“Если глиний (так назывался тогда алюминий. — *Б.Р.*) восстанавливает барий из окиси, то можно было ожидать и подобного его действия на окись калия”, — писал Бекетов в 1865 году.

Чтобы проверить правильность своего предположения, он проделал весьма остроумный опыт. В изогнутый ружейный ствол было положено несколько кусочков едкого кали и металлического алюминия. Ствол нагревался до высокой температуры. При нагревании выделялись пары калия, которые сгущались в холодной части ствола. Вместе с калием выделялся и водород.

Проводил Бекетов и опыты по восстановлению криолита — двойной фтористой соли алюминия и натрия. Впоследствии они были положены в основу промышленного способа производства алюминия.

Разработанный русским ученым способ отличался крайней простотой. В графитовый тигель насыпали размельченный криолит, который тогда в большом количестве

привозили из Гренландии, и куски металлического магния. Тигель плотно закрывали крышкой и ставили в коксовую печь на полтора-два часа. Когда тигель раскалялся добела, его вынимали из печи. После охлаждения тигля из него извлекали блестящие шарики алюминия, которые затем переплавляли в чушки и пластины.

Как видно из этого краткого описания, способ Бекетова немногим отличается от способа производства алюминия, разработанного Девилем. В основе их лежит один и тот же принцип — вытеснение алюминия из его соединений более активным металлом. Но способ русского химика гораздо проще. Главное преимущество способа — возможность использования природного минерала криолита вместо специально приготовляемой хлористой двойной соли алюминия и натрия.

В немецком городе Гмелингене был построен в 1885 году завод, где по способу Бекетова за пять лет было получено 58 тонн алюминия — более четверти всего мирового производства алюминия химическим путем в период с 1854 по 1890 год.

И все же получение алюминия химическим способом не могли обеспечить промышленность дешевым металлом. Они были малопроизводительны, не позволяли получать чистый, без загрязняющих примесей алюминий, а следовательно, и значительно увеличить его производство.

Все это и заставило исследователей в разных странах мира искать новые способы, другие пути производства алюминия в широком промышленном масштабе.

“Я получил его!”

Главная задача состояла в том, чтобы освободить алюминий из “темницы” — вырвать из цепких объятий кислорода в его оксид Al_2O_3

или галогенов в хлористых соединениях. Нужно было восстановить алюминий, превратить его ион Al^{3+} в свободный металл.

Вот тут-то и пришел на помощь ученым электрический ток, ведь самый сильный восстановитель — электрон.

Еще в 1808 году Гемфри Дэви пытался разложить глинозем с помощью мощной электрической батареи, но безуспешно. Спустя почти полвека Роберт Бунзен и Анри Сент-Клер Девиль независимо друг от друга провели электролиз смеси хлорида алюминия и натрия. Они были удачливее своего предшественника и сумели получить маленькие капельки жидкого металла.

Однако в те времена не было еще дешевых и достаточно мощных источников электроэнергии. Поэтому получение алюминия с помощью электролиза представляло лишь чисто теоретический интерес.

В 1867 году была изобретена динамо-машина, а вскоре электроэнергию научились передавать на большие расстояния. Электричество начало властно вторгаться в промышленность.

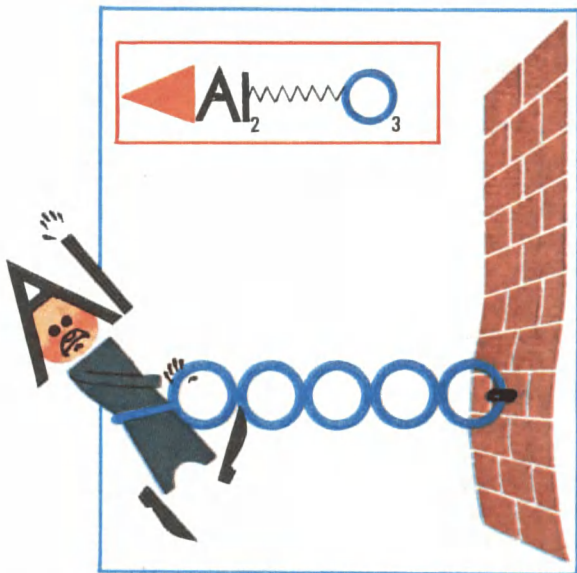
Многие ученые вновь стремятся использовать электрический ток для получения алюминия. Идея, которую не удалось претворить в жизнь Дэви, находит все больше сторонников.

Однако многократные попытки разложить глинозем с помощью электролиза терпят фиаско. Дело в том, что алюминий восстанавливается при температуре свыше 2000 градусов, а переходит в парообразное состояние раньше, при более низкой температуре. Пары алюминия немедленно соединятся с кислородом воздуха и превратятся в белую пыль глинозема. И никакие изменения условий электролиза — силы тока, напряжения, материала электродов — не могут помочь получить чистый алюминий из глинозема.

Невольно напрашивается вывод, что для промышлен-

ного получения алюминия недостаточно мощного источника тока, нужны еще какие-то другие средства. Но какие?

На этот вопрос вскоре дал ответ сын американского провинциального пастора Чарльз Холл. Спустя 22 года после того, как Сент-Клер Девиль сделал в Парижской академии наук свое сенсационное сообщение о новом способе производства алюминия, тринадцатилетний ученик средней школы в захолустном городке Оберлине нашел, разбирая старые книги отца, учебник химии. Книга была без переплета и заглавной страницы, что хотя и огорчило любознательного мальчика, но не помешало ему детально проштудировать ее. Эта находка во многом определила всю его жизнь и будущую деятельность, стала началом увлечения Чарльза химией.



Из старой книги Чарльз впервые узнал об алюминии и его замечательных свойствах.

“Металл плавится при более высокой температуре, чем чугун, — было написано в книге, — и в таком состоянии является проводником электричества; в холодном же состоянии этих свойств не обнаруживает”. Интерес Холла еще более усиливается с поступлением в Оберлинский колледж. В этом учебном заведении было хорошо поставлено преподавание древних языков, богословия и музыки. Но изучение технических дисциплин считалось делом второстепенным.

Будучи студентом, Чарльз Холл по-прежнему верен своему увлечению химией. Он уже прочитал все книги по этому предмету, которые удалось раздобыть в родном городке, и своими знаниями в этой области превосходит многих выпускников колледжа.

Среди прочитанных книг оказалась и книга Сент-Клера Девиля “Алюминий”. Она не только произвела на юношу громадное впечатление; она заставила его всерьез заняться разработкой способов получения этого металла. Какие заманчивые перспективы откроются перед ним, если он научится получать дешевый алюминий. Ведь именно этому металлу уготовано такое блестящее будущее!

Увлеченный этой идеей, восемнадцатилетний юноша устраивает в небольшой башенке, возвышавшейся над двухэтажным отцовским домом, свою “лабораторию”. Здесь он смешивает глину с углем, а иногда и с хлористым кальцием и нагревает их смесью древесного угля и жидкого горючего.

“Конечно, никакого алюминия я не получил, — напишет он впоследствии в своих записках. — Тогда я еще слишком мало знал, нужно было упорно учиться”.

А юному Холлу приходилось еще и зарабатывать на кусок хлеба: в семье пастора, кроме Чарльза, было

шестеро детей. Юноша не гнушался никакой работой. Весной и летом он нанимался к богатым горожанам подстригать газоны, ухаживать за цветами, полоть грядки. Зимой убирал снег на улицах и во дворах. Ему довелось быть и продавцом книг... и печником.

Но как только выдавалась свободная минута, Холл бежал в свою "лабораторию". Там он смешивал глинозем по очереди со всеми реактивами, которые находились в его распоряжении. Полученные смеси нагревал в печи. Но напрасно он торопливо, не дожидаясь, пока тигель полностью остынет, вываливал его содержимое на железный противень. Столь желанные капельки серебристого металла ни разу не заблестели на дне тигля. Однажды Чарльз попробовал провести электролиз водного раствора алюминиевой соли. Вероятно, если бы он был знаком с работами русского химика Н.Н.Бекетова, то не стал бы этого делать. Ведь алюминий в ряду напряжений стоит левее водорода, и на катоде при прохождении тока через водный раствор соли алюминия будет всегда выделяться водород. То, что теперь знакомо любому школьнику, тогда было известно далеко не всем ученым.

Неудача побуждает Холла не проводить больше опытов вслепую, а сначала изучить термохимию. Вооруженный новыми знаниями, он приходит к выводу, что если вода — нестойкий растворитель (она сама разлагается под действием электрического тока), то ее следует заменить химически более стойким. Почему бы не попробовать растворить глинозем в какой-нибудь соли и провести электролиз расплава?

Такая соль должна не только хорошо растворять оксид алюминия, но и резко снизить температуру его плавления (2000°C). И Холл начинает опыты по новому плану. Сначала он попробовал плавиковый шпат (CaF_2), но ничего не получилось; слишком высока была у

него точка плавления. Не вышло с фтористым кальцием — пробуем с фтористым магнием. Однако и эта соль не подошла по той же причине. Почти год продолжались безуспешные поиски. Он неустанно испытывал разные фтористые соли. И чутье исследователя его не обмануло. Лучшим растворителем оказалась двойная фтористая соль алюминия и натрия — криолит. Именно он и есть тот "ледяной камень", "сын гренландских недр", из которого Бекетов вытеснял алюминий магнием и который Девиль добавлял к своей смеси из хлористого алюминия и натрия. "Белый порошок глинозема растворяется в расплавленном криолите так же легко, как сахар в горячей воде, — писал впоследствии Холл. — Температура расплава была всего около 1000°C".



Половина дела была сделана. Теперь оставалось доказать, что электролиз глинозема, растворенного в криолите, даст возможность получать дешевый алюминий.

Чарльз раздобыл в лаборатории Оберлинского колледжа старые ненужные приборы. Остроумие и изобретательность помогли ему “из разных чашек с кусками угля” соорудить электробатареи и получить такой ток, какой был нужен для опытов.

И вот наконец все готово для решающего эксперимента. В глиняном тигле было расплавлено немного криолита. Затем ученый растворил в нем глинозем и через расплавленную массу пропускал электрический ток приблизительно в течение двух часов. И когда он вылил расплавленную массу, то... в ней совсем не оказалось алюминия. Неудача не сломила его, не уменьшила его решимости добиваться поставленной цели. Холл твердо верил, что он на правильном пути. Вновь мысленно он повторяет опыт. Масса расплавилась, глинозем растворилось много, батареи работали непрерывно. В чем же дело?

“Мне пришла в голову мысль, что этой операции могут мешать посторонние вещества, главным образом кремнезем, выделившийся из глиняного тигля. Тогда я решил сделать тигли из угля”, — рассказывал Холл друзьям.

23 февраля 1886 года Чарльз Холл вбежал в кабинет своего учителя Иветта с радостным возгласом: “Профессор, я получил его!” Он протянул вперед руку и разжал пальцы. На ладони молодого ученого лежали двенадцать маленьких шариков алюминия.

**Удивительные
совпадения**

Холлу в то время было 23 года. Он был полон радужных надежд. Ему каза-

лось, что скоро к нему придут богатство и слава — он

сможет организовать крупное производство алюминия в Америке. Но чтобы построить самому завод, у него не было денег, а предприниматели вовсе не стремились вкладывать свои капиталы в производство малоизвестного металла. Два года Холл обивал пороги контор и кабинетов промышленных боссов в разных городах США, горячо расписывая преимущества своего изобретения. Пытаясь заинтересовать промышленников, которые согласились бы его финансировать, он сулил им крупные барыши. Но все его попытки были бесплодны. Казалось, что уже нет никакой надежды реализовать его изобретение. Но вот однажды его познакомили с одним бизнесменом из Питтсбурга — Альфредом Хентом. Опытный делец, он сразу разглядел, какие огромные возможности таит в себе новый способ получения алюминия. Он быстро сговорился с Холлом и энергично взялся за постройку и организацию завода.

18 сентября 1888 года в результате стараний Хента было собрано двадцать тысяч долларов и основана "Питтсбургская восстановительная компания", а в ноябре завод был уже пущен и стал давать по 20 килограммов алюминия в день. На первых порах завод не мог полностью реализовать свою продукцию, хотя цены все больше снижались. Но постепенно дело пошло на лад, покупателей становилось все больше. Алюминий перестал быть полудрагоценным металлом. Низкая цена открыла ему дорогу в самые разнообразные отрасли промышленности и сельское хозяйство.

С ростом производства алюминия на заводе "Питтсбургской восстановительной компании" ширилась слава Чарльза Холла. И, как всегда, появились и завистники. Ими оказались и братья Коулс, за год до открытия Холла организовавшие в Локпорте производство алюминиевой бронзы. В этом сплаве меди и алюминия последнего было не более 10 — 20 %.

Опасаясь, что производство алюминия по способу Холла со временем лишит сбыта их продукцию, они начали выпускать чистый алюминий, тайно пользуясь... изобретением Холла. В то же время, чтобы "убить" своего конкурента, компания Коулс подала на него в суд, заявляя о своем приоритете на этот способ получения алюминия.

Судебный процесс продолжался тринадцать лет, так как ловкие крючкотворы — Коулсы — находили все новые и новые зацепки, чтобы задержать решение суда. Но никакие ухищрения прожженных и жуликоватых дельцов не смогли поколебать истины.

В решении, которое, разумеется, было вынесено в пользу Холла, было сказано:

"Процесс Холла — новое изобретение. Это определенный шаг вперед в производстве алюминия. Холл — пионер в этом деле, и он имеет право на все преимущества, предоставляемые законом о патентах". Коулсы не смогли добиться своего, но тем не менее причинили Холлу много неприятностей, которые замедлили строительство завода в Питтсбурге.

Но все же пальму первенства в создании электролитического способа получения алюминия Чарльзу Холлу пришлось разделить с французом Полем Эру.

Жизнь этих талантливых изобретателей — редкостный пример удивительных совпадений. Оба они родились в одном и том же году — 1863-м. Эру рано проявил склонность к естественным наукам. В пятнадцать лет он, так же как и Холл, прочел книгу Девиля "Алюминий" и, подобно ему, задумал совершить переворот в алюминиевом производстве.

В наследство от отца, который умер, когда Поль был еще студентом, ему достался маленький кожевенный завод. Однако, вместо того чтобы заняться производством кож, Эру распродает по дешевке оборудование.

На вырученные деньги он покупает динамо-машину и начинает проводить опыты по электролизу глинозема. Сначала он повторяет ошибки Холла, пользуясь для электролиза водными растворами алюминиевых соединений. Но после многих неудач, настойчивых поисков и углубленного изучения химии он становится на правильный путь ... и пропускает электрический ток через смесь глинозема и криолита. В 1886 году двадцатилетнему студенту удается выделить металлический алюминий.

И еще одно совпадение. При попытке внедрить свой способ в промышленности Эру сталкивается с теми же трудностями, что и Холл. Алюминий никому не нужен в больших количествах, тем более во Франции — на родине промышленного производства этого металла.

По совету одного из промышленников Эру принимается за разработку способа получения алюминиевой бронзы, которую широко применяли тогда для разных целей. Получив патент на свое новое изобретение, он продал его швейцарской фирме, так как во Франции не нашлось желающих его купить.

“Отложив производство чистого алюминия, я приступил к новой серии опытов и получил сплавы алюминия. Я обращался к промышленникам и капиталистам за финансовой поддержкой. Однако во Франции никто не захотел мне помочь”, — писал он впоследствии с горечью.

Лишь спустя три года патентом Эру заинтересовались и во Франции — в 1889 году был пущен завод, директором которого стал он сам. В последующие десятилетия в приальпийских областях был построен еще ряд алюминиевых электролизных заводов, которые работали по способу Эру и пользовались дешевой гидроэнергией горных рек.

Сбылись мечты Чарьза Холла о славе и богатстве. Он

стал первым президентом "Питтсбургской восстановительной компании", которая впоследствии превратилась в крупнейшую в мире фирму по производству алюминия — АЛКОА (Алюминиевую компанию Америки). Когда в начале девятисотых годов в честь приезда прусского принца в Америку правительством США был устроен прием, среди ста приглашенных видных промышленников был и Чарльз Мартин Холл.

Созданный Холлом и Эру электролитический способ производства алюминия позволил в короткий срок (с 1885 по 1900 год) снизить цены на алюминий в 50 раз и во много раз увеличить его производство. Если во времена выпуска алюминия по способу Девиля — с 1855 по 1885 год во всем мире было произведено около 200 тонн металла, то спустя десять лет после открытия электролитического способа только за один 1896 год было произведено свыше 2000 тонн, а уже через 10 лет выпуск алюминия возрос еще в 10 раз. За тридцатилетие (с 1890 по 1920 год) производство серебристого металла увеличилось в 1650 раз. В истории металлургии никогда не было такого невиданного роста производства металла.

Недаром Эру, выступая в 1911 году на банкете в честь Холла, сказал: "Представляется вероятным, что лет через десять или пятнадцать потребление алюминия сравняется с потреблением меди и, после веков золотого, каменного, бронзового и железного наступит век алюминиевый".

Стоит сказать и еще об одном фантастическом совпадении в биографиях Холла и Эру — оба изобретателя умерли в 1914 году.



В СОЮЗЕ С ХИМИЕЙ И ЭЛЕКТРИ- ЧЕСТВОМ

Два важных открытия

открыли новый способ производства алюминия, К.И.Байер, инженер Тентелевского химического завода в Петербурге (ныне завод "Красный химик"), сделал два важных открытия, которым суждено было вписать яркую страницу в историю развития алюминиевой промышленности.

В поисках эффективной протравы для крашения ситцевых тканей он обратился к гидроксиду алюминия. Разрабатывая способ получения чистого $Al(OH)_3$, он подметил одну особенность. Она и была положена в основу запатентованного им способа.

"Открытый автором способ, — гласил патент, выданный Байеру в 1885 году, — основан на том наблюдении, что раствор алюмината начинает разлагаться, если при непрерывном движении жидкости добавить к ней гидрат глинозема, выделившийся либо вследствие самопроизвольного разложения, либо же при помощи углекислоты, и что разложение продлится в течение определенного времени — до тех пор, пока молекулярные количества глинозема и оксидов натрия не будут относиться друг к другу как 1:6'.

До изобретения К.И.Байера гидроксид алюминия, или, по его выражению, "гидрат глинозема" выделяли из алюминатных растворов, пропуская через жидкость углекислый газ. Под действием CO_2 дорогая каустическая сода превращалась в дешевую карбонатную, устойчивость раствора резко снижалась и гидроксид алюминия выпадал в осадок.

Вскоре Байер, продолжая изучение алюминатных растворов, сделал второе важное изобретение, которое позволяло использовать маточный раствор после выделения гидроксида алюминия для извлечения глинозема из бокситов.

Новый патент, выданный ему в 1888 году, предусматривал очень простой циклический процесс. Боксит обрабатывали под давлением при $160 - 170^\circ\text{C}$ в автоклаве предварительно упаренным маточным алюминатным раствором. Затем раствор разбавляли, вводили затравку, с которой перемешивали его в течение нескольких суток. Выделившийся гидроксид алюминия отделяли, раствор упаривали и направляли вновь на выщелачивание.

Изучение процесса выщелачивания бокситов при разных температурах показало, что при низких температурах растворяются только гидрагилит и бемит. Диаспор растворим лишь при $200 - 205^\circ\text{C}$ и более высокой температуре.

К.И.Байер не только придумал способ получения чистого глинозема, но и разработал соответствующую аппаратуру для его осуществления, которая с незначительными конструктивными изменениями применяется и поныне (реактор для разложения раствора алюмината натрия, автоклавы для выщелачивания бокситов). Изобретение петербургского химика было как нельзя кстати. Оно не только помогло текстильщикам повысить качество кумача, но, что было еще важнее, обес-

печило возможность получения чистого глинозема, в котором так нуждалась алюминиевая промышленность. К.И.Байер, прекрасно сознававший важность своего открытия, энергично взялся за его внедрение. Уже в 1893 году, спустя всего лишь год после проверки байеровского способа выщелачивания на Елабужском заводе, во Франции был пущен первый крупный глиноземный завод, снабжавший своей продукцией алюминиевую промышленность. Первым директором этого завода стал К.И.Байер. Позднее разработанным им способ стал широко применяться в других странах Европы и в США. И в наши дни байеровский метод производства чистого глинозема не только не утратил своего значения, но и получил дальнейшее развитие. В настоящее время его по-прежнему используют как ведущий метод на глиноземных и алюминиевых заводах.

Спустя пять лет после опубликования К.И.Байером своих патентов русский инженер Д.А.Пеняков запатентовал другой способ производства глинозема из бокситов. Дорогостоящие щелочи — кальцинированную соду и едкий натр — он заменил глауберовой солью. Смесь мелкоизмельченного боксита, глауберовой соли и угля подвергали спеканию в трубчатой вращающейся печи при 1200°C . Алюминат натрия выщелачивали из спека водой, затем алюминатный раствор карбонизировали (продувая через него двуоксид углерода), в результате чего гидроксид алюминия выпадал в осадок, а в растворе оставалась сода. Сернистый газ, выделявшийся при спекании смеси, использовали для получения из поваренной соли новых порций глауберовой соли и соляной кислоты.

Способ Пенякова не нашел применения в России, но был немедленно использован за границей. В Бельгии построили глиноземный завод, который успешно работал до осени 1914 года, пока в начале первой мировой

войны не был разрушен немецкими войсками, оккупировавшими страну. Способ Пенякова применяли и во Франции, особенно в тех случаях, когда невозможно было получать глинозем из алюмосиликатов по способу Байера.

Значительный вклад в развитие производства глинозема в XX веке внесли русские ученые А.Н.Кузнецов, Е.И.Жуковский, А.А.Яковкин. Особенно ценными для производства алюминия из бокситов с помощью электрического тока были работы В.П.Ильинского и П.П.Федотьева. В 1912 году они опубликовали капитальный труд "Экспериментальные исследования по электрометаллургии алюминия". Книга была сразу переведена на многие иностранные языки и стала настольной для металлургов всего мира.

К тому времени электролитическому способу производства алюминия уже исполнилось четверть века. Он полностью вытеснил с алюминиевых заводов химический способ и получил "прописку" в девяти странах. Тем не менее его теория не была еще разработана, и производство алюминия базировалось целиком на эмпирических данных.

Создатели электротермического способа получения алюминия Чарльз Холл и Поль Эру были талантливыми изобретателями, но не учеными, обладавшими глубокими теоретическими знаниями. Они быстро превратились в крупных промышленников, всецело занятых расширением производства металла и конкуренцией.

На каждом заводе существовал свой рецепт приготовления электролита, который хранился в тайне. Сведения о растворимости глинозема в криолите, так же как и о температуре расплавов глинозема в криолите, были противоречивы.

В работе петербургских ученых впервые были изучены диаграммы плавкости систем фтористый натрий — фто-

ристый алюминий и криолит — глинозем. Работа была выполнена столь тщательно, что исследователи, повторившие изучение этой системы в 1935 и 1956 годах, получили те же результаты. Было также установлено, что максимальная растворимость глинозема в криолите составляет 20,7 % (по массе).

Но главная заслуга В.П.Ильинского и П.П.Федотьева состояла в том, что они провели тщательное исследование по выбору оптимального состава электролита, а также выяснили, как на растворимость глинозема в криолите и температуру расплава влияют добавки фтористых солей натрия, кальция и алюминия.

Еще за три года до опубликования работы В.П. Ильинского и П.П. Федотьева другой русский ученый Н.А. Пущин исследовал условия плавления криолита и доказал возможность получения алюминия из уральских соймонитов. В 1914 году он совместно с Э. Дишлером и М. Максименко напечатал статью "О получении алюминия из русских минералов электролитическим способом". В ней был изложен разработанный этими учеными метод. Они даже получили в лаборатории четыре килограмма алюминия из отечественного сырья. В то время еще не были разведаны богатые залежи бокситов, скрытые в недрах Урала и других месторождений на территории нашей страны. Поэтому пророческими оказались их слова, что сырьем для получения глинозема станут бокситы и различные гидраты оксида алюминия, которые будут найдены на территории России. Не менее важным было и их указание, что криолит можно использовать как гренландский, так и искусственный, приготовляемый по методу Н.Н. Бекетова.

Разработанные русскими учеными промышленные способы производства глинозема и алюминия не смогли найти практического приложения в царской России, хотя правительство с самого начала первой мировой

войны всячески поощряло разведку алюминиевых руд и не раз пыталось организовать алюминиевую промышленность.

Еще в 1898 году Д.И. Менделеев, ратовавший за создание отечественной алюминиевой промышленности, способствовал организации небольшого завода по производству алюминия электро-термическим способом, который вскоре закрылся из-за недостатка сырья. Позднее, в 1904 году — во время русско-японской войны — была сделана еще одна попытка построить алюминиевый завод, но и она не увенчалась успехом.

В 1916 году учреждена особая комиссия при Главном артиллерийском управлении, которую возглавил профессор А.П. Курдюмов. Комиссии была поручена постройка алюминиевых заводов в России. В 1917 году намечена постройка глиноземного завода в Самаре. В том же году под руководством профессора Есьмина проведено гидротехническое обследование нескольких рек на Черноморском побережье Кавказа. По его результатам следовало выбрать место для постройки гидроэлектростанции и завода по производству алюминия. Однако эти работы так и остались незаконченными.

Всем благим начинаниям авторитетной комиссии препятствовало, прежде всего, отсутствие нужного количества электроэнергии, а кроме того, и иностранные концерны, продававшие России алюминий по высоким ценам. Они не желали терять свои огромные барыши.

Хотя потребление алюминия в дореволюционной России было ничтожно малым — в 28 раз меньше, чем во Франции, и в 32 раза меньше, чем в США (в 1913 году его было ввезено всего 400 тонн), тем не менее Россия за четверть века выплатила иностранным капиталистам свыше 40 миллионов золотых рублей. Этой суммы с избытком хватило бы на постройку и оборудование нескольких отечественных глиноземных и алюминиевых заводов.

Царское правительство так и не смогло создать в России алюминиевую промышленность, хотя было и сырье в изобилии, и мощные гидроресурсы для строительства электростанций, были и талантливые инженеры и ученые, внесшие весомый вклад в развитие мирового производства алюминия.

Только после Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране была наконец создана мощная алюминиевая промышленность, успешно развивающаяся и работающая ныне на отечественном сырье.

**Под знаменем
Октября**

В 1921 году Советское правительство пригласило группу американских геологов для разведки месторождения бокситов, открытого П.П. Тимофеевым еще в конце первой мировой войны. Совместно с советскими геологами под руководством профессора С.Ф. Малявкина они вскоре принялись за работу. Спустя некоторое время, отобрав ряд проб боксита и обнаружив в них высокое содержание кремнезема, американцы заявили: "Тихвинские бокситы годятся лишь для глинобитных построек, а не для получения из них алюминия"... и работу прекратили.

Однако профессор Малявкин вместе со своими помощниками продолжал подробное изучение тихвинских месторождений бокситов. К 1924 году было уже выявлено двенадцать крупных месторождений и подсчитаны их запасы. Действительно, во всех залежах бокситы содержали большое количество кремнезема — от 2,5 до 10 %. Между тем на глиноземных заводах мира перерабатывается боксит с содержанием кремнезема не выше 3—4 %.

В то же время экспедицией Института по изучению Севера под руководством академика А.Е. Ферсмана на

Кольском полуострове были открыты громадные месторождения апатито-нефелиновых руд.

Таким образом, рудная база алюминиевой промышленности за короткий срок пополнилась новыми видами сырья. Однако сырье, принятое позднее в мировой практике производства глинозема, — высокосортные бокситы — тогда еще не было обнаружено.

Потому некоторые ученые и руководители промышленности стали высказывать сомнения в возможности создания в СССР производства алюминия на собственном сырье и своими силами.

Развернулись бурные споры. Одни предлагали развивать в стране добычу меди и магния ... и избыток этих металлов обменивать за границей на алюминий, другие же авторитетно заявляли: "Нечего обезьяну выдумывать. Нам некогда заниматься исследованиями и научными проблемами, нам нужны десятки и сотни тысяч тонн советских легких металлов. За границей их добывают, следовательно, умеют работать. Берите заграничные методы и технику, переносите ее к нам и давайте скорее советский алюминий".

Даже крупнейший специалист в области электрометаллургии алюминия профессор П.П. Федотьев оказался в лагере малoverов. Выступая в 1924 году на II съезде научных деятелей по металлургии в Ленинграде, он сказал:

"Реализация алюминиевого производства в России, как дело очень сложное и требующее больших одновременных затрат, при необеспеченности, кроме того, собственным сырым материалом для приготовления глинозема — в настоящее время предприятие безнадежное". Однако настроение большинства советских металлургов и делегатов съезда было совсем иным. В принятой съездом резолюции прежде всего отмечалось, что создание собственного производства алюминия крайне необ-

ходимо для Советской республики и для этого имеется все необходимое как в части сырья, так и в отношении источников дешевой электроэнергии (на Севере, на Кавказе и на Днепровских порогах).

Перед металлургами ставились весьма важные и широкие задачи — в первую очередь разрабатывать способы получения глинозема не только из высокосортных бокситов, но и из других видов отечественного сырья. Сразу же наметился комплексный подход к проблеме — извлекать из руд наряду с алюминием и другие ценные для промышленности продукты. Ведь из глин можно получать активный кремнезем, который используют в качестве добавки к портландцементу, из алуни-тов — серную кислоту и квасцы, из нефелинов — поташ и соду.

Работы по созданию способов переработки алюминиевого сырья приняли невиданный размах. В них участвовали сотрудники крупнейших научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений страны — Государственного института прикладной химии (ГИПХ), ленинградского Горного и ленинградского Политехнического институтов, Института прикладной минералогии (в Москве и на Украине), Государственного научно-исследовательского института цветных металлов и многих других.

Результаты не замедлили сказаться. За короткий срок были разработаны способы получения глинозема не только из боксита, но и из самых разнообразных видов алюминиевого сырья: из алуни-тов — щелочной, аммиачно-щелочной, сернокислотный, из нефелинов — сернокислотный, спекание. Были также разработаны методы выделения глинозема из отходов нефтяной промышленности, из золы каменных углей и сланцев.

Важную роль в дальнейшем развитии советской алюминиевой промышленности сыграл разработанный профес-

сором А.А. Яковкиным способ получения глинозема. Еще в 1916 году в лабораторных условиях им был исследован способ спекания бокситов с содой и известняком. В 1920–1922 годах ученый проверил этот способ в лаборатории Государственного института прикладной химии применительно к тихвинским бокситам, для которых он оказался самым простым и выгодным. При этом способе измельченный боксит и известняк смешивают с содой и нагревают во вращающихся печах при 1150–1250 °С. Полученный спек измельчается и поступает на выщелачивание. Образующийся при выщелачивании красный шлам выбрасывают в отвал. Алюминатный раствор подвергают разложению на гидроксид алюминия и едкую щелочь. Осадок гидроксида алюминия отфильтровывают, промывают и для получения глинозема направляют на кальцинацию, как в способе Байера.

Позднее инженер В.А. Мазель разработал другой вариант этого способа — мокрое спекание, имеющий ряд преимуществ перед сухим спеканием: более высокую производительность размола, меньшие потери шихты, отказ от ряда технологических операций. Он был принят на некоторых алюминиевых заводах, в частности на Волховском.

Способ Яковкина в 20-х годах был также проверен на полузаводской установке и оказался вполне эффективным.

“Простота и успех этого способа, — писал А.А. Яковкин, — вызвали подражание и на Севере, и на Юге нашего Союза: начали изучать его в применении и к хибинским нефелинам, и к украинским глинам”.

Изучением возможности получения глинозема из тихвинских бокситов занимались и другие ленинградские ученые. Еще в 1915 году профессора Горного института А.Н. Кузнецов и Е.И. Жуковский предложили электро-

термический способ переработки бокситов. Боксит плавил в электропечи с карбонатом бария и антрацитом. Железо и кремний, содержащиеся в боксите, восстанавливались, образуя железокремниевый сплав — ферросилиций (в нем было 20 % кремнезема). Алюминий, вступая в химическую реакцию с барием, превращался в алюминат бария — шлам, который выщелачивали раствором соды.

Опыты по получению алюминия из отечественного сырья профессор Е.И. Жуковский проводил в полутемном подвале Горного института. При пропускании тока со дна электролизной ванны, выложенной угольными плитами, в состав которых входила каменноугольная смола, поднимался газ с резким и неприятным запахом, который проникал в квартиры жилого флигеля, где жили сотрудники института. Даже академик И.М. Губкин, который жил на пятом этаже, неоднократно требовал закрытия "адской кухни". Однако Жуковский, не обращая внимания на жалобы соседей, не прекращал опытов до тех пор, пока не извлек из ванны первые порции расплавленного алюминия. Образцы полученного металла профессор Кузнецов демонстрировал на Первом Всесоюзном совещании по цветным металлам в 1925 году в Москве. Он заявил, что в настоящее время вопрос о получении у нас алюминия должно считать решенным в положительном смысле. Тихвинское месторождение боксита обеспечивает на многие годы потребность алюминия для нашей промышленности.

Оставалось еще предложенный электротермический способ проверить в полужаводских условиях. Это выполнили на Царицынской опытной станции под Москвой (ЦОС).

Во время первой же плавки шихты в небольшой электропечи (мощностью всего 100 киловатт) произошел

взрыв. Никто, к счастью, не пострадал, но после этого рабочие стали относиться к опытам с опаской. Не раз приходилось останавливать печь, выбивать ломami застывший шлак, менять футеровку. Не меньше хлопот доставляли и процессы выщелачивания шлака. Когда шлак загрузили в шаровую мельницу для размола и пустили в нее воду, то вместо измельченного алюмината бария получили монолитную глыбу с вмурованными в нее стальными шарами. Шлак так сильно зацементировался, что извлечь его не было никакой возможности.

Подобные неудачи не останавливали испытаний и не уменьшали энтузиазма исследователей. Всего было опробовано двенадцать различных вариантов технологической схемы переработки бокситов на глинозем. Лишь при проверке последнего варианта удалось наконец получить белый порошок чистого глинозема.

Еще до революции в России научились из глинозема получать алюминий в лабораторных условиях. Такие опыты проводились в Политехническом институте еще в 1910—1912 годах П.П. Федотьевым. Позднее и в других высших учебных заведениях страны преподаватели наладили практикум по электролизу алюминия. Пользовались тогда исключительно импортными материалами, выход алюминия измерялся граммами и килограммами.

Перед советскими учеными и инженерами встала грандиозная задача: в возможно короткий срок запроектировать и построить гигантские по масштабам того времени алюминиевые комбинаты производительностью 15 и 45 тысяч тонн в год. Где же взять необходимые для проектирования данные?

Иностранные фирмы охраняли свои производственные секреты пуще многоглазого Аргуса. Они отнюдь не торопились поделиться своим опытом с металлургами

молодой Советской республики. Переговоры, начатые тогда с французскими и немецкими капиталистами о технической помощи, умышленно затягивались иностранцами, которые выставляли кабальные условия. Французская фирма "Але, Фрож и Комарг" была согласна обучать советских инженеров и рабочих на своем заводе, который готова была построить... на территории Советского Союза на свои средства. Разумеется, такие условия были неприемлемы.

Немецкая фирма "Фарбен индустри" — крупнейший химический концерн в Европе — запросила за способ производства глинозема по патенту Хагслунда 18 миллионов марок. Платить такие бешеные деньги иностранным капиталистам наше государство не имело возможности.



А сведений, полученных в институтских и заводских лабораториях, было явно недостаточно для проектирования.

Для лучшей координации работ по проектированию и строительству алюминиевых заводов в молодой советской стране 2 октября 1928 года председателем Высшего Совета Народного Хозяйства В.В. Куйбышевым был издан приказ о создании "Алюминстроя" (Управления по строительству алюминиевых заводов).

Из своего сырья

Спустя примерно три недели произошло еще одно важное событие, во многом способ-

ствовавшее развитию советской алюминиевой промышленности. По инициативе С.М. Кирова — тогда секретаря Ленинградского областного комитета партии — Ленинградский областной совет народного хозяйства (ЛОСНХ) поручил П.П. Федотьеву провести укрупненные опыты по получению алюминия на заводе "Красный выборжец". Федотьев не сомневался в успехе и горячо принялся за дело. Не менее энергично работали и его помощники.

На заводе были установлены электролизные ванны на 2000 ампер. Ток поступал от недавно построенной Волховской ГЭС, которая вскоре должна была дать жизнь первенцу — Волховскому алюминиевому комбинату. Все исходные материалы для электролиза были отечественного производства: глинозем получен на опытном заводе ГИПХ, криолит поступил с Царицынской опытной станции, а электроды изготовлены Кудимовским заводом "Электроугли".

Несмотря на свой громадный опыт химика и металлурга, а П.П. Федотьев по праву считается основоположником электрометаллургии цветных металлов в нашей стране, ученый волновался.

"Предстояло" решать задачу со многими неизвестными,—

писал он, — и прежде всего, определить пригодность принятого соотношения конструктивных элементов ванны. Управление последовательно включенными ваннами, работа с разным числом анодов, характер их обгорания, одиночная и групповая их регулировка, установление ... режима работы, выпуск металла — все это надлежало изучить и установить путем непосредственного опыта. Дело приходится начинать с совершенно неподготовленным персоналом”.

Спустя четыре месяца после начала укрупненных опытов был получен первый советский алюминий.

28 марта 1929 года в “Ленинградской правде” была опубликована заметка, в которой сообщалось об успехе советских металлургов, о том, что на опытной установке “Красного выборжца” впервые получено из од-



ной ванны восемь килограммов металлического алюминия... Вдумайтесь в эту цифру — восемь килограммов! Вот с чего начинала наша алюминиевая промышленность.

Из полученного алюминия изготовили различные изделия и подвергли их всевозможным испытаниям. Качество металла не уступало зарубежным образцам. Это было крупным успехом, предопределившим дальнейший путь развития советской алюминиевой промышленности.

Полученные несколько сот килограммов металла посрамили маловеров, стали внушительным доказательством творческой инициативы советских ученых и инженеров, их способности организовать производство алюминия целиком из своего сырья, без решающей помощи со стороны иностранных специалистов и капиталистов.

Итак, за короткий срок произошла чудесная метаморфоза "алюминиевых дел". В СССР были найдены огромные запасы сырья, разработаны способы его переработки, успешно прошедшие проверку в полупромышленных условиях, стало налаживаться производство вспомогательных материалов.

2 августа 1929 года Совет Труда и Оборона принял постановление — довести к концу первой пятилетки выплавку алюминия до 20 тысяч тонн в год. Для выполнения этого постановления Высшему Совету Народного Хозяйства СССР было предложено приступить к постройке двух алюминиевых комбинатов — Волховского (на базе Волховской ГЭС) производительностью 5 тысяч тонн алюминия в год и Днепровского в районе Днепрогэс мощностью 15 тысяч тонн.

По тем временам это была грандиозная задача. Намеченная производительность двух советских комбинатов превышала годовое производство алюминия такой развитой капиталистической страны, как Англия, а Дне-

провский комбинат должен был стать крупнейшим алюминиевым предприятием в Европе.

В Государственном институте по проектированию металлургических заводов создали специальную группу по проектированию алюминиевых предприятий. Из нее позднее возникли Гипроалюминий и НИСалюминий, преобразованные затем в ВАМИ.

К решению о строительстве этих комбинатов пришли не сразу, оно рождалось в бурных дебатах и жестоких спорах. Сотрудники Алюминстроя считали, что сначала нужно строить Днепровский алюминиевый комбинат, на котором глинозем следует получать по способу Кузнецова — Жуковского. Он был выбран, как наиболее совершенный испытанный из пяти других способов, которые рассматривались на техническом совете Гипромеца. Но Ленинградский Областной комитет партии и Совет Народного хозяйства настаивали на строительстве в первую очередь Волховского алюминиевого комбината. Он был бы обеспечен дешевой электроэнергией Волховской гидроэлектростанции и Тихвинскими бокситами, залежи которых находились всего в нескольких километрах от будущего завода. К тому же, что немало важно, в четырех часах езды расположен крупнейший индустриальный центр — Ленинград. А ведь как понадобилась бы при пуске нового производства помощь самых разнообразных специалистов.

Некоторым металлургам запланированная мощность казалась нереальной, фантастической. “Не имея практического опыта, браться сразу за строительство таких гигантов — безумие, — говорили они. — Достаточно для начала 2—3 тысячи тонн алюминия в год”.

Алюминий — стратегический металл. Он был нужен в больших количествах первому социалистическому государству, окруженному тогда враждебным кольцом капиталистических стран. Поэтому намеченная производитель-

ность двух первенцев алюминиевой промышленности в 5 и 15 тысяч тонн была необходима.

Волховский комбинат решили пустить на год раньше, чтобы полученный там опыт и подготовленные кадры рабочих и специалистов использовать на Днепровском комбинате.

Для проектирования комбинатов понадобились данные, которые можно было получить только практическим путем. Поэтому в сентябре 1929 года в Ленинграде начали строительство Опытного алюминиевого завода (ОАЗ). Этот завод разместился в одном из пустующих зданий старого бездействующего предприятия на набережной Невки. В его задачу входила проверка различных конструкций электролизных ванн, лучшую из которых предполагалось использовать на строящихся заво-



дах. Одновременно намечалось освоение в производственных условиях электролитического метода производства алюминия из сырья разных видов. Большое внимание уделялось подготовке квалифицированных рабочих и инженеров.

По предложению С.М. Кирова дирекция завода стала подбирать рабочих из числа бывших красноармейцев — артиллеристов. Тех, кто изъявлял желание работать на ОАЗе, даже досрочно демобилизовывали. На завод пришли молодые парни, спаянные боевой дружбой и дисциплиной. Вятские, вологодские, красноярские ребята жадно тянулись к знаниям, одолевая премудрости физики, химии и математики.

С.М. Киров лично следил за строительством завода. По его указанию шло бесперебойное снабжение необходимыми материалами.

Результаты не замедлили сказаться. Уже в конце апреля 1930 года, спустя семь месяцев после начала строительства, были закончены монтажные работы, установлено 20 ванн различных конструкций, а 11 мая в присутствии С.М. Кирова были получены первые слитки советского алюминия. Через несколько дней из алюминия отлили болванки, а затем прокатали их в листы. По качеству металл не уступал зарубежному.

Не прошло и двух месяцев, как в 127 километрах от Ленинграда было выбрано место для строительства Волховского алюминиевого комбината.

**Невзирая
на трудности**

Уже с первых дней строители столкнулись с необычными трудностями. Они

усугублялись еще и тем, что в стране не хватало технических средств и было много других важных строек.

Ветеран глиноземной промышленности Г.В. Друцкая вспоминает, что строительство начиналось в очень тяже-

лых условиях. Размещение оборудования запаздывало. Чертежи монтажа агрегатов и фундаментов нередко поступали к строителям после того, как было готово здание, рассчитанное на другие габариты.

Еще большим злом была текучесть рабочей силы. Прибывавшие на строительство рабочие оставались только на "сезон", то есть до начала весенних полевых работ. Ведь в ту пору Россия была еще крестьянской.

Получать глинозем на Волховском алюминиевом комбинате предполагалось по методу профессора А.А. Яковкина — спеканием. Глиноземное производство пришлось создавать, что называется, "от нуля", не рассчитывая ни на чью помощь.

От молодых проектировщиков требовалась большая смелость, инженерная интуиция и достаточно хорошее знание смежных отраслей промышленности, чтобы выбрать подходящее оборудование. И тогда, учитывая все трудности, правительство разрешило, несмотря на дефицит иностранной валюты и скудные запасы золота, закупить оборудование за границей.

Для ускорения пуска завода монтаж оборудования (которое поставляли главным образом иностранные фирмы — "Фельнер и Циглер", "Маффей", "Миаг", "Грепель") вели одновременно с постройкой заводских зданий.

В ночь на 12 мая 1932 года были пущены электролизные ванны, а наутро правительственная комиссия приняла завод. Спустя месяц первый советский алюминий начали получать ленинградские машиностроительные заводы.

Вскоре наступил день, когда мощные крылья и пропеллеры самолетов, изготовленные из волховского алюминия, разнесли по всей нашей необъятной стране радостную весть о серебристом металле, "родившемся" на берегах древней русской реки.



И В РАКЕТЕ, И В ЛАЙНЕРЕ

Любимец авиаторов и астронавтов

Знаете ли вы, что оболочка первого отечественного спутника была сделана из алюминиевого сплава? Из различных его модификаций изготавливают теперь детали на космических аппаратах — кронштейны, крепления, шасси, футляры и корпуса для многих инструментов и приборов. Эти сплавы применяют и для изготовления корпусов метеорологических ракет. С их помощью изучают изменения, происходящие в верхних слоях атмосферы, служба погоды составляет свои прогнозы.

Издавна наша ближайшая соседка — Луна — привлекала внимание человека. Поэты сочиняли в ее честь стихи, астрономы высказывали различные гипотезы о ее строении, писатели-фантасты описывали полеты на Луну.

На экранах телевизоров мы видели "будничное чудо": по Луне, объезжая воронки, ловко спускаясь по скатам, выбирая более удачный путь, словно наделенный "собственным мышлением", двигался советский луноход. На самом деле луноход потому так "умен", что каждый шаг его контролировался с Земли. Внимательно следили на Земле люди за удивительной машиной, послушно выполняющей в Космосе их команды. Каким же надежным и вместе с тем легким должен быть материал, из которого сделан луноход!

И здесь конструкторы не обошлись без алюминиевых сплавов. Если когда-то предрекали наступление алюминиевого века на Земле, то появление замечательной машины, кажется, говорит, что для алюминиевого века настала очередь и на Луне.

16 июля 1969 года с мыса Кеннеди в штате Флорида был запущен космический корабль "Аполло-11", которым командовал Нил Армстронг. Спустя три дня после запуска космический корабль вышел на орбиту вокруг Луны, а еще через день лунный отсек опустился на Луне — в Море Спокойствия. Астронавты пробыли на Луне всего несколько часов, провели ряд научных экспериментов и наблюдений, собрали образцы лунного грунта.

Успех лунной экспедиции, которую готовили почти



десять лет, обязан не только тщательности подготовки, мастерству и выдержке космонавтов, но и ... алюминиевым сплавам.

Для запуска космического корабля и лунного отсека была построена ракета "Сатурн" массой около 3000 тонн, которая создает огромное тяговое усилие за счет взаимодействия жидкого кислорода (температура минус 181°C) и жидкого водорода (температура минус 252°C). Громадные размеры и масса ракеты зависят от величины баков для горючего, которые должны быть большой емкости. К материалу для их изготовления предъявляются особые, весьма жесткие требования. Это должен быть легкий, очень прочный сплав, который к тому же не боится коррозии. Есть и еще одно важное условие: сплав должен хорошо свариваться и не изме-



няться со временем. Ведь если в баках, в их сварных швах появятся трещины, то может произойти преждевременное взаимодействие между водородом и кислородом. И тогда взрыв гигантской силы уничтожит и ракету, и все вокруг.

Положение осложняется еще тем, что таких швов в баках много, к тому же они часто пересекаются. Поскольку оба вида ракетного топлива имеют низкую температуру, необходимо, чтобы сплав, выбранный для изготовления днищ и стенок баков, не становился хрупким в таких условиях.

Выбирая материалы, соответствующие комплексу этих требований, конструкторы остановились на алюминиевом сплаве, в состав которого входят еще медь и марганец.



Именно этот сплав обладал требуемыми свойствами и к тому же был "равнодушен" к солнечной радиации.

Из подобного сплава были изготовлены баки для американских ракет "Тор" и "Титан" для запуска на орбиту Земли первых американских спутников. Более полувека назад алюминий прочно связал свою судьбу с авиацией, помог превратить появившиеся на заре авиации летающие "этажерки" в громадные лайнеры. Ему мы обязаны покорением воздушной стихии, и потому его называют "крылатым металлом".

В 1919 году в воздух поднялись первые самолеты из дуралюмина — сплава, содержащего, кроме алюминия, не более 5 % меди, 1,7 % магния и 1,2 % марганца. В СССР дуралюмин был выпущен в 1922 году Кольчугинским заводом по обработке цветных металлов и наз-



ван в честь завода — кольчугалюминием. Из него было изготовлено много деталей первого отечественного цельнометаллического самолета АНТ-2.

Из дуралюмина делают лопасти пропеллера, элементы крыла, кронштейна, волноводы и множество других деталей самолетов.

В наше время значительно увеличилась скорость и особенно дальность полетов воздушных лайнеров. Чтобы самолет мог лететь длительное время без посадки, он должен брать с собой достаточно большой запас горючего, которое хранится в баках, размещенных в крыльях и фюзеляже. Изготавливают их также из алюминиевых сплавов (а не из стали): они легче, дешевле и не боятся коррозии.

На соединение различных деталей — листов, плит, балок — в современном самолете среднего размера требуется почти полмиллиона заклепок из дуралюмина или других новых специальных сплавов, которые в момент обработки должны быть пластичными, а с течением времени становились твердыми и прочными.

Почему же дуралюмин больше всего полюбился конструкторам самолетов? Какими замечательными свойствами он их пленил? Прежде всего потому, что он легко поддается любой механической обработке: прокатывается в листы, вытягивается в трубы, прессуется в виде балок различного сечения и формы. Но пожалуй, главное его достоинство в том, что он становится тверже и прочнее, если полежит несколько дней при комнатной температуре. И, что самое интересное, он не теряет при этом пластичности. Так, спустя семь суток после закалки дуралюмин становится в три раза прочнее. Это позволяет изготавливать из него различные сложные детали. Такая способность дуралюмина к "старению" (присущая и другим алюминиевым сплавам) была впервые обнаружена немецким ученым А. Вильмом.

Кому обязаны?

Еще древним металлургам было известно, что если к железу добавить другие металлы, то его прочность повысится во много раз.

В средние века особенно славились дамасские булатные клинки. Они были тверды, как камень, упруги, как резина, остры, как бритва. Булатным клинком можно было рубить кости и гвозди, рассекать тончайшую шелковую ткань.

Дамасскую саблю можно согнуть, но нельзя сломать, она со звоном распрямляется. Долгое время не удавалось раскрыть тайну получения булатной стали. Лишь в конце прошлого века установили, что древние оружейники добавляли к железу графит и немного вольфрама. А в двадцатых годах прошлого века выдающийся английский физик и химик Фарадей обнаружил в клинках из древней индийской стали алюминий.

Когда алюминий в 90-х годах XIX столетия вышел на промышленную арену, металлурги занялись поисками способов его упрочнения, вернее, подбором металлов, с помощью которых можно было бы получить прочные и легкие сплавы.

Шесть лет под Берлином проработал немецкий химик А. Вильм, пытаясь создать такой алюминиевый сплав, который удовлетворял бы требованиям придирчивых заказчиков. Какие только металлы не пробовал он добавлять к алюминию. Были среди них не только медь, магний, цинк, титан, но даже такие редкие металлы, как бериллий, молибден, вольфрам. Он изготовил тысячи разных сплавов, но все они не имели желаемой прочности.

И вот однажды, после бесконечных неудач, пришел наконец долгожданный успех. Изготовив несколько образцов алюминиевого сплава с добавками меди, магния, марганца, он определил их прочность на разрыв. Они

разрушались при более высокой нагрузке, чем стержни из чистого алюминия. Спустя несколько дней он решил повторить испытания. Каково же было его удивление, когда образцы сплава разорвались лишь при почти вдвое большей нагрузке. "Что за чудо? — подумал Вильм. — Сплав лежал без движения и вдруг стал гораздо крепче и прочнее..." Произошло это в начале 1909 года. В чуде уже никто не верил, тем более ученые. Доискиваясь причины этого необычного явления, Вильм сначала усомнился в исправности своей испытательной машины и в точности собственных измерений. Однако прибор оказался в полном порядке, а тщательная проверка измерений не оставляла сомнений в их правильности.

Оставалось признать, что сплав обладает способностью к "старению", то есть чем он дольше вылеживается при комнатной температуре, тем становится тверже и прочнее. Сам Вильм не смог раскрыть сущность этого явления (это сделали позднее другие ученые), но, подобрав опытным путем композицию сплава и разработав режим его термической обработки, он взял на него патент. Вскоре он продал патент одной немецкой фирме, которая в 1911 году начала изготавливать этот сплав под названием дуралюмин (от города Дюренс, где находился завод, или от французского слова — "дюр" — твердый, прочный).

Как известно, металлы нерастворимы ни в воде, ни в спирте, ни в любых органических растворителях, но в расплавленном виде растворяются друг в друге, образуя сплавы. Когда сплавляют разные металлы, то они либо просто смешиваются друг с другом, либо вступают между собой в химическое взаимодействие, образуя одно или даже несколько интерметаллических соединений (например, Na_4Zn , NaZn , NaZn_2). Нередко при этом выделяется большое количество тепла. Так, если алюминий опустить в расплавленную медь, то вся

масса раскалится добела. Следовательно, сплав представляет собой смесь чистых металлов и каких-то их химических соединений. Если расплавленные медь и алюминий смешать вместе, то при застывании получится однородный сплав, то есть твердый раствор обоих металлов неопределенного состава. Такой же твердый раствор получается, если металлы в сплаве образуют одно определенное химическое соединение. Но обязательно, чтобы атомы смешиваемых металлов замещали друг друга, не нарушая структуры кристаллической решетки; иначе говоря, должны образоваться однородные кристаллы, состоящие из обоих металлов.

В этом нетрудно убедиться, если рассмотреть под микроскопом образчик сплава — тончайшую его пластинку, предварительно отполированную и протравленную кислотой или щелочью. Любопытно, что, если добавка меди не превышает 5,5 %, микроструктура сплава не отличается от чистого алюминия. При более высоком содержании меди в сплаве нарушается однородность твердого раствора — появляются кристаллики нового химического соединения — из двух атомов алюминия и одного атома меди.

Глядя на шлиф сплава в микроскоп, мы увидим белый кружок, разграфленный темными изогнутыми линиями на участки причудливых форм. Это — зерна металла, которые столь тесно расположены, что не смогли вырасти в кристаллы правильной формы. В светлых зернах твердого раствора явственно видны мельчайшие черные точки — частицы CuAl_2 . Характер их распределения и величина оказывают значительное влияние на прочность и твердость медноалюминиевого сплава. Он будет тем прочнее, чем мельче и равномернее распределены в нем частицы нового химического соединения. Если такой сплав нагреть до 500°C , а затем постепенно охлаждать (с разной скоростью) до комнатной темпе-

ратуры, то изменится характер распределения в сплаве частиц CuAl_2 . Любопытно, что с помощью подобной термической обработки можно даже регулировать их количество и размер. Такая закалка, так же как и при обработке стали, придает алюминиевому сплаву новые свойства. При медленном охлаждении происходит более полное разложение твердого раствора и превращение растворенной меди в CuAl_2 (остается не более 0,3 %). Наоборот, если сплав, нагретый до 500°C , быстро охладить — вылить в холодную воду, то получится пересыщенный твердый раствор меди в алюминии.

Если такой сплав полежит пять — семь дней, то резко меняются его свойства. Непрочный и пластичный, спустя несколько часов после закалки он станет прочным и твердым, не теряя способности к деформации. Это явление получило название естественного старения. Какова же причина перемен, происходящих при этом?

Еще когда Вильм заметил, что полученный им алюминиевый сплав с медью (дуралюмин) стареет, он предположил, что из пересыщенного твердого раствора меди в алюминии выделяются кристаллики CuAl_2 . Эти кристаллики и повышают прочность сплава почти в пять-шесть раз по сравнению с чистым алюминием.

Казалось, что нет оснований сомневаться в правильности этой гипотезы, и можно считать, что механизм старения сплавов раскрыт. Однако нашлись скептики, которые стали ее опровергать. "Во-первых, — говорили они, — мы не смогли обнаружить с помощью оптического микроскопа частицы CuAl_2 , а во-вторых, если бы медь выделялась из твердого раствора, то снижалось бы электросопротивление сплава, а оно, наоборот, росло".

Много лет продолжались бесплодные споры. Сторонники и противники выделения меди из твердого раствора в процессе старения неизменно оставались при своем мнении. Однако попытки раскрыть механизм

загадочного явления продолжались. Всем было ясно, что старение изменяет не только структуру, но и многие важные свойства алюминиевых сплавов — механические, физические, химические, устойчивость к коррозии. Следовательно, раскрытие тайны этого процесса сулило возможность создавать новые алюминиевые сплавы со значительно лучшими свойствами, чем сплав Вильма.

Развитие рентгеноструктурного анализа и появление в последние годы мощного электронного микроскопа, позволяющего увидеть молекулы и просматривать насквозь тончайшую металлическую пленку, открыли новую страницу в изучении процесса старения сплавов.

Оказалось, что оба "враждующих" лагеря неправы, а истина находится где-то посередине. Медь не выделяется из твердого раствора и не остается внутри него, а собирается в дискообразных участках толщиной в один — три атомных слоя и диаметром 90 \AA . Эти участки образуют зоны Гинье — Престона, названные по именам первых исследователей, открывших их независимо друг от друга с помощью рентгеноструктурного анализа. "Они имеют искаженную кристаллическую структуру твердого раствора, искажается также прилегающая к зоне область твердого раствора. Число таких образований огромно — оно выражается единицей с 16—18 нулями для 1 см^2 сплава", — пишет И.Н. Фридляндер.

Механизм образования зон можно представить себе следующим образом.

В закаленном состоянии атомы меди имеют более или менее равномерное рассеяние в кубической решетке алюминия, замещая отдельные атомы.

При комнатной температуре этот раствор (матрица) неустойчив и из него должно выделиться химическое соединение (фаза). CuAl_2 обладает своей собственной кристаллической решеткой, существенно отличающейся

от решетки алюминия. Естественно, что образование новой решетки происходит с большими трудностями. Необходимо, чтобы решетка алюминия была достаточно податлива и атомы меди обладали бы высокой подвижностью. Реально соединение CuAl_2 может возникнуть только при достаточно высоких температурах и после длительного нагрева. При резком охлаждении (закалке) сплава сохраняется первоначальный твердый раствор. При комнатной температуре решетка алюминия слишком жестка, а поэтому у атомов меди остается лишь одна возможность — в пределах этой решетки сгруппироваться по двум — трем плоскостям, образовав зоны Гинье — Престона (зоны Г.П.). Так осуществляется первый этап по пути распада пересыщенного раствора меди и алюминия. Заканчивается распад возникновением CuAl_2 ¹.

Изменения и искажения кристаллической решетки сплава, которые происходят в процессе образования зон Г.П., обуславливают повышение его прочности и электрического сопротивления. Или иными словами частички в зонах Г.П. располагались на плоскостях кристаллической решетки при сжатии, растяжении или изгибе сплава как бы заклинивают ее. Тем самым мешают перемещению одной плоскости по другой и упрочняют сплав.

Можно ускорить процесс старения, если выдерживать быстро охлажденный (с 500 °С) неустойчивый твердый раствор сплава не при комнатной температуре, а, например, при 100—150 °С. Чтобы добиться максимально возможной при старении твердости и прочности, в этом случае достаточно будет всего 10—12 часов вместо 5—7 суток. При искусственном старении вместо зон,

¹ Фридландер И.Н. Алюминий и его сплавы. — М.: Знание, 1965. С. 11.

структура которых лишь незначительно отличается от структуры чистого алюминия, появляются метастабильные частицы, имеющие собственную кристаллическую решетку. Благодаря такому изменению структуры сплава резко повышается его упругость.

“Можно без преувеличения сказать, — пишет И.Н. Фридляндер, — что крылья самолетов удерживаются в воздухе зонами или метастабильными частицами, и если в результате нагрева вместо зон и частиц появятся стабильные выделения, крылья потеряют свою прочность и согнутся”¹.

Тем не менее у сплавов естественного старения имеется ряд достоинств — более высокие пластичность и электросопротивление по сравнению с искусственно состаренными сплавами.

Не только медноалюминиевые сплавы становятся тверже и прочнее после термической обработки. Такой же способностью обладают сплавы алюминия с добавкой магния, кремния, марганца, циркония, хрома. Все эти элементы могут, подобно меди, образовывать химические соединения между собой и алюминием.

Весомый вклад в развитие теории старения алюминиевых сплавов внесли советские ученые металловеды — академик А.А. Бочвар, профессора Д.А. Петров, Ю.А. Батарицкий, Н.Н. Буйнов.

Вот эти-то химические соединения и представляют собой фазы-упрочнители. Алюминиевые сплавы, которыми пользуются в авиа-, судо- и автомобилестроении, а также в других областях промышленности, изготавливают, добавляя к алюминию несколько других элементов.

¹ Фридляндер И.Н. — В кн.: Популярная библиотека химических элементов. — М.: Наука, 1971. С. 205.

**Комбинируя
и изменяя**

Комбинируя число и характер легирующих добавок, металлурги научились из-

готовлять самые разнообразные сплавы, свойства которых соответствуют требованиям конструкторов и технологов. Одни из этих материалов обладают повышенной стойкостью к коррозии, другие — большей упругостью, третьи — высокой пластичностью. Стало возможным изготовление сплавов "на заказ".

Если в алюминий одновременно добавляют медь, магний и кремний, то сплав получается гораздо прочнее, чем каждая из добавок в отдельности. К таким сплавам относятся разные марки дуралюминов. Своей повышенной прочностью они обязаны фазам-упрочнителям CuAl_2 и Al_2CuMg . И недаром из них делают ответственные детали в самолетах, которые верно служат в самых трудных условиях.

Во время Великой Отечественной войны нашим пилотам нередко приходилось садиться "на брюхо", то есть не выпуская шасси. И разумеется, при этом сгибались лопасти винта. Но благодаря высокой упругости сплава, из которого они были сделаны, летчики могли тут же на месте посадки выпрямить их и вновь подняться в воздух.

Теперь уже славу дуралюминов как самых прочных сплавов затмили другие, содержащие кроме меди, еще магний и цинк. Их прочность 750 МПа. И недаром их применяют в новейших самолетах.

В зависимости от того, какая добавка в сплаве преобладает, все алюминиевые сплавы делят на три группы: алюминировомедные, алюминировомагниевые и алюминировокремниевые.

Пожалуй, наиболее распространены теперь сплавы третьей группы. Поскольку у кремния есть и другое название — силиций, эти сплавы часто называют силу-

минами. Ряд промышленных сплавов этого типа был создан советским металловедом профессором С.М. Вороновым во время второй мировой войны. Хотя в них упрочнителем служит химическое соединение магния с кремнием ($MgSi$), они содержат также медь и марганец. В зависимости от количества легирующих добавок прочность сплава изменяется от 120 до 360 МПа. У них много разных преимуществ по сравнению с другими алюминиевыми сплавами — малая плотность, незначительная усадка, высокая стойкость против окисления.

Из силуминов отливают нередко весьма сложные по форме детали, например корпуса и внешние стенки цилиндров, двигателей, части самолетных колес, детали приборов. Незаменимы такие сплавы для поплавков гидросамолетов, так как наряду с высокой прочностью



они не поддаются коррозии в морской соленой воде, которая разъедает многие металлы.

Силумины, содержащие магний, применяют в судостроении, строительстве, авиастроении. Даже при нормальной посадке самолета колеса шасси испытывают довольно сильный удар, поэтому они должны быть сделаны из особо прочных сплавов. Их высокую коррозионную стойкость по достоинству оценили конструкторы вертолетов, предложившие эти сплавы для изготовления лопастей вертолетных винтов. Дело в том, что со временем на них развиваются усталостные трещины, которые могут привести к поломке. Правда, расширяются они медленно, да к тому же на вертолетах установлены особые приборы, которые извещают летчика звуковым или световым сигналом о появлении даже самой малой



трещины. Но ясно, что если коррозия способствует развитию таких дефектов, то состав сплава должен быть максимально антикоррозионным.

Металлурги, изыскивая новые марки силуминов, не оставляют без внимания и технологию их получения. В 1976 году на Днепровском алюминиевом заводе освоено промышленное производство электротермических алюминиевокремниевых сплавов, которые выплавляют непосредственно из алюмосиликатов.

Как известно, до сих пор весь процесс приготовления таких сплавов делился на два основных этапа: сначала получали чистые кремний и алюминий, а затем сплавляли их в специальных печах. Такой способ довольно сложен и требует многих операций.

Новая технология производства силумина проще и имеет ряд значительных преимуществ. Пожалуй, главное из них — возможность использовать сырье, непригодное для получения алюминия и глинозема обычными методами. Плавку ведут в печах, которые в десятки раз мощнее обычных электролизеров. Сплав содержит 58–62 % Al и 35–38 % Si.

Хорошо зарекомендовали себя в промышленности алюминиевые сплавы, содержащие марганец и магний. В отличие от сплавов Al—Cu они не упрочняются термической обработкой, то есть не “старятся” при нагреве, но зато обладают высокой стойкостью к коррозии и хорошо свариваются плавлением (в атмосфере аргона). Эти свойства по достоинству оценили судостроители. Из такого сплава — магналия (AMg5) — они изготавливают корпуса быстроходных судов на подводных крыльях — “Ракет” и “Метеоров”.

Хотя эти сплавы и не упрочняются старением, однако в определенных условиях такой процесс в них может протекать, особенно под действием лучей южного солнца.

Несколько лет назад из магналия были изготовлены и отправлены на побережье Черного моря буйки. После полугодового пребывания в прибрежных водах они превратились буквально в труху. Что же произошло с ними? Ведь магналий считается коррозионностойким сплавом.

Вот что пишет по этому поводу И.Н. Фридляндер: "Буйки нагревались на солнце до 50—70 °С. Под действием высокой температуры произошел распад пересыщенного твердого раствора магния, образовалась непрерывная цепочка выделений фазы Mg_2Al_3 по границам зерен. Между алюминиевыми зернами и выделениями фазы Mg_2Al_3 существует значительная разница электрохимических потенциалов, по границам зерен идет быстрое разъедание и сплав распадается на отдельные, не связанные между собой зерна"¹.

Можно ли обработать чем-нибудь магналий, чтобы ему не страшны были жгучие лучи солнца? Металлурги отвечают — можно. Для этого нужно довольно долго отжигать сплав при не очень высоких температурах. Тогда из твердого раствора будут выпадать сравнительно крупные выделения фазы Mg_2Al_3 . Они рассеиваются не по границам, а по всему сечению зерен. При таком распределении они уже не вредят сплаву, и он сохраняет свою устойчивость к коррозии, которой славится при пребывании и на солнце, и в морской воде.

Новые "квартиранты"

В 30-х годах нашего века в Европе и особенно в США стала бурно развиваться авиационная и автомобильная промышленность. Многие сотни тысяч автомашин и тысячи самолетов стали еже-

¹ Фридляндер И.Н. Алюминий и его сплавы. — М.: Знание, 1965. С. 27.

годно сходить с конвейеров заводов. Конструкторы неустанно придумывали все новые типы автомобилей и самолетов, стремясь как можно больше облегчить их вес. Ведь чем легче самолет или автомобиль, тем меньше расходуется горючего. Понадобились легкие сплавы. Изобретатели и металлурги вспомнили о литии: он самый легкий металл, легче даже некоторых пород дерева.

Оказалось, что небольшая добавка лития к разным металлам — цинку, меди, железу — не только позволяет получить более легкий сплав, но и повышает его твердость.

Было время, — чтобы изготовить подшипники для больших машин, пользовались главным образом сплавом свинца с оловом — баббитом. В 50-х годах олово в баббите заменили литием, алюминием и кальцием, которые добавляют в ничтожных количествах — не менее 1 %. Лития в этом сплаве всего 0,14 %, а твердость сплава настолько увеличивается, что трение подшипников становится гораздо меньше.

Металлурги, добавляя к алюминию медь и литий, получили сплавы, которые по прочности почти не уступают алюминиевым с добавками меди, цинка и магния. Однако в отличие от них литиевые сплавы характеризуются более высокой жаропрочностью, жесткостью и упругостью. Если же вместо меди в сплаве присутствует магний, то он отличается еще и более высокой упругостью.

Уже трудно перечислить все области техники, где теперь все чаще применяют различные алюминиево-литиевые сплавы. Так, например, они были широко использованы при постройке сверхзвукового советского лайнера ТУ-144, развивающего скорость 2500 километров в час. В полете обшивка самолета нагревается до 130 °С. Добавка лития позволяет сплаву сохранить свою высокую

прочность при этой температуре в течение 20–30 тысяч часов.

Сплавы, полученные с добавкой лития, так же как и с добавкой марганца, "стареют" не при комнатной температуре, а при достаточно высоком нагреве.

Издавна на Урале находили изумруды. Эти красивые зеленые камни снискали мировую славу. Русские изумруды можно встретить в музеях Лондона и Нью-Йорка, на прилавках ювелиров Парижа и Мадрида. Теперь уральские изумрудные копи славятся и другим: в них добывают ювелирный минерал берилл. Ведь изумруд, как это установлено наукой, разновидность берилла с ничтожной примесью хрома.

В 1797 году французский химик Л. Воклен открыл в составе берилла новый элемент, который назвал глици-



нием за сладкий вкус его солей. Это название продержалось недолго, и новый металл получил имя "бериллий" (от названия минерала — берилла).

Хотя прошло почти полтора века с тех пор как бериллий был получен из его солей, однако лишь относительно недавно он вышел на промышленную арену. Особенно им заинтересовались металлурги. Они стали добавлять его к разным металлам — меди, никелю, кобальту. Дошла очередь и до алюминия. Оказалось, что добавка бериллия позволяет получать исключительно прочные сплавы, особенно пригодные в тех случаях, где от конструкций требуется повышенная жесткость. Особенность алюминиевобериллиевых сплавов — весьма высокое содержание бериллия (15—60 %).

В 1871 году Д.И. Менделеев сделал замечательное открытие. Он высказал смелую мысль, что в пустующих 21, 31 и 32-й клетках созданной им таблицы периодической системы элементов должны быть "жильцы", которые еще не найдены химиками, но существуют в кладовых природы. Он назвал их соответственно эка-бором, эка-алюминием и эка-силицием (приставка "эка" означает "подобный, похожий").

Спустя четыре года, был найден галлий, соответствующий эка-алюминию, в 1875 году — скандий — предсказанный Менделеевым эка-бор. Прошло еще 11 лет, и немецким химиком К. Винклером был открыт и эка-силиций, названный им в честь своей родины германием. Германий занял прочные позиции в радиотехнике и электронике благодаря способности создавать высокое сопротивление прохождению электрического тока и проводить ток в одном направлении. Интересуются им и металлурги. Добавка германия к алюминиевым сплавам значительно повышает их прочность. В последние годы созданы сплавы алюминия с добавками серебра и германия. Им прочат большую будущность. Однако пока

они не нашли широкого применения, так как германий — редкий металл, а серебро — дорогой.

Появляется все больше сплавов, в которых к алюминию добавляется большое число разных металлов.

Американская фирма АЛКОА по заказу исследовательского центра по космическим полетам разработала два новых сплава для ракет. В них, кроме обычно применяемых добавок (медь, цинк, магний, марганец и т.п.), содержатся еще кадмий, титан, вольфрам, цирконий.

Все большее распространение приобретают спеченные алюминиевые сплавы (САС) с кремнием, никелем, железом, хромом, цирконием. Главная их особенность — низкий коэффициент линейного расширения. Их удобно применять совместно со сталью при изготовлении различных механизмов и приборов.

Это необыкновенное свойство по заслугам оценили конструкторы и технологи. Оно особенно ценно при изготовлении из высокопрочного сплава деталей сложной конфигурации.

В обычной заводской практике такие детали штампуют в несколько приемов. Причем каждый раз приходится отжигать металл и снимать наклеп. Для того чтобы довести деталь сложной формы до нужных кондиций, необходимо ее еще обрабатывать резанием, фрезерованием, сверлением и т.п. Особенно трудно обрабатывать обычными способами детали из высокопрочных сплавов, которые ныне все больше применяются в современной технике.

Если обрабатывать их давлением, приходится затрачивать колоссальные усилия, резанием — нужен дорогостоящий инструмент. К тому же при всех видах механической обработки миллионы тонн ценнейшего металла превращаются в стружку.

Вот наглядный пример. На одном из крупных заводов в Советском Союзе по обработке цветных металлов

наряду с изготовлением крупногабаритных деталей разного размера и назначения выпускают чайники. Для производства такой продукции по принятой на заводе технологии требуется свыше пятидесяти различных операций: штамповка при комнатной температуре, нагрев для снятия напряжений, формовка ребер, пайка донышка и носика и ряд других. Такие чайники завод выпускает уже много лет.

Но однажды на завод приехал инженер из Москвы. Он предложил способ изготовления чайников за одну операцию. Была создана специальная комиссия из специалистов для проверки представленных расчетов и новой технологии изготовления чайников.

Для проведения опыта был использован сплав цинкаль (цинк плюс 22 % алюминия) в виде листа с приваренными болтами вместо крышки к чайнику. Всю эту сборку поместили в печь. Теперь нужно было при температуре деформации сплава (250 °С) подвести к форме сжатый газ. Так как на заводе не было баллонов со сжатым газом был использован баллон для газирования воды. В печь стали вдвухать углекислый газ из этого баллона. Давление углекислоты оказалось достаточным. Через несколько минут из печи вынули готовый чайник. Результат был столь внушительным, что руководство завода вскоре поручило своим металлургам наладить производство некоторых изделий по предложенной технологии.

За последние годы все ширится применение сверхпластичного алюминиевого сплава. Несколько лет назад за рубежом из него стали делать некоторые детали кабины сверхзвукового самолета "Конкорд", которые раньше изготовляли из пластмасс. Замена пластмасс сверхпластичным алюминиевым сплавом повышает безопасность самолета.

Из этого сплава автомобилестроители стали изготавливать

кузова спортивных автомашин. По расчетам специалистов стоимость кузова при выпуске 500 машин в месяц обходится в 2,5 раза дешевле стального, а трудовые затраты на его обработку и монтаж уменьшаются в 3—4 раза.

Любопытная особенность сверхпластичного сплава — при нагреве ведет себя как разогретая смола или жевательная резинка, а при остывании вновь приобретает свои обычные свойства. Чему же обязаны его такие замечательные качества. Оказывается, особой структуре. Эти сплавы построены из очень мелких зерен, которые имеют форму равноосного многоугольника. Под действием внешних сил — давления, температуры — подобные зерна, словно песчинки, смазанные жиром или маслом, легко скользят относительно друг друга и выстраиваются цепочкой по направлению приложенных сил.

Неожиданные свойства

Изобретательская мысль неустанно работает над созданием все новых сплавов с еще лучшими свойствами. Недавно созданы сплавы, которые могут запоминать форму, или как говорят производственники — сплавы памяти формы. Если пластинку из такого сплава нагреть до определенной температуры, то при охлаждении она снова распрямится. Затем на эту распрямленную пластинку положить груз и вновь нагреть, то она изогнется дугой и сбросит груз. Поистине, у такого сплава оказались неожиданные свойства. Изготавливают подобные сплавы из титана и никеля, довольно дорогих металлов.

Алюминий и в этом случае оказался на высоте. Оказалось, что памятью формы обладают также алюминиевые бронзы (13,4 % алюминия, 2 % марганца, остальное медь).

Был проведен такой эксперимент для проверки способ-

ности алюминиевой бронзы запоминать форму. Из алю-
миниево-бронзовой фольги сделали забавную картинку.
На картинке смешной цыпленок с узелком на плече.
Яркий, цветной, но к сожалению, неподвижный. Кар-
тинку экспериментатор положил на ладонь. Когда кар-
тинка хорошо прогрелась от тепла руки, цыпленок
вдруг стал подмигивать лукавым глазом, перышки его
засветились другими красками. Казалось, что он вот-
вот, как в мультфильме, прыгнет с ладони. В фольге
были сделаны тонкие прорезы в разных местах на кры-
лышках и хвостике цыпленка, а в том месте где у него
глаз, был вырезан лепесток и отогнут на некоторый
угол. Все это было сделано при температуре выше 36°C .
При температуре же ниже этой щели будут закрыты,
а лепесток распрямлен.

Это происходит потому, что при нагреве металлическая
подложка "вспоминает" заданную форму.

Новое изобретение может быть с успехом использовано
при съемке мультфильмов, в учебных пособиях, свето-
вых указателях и табло, разнообразной рекламе, игро-
вых автоматах.

Замена в этих сложных устройствах электронных схем
дешевой алюминиево-бронзовой фольгой позволит уде-
шевить их.

**Верные друзья
и защитники**

Одна из разновидностей
алюминиевых сплавов —
спеченная алюминиевая пуд-
ра (САП). В этом сплаве нет других металлов, а леги-
рующей добавкой служит оксид алюминия, который
придает ему особые свойства. САП обладает исключи-
тельно высокой жаропрочностью — до $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$. А
ведь при такой температуре обычные алюминиевые
сплавы становятся полужидкими. Происходит это пото-
му, что взаимодействие между мельчайшими оксидными

частичками, распределенными в сплаве, и алюминием почти не меняется после нагрева.

САП не нуждается в закалке, обладает почти такой же устойчивостью к коррозии, теплопроводностью и электропроводностью, как и чистый алюминий, но имеет и недостатки — обильно поглощает из воздуха влагу разветвленной поверхностью оксидных частичек. Поэтому на заводах дегазируют САП, нагревая до $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ — точки плавления чистого алюминия.

Листы из САП, содержащей 7–9 % оксида алюминия, имеют прочность на разрыв — 360–370 МПа (даже при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ она составляет 150 МПа). По современным воззрениям столь высокая жаропрочность САП вызвана тем, что в ней образуется непрерывный каркас из окиси алюминия. Это подтверждается тем, что чем боль-



ше в САП оксида алюминия, тем прочнее этот сплав (при содержании 25 % оксида алюминия прочность на разрыв 450—480 МПа). А поскольку оксид алюминия плавится только при 2000 °С, то, естественно, САП не страшен нагрев до 500—600 °С.

Технология производства САП несложна. Алюминий плавят и распыляют. Получаются мельчайшие шарообразные частицы, покрытые тончайшим слоем оксида алюминия ("пульверизат"). Чтобы частички пудры не слипались во время размола, к САП добавляют жир. К концу размола жир улетучивается, и мельчайшие окисленные "лепешечки" срашиваются в более крупные частицы. Порошок из мельницы поступает на прессы, где под давлением 300—600 МПа и при 550—650 °С превращается в брикеты. Из них ковкой, прокаткой, прессованием изготавливают различные изделия.

Чистый алюминий, как известно, значительно лучше сопротивляется коррозии, чем многие его сплавы. Поэтому нередко менее стойкие сплавы, например дуралюмин, защищают алюминиевыми листами. Так, пластины дуралюмина обкладывают с обеих сторон листами алюминия, и этот слоистый "пирог" прокатывают на валках. В результате прокатки алюминиевый слой плотно сцепляется со сплавом и надежно предохраняет его от коррозии. Пока слой этот будет цел, не разрушится и сплав.

Сейчас разработано много различных слоистых металлов на основе алюминия и его сплавов. Иногда, наоборот, "начинкой" в слоистом "пироге" служит алюминий. Так, например, в производстве радиаторов успешно применяют алюминиевые листы, покрытые (плакированные) силумином (более стойким к коррозии). Уже свыше двадцати лет на электротехнические заводы поставляют листы, плиты, полосы алюминия, плакированные медью.

Защищают сплавы от коррозии и по-иному. Листы сначала тщательно обезжиривают — удаляют с их поверхности мельчайшие капли масла, а затем опускают на несколько минут в ванну с раствором серной кислоты. К ванне подключают ток. Тогда ванна становится катодом, а лист алюминиевого сплава — анодом. Под действием электрического тока на листах появляется оксидная пленка толщиной около 0,1 миллиметра. Такой процесс защиты от коррозии алюминиевых сплавов, называемый анодированием, получил теперь широкое распространение. Изготовленная этим способом оксидная защитная пленка — рыхлая. Если ее рассмотреть под микроскопом, то можно обнаружить при большом увеличении огромное количество мельчайших пор, размеры которых уменьшаются с глубиной слоя. Такая пленка не может быть надежным защитником против атак кислорода. Поэтому поры заполняют специальными минеральными составами. Детали, изготовленные из алюминия или его сплавов, после анодирования чаще всего погружают в раствор бихромата натрия или калия. Молекулы этого соединения плотно закупоривают поры оксидной пленки — она пассивна к воздействию окружающей среды. За рубежом теперь для защиты от коррозии листов алюминия и его сплавов все шире используют краску.

На листы с одной или обеих сторон наносят слой виңиловой или акриловой краски (толщиной до 1,6 миллиметра). Франция, первая в Европе, уже с 1970 года выпускает листы, покрытые лаком, а в США все шире применяют для этого защитный слой из разных полимеров.

Огнем рожденные

В заводских условиях алюминий и его разнообразные сплавы плавят преимущественно в отражательных печах. Топливом служат нефть,

мазут, природный и генераторный газ. В последние годы за рубежом стали все чаще пользоваться отражательными электропечами сопротивления. Коэффициент полезного действия их высок (60–70 %), потери металла при плавке малы (1,5–2 %). В то же время слишком велик расход электроэнергии. Для плавки сплавов высокой чистоты иногда применяют плазменно-дуговые печи. Однако на плавильном заводе вы не увидите массивных пышущих жаром печей. Вся “огненная кухня” располагается под землей. В цехе лишь вагонетки с сырьем, да огромные колпаки, которыми накрыты работающие электропечи.

Таинство превращения шихты в сплав продолжается несколько часов. Но пожалуй, самый важный этап рождения сплава — это правильное определение количества меди, цинка, магния или других его составных частей, которые добавляют, чтобы получить нужную марку литья. Специальной ложкой отбирают пробу, которую подвергают спектральному анализу. Химики заводской лаборатории точно определяют химический состав шихты. Новая техника все шире внедряется на плавильных заводах. Результаты анализа обрабатывает электронная вычислительная машина. Она предлагает сразу несколько оптимальных вариантов сплава. Первый — наиболее рентабельный; последующие стоят в списке в порядке уменьшения их выгоды. ЭВМ вычисляет и количество необходимых добавок. Поэтому опытному технологу нетрудно выбрать лучшую комбинацию сплава.

Как и в производстве чистого металла, сплав нужно рафинировать, очищать от вредных газов, в первую очередь от водорода и разных неметаллических примесей, делающих его хрупким, непрочным. Поэтому перед самой разливкой сплав обрабатывают либо специальными флюсами — сыпучими веществами, либо чаще всего продувают жидкий металл хлором.

За рубежом на некоторых заводах для рафинирования жидкого алюминия и его сплавов нередко вместо хлора используют инертные газы — аргон или азот.

Азот вступает во взаимодействие с примесями, которые находятся в жидком металле, и образовавшиеся неметаллические включения всплывают на поверхность расплава в виде шлака. А его удалить несложно.

В последние годы в США, Великобритании, ФРГ и некоторых других странах все чаще для рафинирования сплавов пользуются различными фильтрами: стальной сеткой, слоем огнеупорных частиц, графитовыми пластинами, сеткой из стекловолокна или из молибдена.

После того как очистка жидкого сплава от вредных примесей закончена, раздается команда начать разливку. Печь приподнимается, и в громадный ковш льется, наполняя его до краев, огненный, ярко-красный поток жидкого металла. Мощные "руки" крана подхватывают ковш и переносят его к разливочному аппарату. Рабочий нажимает кнопку автомата, и струя металла заполняет формы. Проходит еще несколько минут, и водяной душ охлаждает слитки. Вскоре их отправят на склад готовой продукции, а затем и к потребителям.



ПОСТУПЬЮ ПЯТИЛЕТОК

Днепровский богатырь

редкость погожий. Солнце ярко сияло в безоблачном голубом небе. "Легкий ветер, играя, гонял по желтой степи ажурные плети перекати-поле. Горьковато пахло сухой полынью, — вспоминала писательница М.Д. Марич. — Со стороны плотины и от Запорожья шли стройными колоннами люди, двигались медленно автомобили, грузовики, тачанки. На железнодорожной ветке стучали колесами поезда, украшенные флажками и зеленью. Все это направлялось к месту закладки алюминиевого комбината, на торжественный митинг".

На митинг прибыли представители партийных, комсомольских и общественных организаций из Запорожья, корреспонденты московских и киевских газет. Были и неизменные фоторепортеры...

Но вот закончены выступления и начальник Объединенного Днепровского строительства заложил в котлован первый камень. На одной его стороне была пятиконечная звезда, на другой — памятная дата закладки... А на другой день начались рабочие будни. По заранее подготовленной насыпи начали быстрыми темпами прокладывать рельсы от станции Шлюзовой. Вскоре по новой железнодорожной ветке потянулись длинные составы с

цементом и бутовым камнем, платформы с бревнами и строительными материалами, думпкары с песком и гравием. На строительной площадке змейками разбежались пути узкоколейки для подвоза необходимых материалов к рабочему месту будущих цехов... С не меньшим энтузиазмом работали на берегах Невы проектировщики. Быстро росла ленинградская группа Гипромеца, которой было поручено проектирование глиноземного и электролизного заводов на Днестре. Тесно становилось в двух небольших комнатах, разделенных наполовину застекленной перегородкой. По одну сторону перегородки помещался "кабинет" главного инженера проекта профессора П.Ф. Антипина, крупного специалиста-электрометаллурга. В течение ряда лет он преподавал в Ленинградском электротехническом институте электролиз расплавленных солей.

Работа над проектом электролизного завода шла слаженно и успешно. А ведь предстояло решить сотни разнообразных сложных проблем, связанных с рациональным размещением ванн в корпусах, расположением токоподводящих шин, транспортных устройств и вентиляции. Трудности усугублялись огромными размерами будущих цехов и оборудования.

Нередко случалось, что найдено правильное решение того или иного вопроса, но тут же проектировщики наталкивались на новые, непредвиденные трудности, с ними связанные. Например, запроектированная высота цеха позволяла установить в нем лишь один мостовой кран. Между тем для переброски грузов внутри цеха одного крана оказалось недостаточно. Можно было расположить один кран над другим, но тогда потребовалось бы увеличить и высоту здания. А сколько споров среди проектировщиков вызывали размеры ванн. И вот приходилось снова составлять новые варианты,

пересчитывать, сравнивать, выбирать и окончательно решать... самим. Консультироваться было не с кем.

Заказанный знаменитому немецкому проектному бюро Ридгаммера проект был составлен так, что из него можно было почерпнуть очень мало нужных сведений.

Тогда обратились к фирме "Сименс — Плания-верке", однако получили отказ. Другие немецкие фирмы, которым были направлены запросы, вообще не пожелали ответить...

Медленно, но целеустремленно трудились проектировщики, много раз меняя варианты проекта завода, строительство которого уже шло полным ходом. Строительные работы производились Днепрозаводстроем, который был создан вскоре после пуска Днепрогэса. Возглавлял его инженер Эскин, талантливый строитель, участвовавший в постройке гидростанции.

И вот снова яркий солнечный день, на этот раз летний— 10 июня 1933 года: рождение Днепровского алюминиевого комбината — пуск электролитного завода.

Дана команда пустить в ванны ток. Присутствующие застыли в напряженном молчании, ведь им предстояло стать свидетелями рождения днепровского алюминия.

Проходит несколько минут, и вдруг из глубины ванн слышится шипение, затем — треск, и по цеху распространился густой, едкий дым.

Авария? К счастью, небольшая. Оказалось, что в ванне из-за недоброкачественных угольных подин полопались аноды. А подины поставила фирма "Сименс". Вот и понадеялись на хваленую апробированность зарубежного оборудования!

Пришлось на ходу перестраиваться, менять режим работы ванн. На помощь вскоре приехали коллеги с Волховского алюминиевого комбината и французы-консультанты. Причина аварии была вскоре установлена, получены первые слитки алюминия.

К осени каждая ванна давала 120 килограммов алюминия в сутки, и план уже перевыполнялся на 10—12 %. Но еще "хлопот был полон рот". Нужно было построить глиноземный завод. Его первую очередь ввели в эксплуатацию в апреле 1934 года.

Производственники — глиноземщики — беспокоились, удастся ли хорошо отделить алюминат бария от ферросилиция. Полагали, что в ковше, куда заливался шлак из печи, и должно произойти такое разделение. И тогда можно будет слить более легкоплавкий ферросилиций, а затем и удалить из ковша алюминат бария. Однако конструкция ковша, разработанная французами, не оправдала возлагавшихся на нее надежд.

Технологи цеха оказались в трудном положении: скоро все имеющиеся ковши были заполнены. Пришлось бы остановить печь, что задержало бы пуск завода на две-три недели, или срочно что-то придумывать, искать выход из создавшегося положения.

И выход был найден. Молодой технолог цеха предложил каскадный метод разливки. Продукты плавки выпускаются в три плоские изложницы. Одну из них ставят у выпускного отверстия — она служит отстойником для ферросилиция, а две другие располагают по бокам. Когда наполняется средняя изложница, шлак, освобожденный от ферросилиция, каскадом переливается в боковые изложницы.

Не прошло и трех месяцев, как глиноземный завод освоил свою полную проектную мощность.

В 1934 году Днепровский алюминиевый комбинат был реорганизован в алюминиевый завод, а электролизное и глиноземное производства стали его цехами. 30 мая 1935 года завод был принят правительственной комиссией, и ему было присвоено имя С.М. Кирова.

За каменным
поясом

Уральский хребет нередко называют каменным поясом, который отделяет ев-

ропейскую часть нашей Родины от азиатской.

Недра Урала издавна считались бесценной сокровищницей. Золото, серебро, медь, ртуть, полиметаллы, разнообразные строительные материалы, каменный уголь были надежно спрятаны в ее "сейфах". В 30-х годах благодаря открытиям геологов Н.А. Каржавина, Н.А. Архангельского и А.К. Белоусова выяснилось, что к этому далеко не полному списку нужно добавить еще залежи первоклассных бокситов.

У нарождающейся советской алюминиевой промышленности появилось серьезное подкрепление — новая мощная база высококачественного сырья. И ее необходимо было незамедлительно освоить.

Было решено построить сначала глиноземный завод производительностью 70 тысяч тонн в год, а позднее и алюминиевый на 25 тысяч тонн металла в год.

Руководство проектированием уральского гиганта было поручено профессору П.Ф. Антипину, который широко использовал опыт строительства Днепровского алюминиевого завода.

9 сентября 1933 года Главалюминий единогласно утвердил место для будущего завода — на реке Исети, в 150 километрах от Челябинска, возле поселка Каменского. Основные его преимущества: близость к месторождению челябинских углей, возможность использовать для перевозки сырья, материалов и готовой продукции железнодорожную ветку Санарская — Чурилово.

Для производства глинозема был выбран метод Байера, который, однако, значительно изменили, исходя из минералогических особенностей уральских бокситов. Технологию дорабатывали сначала на полузаводской установке Опытного завода НИСалюминия, а затем, в

более крупных масштабах, на площадке Уральского алюминиевого завода.

Одновременно электролизники испытывали новые конструкции ванн (это делали и на других заводах) с самообжигающимися анодами. В результате успешных испытаний были созданы электролизеры на 60–70 тысяч ампер. Позднее установили ртутные выпрямители для преобразования переменного тока в постоянный с лучшим к.п.д., чем двигатели-генераторы.

Как известно, для производства алюминия требуется много электроэнергии. Поэтому неизменным соседом алюминиевого завода должна быть мощная электростанция. Обычно это ГЭС. Для снабжения электроэнергией уральского первенца (позднее на Урале появились и другие заводы) было решено создать тепловую электростанцию. На первый взгляд, такое решение может показаться странным. Но дело в том, что глиноземный завод — столь же крупный потребитель пара, как электролизный — электроэнергии. Другое преимущество теплоэлектроцентрали — электрическая двусторонняя связь с Уральской электросетью.

Стройка, начатая в 1933 году, сразу же была объявлена ударной и находилась под особым контролем партии и правительства. Как и на многие другие стройки особой государственной важности, сюда стекалось много молодежи. Юноши и девушки, прибывшие по зову комсомола, показывали высокие образцы самоотверженности и трудового героизма.

Весной 1939 года теплоэлектроцентраль дала первый ток, а спустя полгода на митинге в честь пуска завода демонстрировали серебристые слитки алюминия. Уральский гигант вступал в строй действующих предприятий алюминиевой промышленности с более высокой техникой производства, чем его старшие собратья — Волховский и Днепропетровский алюминиевые заводы.

В тяжелую годину

В марте 1939 года в Москве проходил XVIII съезд ВКП (б). Он поставил перед

советским народом важную историческую задачу — в возможно короткий срок догнать и перегнать капиталистические страны Европы и США в экономическом отношении, то есть по объему промышленной продукции на душу населения.

Намечая пути дальнейшего развития отечественной металлургии, съезд постановил: увеличить к концу третьего пятилетия выплавку алюминия не менее чем в четыре раза по сравнению с 1937 годом, ввести в действие Уральский алюминиевый комбинат (вторую очередь), алюминиевые заводы в Кандалакше и в Кузбассе и приступить к строительству других алюминиевых заводов.

Выполняя постановление съезда, в 1940 году Совнарком СССР и ЦК ВКП (б) утвердили широкую программу дальнейшего развития алюминиевой промышленности в южных и восточных областях страны.

Кроме названных в решениях XVIII съезда ВКП (б) предприятий, предусматривалось проектирование и постройка алюминиевых заводов: Богословского — на Урале, Новокузнецкого — в Западной Сибири, Сумгаитского — в Закавказье, Красносулинского — в Ростовской области, а также глиноземного завода "Гигант" для переработки нефелинов — в Московской области.

Уже к 1941 году успешно работали четыре алюминиевых завода, ряд предприятий находился в стадии проектирования и строительства.

Вторжение гитлеровских полчищ в нашу страну нарушило выполнение намеченных планов. Производственные мощности предприятий уменьшились.

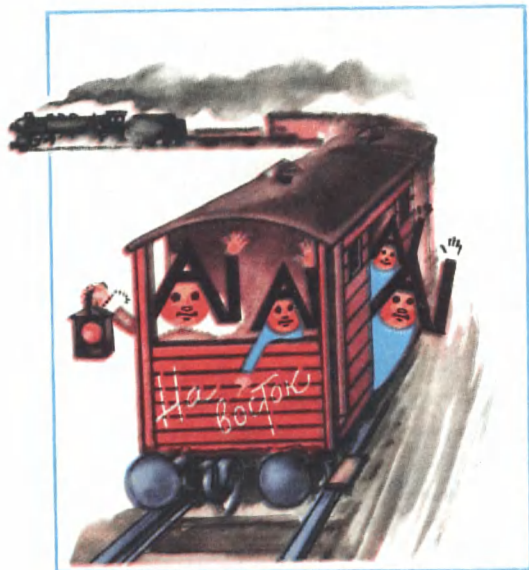
Уже в первые месяцы войны прекратили работу Вол-

ховский и Днепровский алюминиевые заводы, Тихвинские глиноземный завод и бокситовый рудник.

Во второй половине 1941 года в невероятно трудных условиях было демонтировано оборудование этих заводов и рудника.

В темные осенние ночи, стараясь работать бесшумно, рабочие разбирали электролизные ванны, снимали дробилки, демонтировали электродвигатели. Заметив малейшее движение на заводской площадке, фашисты начинали бомбежку и обстрел.

Непрерывным потоком шли составы с этим оборудованием на Восток — на Урал и в Сибирь. По 600 вагонов в день разгружали в октябре 1941 года на маленькой железнодорожной станции "Десятый километр", возле



Каменск-Уральского, на строительстве второй очереди единственного оставшегося в стране алюминиевого завода.

Тысячи людей приняли участие в расширении уральского богатыря — УАЗа. Большая часть новых рабочих прибыла с двенадцати других строек. Чтобы помочь им, на строящийся завод было направлено еще двенадцать батальонов красноармейцев.

Не хватало жилья — люди ютились в землянках, в наспех сколоченных бараках из фанеры. Но несмотря ни на что работы продвигались быстро, и спустя год был построен второй такой же завод. Не только в несколько раз увеличился выпуск столь необходимого фронту металла, но у заводского коллектива появилось много новых технических достижений. Была освоена технология переработки бокситов двух месторождений, различных по химическому составу и содержанию глинозема — Североуральского “Красная Шапочка” и Соколовского. Первые — выщелачивали в автоклавах, вторые — в мешалках, пульпу смешивали и перерабатывали по единому методу Байера.

Под руководством научного сотрудника ВАМИ Ф.И. Цымбала была разработана новая технологическая схема двустадийного выделения соды из оборотных растворов и освобождения их от вредных органических примесей. Одновременно были внедрены в производство вакуум-ковши, с помощью которых извлекали алюминий из ванн, и отбойные молотки для разрушения корки электролита. Немало и других полезных новшеств внесли рабочие и инженеры завода в производство за военные годы.

Еще в августе 1941 года началось на Урале строительство второго крупного алюминиевого завода — Богословского, которое шло исключительно быстрыми темпами. В 1943 году первая очередь глиноземного цеха

была закончена. Выдан был первый глинозем, в котором так нуждались тогда ведущие заводы — Уральский алюминиевый и Новокузнецкий.

Для коллектива Богословского алюминиевого завода День Победы — 9 мая 1945 года — вдвойне дорог. Именно в этот день был пущен завод и выдан первый металл. В музее завода до сих пор хранятся серебристые маленькие чушки. На лицевой стороне чушки блестели выпуклые буквы “БАЗ” “День Победы”.

Уже в первые послевоенные годы завод неоднократно расширялся, реконструировались его цехи, увеличивался выпуск алюминия. Одновременно возле него быстро строился город, который постепенно превратился в крупный индустриальный и культурный центр — Краснотурьинск.

Раскинувшийся на фоне вечнозеленой тайги, он радует глаз своими белоснежными зданиями, строгостью планировки и красивыми набережными нового водохранилища, созданного на реке Турье.

В конце 50-х годов было принято решение еще больше расширить завод и увеличить его мощность.

Широко внедрялась новая технология одновременно с механизацией трудоемких работ и автоматизацией (например, отделений автоклавного выщелачивания и выпарки). Так, в производстве алюминия механизировали подъем шторных укрытий и анодов, пробивку корки электролита и извлечение анодных штырей. За годы послевоенных пятилеток завод стал передовым предприятием страны.

Указания партии, данные в начале войны, о немедленном перебазировании алюминиевых заводов на Восток,

были успешно выполнены работниками промышленности и дали свои плоды.

В 1944 году вскоре после прорыва блокады Ленинграда началось восстановление Волховского алюминиевого завода. Еще в январе 1938 года было принято решение о реконструкции его цехов для производства алюминия из нефелина. Группа научных сотрудников ВАМИ под руководством профессора Ф.Н. Строкова создала эффективную технологию переработки богатых кольских нефелинов. Наряду с глиноземом из них получали и другие продукты — соду, поташ, цемент.

Обычная технология переработки нефелинового сырья сводится к следующему.

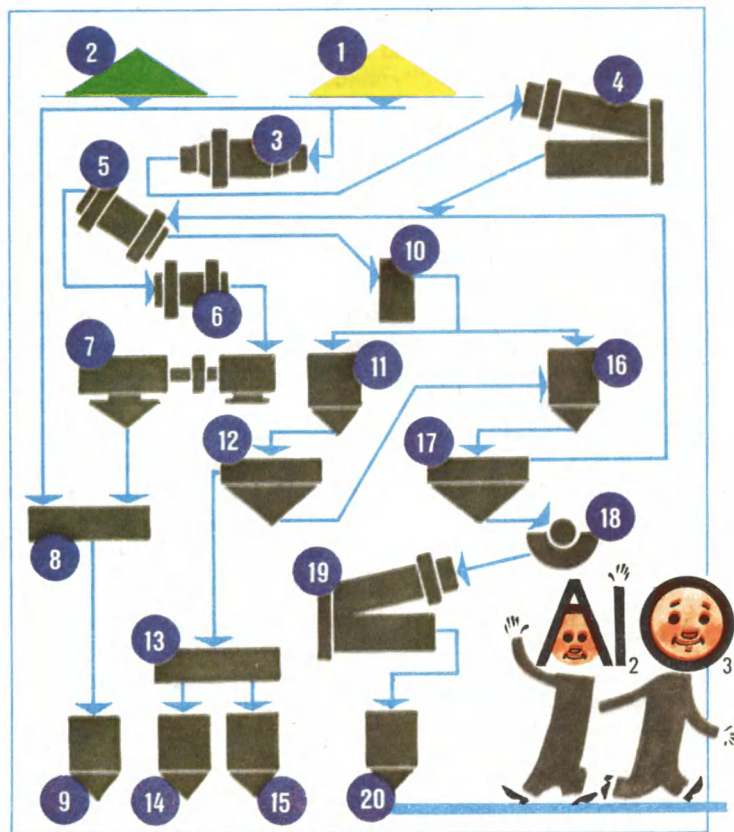
Нефелиновый концентрат измельчают в мельницах и смешивают с раздробленным и измельченным известняком. Смесь в виде пульпы направляют во вращающуюся печь. Пульпа поступает в барабан с холодного конца, а навстречу ей с другого конца движется струя горячих газов, образующихся от сжигания топлива, температура которого достигает 1500–1600 °С. Сначала испаряется вода, затем известняк разлагается на оксид кальция и углекислый газ, отсасываемый из печи.

Молекулы извести вступают в реакцию с молекулами нефелина и разрушают их. Образуется спек — плотная масса, состоящая главным образом из силиката кальция и алюминатов натрия и калия. Они соединяются с молекулами кремнезема. Одновременно оксид алюминия реагирует с оксидами калия и натрия и превращается в алюминат этих металлов.

Схема комплексной переработки нефелина и других щелочных алюмосиликатных пород и их концентратов на глинозем, соду, поташ и цемент по способу спекания:

1 — нефелин; 2 — известняк; 3 — мокрый размол шихты; 4 — спекание; 5 — выщелачивание спека; 6 — размол шлама; 7 — фильтрация и промывка шлама; 8 — производство цемента; 9 — цемент; 10 — обескремнивание раствора; 11 — карби-

низация; 12 – сгущение гидроксида алюминия; 13 – выпарка; кристаллизация и сушка соды и поташа; 14 – сода; 15 – поташ; 16 – выкручивание; 17 – сгущение гидроксида алюминия; 18 – фильтрация гидроксида алюминия; 19 – кальцинация; 20 – глинозем



Спек охлаждают до 100°C и измельчают в мельницах в присутствии щелочного раствора. При этом алюминат натрия переходит в раствор. Алюминатные растворы отделяют от осадка в специальных аппаратах. Осадок — шлам — промывают и направляют в цех, где из него готовят цемент.

Очищенные растворы алюминатов перекачивают в аппараты — карбонизаторы — и обрабатывают углекислым газом. В осадок выпадает гидрат оксида алюминия, а в растворе остаются поташ и сода. Гидрат оксида алюминия прокачивают во вращающихся печах, где он, теряя воду, превращается в глинозем. Сода и поташ являются ценными продуктами, используемыми в химии.

Этот способ переработки нефелина уникален. Советский Союз — единственная страна в мире, которая производит глинозем из нефелинового сырья. При этом сырье используется полностью — без отходов. А ведь при получении глинозема из бокситов в отвал идет красный шлам. И в этом особая ценность разработанного советскими учеными способа переработки нефелинов.

И еще одно преимущество. Видоизменяя технологическую схему, можно получить ряд ценных продуктов: щелочь в каустической форме, активированные оксиды алюминия, алюминат натрия и неметаллургический глинозем для специальных назначений.

Способ комплексной переработки нефелинов получил высокую оценку и за рубежом — он запатентован в Англии, Италии, ФРГ и Швеции.

Война помешала коллективу Волховского алюминиевого завода закончить своевременно реконструкцию цехов для перехода на нефелиновое сырье. Удалось сделать это лишь в 1949 году. Но потребовалось еще несколько лет, прежде чем завод полностью освоил

новое производство. Это была несомненно большая победа советских алюминщиков.

За разработку и освоение метода комплексной переработки нефелинового сырья на глинозем, содопродукты и цемент в 1957 году была присуждена Ленинская премия группе специалистов во главе с И.Л. Талмудом.

За годы послевоенных пятилеток была проведена модернизация оборудования и механизация почти всех трудоемких работ, что позволило заводу увеличить производительность по производству первичного алюминия в два раза. Уже более четверти века освоен выпуск алюминия высшей чистоты (99,999 %).

Первенец алюминиевой промышленности стал также и кузницей ее кадров. Пожалуй, нет ни одного глиноземного или алюминиевого завода в стране, где не работали бы инженеры и техники, прошедшие выучку на берегах Волхова.

Еще больше усилий пришлось затратить советским людям для восстановления и последующего развития Днепропетровского алюминиевого завода.

Отступая под натиском наших доблестных войск, освободивших в октябре 1943 года Запорожье, фашистские захватчики взорвали все цехи и сооружения завода. Днепропетровский богатырь лежал в развалинах. Сильно разрушен был и Днепроргэс.

Но вскоре началось возрождение ДАЗ, на родной завод возвращались его старые работники, поступали строительные материалы. 22 июля 1949 года была восстановлена часть электролизного цеха (полностью он вступил в строй лишь в 1951 году) и получен первый послевоенный днепровский алюминий. Гораздо больше времени потребовалось, чтобы возродить и реконструировать глиноземный цех. Только в декабре 1955 года была сдана его первая очередь, а полную мощность освоили лишь на третий год после восстановительных

работ. Модернизация оборудования, интенсификация технологических процессов, автоматизация производства позволили в конце 60-х годов увеличить выпуск глинозема более чем в четыре раза.

Много новшеств появилось у днепровских алюминщиков в послевоенные годы. Впервые в нашей стране сдан в эксплуатацию прокатный стан по производству алюминиевой катанки, налажен выпуск электротермического силумина, внедрено дистанционное управление электролизерами.

И еще одно достижение: электролизные ванны завода работают на самой высокой плотности тока (1 А/см^2), давая к тому же наиболее высокий в алюминиевой промышленности выход металла по току (до 88 %).

Успехи коллектива ДАЗ в дальнейшем развитии производства высоко оценены партией и правительством. 13 мая 1966 года он был награжден орденом Ленина.

**На берегах Ангары
и Енисея**

В тяжелую годину — в начале войны — строился ускоренными темпами первенец сибирских исполинов алюминиевой промышленности — Новокузнецкий алюминиевый завод. Не хватало строительных материалов — кирпича, цемента, металла. Поэтому многие конструкции — перекрытия электролизных корпусов и преобразовательной подстанции — сделали из дерева.

Работая по-ударному, строители буквально за несколько месяцев — к концу 1942 года — подготовили к пуску важнейшие объекты завода. Нелегко было и монтажникам — все работы велись вручную. Механизации тогда не было и в помине. Немало досталось строителям и от капризов погоды. В октябре 1942 года разбушевавшаяся пурга засыпала снегом железнодорожные пути, оборудование, которое прибыло с Днепровского

алюминиевого завода. Пути приходилось расчищать лопатами, а оборудование выгружать на сильном морозе. В начале января 1943 года "родился" первый сибирский алюминий. С этого времени Новокузнецкий алюминиевый завод неуклонно рос и развивался. В послевоенные годы он был реконструирован, значительно расширен — производство алюминия увеличилось более чем в 20 раз. И если вначале металл выпускался только в чушках, то теперь освоено несколько видов готовой продукции. Из года в год улучшается качество металла и снижается его себестоимость.

Алюминиевая промышленность страны многим обязана этому заводу. За последние годы здесь проходило испытание оборудования нового типа, в частности, мощные электролизеры с верхним подводом тока к аноду. Много новокузнецких рабочих и инженеров работают на других алюминиевых заводах, показывая высокое профессиональное мастерство и техническую выучку.

XXI съезд КПСС, утверждая план увеличения производства алюминия, предусмотрел создать мощную алюминиевую промышленность в Красноярском крае на базе запасов нефелинов с попутным получением дешевого цемента и содопродуктов.

Опыт Волховского алюминиевого завода по комплексной переработке кольских нефелинов и возможность использования электроэнергии Красноярской ГЭС должны были обеспечить получение дешевого алюминия.

Еще в 1955 году осенью на окраине Красноярска появились бульдозеры, экскаваторы, самосвалы. Жители поселка Инокентьевского стали свидетелями важного события — прокладки новой дороги к строительной площадке будущего Красноярского алюминиевого завода.

Вскоре по новой дороге потянулись грузовики с разными строительными материалами. В ноябрьские дни на

безлюдных полях за околицей деревни Коркино уже громоздились бревна, доски, штабели кирпича, кучи песка. Кое-где видны были свежевырытые котлованы.

Прошло несколько лет, и там, где еще не так давно были пастбища сел Коркино, Кубево и Песчанка, выросли корпуса Красноярского алюминиевого завода.

В 1959 году, когда уже была создана промышленно-строительная база, приняли решение объединить в одно предприятие алюминиевый завод с заводом алюминиевого проката.

В проекте Красноярского алюминиевого завода отражены были все новинки современной техники — электролизные цехи с двухэтажными однопролетными корпусами свыше 600 метров, одноанодные электролизные ванны на 150 тысяч ампер с непрерывными самообжигающимися анодами и верхним токоподводом. Проектанты не забыли и об охране здоровья рабочих и окружающей среды — газоочистные установки снабжены электрофильтрами для улавливания пыли.

И еще одна особенность этой грандиозной сибирской стройки. Не в пример строителям первых пятилеток, "оснащенным" главным образом топорами, лопатами да кувалдами, здесь трудились "умные" машины — рыли котлованы, забивали сваи под фундамент, воздвигали каркасы заводских зданий и одедали их панелями.

"Почти три десятилетия своей жизни отдал я алюминиевой промышленности, — писал директор строившегося Красноярского алюминиевого завода П. Елизаров. — По роду работы знаком с оснащением и масштабами зарубежных заводов, принимал участие в строительстве и пуске многих наших заводов. Но не будет преувеличением сказать, что предприятия, подобного Красноярскому заводу ни по размерам, ни по совершенству

техники, нет сегодня в алюминиевой промышленности"¹.

В 1964 году на заводе были изготовлены первые слитки алюминия. В последующие годы непрерывно наращивались мощности, вводились в эксплуатацию все новые цехи и корпуса, совершенствовалась технология, увеличивался выпуск алюминия и снижалась его себестоимость (почти на 40 % по сравнению с первым годом работы завода).

Красноярские алюминщики впервые применили для ускорения обжига и пуска электролизных ванн ток силой 160—170 килоампер. Результаты не замедлили сказаться. Новшество позволило в семь-восемь раз сократить сроки ввода в эксплуатацию электролизных ванн. Все шире пользуются на заводе автоматикой, например для регулирования энергетического режима работы электролизеров. Применение для этой цели установки типа "Алюминий" позволило устранить колебания напряжения и снизить расход электроэнергии в производстве металла.

Среди последних новинок техники — комбайн и порталная машина для засыпки и погружения глинозема в расплав.

Поставщиком сырья — глинозема — для завода стал Ачинский глиноземный комбинат, построенный в Красноярском крае по решению XXIII съезда КПСС. Это современный промышленный комплекс, в состав которого входят два громадных рудника — Кия-Шалтырский (нефелиновый) и Мазульский (известняковый). На десятки гектаров раскинулись огромные цехи

¹ *Елизаров П.* Красноярский алюминий. — Красноярск. Кн. изд-во, 1956. С. 28.

глиноземного завода¹, где безраздельно царит автоматика. Чудесные превращения претерпевают нефелины и известняки, прежде чем из них получают глинозем. И нигде, на всем длинном и сложном пути переработки сырья, его не коснутся руки рабочего. Транспортеры, шламопроводы, пульпопроводы, длина которых измеряется сотнями километров, перебросят из цеха в цех все необходимые компоненты.

Ни на одном отечественном комбинате алюминиевой промышленности, кроме Ачинского, не встретишь в цехах и таких громадных и мощных агрегатов — шаровых мельниц, печей спекания и кальцинации. Эти вращающиеся гиганты диаметром 5,0 и 3,6 метров имеют длину 185 и 75 метров².

Огромны по своим масштабам содовый и цементные заводы, входящие в состав Ачинского глиноземного комбината.

Под стать комбинату и крупнейшая в стране теплоэлектроцентраль — Назаровская — мощностью свыше миллиона киловатт, снабжающая его дешевой электроэнергией. В ее топках сгорает уголь Ачинско-Канского бассейна, который добывают открытым способом. Поэтому и стоимость угля ниже, и себестоимость электроэнергии меньше. Следовательно, дешевле будет и глинозем, и получаемый из него алюминий.

Создание Ачинского промышленного комплекса столь громадных масштабов, что его нередко называют "Алюминиевой магниткой", — это еще одна важная веха

¹ Так, блок гидрохимических переделов занимает площадь 75, блок спекания — 78, а содовое производство — 36 тысяч квадратных метров.

² Столь же велики размеры колосниковых холодильников производительностью 125 тонн в час и фильтров, площадь фильтрации которых 50 квадратных метров.

на пути претворения ленинской мечты об освоении колоссальных природных богатств Сибири.

Создание в Восточной Сибири мощной электростанции на берегу искусственного водохранилища — Иркутского моря — позволило правильно выбрать место для постройки огромного центра алюминиевой промышленности — в селе Шелехово.

Уже в 1953 году сюда прибыли первые строители. В процессе строительства алюминиевого завода несколько раз менялась его проектная мощность. К концу восьмой пятилетки она была уже в два с половиной раза выше первоначальной.

Более десятка лет Иркутский алюминиевый завод, оснащенный новейшим оборудованием и самыми мощными в стране электролизерами, находится в первой шеренге своих собратьев.

Одна из особенностей восточносибирского великана — двухэтажные корпуса электролизных цехов. Такое новшество позволяет значительно улучшить условия труда — рабочие площадки устроены на верхнем этаже, а вредные производственные выбросы благодаря улучшенной аэрации быстрее и полнее удаляются из зоны обслуживания электролизеров.

Продукция с маркой "Ирказ" пользуется успехом как у отечественных, так и у зарубежных потребителей. Ее охотно покупают в Англии и Японии, Норвегии и Швеции, Югославии и ГДР.

Спустя два года, после того как в июле 1966 года Иркутский алюминиевый завод выдал первый металл, на берегах Ангары вступил в строй еще один сибирский гигант цветной металлургии — Братский алюминиевый завод. По конструкции многих видов оборудования — электролизеров, преобразовательных подстанций, очистных сооружений — он напоминает своего соратника на Енисее — Красноярский алюминиевый завод.

Уже в процессе строительства завода использовались последние достижения современной техники. Например, электролизеры собраны поточным методом, блоками более 100 тонн.

Такие блоки по специальному железнодорожному пути были доставлены с помощью технологического транспорта в корпус и смонтированы краном на заранее подготовленном основании. Внедрение этого способа монтажа почти на три четверти сократило трудовые затраты.

В последующие годы, и особенно в десятой пятилетке, технических новинок становится все больше. В 1976 году на заводе вступила в строй первая очередь цеха анодной массы, где впервые в алюминиевой промышленности применили десятитонные смесители и котлы-утилизаторы для использования газов, отходящих от прокаточных печей.

Особое внимание уделяет завод оздоровлению условий труда и охране внешней среды. Здесь можно увидеть циклоны-каплеуловители, круглые пенные аппараты, скоростные газоходы и электрофильтры, которых пока еще нет на многих старых алюминиевых заводах. Такое оборудование обеспечивает очистку газов почти на 95 %. В декабре 1976 года была внедрена первая очередь автоматической системы управления (АСУ) с использованием электронной вычислительной машины "Минск-32".

**И в тундре,
и в горах**

Весомый вклад в развитие нашей алюминиевой промышленности после войны

внесли и другие заводы, в первую очередь Павлодарский, построенный в восьмой пятилетке, в Казахской ССР.

Седьмого ноября 1964 года в глиноземном цехе завода была получена первая партия белоснежного порошка

из тургайских железистых бокситов. Их переработка ведется на заводе по последовательно-комбинированной схеме способа Байер-спекание. Шлам, полученный после выщелачивания, спекают с известняком и содой. Так удается дополнительно извлечь глинозем и щелочь. Цех оснащен новым мощным оборудованием — роторными вагонными опрокидывателями, печами спекания длиной 100 метров. В 1974—1977 годах проведена дальнейшая реконструкция и расширение завода.

Успешному пуску и освоению мощностей завода помогла вся страна. В нем участвовали "товарищи по оружию" с заводов Урала, Украины, Азербайджана. Но в основном строителями и монтажниками были трудящиеся Казахстана.

Уже свыше 20 лет снабжает наши алюминиевые заводы глиноземом Пикалевский завод, расположенный в Ленинградской области. Подобно глиноземному цеху Волховского алюминиевого завода, он перерабатывает кольские нефелины, но выпускает в несколько раз больше продукции. Пикалевский завод, освоивший еще в 1962 году проектную мощность, также непрерывно расширяется.

Один из крупных потребителей пикалевского глинозема — алюминиевый завод в Кандалакше (Мурманская область). Строительство началось еще в конце третьей пятилетки, но первые тонны металла завод выдал лишь в январе 1951 года. Война на несколько лет отсрочила его пуск.

Немало трудностей пришлось преодолеть кандалакшским мастерам "огненной профессии", прежде чем завод добился значительных успехов в производстве алюминия и стал передовым предприятием. Сначала не хватало кадров, — помогли мастера с родственных заводов. Затем обнаружилось, что недостает электроэнергии, справились и с этой трудностью. Провели реконструкцию,

перешли на бесцеховую структуру, стали лучше использовать резервы производства, настойчиво совершенствовали технологию.

С давних пор металлурги при электролизе глинозема снимают угольную пену в электролизных ваннах. Так рекомендуют и учебники. Кандалакшане, ломая устаревшие традиции, перестали снимать угольную пену, которая, при соответствующей обработке ванн спокойно выгорает. Новшество значительно облегчило трудоемкие операции и сделало безопаснее труд рабочих. Одновременно оказалось возможным уменьшить расход криолита и фтористых солей.

Кандалакшский алюминиевый завод стал застрельщиком расширения анодов в электролизных ваннах. Внедрение этого предложения позволило увеличить емкость электролизеров более чем на 10 %. Немало и других новинок на заводе, благодаря которым уменьшен расход электроэнергии на одну тонну алюминия, достигнуто дальнейшее повышение производительности труда и увеличение выпуска продукции.

В середине 50-х годов в строй были введены два новых алюминиевых завода: Сумгаитский на Юге — в Азербайджанской ССР и Надвоицкий на Севере — в Карельской АССР.

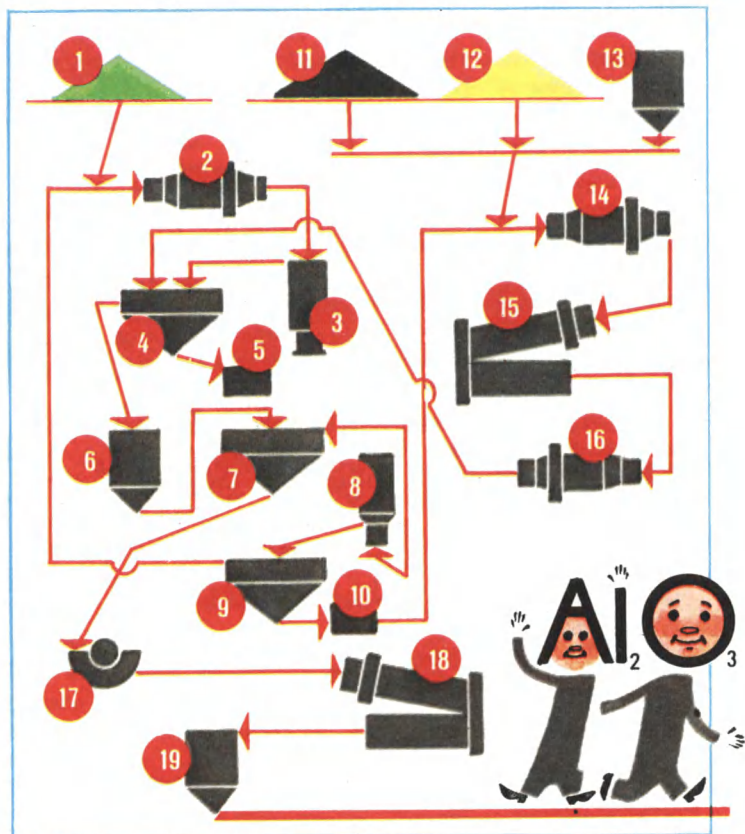
А в начале 1959 года свой первый алюминий выдал раскинувшийся на много километров в приволжской степи, один из самых крупных заводов нашей страны — Волгоградский.

В день 30-летия Победы на Таджикском алюминиевом заводе были пущены первые электролизеры.

Схема производства глинозема из боксита по параллельно-комбинированному способу Байер-спекание:

1 — низкокремнистый боксит; 2 — мокрый размол; 3 — выщелачивание боксита; 4 — сгущение и промывка красного шлама; 5 — красный шлам в отвал; 6 — выкручивание; 7 — сгущение

гидроксида алюминия; 8 – выпарка маточного раствора; 9 – отделение соды; 10 – оборотная сода; 11 – высококремнистый боксит; 12 – известняк; 13 – кальцинированная сода; 14 – размол шихты; 15 – спекание; 16 – выщелачивание спека; 17 – фильтрация гидроксида алюминия; 18 – кальцинация; 19 – глинозем



В Таджикистане нередко землетрясения. Поэтому заводские корпуса построены из легких металлических конструкций, а для обшивки стен и кровли использованы листы волнистого алюминия.

В проектировании и строительстве этих заводов непрерывное участие принимал ВАМИ. Проекты, разработанные коллективом научных сотрудников и инженеров института, были выполнены на высоком научном и техническом уровне.

По проектам ВАМИ построены и строятся также и другие алюминиевые заводы.

Немалую лепту внес институт и в разработку важнейших теоретических проблем, а также изыскание новых составов электролитов, создание механизмов, автоматизацию технологических процессов.

Все это неизменно способствует дальнейшему успешному развитию советской алюминиевой промышленности. Недаром зарубежные фирмы столь охотно приобретают лицензии на право использования достижений советских алюминщиков.

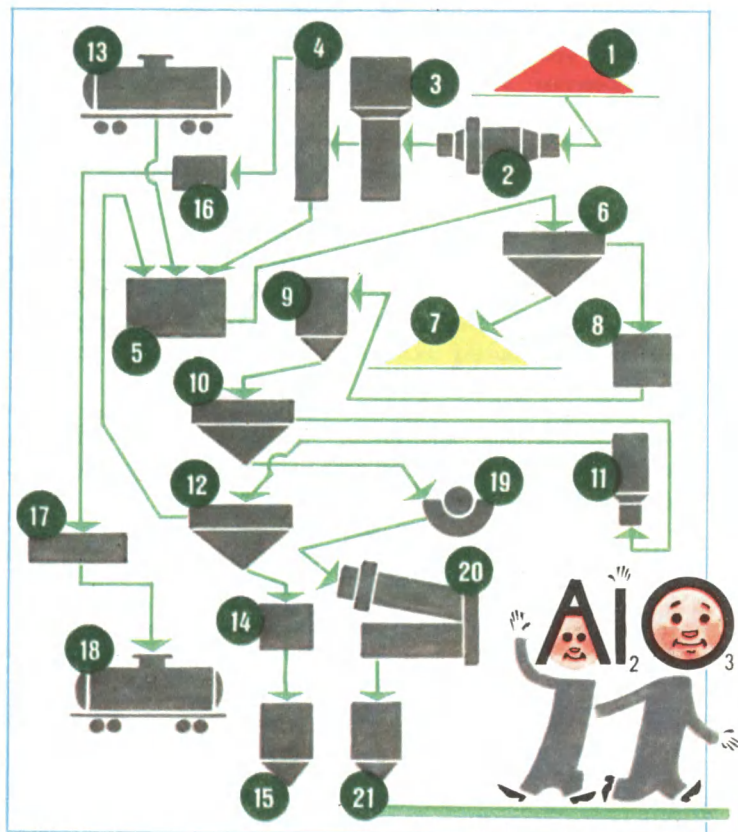
Так были проданы лицензии на установку для кальцинации гидроксида алюминия, на способ получения алюминиевокремниевых сплавов, на комплексный способ переработки алунитов и другие.

Схема комплексной переработки алунита на глинозем, серную кислоту, сульфат калия по восстановительно-щелочному процессу:

1 — алунит; 2 — сухой размол; 3 — обжиг алунита; 4 — восстановление алунита; 5 — выщелачивание; 6 — сгущение и промывка; 7 — шлам в отвал; 8 — обескремнивание раствора; 9 — выкручивание; 10 — сгущение гидроксида алюминия; 11 — выпарка маточного раствора; 12 — отделение сульфатов; 13 — каустическая щелочь; 14 — переработка сульфатов; 15 — сульфат калия; 16 — сернистый газ; 17 — производство серной кислоты; 18 — серная кислота; 19 — фильтрация гидроксида алюминия; 20 — кальцинация; 21 — глинозем

Увеличивая свою продукцию, алюминиевая промышленность будет выпускать все больше необходимых для народного хозяйства сплавов, соды, поташа, серной кислоты, удобрений.

Дальнейшее развитие технического прогресса по всем его направлениям позволит прежде всего снизить тепло-



энергетические затраты. Так, на глиноземных заводах выпарные батареи переведены на четырех- пятикратное использование пара, печи кальцинации снабжены циклонными теплообменниками для термической подготовки гидроксида алюминия за счет тепла отходящих газов. На Николаевском глиноземном заводе установлены печи кипящего слоя. На алюминиевых заводах появятся более мощные электролизеры с обожженными анодами и автоматическим питанием глиноземом. Успешное выполнение планов двенадцатой пятилетки — новый шаг к повышению научно-технического уровня советской алюминиевой промышленности.



И АТОМНИКУ, И СТРОИТЕЛЮ, И ЮВЕЛИРУ

**Все дальше
и выше**

Коллекционеры почтовых марок — филателисты — до сих пор высоко ценят марки с изображением цеппелина на фоне промышленных новостроек. На марке надпись: "Даешь пятилетку в четыре года". Эти марки были выпущены в СССР в ознаменование специального визита в Москву 19 сентября 1930 года немецкого дирижабля LZ-127. У газетных киосков, магазинов "Филателия" и почтовых отделений выстраивались длинные очереди: памятными марками интересовались многие. Марки предназначались для оплаты корреспонденции, отправляемой за границу воздушным путем. Их наклеивали на почтовые открытки, письма, бандероли.

Цеппелин был создан в Германии во время первой мировой войны. Его серебристая оболочка изготовлена из дуралюмина. Начиная с конца 20-х годов, цеппелины совершают трансатлантические полеты, участвуют в научных экспедициях.

Громадная дуралюминовая сигара — LZ-127 — в октябре 1928 года летит со скоростью 125 километров в час в Северную Америку, а в 1929 году проплывает над нашей страной (в районе Вологды), совершая кругосветный перелет. Спустя два года этот цеппелин участ-

вует в совместной советско-германской экспедиции в полярные области.

Согласно разработанной программе дирижабль должен был встретиться с советским ледокольным пароходом "Малыгин" в бухте Тикси и обменяться результатами научных наблюдений и почтой.

26 июля 1931 года цеппелин прилетел в Ленинград, взяв здесь на борт советских полярников и вылетел в направлении Архангельска, а затем взял курс на Землю Франца-Иосифа.

Вот как описывает встречу серебристого гиганта с советским кораблем известный советский полярник Герой Советского Союза И.Д. Папанин:

"Люди с нетерпением ожидали появления дирижабля. Наш ледокольный пароход "Малыгин" вовремя прибыл в бухту Тикси. Это было красивое место. В зеркальной воде бухты отражались огромные белые айсберги. Вдруг с севера появился серебристый корпус цеппелина. Сделав круг над заливом, воздушный корабль приводнился. С него сбросили якорь. К этому моменту я уже погрузил в моторную лодку сумку с почтой и направился к дирижаблю. Мы пришвартовались к гондоле цеппелина, подготовили почту для быстрой передачи на борт дирижабля. В обмен я получил мешок почты, доставленной по воздуху".

В конструкции дирижабля впервые применили алюминий и его сплавы, используемые для строительства летающих машин.

Первый в мире самолет, для постройки которого использовали алюминий, появился во Франции в 1916 году. А теперь алюминий — важнейший металл, без которого не обходятся при создании самолетов, ракет, искусственных спутников Земли, космических корбелей. Его доля в летающих конструкциях

пассажирских самолетов составляет примерно от двух третей до трех четвертей их сухой массы, в ракетах от 0,1 до 0,5.

Легкость и прочность серебристых птиц, уменьшение массы двигателей на единицу мощности зависят от качества используемых при их постройке алюминиевых сплавов.

Человек в нашу эпоху, покоряя воздушные пространства, стремится совершать длительные беспосадочные полеты. Особый интерес представляют высотные полеты в стратосфере. Они сулят сказочные скорости. Конструкторы единодушны в мнении, что алюминий и его сплавы — наилучший материал для постройки стратопланов.

В 30-х годах пристальное внимание научной обществен-



ности было привлечено к полету в стратосферу бельгийского исследователя А. Пикара. Его стратостат, поднявшийся на высоту 18 километров, имел алюминиевую гондолу. Спустя несколько лет рекорд Пикара был перекрыт американским стратостатом "Эксплорер II", который поднялся на высоту 22 километра. Гондола этого стратостата была изготовлена также из алюминиевых сплавов. На алюминиевой гондоле взвились в стратосферу и знаменитые советские пилоты — Прокофьев, Бирнбаум и Годунов.

В завоевании воздушных просторов Вселенной не последнее место занимает и тончайшая алюминиевая фольга.

Святая святых на заводе — специализированный цех изготовления фольги. Даже розу ветров приходится учитывать особенно скрупулезно, когда строят такой цех: качество фольги зависит и от того, чистый или загрязненный воздух окружает цех. Тончайшую, в доли микрона, фольгу выпускают здесь — такая не требуется в обычных, так сказать бытовых условиях. Назначение ее особое — фольга используется в ракетостроении, космонавтике.

Часто мы читаем в газетах сообщения о том, что автоматический корабль доставил на космическую станцию грузы, почту, самые различные приборы для успешной работы космонавтов. Не все равно, в какую фольгу будет все это упаковано. Хотя разница в массе одного квадратного метра той фольги, которую мы употребляем на Земле, и той, которой пользуются в космонавтике, как будто невелика, но при загрузке корабля приходится учитывать не только "лишние" килограммы, но даже и граммы. И чем тоньше будет фольга, тем лучше.

Назначение фольги в космонавтике самое разнообразное — она применяется как экранирующий и тепло-

изолирующий материал; ее используют в космосе для выполнения биологических и других опытов.

Когда первые американские астронавты Нил Армстронг и Эдвин Олдрин высадились на Луне и увидели, что могут приспособиться к жизни на ней, они вскоре принялись за научные исследования. Развернув, захваченный ими с Земли большой лист тонкой алюминиевой фольги, они растелили его на поверхности. Более двух часов фольга находилась под воздействием излучаемых Солнцем газов. Покидая Луну, астронавты захватили с собой этот лист, а также образцы лунных пород, которые упаковали в специальные алюминиевые коробки.

14 мая 1973 года ракета-носитель "Сатурн" (обшивка коробой была сделана из алюминиевых сплавов) вывела первую американскую орбитальную станцию "Скайлеб" на орбиту вокруг Земли. Не прошло и часа после запуска ее, как астронавты обнаружили неисправность — панели двух солнечных батарей не раскрывались. Затем стала подниматься температура внутри станции, достигнув 50 градусов. Такое повышение температуры грозило сорвать всю намеченную работу орбитальной станции — ведь испортились пищевые продукты и некоторые медикаменты, вышли из строя чувствительные электронные приборы. Наконец, обшивка "Скайлеб", изготовленная из пластика, стала бы разлагаться, выделяя вредные для здоровья ее обитателей газы.

Выясняя причину неисправностей, астронавты обнаружили, что экран из алюминиевой фольги, установленный для защиты от метеоритного дождя, оторвался из-за неравномерного под ним распределения давления. При отрыве он полностью разрушил одну из солнечных батарей и заклинил вторую одним из болтов, которым был прикреплен к орбитальной лаборатории. Он же явился причиной быстрого нагрева станции, так как ему было положено также и отражать солнечные лучи.

Не за горами то время, когда человек отправится в далекое космическое путешествие на другие планеты. Межпланетное пространство, как известно, "простреливается" метеоритными частицами разных размеров. Это могут быть как отдельные крупные и мелкие куски, так и целые метеоритные скопления.

Предохранят корабль от ударов и повреждений экраны из алюминиевой фольги. Они будут расположены вокруг корабля и удалены от его оболочки на несколько сот метров. Подобно раскрытым гигантским зонтам, они прикроют межпланетный корабль, образовав при этом конусную "оболочку", внутри которой он находится.

Среди искусственных спутников Земли есть и такие, которые предназначены для отражения радиосигналов. Один из запущенных в США подобных спутников — "Эхо-1" — представлял собой колоссальный шар диаметром около 30 метров из пластмассовой пленки, покрытой тончайшим слоем алюминия. Несмотря на столь внушительный объем, спутник имел массу всего 62 килограмма.

С каждым годом алюминий все больше проникает в космос.

**На море
и на суше**

Алюминий помог человеку подняться в заоблачные высоты, устремиться в космические дали, овладеть морскими безднами, опуститься на дно океана. В древних легендах, на старинных гравюрах и рисунках запечатлено немало попыток человека заглянуть в неведомый подводный мир. Существует предание, что греческий полководец Александр Македонский спускался на глубину 90 метров в специальном колпаке, прикрепленном цепью к кораблю.

Изобретение акваланга, одним из создателей которого был энтузиаст подводных исследований Жак-Ив Кусто,

открыло перед исследователями незабываемую картину на глубине до 300–500 метров.

Однако ученые стремятся все глубже проникнуть на дно морей и океанов. Инженеры и конструкторы ищут способы создания новых типов глубоководных аппаратов.

“В двадцатых годах нашего века два отчаянно смелых американца — Вильям Биб и Отис Бартон — вспомнили об остроумном приспособлении Александра (Македонского. — *Б.Р.*) и работы множества других изобретателей, придумывающих устройства для погружения в глубины океана, — пишет известный американский океанограф М. Гюберлет. — Американцы решили поискать что-нибудь получше, чем стальные скафандры и обувь со свинцовой подошвой, которыми пользовались в их время. Они предполагали построить капсулу, достаточно прочную, чтобы в ней можно было опуститься на большую глубину и вновь подняться на поверхность”¹.

К 1929 году был уже спроектирован и построен ими стальной шар, высотой менее человеческого роста. Изобретатели назвали его “батисферой” (от греческих слов “батис” — глубокий, “сфера” — шар). Однако у батисферы много недостатков — построить ее не так уж просто, трудно разместить в ней наблюдателей и аппаратуру. И самый главный недостаток — она не может самостоятельно всплыть. Батисферу прикрепляли к судну тросом. Если он оборвется, гибнут люди.

Поэтому ученые и изобретатели продолжили попытки построить новый аппарат, который, не будучи привязан к кораблю, мог бы самостоятельно опуститься на большую глубину.

¹ Гюберлет М. Исследователи моря. — М.: Гидрометеиздат, 1970. С. 187–188.

Еще в 1937 году А. Пикар, физик, построивший стратостат, заинтересовался подводным царством и задумал создать глубоководный аппарат, способный погружаться в морскую пучину и передвигаться там по горизонтали. Почти двенадцать лет потребовалось ему для осуществления этой идеи.

Лишь в ноябре 1948 года подводный автономный аппарат получил боевое крещение — он погрузился на глубину свыше 3000 метров.

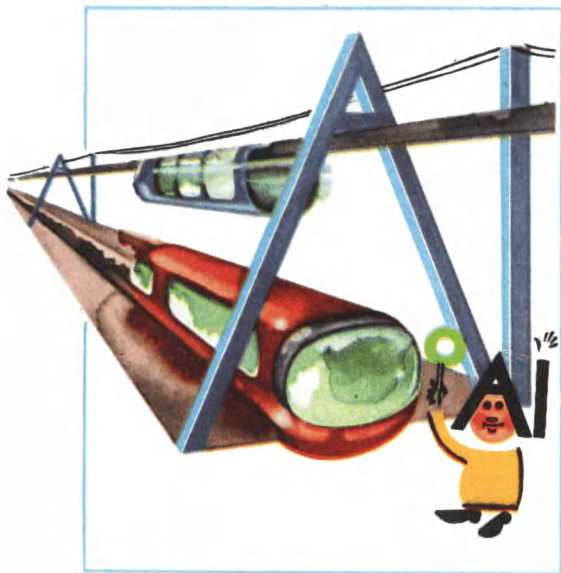
С тех пор построено много различных глубоководных аппаратов, особенно за последние годы в США и Японии. Они рассчитаны на двоих — шестерых "пассажиров" и приспособлены к работе на разных глубинах. Все они оснащены приборами и оборудованием, позволяющими



решать множество задач по океанографии, биологии, геологии, изучать горячие источники, следить за поведением рыб.

Все эти глубоководные аппараты построены, как правило, из стали. Особняком стоит "Алюминаут", способный опускаться на глубину 5000 метров, выполненный целиком из алюминия. Поэтому и масса его значительно меньше, чем у его "собратьев". "Алюминаут" имеет съемные колеса, которые водолазы подсоединяют перед погружением. Это приспособление помогает аппарату легко удерживаться на определенном расстоянии от дна.

Вот как описывает погружение "Алюминаута" на дно Атлантического океана руководитель глубоководной



экспедиции Артур Маркел: "Все, кто находился на его борту, прильнули к смотровым иллюминаторам. Мощные иодно-вольфрамовые прожекторы (их рефлекторы были также изготовлены из алюминия), вынесенные на стреле перед носом "Алюминаута", осветили толщу воды, и тут стало видно, что дно, к которому быстро приближался аппарат, имеет совершенно необычный вид. Нам казалось, что мы стремительно опускаемся на огромную асфальтированную площадь. Оно напоминало черное шоссе.

Едва коснувшись дна, "Алюминаут", мягко амортизируя на резиновых подушках, двинулся дальше. Он катился по дну, как автомобиль по мощной дороге. Такое недоступно обычным подлодкам, да и не всем глубоководным аппаратам под силу. Механические "руки" отломили кусок "асфальта" и положили в огромный металлический (также сделанный из алюминия) контейнер, укрепленный под носом аппарата. Глыба весила 75 килограммов".

Помогая подводному флоту науки добиваться новых успехов, алюминий и его сплавы верно служат океанографам при надводных исследованиях.

Широко используют алюминий и его сплавы в судостроении. Разработаны десятки разных сплавов, обладающих высокой устойчивостью против разрушающего действия морской воды.

Завоевание алюминием морских просторов имеет давнюю историю. Еще в 1893 году был спущен на воду небольшой миноносец, при постройке которого использовали алюминий. А несколько лет назад во Франции сошел со стапелей громадный океанский лайнер, водоизмещением свыше 50 тысяч тонн. Длина его корпуса, изготовленного из алюминия, 315 метров. Он может брать на борт две тысячи пассажиров. На этом гигантском корабле шлюпки, трубы, мебель — все из алюминия.

За рубежом много лет существует обычай — присуждать голубую ленту пассажирскому лайнеру за наибольшую скорость перехода из Европы в Америку. Нет сомнения в том, что обладателями этого и других подобных призов станут корабли, разрезающие своей алюминиевой грудью океанские волны.

И тому порукой поражающая воображение скорость, какой уже достигли в нашей стране "Ракеты" и "Метеоры" — суда из алюминиевых сплавов на подводных крыльях. Советское судостроение по праву оценило этот металл — крылатый в воздухе, крылатый и на воде. Далеко разносится слава об этих судах, скользящих по водной глади. "Способности" этих кораблей оценили десятки стран, купившие у Советского Союза лицензию на них. И стать такими стремительными помогла этим судам не только удачная конструкция, но и выбор самого легкого, прочного металла для ее воплощения.

Все более твердые позиции занимает алюминий в наземном транспорте. Не касаясь даже "стройки века" — Байкало-Амурской магистрали, можно с уверенностью сказать, что ни в одной стране не растет так быстро сеть железнодорожных путей, как в СССР. Особенно быстро осуществляется в нашей стране электрификация железных дорог. Согласно "Основным направлениям экономического и социального развития на 1986—1990 годы и на период до 2000 года" к концу двенадцатой пятилетки протяженность электрофицированных железнодорожных линий увеличится на 8 тысяч километров"¹.

И всюду им будут сопутствовать алюминий и его сплавы. Они снижают массу вагонов и локомотивов, электровозов и тепловозов более чем на одну треть.

¹ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат, 1986. — С. 307.

Железнодорожники не сразу оценили преимущества серебристого металла. Сначала заменили в вагонах дверные медные ручки алюминиевыми, затем постепенно стали применять алюминий и для внутренней отделки пассажирских вагонов. Наступил черед для замены черного металла в обшивке и крыше. А вскоре из твердых алюминиевых сплавов стали изготавливать и вагонные тележки, появились грузовые и пассажирские вагоны, в которых уже почти все части были сделаны из алюминия.

В Англии недавно был снят с эксплуатации железнодорожный состав, курсировавший на линии Манчестер—Бари. Обшивка и большая часть деталей в нем были также из алюминия. Почти сорок лет мчался этот поезд и в зной, и в непогоду, выстаивал под снегом и дождем на запасных путях... и сохранился в хорошем состоянии.

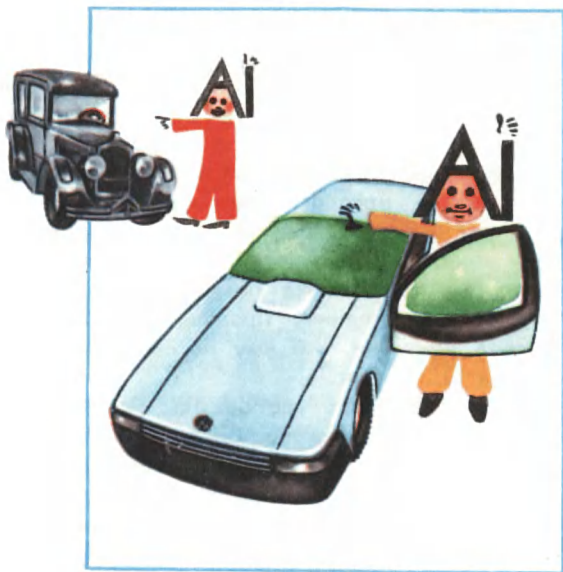
Наряду с грузовыми и пассажирскими вагонами, строительство которых растет с каждым годом как в нашей стране, так и за рубежом, из алюминия строят повсюду вагоны-холодильники, цистерны для перевозки кислот.

Советские конструкторы проектируют постройку из алюминиевых сплавов суперэкспресса обтекаемой формы, вагоны которого напоминают фюзеляж скоростного самолета. "Русская тройка" — видимо, этим названием конструкторы хотят подчеркнуть ту стремительность, с которой поезд помчится по необъятным просторам нашей Родины. Предварительные испытания его корпуса показали, что ему не страшны ни сила встречного ветра, ни тряска.

Трудно переоценить все выгоды, которые дает применение алюминия в железнодорожном транспорте. Хорошо известно, какие огромные затраты требуются для устройства железнодорожного полотна и поддержания его в надлежащем порядке. Насыпи и мосты должны быть достаточно прочными, чтобы выдержать современ-

ные тяжелые грузовые составы (иногда до ста вагонов). Снижение же массы поездов благодаря использованию алюминия позволит значительно удешевить сооружение рельсовых путей и различных железнодорожных наземных сооружений, а также увеличить скорость движения поездов.

Немалые выгоды сулит применение алюминия и для городского транспорта. Свыше 20 % электроэнергии экономит во время движения трамвайный вагон, построенный из алюминия. Легки и изящны составы метрополитена, изготовленные из алюминия. Недавно лондонский метрополитен приобрел 600 новых вагонов. Каждый вагон весит на пять тонн меньше обычного. Все больше деталей из алюминиевых сплавов появляется в автобусах, троллейбусах и автомобилях. Автомо-



бильные заводы, пожалуй, раньше всех познакомились с алюминием, хотя и не сразу оценили его замечательные свойства. Сначала его применяли для дверных ручек, рычагов, внутренней отделки. Но вскоре оценили его легкость, прочность, возможность получения декоративной поверхности высокого качества и длительное сохранение хорошего внешнего вида. Эти свойства открыли алюминию "зеленую улицу" в автомобильной промышленности. В европейских городах нередко можно увидеть мчащиеся по асфальту сигарообразные серебристые автомашины. В США почти целиком из алюминия строят гоночные машины.

Пожалуй, и не перечислить все автодетали, которые теперь изготавливают из алюминиевых сплавов: колеса, корпуса коробки передач, тормозные барабаны, различные элементы отделки...

Сердце автомобиля — двигатель. И в нем немало деталей из алюминиевых сплавов: подшипники, блоки цилиндров, картеры, поршни.

Подсчитано, что 100 килограммов алюминия, заменяющие такое же количество тяжелых металлов в автомобиле, дают экономию горючего до 15 %. Это еще одно дополнительное преимущество — и весьма важное.

Только в нашей стране в текущей пятилетке ежегодно с конвейеров автомобильных заводов два миллиона легковых автомашин. А сколько их каждый год производят во всем мире!

Одна из особенностей современного большого города — увеличивающееся с каждым годом число автомобилей на его улицах. А другая — бурный рост строительства жилых и общественных зданий. И обе они связаны с развитием производства алюминия и его сплавов.

Теснит камень
и железо

Немногим более ста лет
назад, познакомившись с
алюминием и его свойства-

ми. Н.Г. Чернышевский пророчески назвал его металлом будущего, металлом нового социального строя.

Трудно переоценить значения алюминия в технике и быту нашего времени. Особенно подчеркнул великий русский мыслитель важность применения его в строительстве.

Чернышевскому виделась в будущем другая архитектура, не тяжелостенные барские особняки, не казарменные образцы жилищ, украшенные с фасада ложной антикой, а светлые, легкие здания, удобные и красивые, ажурные и рациональные. Но что за материал во времена Чернышевского мог казаться подходящим для такой коренной реформы строительства и искусства? Тут приходится удивляться провидению великого демократа: ведь алюминий в середине XIX века считался редкостью и шел только на мелкие ювелирные украшения. "Какая легкая архитектура этого... дома, — пишет Чернышевский о своей далекой мечте. — Какие маленькие простенки между окнами, — а окна огромные, широкие, во всю вышину этажей! Его каменные стены—будто ряд пилястров, составляющих раму для окон... Но какие это полы и потолки? Из чего эти двери и рамы окон? Что это такое? Серебро? Платина? Да и мебель почти вся такая же, мебель из дерева тут лишь каприз... Эта металлическая мебель легче нашей ореховой. Но что ж это за металл? Ах, знаю теперь... рано или поздно, алюминий заменит собой дерево, может быть, и камень..."¹ И если в прошлом веке описанный в романе

¹ Чернышевский Н.Г. Избранные сочинения. — М.: Гослитиздат, 1950. С. 165.

“Что делать?” дом был создан воображением писателя, то в нашу эпоху он создается руками строителей.

На юго-западе Москвы, в одном из живописнейших уголков столицы, на Ленинских горах, высится новое величественное здание Московского университета.

Влево и вправо от него гордо вздымают к небу свои этажи восемь дворцов-великанов, одетые в белокаменный наряд. Их стройные башни, увенчанные переплетами замысловатых ажурных арок, словно перекликаются с древними “вершинами” Москвы — Кремлевскими башнями, золотыми куполами храма Василия Блаженного и звонницы Ивана Великого.

Из алюминиевых сплавов сделаны в них оконные рамы. Сваренные без швов специальными машинами, они отличаются геометрической точностью и изяществом. В просторных залах, рабочих комнатах, аудиториях немало деталей из алюминия, создающих удобства и комфорт. Белоснежная одежда высотных зданий — керамические плитки, которые не разрушаются от сырости, солнечных лучей и мороза, созданы также с его участием. Они изготовлены из некоторых сортов глины, содержащей значительный процент глинозема.

Хотя пока еще на строительных площадках почти безраздельно господствует железобетон, все чаще инженеры-строители прибегают к алюминию. В новых высотных зданиях все чаще появляются легкие и прочные алюминиевые колонны, балки и перекрытия, декоративные перила и ограждения.

Для обшивки фасада жилых домов и общественных зданий пользуются алюминиевыми листами, покрытыми акриловыми или виниловыми красочными пленками. Из тех же марок алюминиевых сплавов, из которых изготавливают обшивку зданий делают и водосточные желоба, трубы, жалюзи и детали вентиляционных систем. Хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации навесы,

тенты и гаражи, выполненные из листового алюминия. Они служат десятки лет и не разрушаются от коррозии даже в загрязненной атмосфере промышленных городов, Крыши общественных зданий и жилых домов непрерывно соприкасаются с воздухом и поэтому легко становятся жертвами атмосферной коррозии. Особенно она опасна там, где в воздухе содержатся примеси вредных газов: углекислоты, оксидов азота, диоксида серы. Молекулы этих газов, растворяясь в капельках влаги, образуют кислоты, оседающие на поверхности металла и усиливающие коррозию.

Но алюминиевой кровле она не страшна. Первая алюминиевая крыша появилась в Риме на церкви Джааккино в 1895 году. Она до сих пор надежно защищает этот храм от дождя и снега, тогда как крыши на соседних домах не раз уже требовали ремонта. Однако пока алюминий в качестве кровельного материала не нашел такого широкого применения, как для других строительных конструкций и деталей. Причина в том, что кровли из алюминия строят дороже крыш, изготовленных из других материалов.

Хотя уже в конце прошлого века были сделаны отдельные попытки "приглашения" алюминия на стройки, однако путь, ему был открыт лишь в послевоенные годы. Толчком послужило накопление больших запасов алюминия на военных складах, оставшихся неиспользованными во время второй мировой войны.

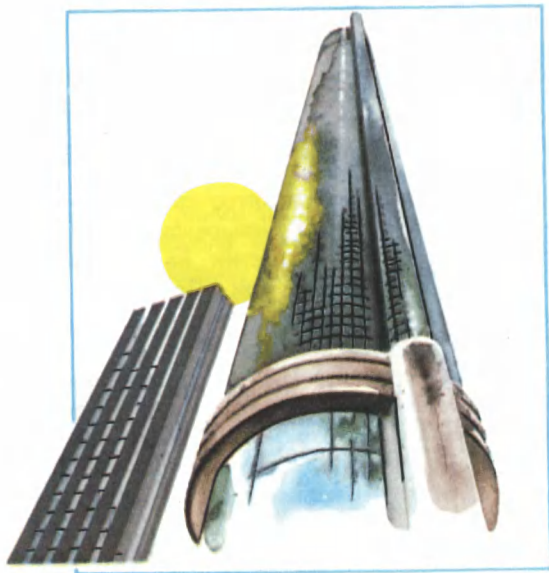
Бурному строительству различных сооружений с участием алюминиевых конструкций способствовали высокая устойчивость металла к коррозии, возможность изготовления деталей, имеющих "природный" светлый цвет с серебристым оттенком, и, наконец, простота и легкость монтажа конструкций.

Поскольку на первых порах стоимость алюминия по сравнению со стоимостью стали была довольно высока,

строители старались получить алюминиевые конструкции легче стальных во столько раз, во сколько раз плотность стали больше алюминия, то есть в 2,8 раза.

В дальнейшем была установлена возможность изготовления различных профилей, листовых фигурных деталей и разнообразных строительных конструкций при относительно небольших затратах и на несложных установках.

И вот уже из алюминия и его сплавов строят жилые дома, общественные здания, спортивные комплексы. В одной только Москве их немало: Кремлевский Дворец съездов, Дворец пионеров на Ленинских горах, универсам "Москва". Есть они и в других городах нашей Родины.



Широко используют алюминий для строительства в Европе, и особенно в США, где ежегодно расходуется свыше двух миллионов тонн строительных конструкций. В 1951 году в Лондоне был построен выставочный павильон оригинальной формы с пологим алюминиевым куполом. Восхищение всех посетителей Всемирной выставки в Монреале в 1967 году вызывал голландский павильон построенный из алюминия.

Алюминиевыми панелями облицованы новое монументальное здание главного почтамта в Брюсселе, радиорелейная башня в Вене, здание ЮНЕСКО в Париже.

В Англии в послевоенные годы было построено несколько десятков школ и более ста тысяч разборных коттеджей из алюминия. Алюминиевые разборные дома уже верно служат и советским полярникам. Они пригодятся геологам, туристам, чабанам, особенно в высокогорных районах, куда их можно будет транспортировать на вертолетах.

За рубежом несколько лет назад появились алюминиевые домики-дачи на колесах. Эти фургоны прицепляют к автомашине. Они пользуются большим успехом у всех любителей загородных прогулок и туризма.

Ленинград издавна славится своими мостами. Всего их насчитывается около четырехсот. Некоторые из них, например, Львиный мостик на Екатерининском канале (канал Грибоедова) или Поцелуев мост на Мойке, упоминаются в произведениях Гоголя, Достоевского, Горького. И все эти мосты построены из стали и камня. А вот сравнительно недавно появился в городе на Неве, пешеходный мостик, арка которого изготовлена из алюминия. Есть у него и более солидные "родственники". Во Франции в последние годы построены два новых моста из алюминиевых конструкций — через Сену и Рону.

Если вам доведется из Ленинграда ехать в Москву

поездом, обратите внимание на новые платформы на Московском вокзале. Они надежно защищены от непогоды легкими алюминиевыми навесами — оболочками. У них еще одна особенность: по внешнему виду они напоминают громадные зонты и крепятся к консолям на самих платформах, а не на междупутье.

**И в электротехнике,
и в телевидении**

растет производство электроэнергии. В "Основных направлениях экономического и социального развития на 1986—1999 годы и на период до 2000 года" указано, что в 1990 году выработка электроэнергии составит 1840—1880 млрд.киловатт-часов, в том числе на атомных электростанциях до 390 млрд.киловатт-часов¹.

Пожалуй, столь же бурно, как строительство, в нашей стране (а мы строим больше всех)

В Европейской части страны и на Урале будет осуществляться сооружение крупных атомных, а в восточных районах конденсационных тепловых электростанций единой мощности 4—6 млн. киловатт-часов и гидроэлектростанций.

Значительно удлинятся линии электропередач, по которым побежит ток высокого напряжения. Энергия, рожденная на тепловых, гидро- и атомных электростанциях, мощным потоком потечет по алюминиевым двухслойным проводам (со стальной сердцевиной) на фабрики и заводы, в шахты и на колхозные поля, в жилые дома и общественные здания.

У переменного тока есть свойство протекать не по всему сечению проводника, а только по его поверхностно-

¹ Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат. 1986. С. 294.

му слою. Алюминий менее прочен, чем сталь, поэтому из него не изготавливают цельные провода, а применяют его лишь в качестве внешней оболочки двухслойных проводов.

До начала производства алюминия в широком промышленном масштабе электрики пользовались медными проводами. Медь, как известно, лучше проводит ток и обладает меньшим электросопротивлением, чем алюминий. Но зато наш "герой" больше чем вдвое легче меди. Поэтому можно пользоваться проводами с большей поверхностью. У алюминиевых проводов есть и другие преимущества — они быстрее охлаждаются и меньше разогреваются при прохождении электрического тока. Наконец, замена медных проводов алюминиевыми дает экономию в массе. Подсчитано, что там, где нужна тонна меди, достаточно полтонны алюминия.

Раньше всех, пожалуй, стали пользоваться алюминиевыми проводами американцы. Как-то в конце 80-х годов прошлого века начальник железнодорожной станции в Чикаго заметил, что медные электрические провода стали быстро изнашиваться. Доискиваясь причины, он обнаружил, что медь разъедали дым и вредные газы, которыми была насыщена окружающая атмосфера. Поскольку изменить химический состав приокзального воздуха было невозможно, решили заменить несколько сот метров медного провода алюминиевым. Опыт оказался удачным, и вскоре в других странах последовали примеру инициативного американца. В настоящее время длина алюминиевых проводов на линиях высоковольтных передач во всем мире превышает миллиард километров.

В последние годы широко используют проволоку из алюминиевых сплавов (0,7 % кремния и 0,75 % магния) для скрученных многожильных проводов линий передач и распределительных линий.

Большой популярностью пользуются у электриков алюминиевые оксидные провода (изоляция из оксида алюминия). Они обладают повышенной стойкостью к нагреву и поэтому используются для обмотки мощных электромагнитов, электросварочных агрегатов, катушек конденсаторов. Для получения такого же сечения (при постоянном токе), как у меди, сечение алюминиевых проводов должно быть в 1,6 раза больше, но поскольку масса их в два раза меньше медных, они гораздо экономичнее.

Алюминий соперничает в электротехнике и со свинцом. Для больших конструкций применяется взамен свинцовой алюминиевая оболочка, которая при одинаковой толщине стоит в пять раз дешевле.



Более половины кабелей с резиновой, поливинилхлоридной или полиэтиленовой изоляцией, которые служат для присоединения к различным электрическим приборам и аппаратам, выпускается с алюминиевыми токопроводящими жилами. Последняя новинка — алюминиевые провода с изоляцией на поливинилацеталевых лаках, которые имеют повышенную нагревостойкость по сравнению с медными. Она обусловлена тем, что медь каталитически стимулирует старение эмалистой изоляции, алюминий же "равнодушен" к ней.

Особый интерес представляет замена медных проводов с бумажной изоляцией алюминиевыми с маслостойкой эмалистой изоляцией в трансформаторах. При этом достигаются значительная экономия конструкционных материалов и снижение потерь в обмотке.

Все более прочные позиции завоевывает алюминий в последние годы в радиотехнике и телевидении. Из алюминиевых сплавов делают самолетные и морские антенны для радиолокаторов и различных радиоустройств.

Почти все наружные телевизионные антенны изготовлены из алюминиевых трубок разного диаметра. Широкое применение в электронике находят различные виды алюминиевых конденсаторов — из фольги, электролитические и т.п.

Сегодня невозможно представить себе жизнь современного человека без телефона и телеграфа. Они проникли в самые отдаленные уголки нашей планеты. Связисты, как и электротехники, не могут обойтись без алюминия и его сплавов. Из них изготавливают разнообразные провода и кабели, применяемые для местных и международных линий.

Помощник доброго атома

Подъезжая к атомной станции, вы не увидите ни рельсовых путей, по которым бегут поезда с углем или нефтью, ни клубов густо-

Подъезжая к атомной станции, вы не увидите ни рельсовых путей, по кото-

го черного дыма, извивающегося змеиными кольцами, ни верениц автомашин, груженных торфом. Вы не увидите ничего, что привычно и характерно для больших тепловых электростанций. Вы не услышите и шума воды, низвергающейся с плотин гидроэлектростанций. Кругом царит безмятежный покой и тишина. Тихо и внутри здания. Здесь все делается автоматически. Сердце атомной станции — мощный реактор. Толстые (больше метра) бетонные стены скрывают от наших глаз таинство разрушения ядер атомов урана. Вставленные в графитовый блок реактора урановые стержни находятся в алюминиевой оболочке. Она защищает их от коррозии, вызываемой теплоносителем, предотвращает попадание в него продуктов деления во время охлаждения.



Почему же именно алюминий так полюбился атомщикам? Разумеется, на это есть свои причины — известные нам его качества: высокая стойкость к коррозии и более низкая стоимость по сравнению с другими материалами. Но самое главное — малое сечение захвата нейтронов. Это особенно важно, потому что при большом сечении захвата будет происходить ненужная потеря нейтронов, или иными словами, уменьшится число “работающих” нейтронов. Следовательно, снизится эффективность работы реактора, а значит, и самой атомной электростанции.

Алюминиевые оболочки успешно справляются со своими обязанностями и в реакторах с органическими теплоносителями при повышенных температурах (300—400°C). В некоторых американских реакторах пользуются трехслойным алюминиевым сплавом — боралом, который прекрасно поглощает тепловые нейтроны. Начинкой такого “пирога” служит карбид бора, рассеянный (диспергированный) в виде небольших гранул в массе алюминия. За последние годы во многих ядерных реакторах стали применять соты из алюминиевой фольги для поглощения энергии в куполе реактора. На одной из атомных станций такие соты рассчитаны на поглощение кинетической энергии 56 миллионов джоулей.

Наш век историки, вероятно, будут называть веком атомной энергии и синтетических материалов. И ни одно из предприятий этих отраслей промышленности не может обойтись без алюминия и его сплавов. Реакционные котлы, трубопроводы, теплообменники, конденсаторы и другое многочисленное оборудование¹ из алюминия

¹ Аппаратура для производства эфира, глицерина, целлулоида, спиртов, перекиси водорода, емкости для перевозки и хранения уксусной кислоты, альдегидов, синтетических смол, жидкого азота и кислорода. — Б.Р.

действуют в различных заводских цехах, производящих полимеры и другие химические продукты. Характерно, что использование алюминиевой аппаратуры в производстве пластмасс позволяет избежать изменения их цвета. Алюминий оказался наилучшим материалом и для аппаратуры самых разнообразных отраслей пищевой промышленности: сахарной, кондитерской, пивоваренной, консервной. Он не разрушает витамины, поэтому из него изготавливают маслобойки, сепараторы, варочные котлы.

В последнее время на земном шаре все острее чувствуется нехватка пресной воды. Во многих странах с засушливым климатом строят установки для опреснения морской воды. В таких установках трубы конденсаторов изготавливают из алюминиевых сплавов. Они обходятся вдвое дешевле, чем медные и никелевые.

Алюминий — неизменный соперник стали, все больше вытесняющий ее из разных отраслей народного хозяйства. И в то же время он ее верный друг. Чтобы сталь получилась прочной, ее необходимо очистить от вредных примесей. Тут-то на помощь приходит алюминий. Небольшое количество голубого металла, брошенного в ковш с расплавленной сталью, жадно реагирует с кислородом оксида железа (II). Освобождая железо, алюминий превращается в оксид (Al_2O_3) и всплывает на поверхность в виде легко удаляемого шлака. Этот процесс металлургии называют раскислением стали (попутно удаляются и включения вредных газов).

**“Профессиям”
несть числа**

алюминий столь же активно внедряется во все уголки нашего повседневного быта.

В парикмахерской вы нередко увидите женщин, терпе-

Победно шествуя по планете и проникая во все области современной техники,

ливо сидящих под алюминиевыми колпаками. Струя горячего воздуха, направленная из алюминиевого электрофена, быстро сушит влажные волосы.

Алюминиевый пылесос приходит вам на помощь. Тихо жужжит он, высасывая пыль из ковров и диванов. Нет, пожалуй, сегодня ни одной кухни, чтобы на ее полках не отливала серебром разнообразная алюминиевая посуда. А ведь сто с лишним лет назад она украшала лишь кухни королевских дворцов (да и то не всех!).

На одном из банкетов, данном французским императором Наполеоном III в конце 50-х годов прошлого века, его семья и гости — иностранные монархи — пользовались новинкой — алюминиевыми ложками и вилками.



Императору так понравился новый серебристый металл, что он задумал одеть своих солдат в алюминиевые доспехи. Какую зависть они вызвали бы у государей других стран. Однако Наполеону так и не удалось заставить других монархов "позеленеть" от злости. Алюминий в то время стоил слишком дорого и вырабатывалось его еще очень мало.

Хотя производство алюминиевой посуды занимает львиную долю среди товаров широкого потребления, однако с каждым годом неуклонно увеличивается и ассортимент изделий с "участием" алюминия: фотоаппараты, радиоприемники, ракетки для бадминтона, вентиляторы, стиральные машины и тысячи других. Все больше изготавливают из алюминия и его сплавов различной мебели для ресторанов, учреждений, школ, детских садов. Успехом пользуется садовая мебель и садовое оборудование — рукоятки грабель, лопат, цапок и т.д.

В 1855 году на Всемирной выставке в Париже в одной из зеркальных витрин были выставлены изумительные по красоте вазы и чашки — изделия знаменитой Севрской фарфоровой фабрики. Рядом с ними лежало несколько небольших слитков и тонких полос белого, серебристого металла. Это были куски первого алюминия, который тогда называли "серебром из глины". Несколько ювелиров, посетивших выставку, обратили внимание на алюминий, и вскоре в Париже появились броши, кольца, запонки. В то время они успешно конкурировали с золотыми.

Как известно, поверхность алюминия всегда покрыта тонкой оксидной пленкой, которая придает изделию матовый оттенок. Чтобы сделать алюминиевую поверхность блестящей и красивой, ее подвергали механической полировке или травлению. Однако через некоторое время она утрачивала блеск и тускнела.

В наш век научились изготавливать изделия из алюминия

и его сплавов так, что они не теряют ни блеска, ни красивого вида.

На помощь пришла новая техника. Изделия полируют, пользуясь электрическими методами, и оксидируют. Оксидную пленку окрашивают органическими красителями в золотистый цвет. Хорошо выглядят корпуса и браслеты для наручных часов, подносы, пуговицы. Такие изделия по своему качеству не уступают позолоченным изделиям из латуни. Еще выше качество анодированных изделий из алюминия, окрашенных под золото. Они совершенно не подвергаются коррозии.

Для проверки корпус наручных часов выдерживали в атмосфере повышенной влажности (90 %), но ни одного ржавого пятнышка на них не появилось. А вот на позолоченном латунном корпусе часов, испытанном в тех же условиях, были обнаружены небольшие язвочки.

А вот и еще одно необычное применение алюминия, которое нашел ему советский инженер — изобретатель Е. Бурцев. Он сделал из этого металла скрипку. До сих пор скрипки делали только из древесины. Красота и сила звучания во многом зависели от сорта древесины, ее качества, лака и ряда конструктивных особенностей. Всегда высоко ценились скрипки, изготовленные талантливыми мастерами, которые смогли найти нужные сочетания, чтобы скрипка пела.

Е. Бурцеву удалось после длительных испытаний подобрать такой алюминиевый сплав, который оказался не только удачным соперником древесины, но имеет и ряд преимуществ. Звук в металле распространяется равномерно во все стороны, а это позволяет легче рассчитать акустическую систему. Кроме того алюминиевая скрипка обладает более мощным звуком, что особенно важно при исполнении в больших концертных залах. Металлическая скрипка несколько отличается от

деревянной по своей конструкции — у нее другая форма свода и волновода, на который опираются струны.

А какие возможности открываются для создания детских игрушек из анодированного и оксидированного алюминия и фольги — легких, окрашенных в яркие радостные цвета!

За рубежом уже почти четверть века из алюминиевой фольги и проволоки делают ветви искусственных новогодних елок.

Но больше всего фольги идет на упаковку разных пищевых и промышленных товаров. В самолете, когда подают завтрак или ужин, вам обязательно дадут несколько серебристых конвертиков величиной с большую почтовую марку — в них перец, соль, чай и даже... салфетка. Она изготовлена из особой бумаги, пропитанной ароматным составом.

Только в США на упаковку ежегодно расходуется свыше 250 тысяч тонн фольги (толщиной от 0,0043 до 0,15 миллиметра). Конфеты, сыр, шоколад, лекарства, косметика и сотни других продуктов и товаров упаковывают как в чистую фольгу, так и в фольгу, сочетаемую с целлофаном, бумагой, пластмассовыми пленками. Среди многих достоинств фольги — гигиеничность, гибкость, повышенная прочность, устойчивость против коррозии — есть еще одно — светостойкость. Поэтому ее применяют для упаковки фототоваров.

Много разных "профессий" у алюминия, везде он работает добросовестно.

Одна из загадок нашего удивительного века, столь богатого замечательными техническими новшествами и научными открытиями — акселерация.

Причиной этого странного, всем теперь хорошо знакомого явления большинство ученых считают улучшение условий жизни, уменьшение физических нагрузок, всеобщий стресс, электромагнитное воздействие. За пос-

ледние годы за рубежом появились в печати статьи, в которых авторы связывают это загадочное явление с широким распространением алюминиевой посуды — котлов, кастрюль, молочных бидонов, тарелок, ложек, вилок. По мнению авторов таких статей, акселерация — это воздействие алюминия, соединения которого обнаружены теперь во всех органах тела человека, тканях и выделениях. Довольно много алюминия в наших легких, печени, головном мозгу. Теперь уже доказано медиками, что алюминий улучшает пищеварение, способствует увеличению секреторной функции слюнных желез.

Нервный стресс, как правило, сопровождается увеличением концентрации алюминия в крови. Замечено, что при ожогах происходит повышение концентрации алюминия в крови. Оказывается, алюминий принимает деятельное участие в образовании эпителиальной и соединительной тканей, а также костей. И еще одна особенность "юного богатыря" (как теперь не редко называют алюминий). Он выступает в роли антагониста фосфора, который, как известно, способствует прекращению роста скелета.

Вот потому-то некоторые ученые и полагают, что, противодействуя фосфору, алюминий как бы подталкивает рост костей человека. Другой аргумент в пользу воздействия алюминия на акселерацию — его роль в пищеварении. Он ведь способствует лучшему перевариванию, усвоению и расщеплению пищи.



ЗАГЛЯНЕМ В ЗАВТРА

Практически неисчерпаемы

Невиданные темпы развития технического прогресса в наш век налагают все новые и новые обязанности на обитателей нашей планеты. Человек должен быть рачительным хозяином: неуклонно заботиться об охране окружающей среды, не губить зря зеленых насаждений, экономно расходовать дары океана и земных недр.

Недаром в Конституции Союза Советских Социалистических Республик записано, что граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства. Необходимость охраны природы отражена и в законодательствах многих других стран.

Быстрый рост промышленности влечет за собой стремительное истощение запасов металлических руд, нефти и природного газа. Некоторые экономисты считают, что многие полезные ископаемые будут извлечены почти полностью к концу нашего века. А вот алюминиевой промышленности нехватка сырья не грозит ни в XXI, ни в XXII веке. Запасы алюминиевого сырья практически неисчерпаемы. Недавно были найдены огромные залежи высококачественных бокситов в Австралии — около пяти миллиардов тонн, что составляет примерно половину их количества, выявленного до сих пор. Предполагается, что к первой четверти XXI века разведанные запасы бокситов удвоятся и превысят 20 миллиардов тонн.

По мнению некоторых зарубежных специалистов, основные запасы бокситов (без СССР) будут исчерпаны к 2020 году, и поэтому большую часть производимого в мире алюминия придется извлекать из других его руд — каолинов, сиенитов, андалузитов. В Советском Союзе еще шире развернется переработка кольских и сибирских нефелинов. Наряду с совершенствованием традиционного способа Байера для переработки алюминиевого сырья будут применять и различные новые способы.

И старыми, и новыми

Алюминиевые руды с высоким содержанием кремния предложено перерабатывать кислотными

способами. Поскольку алюминий по своей природе обладает амфотерными свойствами, то есть одинаково хорошо растворяется в кислотах и щелочах, а кремний в кислотах практически нерастворим, то обрабатывая такие руды кислотой, можно отделить глинозем от кремнезема. При этом нет необходимости использовать известь, чтобы связать кремнезем, как это приходится делать при спекании. Однако себестоимость глинозема, получаемого при переработке кислотными способами бедных алюминиевых руд, выше, чем по способу Байера. Вот почему усилия исследователей по-прежнему направлены на дальнейшее совершенствование этого столь хорошо себя зарекомендовавшего способа производства глинозема. Увеличить его эффективность можно повысив температуру выщелачивания. С повышением температуры возрастает степень извлечения глинозема из боксита, а также повышается устойчивость рабочих растворов. И еще одно важное преимущество — значительно сокращается аппаратура, необходимая для выпарки — самой энергоемкой стадии процесса Байера, и уменьшается время выщелачивания.

Однако проведение процессов выщелачивания при высоких температурах (300–350^oC) требует замены существующих автоклавов трубчатыми.

Высокотемпературное выщелачивание немыслимо без эффективной технологической схемы полного использования тепла. Поэтому алюминщики, совершенствуя процесс Байера, стремятся найти правильное (оптимальное) решение проблемы. Уже достигнуты значительные успехи. Созданы схемы использования тепла, которые позволяют снизить расход пара на тонну глинозема с 6–8 до 2–3 тонн.

В Советском Союзе успешно разрабатывается другой весьма оригинальный способ переработки бокситов с высоким содержанием кремния — гидрохимический. Его главное достоинство — большая простота. Полностью устраняется операция спекания шихты при температуре 1200–1300^oC, не нужны уже громоздкие печи со сложной системой улавливания пыли. Руда подвергается выщелачиванию при 300–350^oC.

Успешная разработка этого технически несложного способа стала возможной лишь благодаря систематическому и глубокому изучению системы, состоящей из оксидов натрия, алюминия, кремния, кальция и воды ($\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 -$

CaO — H₂O). Понимание химического поведения этой системы, во многом определяющей различные процессы глиноземного производства, дало возможность разработать технологию извлечения глинозема на новой принципиальной основе.

Помогла и новая техника — автоклавы, способные работать при высоких температурах.

Изобретательская мысль стремится создавать и новые методы, получения металлического алюминия. Один из них может стать серьезным соперником такого, казалось бы, незаменимого и незыблемого процесса, как электролиз криолито-глиноземных расплавов, и столь простого и совершенного способа Байера.

При имени его изобретателя метод называется Тот-процессом и пригоден для переработки бедных бокситов и глин. Глину смешивают с коксом и пропускают через смесь хлор — газ. Полученный хлорид алюминия очищают от примесей и смешивают с гранулами марганца, который вытесняет из него алюминий, а сам превращается в хлористую соль. Хлористый марганец затем окисляют кислородом воздуха в диоксид. При этом хлор освобождается и возвращается в процесс, так же как и марганец.

У нового способа много преимуществ — не образуется красный шлам, переработка которого доставляет алюминщикам много забот, не нужны вредные для здоровья фтористые соли, не загрязняется окружающая среда. К тому же гораздо меньше капиталовложения, дешевле обслуживание. Расход энергии при новом способе производства алюминия составляет всего 10 %, а себестоимость 50 % от существующих ныне способов.

Японская фирма "Мицуи алюминия" разработала новую технологию выплавки и очистки алюминия, которая дает значительную экономию электроэнергии. По новой технологии бокситы нагревают с коксующимся углем до 2000^oC. При такой температуре алюминий, который содержится в руде, отделяется от кислорода подобно тому, как железные руды расстаются с кислородом при выплавке чугуна в доменной печи. Полученный алюминий рафинируют, получают слитки металла чистой 99,9 %. Уже несколько лет работает в Японии установка, построенная фирмой "Мицуи алюминия". Получаемый на этой установке алюминий значительно дешевле, чем при производстве традиционными методами.

Повышения эффективности производства глинозема и алюминия без изменения конструкции аппаратов и технологических параметров процессов можно достичь и другим путем — автоматизацией.

АСУ на марше

На Пикалевском глиноземном заводе уже несколько лет успешно действует автоматизированная система управления (АСУ) технологическими процессами производства глинозема из нефелина. Эта система, получившая название "Нефелин-1", взаимосвязанно управляет приготовлением шихты, спеканием, выщелачиванием спека, карбонизацией.

Комплекс средств вычислительной техники, которой располагает АСУ, размещен в двухэтажном корпусе. В просторном светлом зале, где кондиционерами поддерживаются заданные температура и влажность воздуха, за пультом управления сидит оператор. Оператор контролирует протекание технологических процессов и "помогает" машине ими управлять. Он может в любой момент оперативно скорректировать тот или иной технологический параметр.

В распоряжении оператора специальное устройство — дисплей, на громадном телевизионном экране которого по вызову высвечивается значение измеряемых параметров. Одновременно на экране появляется и их регламентное (предписанное) значение для любого аппарата, которым интересуется оператор.

Параметры могут быть самыми разными: потоки растворов и пульпы, их химический состав, уровни растворов в реакторах и баках и многие другие. В случае отклонения какого-либо параметра от регламента включается световая сигнализация и на экране дисплея автоматически вспыхивает цифра, показывающая это отклонение. Допустим, по какой-либо причине переполнился бак промежуточной продукции и раствор может перелиться через край. На экране дисплея мгновенно появится информация о превышении предельно допустимого уровня. Оператор немедленно примет необходимое решение и даст команду на понижение производительности предыдущей стадии процесса или на повышение последующей.

Для реализации этих команд в его распоряжении имеются органы дистанционного управления. Нажимая ту или иную кнопку на пульте управления, оператор может изменить любой параметр процесса, в данном случае поток раствора.

Специалисты Советского Союза совместно с коллегами из Народной Республики Болгарии разработали новую технологию и создали высокопроизводительную литейную композиционную машину. Она не имеет аналогов в мировой практике алюминиевого производства. Внедрение таких машин на алюминиевых заводах дает возможность осуществлять комплексную автоматизацию производства.

Трудно даже подсчитать, какую огромную экономию даст оснащение глиноземных заводов различными автоматическими приборами и особенно широкое внедрение автоматизированной системы управления установкой "Нефелин-1".

Теперь АСУ можно встретить и на алюминиевых заводах. Здесь ее эффективность еще больше, поскольку процесс электролиза криолито-глиноземных расплавов требует очень тонкого регулирования. Затраты на сооружение автоматической системы управления очень быстро окупаются. Например, в США на одном алюминиевом заводе для этого потребовалось всего шесть месяцев.

При столь быстром развитии технического прогресса следует в недалеком будущем ожидать почти полной автоматизации производства на глиноземных и алюминиевых заводах с широким использованием вычислительной техники. А со временем — в более далекой перспективе — появятся заводы-автоматы, которые будут обслуживаться роботами.

Автоматизация производства в алюминиевой промышленности, по-видимому, пойдет по двум направлениям: и вглубь, ивширь. Развитие вглубь — это передача "на откуп" автоматам все новых и новых функций управления, таких как настройка и наладка отдельных элементов и подсистем, что в настоящее время под силу только высококвалифицированным специалистам. Вширь — это переход от местной частичной автоматизации отдельных технологических процессов к комплексной автоматизации всего производства.

Спорт с пластмассой и сталью

Наряду с дальнейшим развитием технического прогресса в производстве глинозема и алюминия

непрерывно расширяются области применения алюминия, особенно новых его сплавов.

Каждый год Земля получает от Солнца столько энергии, сколько могли бы дать 30 миллионов крупнейших в мире электростанций.

Уже более полувека изобретатели создают разные типы солнечных нагревателей, которые позволяют уловить хотя бы небольшую часть громадной энергии и поставить ее на службу человеку.

В ближайшем будущем в связи с истощением запасов нефти и газа следует ожидать широкого распространения гелиотехники. Для отопления домов и различных бытовых нужд будут применяться устройства из алюминия, панели которых имеют внутренние каналы, нагревающие воду до 30—80°С.

За последние годы во многих странах все больше ощущается

нехватка пресной воды. Ведь сейчас расход ее в крупных промышленных городах превышает 50 литров в сутки на человека. И тут на помощь придут нагреватели с алюминиевыми деталями, концентрирующие солнечное тепло и позволяющие нагревать воду до 300⁰С. Их можно будет использовать не только для питания установок для опреснения морской воды, но и для холодильников.

Алюминиевые зеркала помогут "уловить" солнечные лучи и в высокотемпературных нагревателях, предназначенных для получения пара высокого давления на электростанциях.

За последние годы алюминий стал применяться в производстве обычных зеркал высшего качества. Раньше зеркальное стекло покрывали тонким слоем серебра. Теперь дефицитный металл стали заменять алюминием. Румынские ученые сконструировали промышленную установку для алюминиевого покрытия стекла в вакууме производительностью 200 тысяч квадратных метров зеркал в год. Они стоят в 3—4 раза дешевле зеркал с серебряным покрытием, несколько не уступая им по качеству.



Как известно, чем меньше масса автомобиля, тем меньше расход горючего, так как он в значительной мере пропорционален массе автомашин. Поэтому и стремятся конструкторы и автомобилестроители к замене стальных деталей и конструкций пластмассовыми и алюминиевыми. Пластмассы пока стоят дороже алюминия, к тому же этот металл прочнее пластмассы. В американских легковых автомобилях в настоящее время средняя масса деталей из алюминия и его сплавов составляет около 40 килограммов.

В течение среднего срока службы автомобиля экономия энергии от уменьшения расхода бензина на каждый килограмм алюминиевых деталей почти в пять раз превышает расход энергии на их изготовление.

Некоторые специалисты считают, что со временем можно будет довести массу алюминиевых деталей в больших легковых автомашинах до 500 килограммов.

У алюминиевых сплавов, число которых быстро растет, много разных достоинств, но все же они уступают по прочности и упругости, жесткости и термической стойкости сплавам на основе железа.

Казалось бы, что эти недостатки присущи сплавам алюминия в силу его природы. Но ведь в наш век научились изменять и природу!

Ученые и металлурги, тщательно изучив свойства различных алюминиевых сплавов, пришли к выводу, что их можно избавить от некоторых недостатков, ограничивающих их применение в некоторых областях народного хозяйства. Достаточно армировать их тонкими металлическими проволоками или особо прочными волокнами, получаемыми из неметаллических материалов — графита, карбидов бора и кремнезема.

В настоящее время в США освоили технологию производства армированных листов из серийных алюминиевых сплавов. Чаще всего листы армируют тонкой (0,2 — 2,5 миллиметра) бериллиевой и высокопрочной стальной проволокой (из нержавеющей стали с пределом прочности 3400—3650 МПа). Широко применяются для армирования волокна бора, карбидов бора и кремния и борсика (волокна бора, покрытого карбидом кремния). За последние годы появились листы алюминиевых сплавов, армированных волокнами графита и карбида бора, покрытого нитридом.

Если объемная доля волокна бора или его карбида достигает в армируемой композиции 40—50 %, то прочность алюминиевого сплава (например, 6061) увеличивается до 1400—1500 МПа.

Уже почти полвека авиация — главный потребитель алюминия

и его сплавов — забирает почти треть всей продукции из них. И неудивительно, что все крупные американские авиационные фирмы сразу же заинтересовались композитами (как называют армированные волокном и проволокой сплавы).

Применение композита (АI—В) с перекрестным расположением армирующих волокон для изготовления фюзеляжа, крыла и обшивки, элеронов дало возможность значительно снизить толщину ее и массу всей конструкции на 23 %, почти на тысячу килограммов.

Уменьшение массы самолета заметно улучшает все летно-технические характеристики, повышает емкость топливных баков, дает возможность брать на борт самолета больше полезного груза. При этом не снижается ни скорость, ни дальность полета, а время нахождения самолета в воздухе еще и увеличивается.

Композиты будут все шире применяться и в ракетной технике. Пригодятся они и кораблестроителям для постройки корпусов надводных судов и глубоководных аппаратов, химикам — для изготовления реакторов, цистерн, газовых баллонов, работающих под высоким давлением. Детали из композитов появятся вскоре на скоростных поездах, мчащихся со скоростью 300 километров в час, грузовых автомобилях.

Со временем будут созданы композиты с необычными свойствами, например, они смогут иметь ферромагнитные свойства в одном направлении и антиферромагнитные свойства в другом. Или возможен такой композит, который в одном направлении будет иметь высокую проводимость, а в другом — изоляционные свойства.

Алюминиевая промышленность берет все новый и новый разбег, увеличивая свою продукцию, расширяя ее ассортимент и области применения. Будущее сулит ей радужные перспективы.

Несколько слов к читателям	5
ДОРОГОЙ НЕРАСКРЫТЫХ ТАЙН	7
И греки, и римляне Дэви терпит фиаско. С булавочную головку. На Земле и в Космосе.	
ЛЕГЧЕ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ	26
Ему не страшен тлен. Нежелательные "соседи". Блестит всегда, блестит везде. Лед и пламень. Реакция с двойной фамилией.	
НА ВСЕХ КОНТИНЕНТАХ	43
В разных обличьях. На Севере и на Востоке. На родных просторах. Солнце и ветер атакуют. Из Кольской шка-тулки.	
ПЕРЕВОРОТ В НАУКЕ	68
Кирпичи мироздания Обязательное условие. Союзник или соперник? Невидимое становится видимым	
КОГДА ПРИХОДИТ УСПЕХ	84
"Отец" алюминиевой промышленности. Помогла поваренная соль. Отличается крайней простотой. "Я получил его!". Удивительные совпадения.	
В СОЮЗЕ С ХИМИЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ	107
Два важных открытия. Под знаменем Октября. Из своего сырья. Невзирая на трудности.	
И В РАКЕТЕ, И В ЛАЙНЕРЕ	127
Любимец авиаторов и астронавтов. Кому обязаны? Комбинируя и изменяя. Новые "квартиранты". Неожиданные свойства. Верные друзья и защитники. Огнем рожденные.	
ПОСТУПЬЮ ПЯТИЛЕТОК	157
Днепровский богатырь. За каменным поясом. В тяжелую годину. В ногу с прогрессом. На берегах Ангары и Енисея. И в тундре, и в горах.	
И АТОМНИКУ, И СТРОИТЕЛЮ, И ЮВЕЛИРУ	184
Все дальше и выше. На море и на суше. Теснит камень и железо. И в электротехнике, и в телевидении. Помощник доброго атома. "Профессиям" несть числа.	
ЗАГЛЯНЕМ В ЗАВТРА	215
Практически неисчерпаемы. И старыми, и новыми. АСУ на марше. Спорит с пластмассой и сталью.	

Научно-популярное издание

Борис Яковлевич Розен
Яков Борисович Розен

МЕТАЛЛ ОСОБОЙ ЦЕННОСТИ

Редактор издательства **С.А.Чистякова**
Художественный редактор **А.А.Якубенко**
Технический редактор **Е.К.Астафьева**
Корректор **В.С.Колганова**

ИБН° 3493

Подписано в печать 23.06.88. Т—13445. Формат бумаги 70x100 1/32
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл.печ.л. 9,03. Усл.кр.-отт.
36,44. Уч.-изд.л. 8,93. Тираж 10000 экз. Заказ **1503** Цена **60** к.
Изд. № 1749

Набрано в издательстве "Металлургия" на НПТ
операторами **Л.В.Сизовой, Г.В.Красюк**

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Металлургия", 119034, Москва, Г-34,
2-й Обыденский пер., д.14

Типография издательства "Калининградская
правда", 236000, г.Калининград (обл.),
ул.Карла Маркса, 18

60 к.



«МЕТАЛЛУРГИЯ»

