

ББК 61Т7 ЯЗО УДК (54 +
66) : 338(023)

Рецензенты:

академик В. А. Легасов |
докт. хим. наук,
проф. И. В. Мелихов

Ягодин Г. А. и др.

ЯЗО Химия и химическая технология в решении
глобальных проблем / Г. А. Ягодин, Э. Г. Раков, Л.
Г. Третьякова. — М.: Химия, 1988. — 176 с. ил.
ISBN 5-7245-0126-0

В доступной и занимательной форме рассказывается о
важнейших проблемах, с которыми столкнулось челове-
чество в последние десятилетия, и о возможных путях их
решения! Показано, что в условиях истощения минераль-
ных ресурсов повышение урожайности, развитие энергетики,
преодоление экологических проблем невозможно без при-
влечения химии. Рассмотрены достоинства и недостатки
применения химикатов в сельском хозяйстве, химические
аспекты ядерного топливного цикла, новые подходы к пере-
работке природного сырья, экологическая ситуация в раз-
витых странах мира и пути ее улучшения. Даны некоторые
статистические сведения. Для широкого круга читателей.

” 1802000000-124 %011 —
я 050(01)-88 124~88

сс** ИП7
ББК617

ISBN 5-7245-0126-0

© Издательство «Химия», 1988

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов

Введение

Глава 1. Химия и продовольствие

Существо продовольственной **проблемы**

Сколько нас на **планете**

Пища всем и каждому

Перспективы решения

О советской программе

Урожай и удобрения

Основы плодородия

На повестке дня—качество

Борьба с потерями

Выращиваем и теряем

Химическая защита

Плюсы и минусы пестицидов

Что могут фитогормоны

Неядовитая химия в борьбе с насекомыми

Технология для ферм

И здесь химические средства

Возможности микробиологии

Пища третьего поколения

Глава 2. Химия и энергетика

Энергетика общим планом

Традиции и новации

Попробуем сделать прогнозы

Проблемы органического топлива

Ассигнации для топок

Как сжигать уголь?

Жидкие топлива из угля

О спирте — особо Химия в

атомной энергетике

Ядерные реакторы — что это?

Ядерный топливный цикл

Главный источник — уран-235

Безреагентные методы, бесфильтрационные

Фториды урана и что за ними стоит

Керамика особого класса Как

хранят и транспортируют энергию

Зачем и как накапливать

Проблемы малой энергетике

Земные задачи топливных элементов

На пути к водородной цивилизации

Энергетика и материалы	
Композиционные и многие другие	
Возрождение керамики	
Разупорядоченные материалы в солнечной энергетике	
Создать сверхпроводник	
Глава 3. Из земли, воды и воздуха	
Планета на весах экономистов	
Заглянем в кладовые	
Расходуем и теряем	
Живые струи	
Будет ли исчерпано неисчерпаемое?	
Химия помогает экономить сырье	
Новые технологии, новые материалы, новые подходы	
Металлы из морской воды	
Если гора не идет к Магомету...	
Из шлаков и золы	
Современная алхимия	
Глава 4. Химия и охрана окружающей среды	136
Несколько вводных слов	136
Проблемы атмосферы	137
Не только среда обитания	137
Шуба из CO ₂	138
Аэрозольный холодильник	141
Под угрозой озоновый слой	142
Кислотные дожди	146
Как Защитить атмосферу?	150
Сохранить гидросферу	151
Почему не хватает воды	151
Главное средство — водооборот	154
Как здоровье, Океан?	157 [^]
Ситуация на суше	162 ⁱ
В отвалах — сырье будущего	162
Безотходное производство: мечты и реальность	164
Уметь измерить опасность	168
Экологический всеобуч	170
З а к л ю ч е н и е	173
Рекомендательная литература,	175

ОТ АВТОРОВ

Научно-популярная литература на русском языке по общемировым явлениям и процессам, сопутствующим научно-техническому прогрессу, сравнительно невелика, хотя интерес к этим явлениям и процессам растет. Предлагаемая вниманию читателей книга рассказывает о вкладе химии и химической технологии в развитие важнейших направлений хозяйственной деятельности человека и разрешение некоторых противоречий, свойственных современному миру. Эта книга возникла на основе лекций и выступлений перед различными аудиториями, обсуждения проблем с коллегами, изучения политической, научной и отчасти научно-популярной литературы, анализа некоторых статистических данных и, конечно, как результат профессиональной деятельности.

Было бы непросто сейчас перечислить всех, кто так или иначе повлиял на высказанные в книге точки зрения и на отбор материала, поскольку глобальные научно-технические проблемы активно изучаются многими советскими учеными. Особую благодарность мы считаем необходимым выразить академикам И. В. Петрянову-Соколову, В. А. Легасову и П. Н. Моисееву, общение с которыми было наиболее плодотворным.

При построении книги по возможности были учтены вопросы, заданные во время лекций в массовых аудиториях, а при отборе литературы для приведенного в конце текста списка предпочтение было отдано общедоступным, многотиражным изданиям.

Книга адресована широкой аудитории. Ее могут прочитать школьники и учащиеся профессиональных училищ, студенты, учителя и все, кто проявляет интерес к рассмотренной теме. Поэтому многие детали и разделы, понятные и интересные только специалистам, были опущены. Тем не менее мы стремились избежать неоправданного упрощения; если это не вполне удалось, любые замечания с признательностью будут приняты.

ВВЕДЕНИЕ

С тех пор как революции в науке слились с переворотами в технике, а революционизирующие научно-технические преобразования во многих отраслях стали непрерывными, технические возможности человечества возрастают поистине гигантскими темпами. Это позволяет ставить и решать задачи, еще несколько десятилетий назад казавшиеся фантастическими, ко одновременно вызывает появление новых проблем, многие из которых стали всемирными, или глобальными.

Одна из самых острых глобальных проблем — продовольственная. Население планеты быстро растет: к 2000 г. оно достигнет 6,1 млрд человек и, по самым оптимистическим прогнозам, 650 млн из них не будут обеспечены достаточным количеством пищи. Эта проблема особенно актуальна в развивающихся странах со слабой промышленностью и быстро растущим населением. А ведь на эти страны приходится примерно девять десятых прироста населения планеты! Большое значение в жизни людей имеет энергия. Выступая на Всемирном энергетическом конгрессе в 1983 г., Индира Ганди назвала энергетику сердцем современной жизни. Нужно ли говорить о разнице в уровне жизни первобытного человека, пользовавшегося только мускульной силой животных и энергией горения дров, и современного городского жителя! Производство и потребление энергии определяет не только развитие промышленности, сельского и домашнего хозяйства, но и благополучие отдельных людей, общее благосостояние народов.

Значение энергии для всех стран мира стало особенно очевидным в 1973—1974 годах, когда страны-экспортеры нефти повысили цены на свою продукцию. Эта акция оказалась настолько болезненной для экономики капиталистических стран с ее ориентацией на привозную нефть, что последовавшие за ней события стали называть «энергетическим кризисом». В действительности это был политический кризис, отразивший противоречия современного мира, но он заставил по-новому взглянуть на прогресс в области

пергетики в развитых и развивающихся странах, более глубоко осознать ее роль в сохранении стабильности экономики и повышении уровня жизни людей.

К продовольственной и энергетической проблемам тесно примыкает сырьевая. Растущие промышленность и строительство, сельское хозяйство и транспорт — все отрасли хозяйственной деятельности человека требуют все больших количеств разнообразного сырья. В то же время природные источники многих видов сырья становятся все менее доступными, а их качество — более низким. Это удорожает добычу, повышает затраты на переработку и увеличивает стоимость продукции*

Возрастание энерговооруженности человека, увеличение количества добываемого сырья, рост промышленного и сельскохозяйственного производства, развитие транспорта с неизбежностью приводят к усилению воздействия человека на природу, к нарушению естественного экологического равновесия. Увеличение промышленных выбросов стало причиной не только загрязнения природной среды веществами, которые не вписываются в естественные кругообороты, но и серьезных нарушений в протекании природных циклических процессов. Поэтому проблема сохранения и улучшения природы, частью которой являемся и мы, люди, требует внимательного отношения, продуманных, а не в ряде случаев — и неотложных решений.

Ключевой глобальной проблемой современности является проблема мира и разоружения, так как только прочный мир гарантирует дальнейший прогресс цивилизации, благополучие и счастье людей.

Глобальные проблемы отличаются рядом общих черт. Во-первых, они затрагивают интересы не только отдельных стран, регионов, политических и экономических группировок, но и всего человечества. Эти проблемы не имеют национальных границ.

Во-вторых, они тесно связаны друг с другом и не могут быть решены порознь или выборочно. Сегодня нельзя, например, взяться за продовольственную проблему, не решая одновременно задачу увеличения производства; энергии. Энергетическую проблему, в свою очередь, невозможно разрешить, не заботясь о сырье. А каждую из трех перечисленных проблем

невозможно преодолеть без учета требований охраны окружающей среды.

В-третьих, эти проблемы нельзя не решать, так как в противном случае всему человечеству угрожает деградация и даже гибель. Остановиться — значит отступить назад, смириться с тем, что все большее число людей будет умирать от голода и болезней.

В-четвертых, глобальные проблемы не могут быть решены только в одной стране или в небольшой группе стран. Здесь необходимо объединение усилий всего человечества. Говоря о глобальных проблемах в своем выступлении по телевидению 18 августа 1986 г., Генеральный секретарь ЦК КПСС товарищ М. С. Горбачев отметил, что их «не решить, не объединив усилий всех государств и народов».

К отличительным особенностям глобальных проблем относится также то, что их острота год от года не только не уменьшается, но возрастает. Глобальными стали проблемы чисто социального плана. Растущая интеллектуальная насыщенность современного производства, наукоемкость новых технологий требуют от рабочего высокого уровня знаний, что повышает роль образования в решении стоящих перед человечеством задач. Не будет большим преувеличением утверждать, что качество образования определяет благосостояние населения в будущем.

Среди причин, вызывающих появление глобальных проблем, а также среди путей их решения можно выделить социальные, политические, экономические и научно-технические моменты, которые различны для нашей страны, капиталистических и развивающихся стран, а также в некоторой степени для других стран социалистического сообщества.

В СССР разработана и успешно реализуется Продовольственная программа, выполняется первый этап Энергетической программы, принят курс на перестройку экономики страны с целью ее интенсификации. Усиливается кооперация со странами СЭВ. Один из примеров такой кооперации — Комплексная программа научно-технического прогресса до 2000 г. Важные и далеко идущие решения проводятся совместно в жизни в области экономики сырья и энергии, защиты окружающей среды. 8

Принятая в 1985 г. Комплексная программа химии народного хозяйства на период до 2000 г. предусматривает увеличение роли химических методов и средств практически во всех отраслях народного хозяйства— в агропромышленном комплексе, в производстве товаров народного потребления и сфере услуг населению, в тяжелой промышленности и на транспорте, в строительстве, промышленности строительных и других материалов. Повышение вклада химических производств — обязательное условие научно-технического прогресса. Их доля в общем выпуске продукции в 1960 г. составляла в СССР 3,7 %, в 1980 г.—6,0 %, а к 2000 г. должна вырасти до 8 %. Какова же роль химии и химической технологии в решении глобальных научно-технических проблем человечества, каковы ее успехи и задачи? Предлагаемая книга помогает ответить на эти вопросы. Она не охватывает, да и не могла бы охватить все их стороны и включает лишь отдельные примеры, которые наиболее знакомы авторам или представляются им наиболее важными. Однако уже эти примеры говорят о многом. Кроме того, здесь рассказано и об общей ситуации в мире с продовольствием, производством энергии, сырьем и охраной окружающей среды и приведены некоторые статистические характеристики этой ситуации.

ПРОДОВОЛЬСТВИЕ

СУЩЕСТВО ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Сколько нас на планете

Население Земли стремительно растет. В начале XX в. оно составляло чуть больше 1,6 млрд человек, к 1950 г.— уже 2,5 млрд, а затем стало увеличиваться еще быстрее, достигнув к 1975 г. почти 4 млрд. Правда, рекордный прирост, характерный для 50-х и 60-х годов (около 2,0% в год), в 80-х годах снизил— ся до 1,7 %, а в 90-х годах, как предполагается, упадет до 1,5 %. Но и это много: летом 1987 г. на Земле родился пятимиллиардный житель. Последующие миллиардные рубежи будут достигнуты предположительно в 1999 и 2010 годах. Ученым удалось подсчитать, что стабилизация численности населения произойдет только в XXII веке на уровне 8—12 млрд человек. При этом развитые страны достигнут своего потолка (1,2—1,6 млрд человек) на полстолетия раньше, чем развивающиеся.

В последние годы быстрее всего растет население развивающихся стран. Так будет и дальше: за последние полтора десятилетия XX в. в Африке оно увеличилось на две трети, в Латинской Америке — почти наполовину, в Азии — на две пятых. По оценкам экспертов ООН, в СССР и США население увеличится на 12 %, в Европе (без СССР) — на 5 %.

Причина такой неравномерности понятна: именно в развивающихся странах происходили и происходят наиболее значительные социально-экономические и культурные преобразования, которые позволили улучшить санитарные и бытовые условия жизни, все шире использовать достижения медицины, науки и техники.

Пища всем и каждому

Чем больше людей живет на Земле, тем больше пищи им требуется. И действительно, цифры показывают, что производство продовольствия в мире рас-

и-г. За десять лет, с 1970 по 1980 годы, общий его прирост составил 2,5%. Однако если этот прирост отнести на душу населения, то он окажется более чем скромным — всего 0,6 %, в то время как в 60-х годах он составлял 0,8 %. Более того, поскольку рост населения и увеличение производства продовольствия в разных регионах и отдельных странах неодинаковы, оказывается, что относительное количество пищи во многих развивающихся странах не растет, а снижается. Такая тенденция проявилась еще в 60-х годах и привела к тому, что нехватку продуктов испытывают страны, где проживают почти две трети человечества.

В 1982 г. около 25 млн человек умерло от голода. От хронического недоедания и связанных с ним болезней сегодня страдают 500 млн человек. К концу тысячелетия эта цифра не уменьшится, а возрастет, по меньшей мере, до 650 млн человек. Причины этого связаны с целым рядом объективных факторов: истощением природных ресурсов, демографической ситуацией, возможностями техники и технологии. Но дело не только в этом. Общемировое производство продовольствия на душу населения превышает научно обоснованный минимум (исключение составляют лишь белки животного происхождения). Но вот потребление продовольствия отличается большой неравномерностью. В США и развитых капиталистических странах калорийность питания в среднем па треть больше нормы, а в развивающихся странах не достигает нормы (91—95%). Особенно значительны различия в потреблении белка: в развитых странах оно выше, а в развивающихся странах почти вдвое ниже нормы. Разница в потреблении животного «чллка также велика: в развивающихся странах и - 1—5 раз меньше, чем и рл.чшгтых.

Да и п к;ИНМТ;г.'ПІСІ пчеектп странах распределение мрпродукп ііігі.-ііііі'і далеко не равномерно. Э. Саума, генералы!ми директор ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН) в 1982 г. говорил о «странном явлении», когда «люди, страдающие от ожирения, ждут новые методы лечения, а недоедающим не предлагается средств для утоления голода. Кормят домашних животных, забывая о детях, страдающих от голода». По его словам,

это явление «историки и экономисты будущего назовут таинственным и необъяснимым», хотя не нужно ожидать будущих времен для объяснения «тайны», причина которой — социальное неравенство. /"Мировая продовольственная проблема, связанная в первую очередь с нехваткой белка, обусловлена социально-экономическими, демографическими, культурными (например, привычками и представлениями в области кулинарии), технологическими и другими факторами. Взаимодействие и тесное переплетение этих факторов не позволяет решить проблему в краткие сроки. Но ее надо решать, и если учитывать не только сегодняшние, но и будущие потребности человечества, то производство продуктов питания в ближайшие полвека следует увеличить в 3—4 раза..

Перспективы решения

За счет чего может возрасти производство необходимых продуктов питания? Таких возможностей всего Три:

увеличение площади обрабатываемых земель;
интенсификация производства на существующих площадях;

применение новых методов переработки сельскохозяйственного сырья в продукты питания.

Обрабатываемые земли и пастбища сейчас занимают площадь около 4 млрд. га и в ближайшие десятилетия не будут существенно расширены. Ныне около 90 % прироста сельскохозяйственной продукции обеспечивается без увеличения площадей, причем главную роль играет интенсификация производства.

Увеличения отдачи каждого гектара угодий можно добиться различными способами. Это, прежде всего, селекция новых сортов растений и новых пород сельскохозяйственных животных. Располагает ли тут современное сельское хозяйство существенными резервами? Безусловно, располагает. Ученые-селекционеры вывели, например, такие сорта пшеницы и риса, которые на опытных полях дают урожай в 140 ц с гектара. Получены сорта кукурузы с урожайностью в 220 ц. На практике, однако, средняя урожайность этих трех основных злаковых культур гораздо ниже—• в развитых странах 23, 59 и 58 ц, а в развивающихся-

< i соответственно 14, 21 и 13 ц. В 1980 г. сбор * |.1ковых культур с гектара составил в Африке 9,4, и Л:ши —20,4, в Европе — 36,4, в США—37,7 ц.

Очевидно, что только за счет улучшения агротехники можно в несколько раз повысить урожай. До- < гпжения современной биологии, генетики, генетиче ской инженерии вселяют уверенность, что такой путь может дать весьма много.

Но этот путь не единственный. Мощным рычагом увеличения продуктивности сельского хозяйства становится химизация. В свое время академик Д. Н. Прянишников писал, что вклад химии в повышение урожайности равносителен освоению целых континентов. Правда, если во времена Д. Н. Прянишникова под химизацией земледелия подразумевали лишь внесение в почву минеральных⁴ удобрений, то сейчас это — целый комплекс мероприятий, главными среди которых являются:

- использование удобрений;
- защита растений и животных от болезней и вредителей;
- регулирование роста растений и их плодоношения;
- применение химических кормовых добавок и витаминов в животноводстве;
- использование полимерных и других искусственных материалов в мелиорации, ирригации, строительстве маринкой, теплиц и т. д.;

увеличение сроки хранения готовых продуктов. Кроме того, с помощью химических средств можно искусственно вызывать дожди, бороться с градом, защищать растения от заморозков, продлевать срок службы сельскохозяйственных машин и строений, уоерегая их от коррозии, и многое другое.

Применение удобрений и других химических < редств стало составной частью агротехники; в по ем дующих разделах отдельные направления химизации будут рассмотрены подробнее.

О советской программе

\\ нашей стране голодные годы давно ушли в прошлое. Калорийность питания составляет в среднем .089 килокалорий (ккал), что выше нормы более чем

на треть. Тем не менее советский народ нацелен на выполнение программы, которая была принята майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС и названа Продовольственной программой. Чем это вызвано? Какие цели ставит Программа?

Если сопоставить научно обоснованные нормы потребления основных видов продовольственных продуктов со средним потреблением их на душу населения в нашей стране, то оказывается, что каких-то из них производится и потребляется больше, чем было бы нужно, а каких-то, наоборот, меньше. Есть данные и по изменению потребления отдельных продуктов по годам. Мы, например, не можем обойтись без картофеля, в нашем рационе его, наверное, больше, чем в любой другой стране мира, и намного больше научных норм. Количество его на обеденных столах было рекордным в 50-х годах и с тех пор постепенно уменьшается. Это относится и к мучной пище, которую у нас в стране любят и употребляют много больше, чем, например, в европейских странах. Здесь, конечно, сказываются национальные традиции: на столах в русских деревенских избах всегда были пироги, в среднеазиатских кишлаках — лепешки, на Кавказе — лаваш.

Есть продукты, которые мы потребляем в среднем почти в соответствии с нормами: это, например, сахар. Но есть и такие виды пищи, которые не достигают до норм рационального питания. К ним относятся мясо (вообще белки животного происхождения), овощи и фрукты. Так, в СССР в 1983 г. на человека приходился 101 кг фруктов, в США — 130 кг, а в Италии — рекордная цифра: 162 кг. Доля продуктов животного происхождения в нашем питании составляла 26 %, в США — 38 %..

Конечно, Продовольственная программа значительно шире, чем это излагается здесь: она отличается системностью, комплексностью, всесторонним подходом, затрагивает все отрасли агропромышленного комплекса и смежных отраслей промышленности, включая химическую. Она имеет экономические, социальные, политические стороны. Программой предусмотрен значительный рост выпуска химической продукции для нужд агропромышленного комплекса. Но, кратко характеризуя Продовольственную программу,

целесообразно иметь в виду прежде всего сказанное выше.

Что же касается конкретного вклада химической индустрии в решение продовольственной проблемы, — об этом в следующих разделах.

УРОЖАЙ И УДОБРЕНИЯ

Основы плодородия

Выведение новых сортов растений, механизация, мелиорация и другие приемы агротехники дают существенный эффект, но не отменяют необходимости регулярного питания растений. С каждым урожаем поля теряют часть — и иногда довольно значительную — содержащихся в почве питательных веществ, поэтому восполнение потерь, обильное и сбалансированное питание растений — важнейшее условие повышения урожайности. Даже без каких-либо изменений технологии земледелия внесение необходимого количества удобрений может увеличить урожайность вдвое.

Экономическая сторона применения удобрений тоже очевидна: каждый затраченный на них рубль дает дополнительной продукции на сумму от 0,5 до 3,1 руб. При этом заметно повышается качество продуктов и снижаются затраты труда на выращивание урожая.

Чем больше удобрений приходится на гектар пашни, тем выше отдача гектара: 80 кг обеспечивают сбор около 20 ц мсриовых, 110 кг — уже 35—40 ц, а 300—350 кг — около 70 ц. В некоторых странах под отдельные культуры вносится до 500-700 и даже 800 кг/га. При достаточном количестве удобрений растения меньше страдают от засухи: для получения полноценного питания им приходится «прокачивать» через себя меньшее количество воды.

Каждая тонна внесенных калийных удобрений увеличивает урожай пшеницы на 3—4%, свеклы — на 40—50%, картофеля — на 40—60%. Каждая тонна азота в азотных удобрениях дает прибавку урожая соответственно на 12—25, 120—160 и 120 %, а каждая тонна оксида фосфора в фосфорных удобрениях — на 20—25, 50—55 и 70—80%. Правда, порознь каждый из «трех китов» плодородия может и не дать прибавки; вносить их надо сбалансированно.

Удобрения применяли еще в древнем Египте. Римляне кроме них использовали золу, известь и гипс. В начале XIX в. было обнаружено, что чилийская селитра повышает урожай, а в середине XIX в. Юстус Либих разработал промышленные способы получения фосфорных удобрений. К началу XX в. уже в десяти странах производили суперфосфат.

Мировое производство удобрений быстро росло: в 1940 г. оно достигло 10 млн т (по действующему веществу), в 1960 г. — почти 30 млн т, а в 1983 г. — 124 млн т. Еще быстрее оно увеличивалось в СССР — от 0,8 млн т в 1940 г. до 34,7 млн т в 1986 г. По выпуску удобрений СССР с 1974 г. прочно занимает первое место в мире. В настоящее время туковая промышленность СССР производит продукции больше, чем все капиталистические страны Европы, вместе взятые.

В последние несколько лет СССР приблизился к передовым в технологическом отношении странам и по производству минеральных удобрений на душу населения. Наши расчеты по последней сводке ЦСУ СССР показывают, что Советский Союз в 1986 г. уже превзошел по этому показателю другие страны, выпуская более 120 кг удобрений на душу населения.

Надо, однако, отметить, что мы еще отстаем от развитых капиталистических стран по производству удобрений на гектар пашни. Если принять, что площадь пахотных земель к началу 1987 г. составляла 215 млн га, то на гектар приходится лишь около 160 кг удобрений, в то время как в 1980 г. эти цифры составляли для США—120, Англии— 300, ГДР — 323, ФРГ —500, Голландии —800 кг/га.

Серьезные и трудные задачи стоят поэтому перед химиками нашей страны: в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», предусмотрено довести в 1990 г. выпуск минеральных удобрений до 41—43 млн т, а их поставки сельскому хозяйству— до 30—32 млн т. Это даст возможность еще шире применять интенсивную технологию в земледелии.

На повестка дня — качество

Простое увеличение производства минеральных удобрений уже не может решить проблемы повышения урожайности без нежелательных побочных явлений. Во-первых, количество вносимых в почву удобрений нельзя увеличивать безгранично, так как эффективность их воздействия на развитие растений снижается, достигнув определенного максимума. Так, в США для получения того же количества зерновых в 1968 г. потребовалось внести в 6 раз больше азотных удобрений, чем в 1949 г. Во-вторых, некоторые виды растений способны при избытке удобрений накапливать их в себе и тем самым становиться опасными для здоровья человека. В-третьих, удобрения идут на пользу и сорнякам, которые к тому же часто более стойки, чем культурные растения.

Наконец, значительная часть ныне применяемых / удобрений не успевает усваиваться растениями, смывается в водоемы дождями и талыми водами. Особенно опасно, когда удобрения попадают в озера или водохранилища с медленным током воды: они провоцируют быстрый рост водорослей и отравление водоемов.

В лабораториях, на опытных установках и опытных полях специалисты активно работают над созданием удобрений, лишенных этих недостатков. Что же делается для повышения качества удобрений?

Прежде всего, удобрения становятся все более концентрированными. Строго говоря, к концентрированным относят удобрения, содержащие от 33 до 60 % действующих веществ. Удобрения с содержанием таких веществ от 60 до 100 % называются высококонцентрированными. На повестке дня — создание ультраконцентрированных удобрений, которые при попадании в почву дают больше питательных веществ, чем весят сами (например, образуют фосфорную кислоту при взаимодействии пентаоксида фосфора P_2O_5 с почвенной влагой).

Обычный суперфосфат содержит около 20 % нужного растениям пентаоксида фосфора. Это значит, что при перевозке каждой тонны усваиваемого вещества надо перевезти 4 т балласта и весь этот балласт внести в почву. Понятно, что гораздо выгоднее в этом отношении двойной суперфосфат (45—48 %

Р.О.), м *ICM* более концентрированный суперфосфат (Г)1 $11\% P_2O_5$).

Среди азотных удобрений возрастает применение аммиачной селитры, аммиаков, карбамида (мочевины), жидкого аммиака (содержание полезного азота в нем составляет 82%). Доля концентрированных простых и сложных удобрений в мировом производстве возросла от 60 % в 1968 г. до 80 % в 1980 г.

Второе направление повышения качества удобрений— увеличение выпуска комплексных (сложных или смешанных) удобрений, содержащих одновременно азот, фосфор и калий или два действующих вещества с концентрацией не ниже 35 %. Такие удобрения позволяют снизить расходы по внесению их в почву, распределить питательные вещества в почве более равномерно, повысить производительность труда. К промышленным комплексным удобрениям относятся аммофос, калийная селитра, нитрофос, нитрофоска и другие. Правда, доля их в мировом производстве составляет около 50 %, и лишь в некоторых странах она доходит до 70—75 %.

Качество удобрений повышается при их гранулировании, которое облегчает погрузку, разгрузку и внесение в почву, а также несколько снижает вымывание удобрений дождями и талыми водами.

Особо перспективны удобрения, обладающие пролонгированным действием, т. е. такие, которые отдают питательные вещества в почву постепенно, иногда в течение нескольких лет. К ним относятся нерастворимые полифосфаты калия, магния и кальция, которые образуют растворимые вещества за счет взаимодействия с почвенной влагой. Поскольку этот процесс медленный, растворимые вещества успевают питать растения, почти не вымываясь периодическими дождями. Создано промышленное производство таких удобрений с пролонгированным действием, как суперфос, уреаформ, мочевиноформальдегидное.

Одним из путей повышения эффективности удобрений является микрокапсулирование, т. е. гранулирование и покрытие каждой гранулы тонкой полимерной пленкой. Действующие вещества медленно просачиваются через пленку, что удлиняет срок действия удобрений. Сейчас стоит задача создать такие комплексные удобрения, которые, будучи внесены в почву,

на разных стадиях развития растений выделяли бы вещества, нужные именно на этой стадии. Как это сделать — ясно: гранула удобрения должна быть многослойной, а скорость расходования каждого слоя — заранее заданной. Здесь важно создать экономичную технологию.

Большую роль в развитии растений, в их урожайности и устойчивости к неблагоприятным факторам играют микроэлементы: медь, цинк, кобальт, молибден, марганец, бор и иод, которые целесообразно вводить в комплексные удобрения.

Согласно заданиям Продовольственной программы СССР, к 1990 г. производство концентрированных и сложных удобрений должно составить 90% общего количества удобрений, причем с 1988 г. все удобрения должны выпускаться в гранулированном виде.

БОРЬБА С ПОТЕРЯМИ

Выращиваем и теряем

Представим себе идеальную ситуацию: для посева использованы семена с очень высокой потенциальной урожайностью, растения вдоволь и в нужные сроки получали воду, свет, тепло и полный набор удобрений, сбор урожая проводился вовремя. И что же? Всегда ли будет достигнут максимальный результат? Оказывается, нет. Урожай будет гораздо меньше, если мы не позаботились о борьбе с вредителями, сорняками и болезнями растений.

Во-первых, на хорошо удобренных почвах в комфортных условиях пышным цветом расцветут сорняки, затеняя культурные посевы и отбирая у них питательные вещества и воду. Во-вторых, на растениях станут претендовать полчища вредителей — насекомых (клещей, тлей, гусениц, бабочек и т. д.), червей, улиток, грызунов. Одним нравятся корни, другим — молодые побеги, третьим — зерна, четвертые облюбуют листья для выведения потомства, зимовки...

Совсем крошечные возбудители болезней растений — бактерии и вирусы — начнут отвоевывать свое место под солнцем или в тени.

Приведем конкретные данные по географическим регионам. В Европе потери от вредителей, болезней

и сорняков составляют 25 %, в Северной и Центральной Америке — около 29%, в Южной Америке—• 33%, в Африке — более 41%, а в Азии —более 43 %. И это сейчас, в век господства химии! Закономерность в цифрах очевидна: чем интенсивнее ведется «химическая война», тем больше урожай и тем большая доля этого урожая имеет шансы попасть на стол человека.

Необходимость борьбы и ее масштабы иллюстрируют и такие цифры: в настоящее время известно до 30 тыс. возбудителей болезней культурных растений — патогенных грибов, бактерий и вирусов. На растения ополчились сотни видов червей-нематод и ты* сячи других всевозможных вредителей. Только ячменю, кукурузе и сорго угрожают десятки видов различных возбудителей болезней, а пшенице и рису — до ста. От 10 до 15% общей продукции земледелия человечество теряет из-за болезней еще до того, как собран урожай. «Вклад» сорняков —еще 7—16 %, «вклад» вредителей — плюс 6—20 %. И это, к сожалению, только начало. Во время сбора урожая, при его перевозке, переработке и хранении теряется еще от 5 до 25 % продукции. В результате недобира* ется до 40—70 % продуктов. Особенно чувствительный урон терпят овощи и фрукты —он составляет более половины урожая.

В денежном выражении эти потери в 1980 г. для злаковых культур составили 40 млрд долл. до сбора урожая и еще 20 млрд —после сбора. Всего в 1980 г. человечество лишилось продуктов земледелия на сумму 100 млрд долл.

Химическая защита

При нынешнем состоянии науки и агротехники высокие и устойчивые урожаи можно получать, только если систематически и правильно применять, помимо удобрений, химические средства защиты растений. Отказ от них вызвал бы снижение урожая почти втрое, а это наверняка привело бы к голоду и болезням.

Очень важно, что химикаты не только уменьшают потери урожая, но и способствуют лучшему усвоению растениями минеральных удобрений. Для современ-

пой индустриальной, интенсивной технологии земледелия характерно также, что применение химических средств позволяет резко повысить производительность труда. Пестициды — этим общим термином называют вещества для борьбы с вредителями и болезнями растений, сорняками, вредителями зерна и древесины — позволяют полностью исключить или свести к минимуму ручной труд при уходе за посевами. Особая роль здесь принадлежит гербицидам — ядам для уничтожения сорной растительности. С их помощью, например, можно за несколько часов уничтожить сорняки на десятках гектаров сахарной свеклы, в то время как ручная прополка каждого гектара требует 20—30 трудодней.

До 40—50-х годов интенсификация сельского хозяйства шла в основном за счет механизации, затем, до 70-х годов, — благодаря применению минеральных удобрений и отчасти пестицидов, а в последние годы — почти исключительно за счет пестицидов. На каждый доллар, вложенный в производство пестицидов, в США получают дополнительной продукции на 4—5 долл. Каждый рубль, потраченный на них в СССР, позволяет собрать продуктов на 9 руб. У некоторых сельскохозяйственных культур отдача при использовании пестицидов еще больше — до 100 руб, на рубль затрат.

Без пестицидов производство многих растений, например риса, сахарного тростника, сои и других, стало бы просто убыточным.

Потребление пестицидов растет очень быстро: с 1974 по 1984 годы оно увеличилось в мире примерно вдвое. Их производство в СССР расширяется еще быстрее, достигнув в 1986 г. более 330 тыс. т.

Очень важное значение имеет соблюдение пропорций при использовании минеральных удобрений и пестицидов. В этом отношении СССР пока отстает от США. По данным профессора В. А. Захарейко, в 1980 г. при примерно одинаковой норме расхода удобрений количество применяемых на гектар посевов пестицидов в СССР было почти в 3,5 раза меньше. С этим связана и заметно меньшая урожайность зерновых культур. А для получения урожая в 40 ц/га надо увеличить количество удобрений в 2 раза, а пестицидов — в 7 раз.

Применение пестицидов в экономически развитых странах прочно вошло в практику сельского хозяйства. Подсчитано, что отказ от применения пестицидов привел бы к повышению стоимости сельскохозяйственных продуктов не менее чем на 70 % при одновременном снижении урожая.

Какие бывают пестициды? По целевому назначению они служат для борьбы с сорной растительностью (гербициды) и с клещами (акарициды), для уничтожения водорослей (альгициды), для борьбы с бактериями (бактерициды), с грызунами (зооциды), с вредными насекомыми (инсектициды), с моллюсками (лимациды), с паразитирующими грибами (фунгициды) и т. д.

Химические средства защиты человека и животных от различных паразитов и распространителей болезней — это тоже пестициды.

В качестве пестицидов применяется более 600 химических соединений. Инсектициды и акарициды — это в основном фосфорорганические соединения (паратион, малатион), а также производные карбаминной кислоты (севин, карбамат, нортилкарбамат), хлор- и бромзамещенные углеводороды (лидан, алдрин, гексахлорциклогексан) и вещества многих других классов. К фосфорорганическим соединениям относятся также хлорофос, трихлофос, бактекс, применяемые для борьбы с комарами и мухами, к хлорорганическим — ныне запрещенный, а раньше очень популярный ДДТ.

В ассортимент фунгицидов входят гетероциклические и многие другие органические соединения, некоторые неорганические соединения серы.

К гербицидам, производство которых растет быстрее других пестицидов, относятся триазин и его производные, карбаматы, производные карбамида и бензойной кислоты, нитросоединения и соединения мышьяка.

Ассортимент пестицидов постоянно расширяется, меняется его структура. В 40—50-е годы наибольшее распространение имели хлорорганические производные, затем с учетом требований по охране окружающей среды и здоровья людей их применение было ограничено, а некоторые из них были вовсе запрещены и заменены веществами других классов. Приме-

ром особо стойких и токсичных препаратов является печально известный ДДТ, около 1 млн. т которого все еще продолжает циркулировать в биосфере.

Из года в год меняются формы применения пестицидов — от широко популярных ранее «дустов» переходят к гранулированным препаратам, к смачивающимся порошкам, к ультрамалому опрыскиванию. Все шире входят в практику комбинированные составы.

Очень большие усилия направлены на то, чтобы значительно повысить активность пестицидов и тем самым снизить их действующую концентрацию до величин, которые были бы безопасны для человека и животных. Если пестициды первого поколения (в основном соединения мышьяка) сильно загрязняли окружающую среду, то пестициды второго поколения были уже гораздо менее опасны. Сейчас создаются препараты третьего и четвертого поколений. Среди них — препараты с высокой избирательностью и различной продолжительностью действия (от нескольких часов до многих месяцев). Многие из них под влиянием микроорганизмов, солнечного освещения, воды и воздуха полностью разлагаются на простые, безвредные вещества. Таковы препараты из семейства пиретринов и их синтетических аналогов — пиретроидов, которые вносят на поля в количестве 5—20 г/га, т. е. и 100—1000 раз меньшем, чем в случае традиционных пестицидов!

После того как препарат выполнит свои функции, он полностью разлагается, не загрязняя ни почву, ни водоемы. Ученые работают над повышением избирательности пиретроидов, так как сейчас эти пестициды уничтожают не только вредных, но и полезных насекомых-опылителей.

Интенсивно разрабатывается концепция интегрированной защиты, при которой химические методы дополняются биологическими и механическими. Хотя эта система защиты обходится значительно дороже чисто химических методов, она начинает использоваться в СССР, США и других странах мира. Чисто биологические препараты и методы, несмотря на их интенсивную разработку в последние десятилетия, пока широкого применения не находят. К началу 80-х годов в США было разрешено использовать лишь около десятка биологических агентов,

Плюсы и минусы пестицидов

Сильнодействующие ядохимикаты загрязняют окружающую среду, поэтому пестициды, помимо прибыли в урожае, приносят и убытки. В США такие убытки были тщательно проанализированы. По данным американских специалистов, за счет развития устойчивых видов вредных организмов при интенсивном использовании традиционных пестицидов, а также проведения более интенсивной обработки страна ежегодно теряет около 300 млн долл. и еще столько же на организацию службы охраны окружающей среды. Потери трудоспособности при отравлениях приносят убыток в 130 млн долл., а общие потери превышают 800 млн долл. Однако годовая экономия от применения пестицидов составляет при этом значительно большую сумму (по крайней мере, в десять раз).

В мире ежегодно регистрируется около полумиллиона случаев отравления людей пестицидами. Ощутимые количества пестицидов содержатся примерно в половине всех продуктов, продаваемых в супермаркетах США. Конечно, эти количества слишком малы, чтобы привести к отравлению при разовом потреблении таких продуктов, но ведь некоторые пестициды способны накапливаться в организме человека. А это уже может вызвать хроническое отравление. Поэтому хотя на долю пестицидов приходится лишь 0,2—0,3 % всех вредных веществ, попадающих в природу в результате деятельности людей, они представляют серьезную опасность.

В предыдущем разделе уже шла речь о путях усовершенствования пестицидов и снижения их вредного воздействия. Но не надо думать, что здесь все просто. Для получения одного нового препарата современного типа, т. е. отвечающего всем необходимым требованиям, приходится синтезировать и изучить свойства примерно 15 тыс. веществ. В мире поэтому ежегодно регистрируется лишь около десяти новых препаратов.

Исключить применение пестицидов пока невозможно, однако ученые различных специальностей интенсивно и настойчиво работают над снижением их вредного воздействия, над заменой химических пре-

паратов биологическими, и можно с уверенностью утверждать, что уже в скором будущем эти усилия увенчаются успехом.

Что могут фитогормоны

Все, что делает человек для увеличения количества сельскохозяйственной продукции, может быть выражено одной фразой: создание эффективной системы управления ростом и развитием растений. Для этого в почву вносятся удобрения. Для этого применяются самые различные пестициды. Для этого регулируется влажность почвы. Для этого же в парниках и теплицах управляют продолжительностью освещения, его спектром, а также температурой и даже составом атмосферы.

Но и это не все. Растения в ничтожных количествах вырабатывают особые вещества, которые от мест их образования дозированно перемещаются в различные органы растений и регулируют их рост. Это так называемые фитогормоны. Фитогормоны могут влиять на распускание почек, рост стебля, корней, листьев, плодов, цветение и увядание, состояние покоя у лукович и семян, отмирание ненужных органов. Все эти вещества — удобрения, пестициды, фитогормоны — представляют собой серьезный резерв при решении задач интенсификации сельского хозяйства.

Рассмотрим подробнее, что же могут фитогормоны?

Синтетические аналоги ауксина (его точное название—индолилуксусная кислота) способствуют укоренению черенков плохо укореняющихся пород плодовых деревьев — яблонь, груш, слив, черешни, стимулируют рост корней при пересадке взрослых деревьев. Есть препараты, которые, кроме того, в малых концентрациях (10—100 мг/л) способствуют завязыванию плодов у яблонь, а в более высоких — ускоряют созревание помидоров, увеличивают содержание сахара в сахарном тростнике, повышают морозостойкость пшеницы, кукурузы и винограда.

Аналог ауксина используют в составе гербицида, который в посевах ячменя и пшеницы уничтожает самые живучие сорняки — овсюг, вьюнковый горох, полевую овсяницу и другие, причем эффективно дейст-

вует при норме расхода менее полуклюгограмма на гектар.

Гиббереллины были открыты в грирке с латинским названием «гибберелла фуджикурою», а гибберелловую кислоту сейчас получают в промышленных масштабах, выращивая и перерабатывая этот грибок. Одна из областей применения кислоты — виноградарство, а точнее — выращивание винограда без косточек. Способность гиббереллинов ускорять рост и цветение помогает получать высокие урожаи цитрусовых, вишни, ячменя, готовить солод в пивоварении; Их можно использовать и для получения в подходящих климатических зонах второго урожая в год. Обычными средствами этого добиться трудно. Например* картой фель. Зачастую просто нельзя найти посадочный материал: клубни урожая прошлого года невозможно сохранить для второй посадки, а свежубранные клубни находятся в состоянии глубокого покоя. Обработка клубней гиббереллином прерывает это состояние, и через 4—5 дней они прорастают.

К природным стимуляторам роста относятся и цитокинины, важнейшими представителями которых являются зеатин, кинетин, бензиладенин, Их выделяют из растений и гораздо реже получают синтетически. Они стимулируют деление клеток, синтез ДНК, белков и тиамин (витамин В₁), ускоряют прорастание и цветение, повышают всхожесть семян, задерживают увядание растений, замедляют вызревание.

Близким действием обладают некоторые производные фенилмочевин и сульфонилмочевин, например уникальный гербицид нового поколения — хлорсульфурон. Этот гербицид в ничтожно малых дозах (10—40 г/га) эффективно подавляет большинство широколиственных трав и некоторые виды однолетних сорных трав в посевах пшеницы, ржи, ячменя, овса и льна.

Абсцизовая кислота, или дормин,— один из первых выделенных и изученных ретардантов (замедлителей роста). Она тормозит рост и развитие растений, способствует их переходу в состояние покоя: вызывает опадение листьев, созревание плодов, раскрытие и сбрасывание коробочек у хлопка.

Еще один ретардант — этилен — хорошо известное простое соединение с формулой С₂Н₄. Промышлен-

и ый выпуск этого газа превышает 30 млн т в год. Проникая в ткани растений, этилен ускоряет созревание плодов, опадение листьев, повышает всхожесть семян, облегчает укоренение и усиливает рост саженцев.

Обработка почвы этрелом выводит семена сорняков из состояния покоя и дает возможность рано появившиеся всходы сорняков уничтожить гербицидами. Важнейшее свойство этого производного этилена — вызывать раннее и, главное, дружное созревание плодов. Урожай помидоров приходится убирать вручную о одного участка несколько раз. Такое это растение, что на каждом кустике любого из **2000** известных сортов будут и спелые красные, и зеленые плоды. Попробуйте при этом организовать машинную уборку! Изобретали, правда, комбайн для уборки с анализатором цвета, но сделать его доступным селу по цене пока **не** удастся. **Иное дело этилен и этрел: их применение позволяет выводить на томатные поля сравнительно простые комбайны, резко снизить затраты ручного труда. Эти же вещества ускоряют созревание и уже собранных плодов. Этрел, кроме того, способен менять соотношение полов у однодольных растений и помогает увеличивать урожай, например, огурцов.**

Существует множество других регуляторов роста растений. Опыление клубней картофеля при закладке в хранилища метиловым эфиром а-нафтилуксусной кислоты или опрыскивание ботвы гидразидом малеиновой кислоты за 12—15 дней до уборки замедляет прорастание клубней, которое обычно происходит в марте—апреле.

Лимоны и апельсины можно иметь круглый год, применив опрыскивание 2,4-дихлорфеноксисукусной кислотой: она надолго задерживает созревание плодов. Во избежание полегания хлебов при больших дозах азотных удобрений, когда стебли бурно растут, •применяют замедлители их роста, например, хлорхлинхлорид. Этот препарат способствует развитию мощной корневой системы, повышает устойчивость к засухе и различным заболеваниям растений. Аналогичные свойства проявляет картолин, который более чем втрое повышает относительное количество растений, выживающих в засушливых условиях.

ми в их борьбе за выживание, причем одни виды растений в этом преуспели больше, другие — меньше, многие культурные растения вообще не содержат антифидантов. Если выделить антифиданты из богатых ими растений, то их можно применять для защиты культурных собратьев. Антифиданты обманывают насекомых, сигнализируя им: не трогать! ядовито! Хотя никаких ядов и в помине нет.

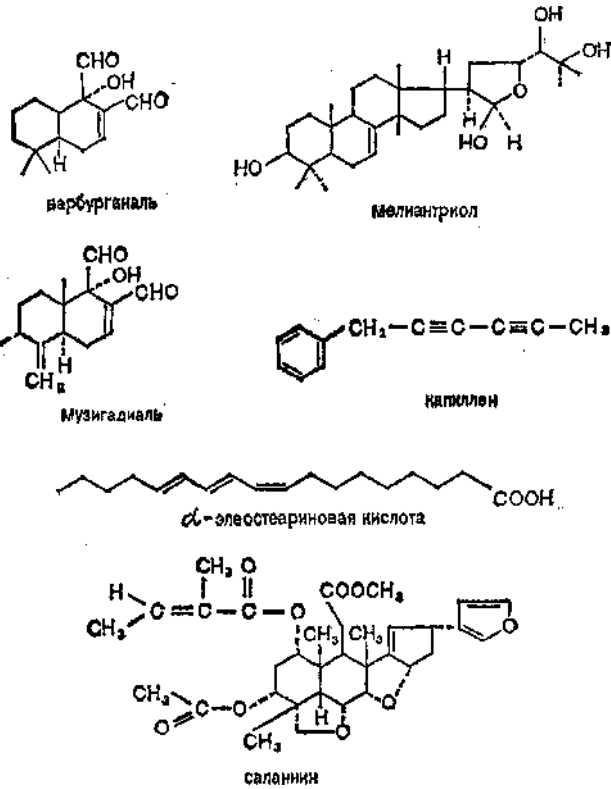
Сейчас известно сравнительно большое количество таких веществ. Существует вид картофеля, который не поражается колорадским жуком, потому что его листья и стебли содержат антифидант — алкалоид демиссин, отпугивающий вредителя. Подобный алкалоид есть и в родственниках картофеля — томатах, поэтому смешанные посадки двух культур перспективны для защиты картофеля от этого опасного насекомого.

Антифиданты защищают растения не только от насекомых, но и от бактерий, вирусов, грибков. Давняя традиция, существующая в Индии и Пакистане, — доавлять при хранении к зернам риса и пшеницы порошок одного тропического растения — объясняется присутствием в этом растении двух совершенно нежизненных для человека антифидантов.

Совершенно иначе воздействуют на насекомых ат-
ip.iivi.inibi. »тн вещества привлекают насекомых к
ними', к м((iv кладки яиц, помогают самцам в период
111.tJ>i1.11111 и ii.'iiiui самок. Химическое строение п i
ipitK шиши(in./ii, /Кс р;|.мин»Г)),*1:пк), как и антифи-
лпп iiii.

Одним ii;* аптифпдап пш для оплвшппства насекомых является сиппгрпп, содержащийся и горчице. Но для бабочки-капустницы синигрин — аттрактант. Новорожденных гусениц капустницы можно заставить поедать листья без синигрина, но если к ним добавить синигрин, гусеницы становятся заметно прожорливее, а стоит привыкших к синигрину гусениц лишить его, они отказываются от еды, предпочитают умереть с голоду, чем питаться без аттрактанта. Синигрин -^ стимулятор кладки яиц для взрослых капустниц. Они могут начать кладку не на капуст-ные листья, а на фильтровальную бумагу, смоченную раствором синигрина, что и служит одним из способов борьбы с этим вредителем.

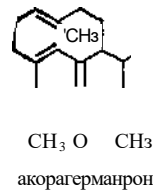
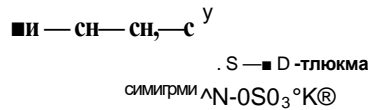
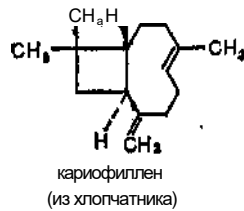
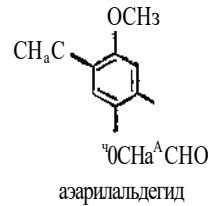
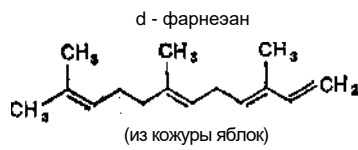
Пршодше антмфидашы



Аттрактанты можно использовать при конструирувании ловушек для насекомых, причем в экологическом отношении такие ловушки полностью безвредны. Для борьбы с вредителями, обитающими в почве, в НИИ биологии Ростовского университета разработан интересный способ с применением аттрактантов. Аттрактанты мы обрабатывали гранулы удобрений, которые вносили во время посева между рядами семян пропашных культур. Вредители скапливались вблизи аттрактантов и в течение 1—2 недель искали там пищу, отвлекаясь от семян и всходов посеянных культур. Растения же за это время успевали пройти самую уязвимую стадию развития. Кроме того, в зоне

концентрации вредителей скапливались и их враги, чак что численность вредных насекомых уменьшалась. Этот метод пока не вышел за пределы опытных полей, но уже установлено, что он позоляет эконо- мить более 10 руб. на каждом гектаре посевов.

Пшфодые аттрактанты



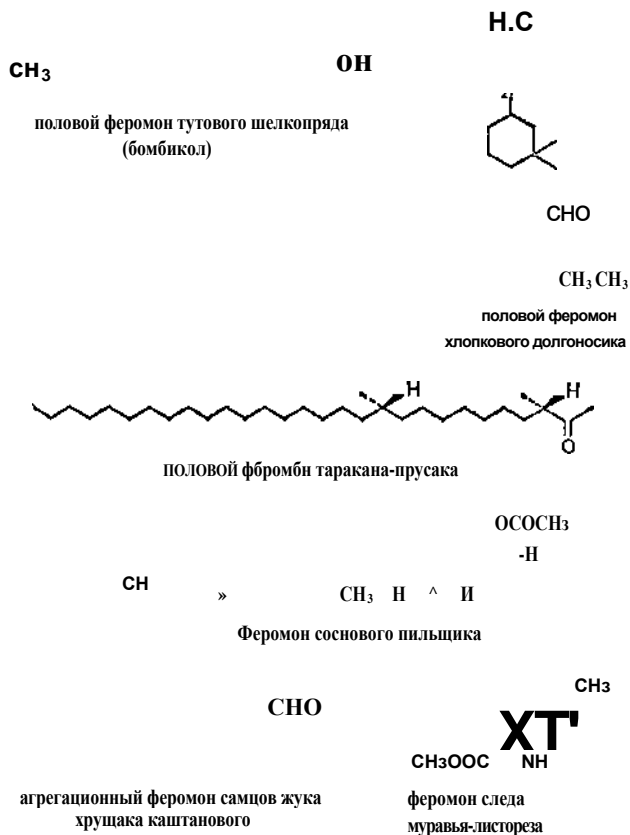
Репелленты и многие аттрактанты — это как бы язык для общения растений и насекомых. Однако «словами» запахов насекомые разговаривают и друг с другом, вырабатывая особые вещества — феромоны— и реагируя на их присутствие. Феромоны общественных насекомых, таких, как муравьи, осы и пчелы, регулируют всю жизнь колонии, характер деятельности отдельных каст, активность в проявлении этой деятельности.

Различают две группы феромонов. Феромоны одной из них вызывают немедленное изменение поведения. Среди них феромоны тревоги, мечения территории, половые аттрактанты. Феромоны второй группы регулируют принадлежность насекомых к определенной

касте, воздействуют на сроки наступления способности к воспроизведению и т. д.

Чувствительность насекомых к феромонам их вида очень велика. Так, тутовый шелкопряд улавливает призыв особи противоположного пола при концентрации аттрактанта бомбикола $3 \cdot 10^{-19}$ г в 1 см^3 воздуха! Бомбикол, кстати, был первым из феромонов, который удалось выделить и изучить. В 1959 г. из полумиллиона бабочек было получено всего 12 мг этого вещества. Но и применяют феромоны в крайне малых количествах, обрабатывая ими небольшую часть угодий. Так, в Воронежской и Липецкой областях для охраны 3900 га садов от плодовой гнили было обработано всего 400 га.

Феромоны насекомых



В Лесах Норвегии и Швеции в течение только четырех лет было установлено более миллиона лову-

шек, с помощью которых ежегодно уничтожалось около 4 млрд жучков-короедов.

В США в 80-х годах искусственные феромоны использовались для защиты хлопковых полей площадью в десятки тысяч гектаров, посевов томатов площадью в тысячи гектаров и полей артишоков площадью почти в тысячу гектаров. Несомненно, что в будущем феромоны будут играть значительно большую роль в защите урожая.

ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ФЕРМ

И здесь химические средства

Корма — основа продуктивного животноводства. Их главная часть — луговые и полевые травы, сено, а также сенаж, силос и другие консервированные продукты. Питательность этих продуктов зависит от многих факторов—от вида растений, характера почв, условий приготовления и хранения. Но лишь в редких случаях сочетание этих факторов бывает оптимальным, недостаток же того или иного необходимого компонента снижает привесы животных и сказывается на качестве продуктов. Поэтому современное эффективное животноводство немыслимо без добавок различных химических средств.

Животные нуждаются в целом наборе металлов и других элементов: это кальций, фосфор, натрий, калий, магний, хлор, железо, марганец, кобальт, цинк, иод и даже селен — вот сколько! При этом надо весьма тщательно соблюдать не только дозировку элементов, их соотношение, но и применять такие химические соединения, которые дают наибольший физиологический эффект.

Потребность в азоте удовлетворяют добавками карбамида — сравнительно простого органического вещества $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, а также его производных. Основными веществами-добавками, обеспечивающими потребность в фосфоре, являются кормовые фосфаты: преципитат, обесфторенные фосфаты, монокальцийфосфат, фосфаты аммония и натрия. В мире сейчас таких фосфатов выпускается около 2 млн т (в расчете на пентаоксид фосфора),

Возможности микробиологии

Корма для животных должны быть сбалансированы не только по минеральным компонентам и азоту; недостаток в них витаминов, антибиотиков, ферментов и других биологически активных веществ может свести на нет генетически predetermined возможности продуктивности животных. Более того, все эти составные части пищи должны в требуемых для организма соотношениях входить в каждую порцию корма. Исправить несбалансированность «потом» нельзя.

Когда животные содержались на свободном выпасе, они могли сами компенсировать некоторые недостатки в питании, так как имели доступ к природным источникам биологически активных веществ. В условиях интенсивной промышленной технологии животные, как правило, содержатся в закрытых помещениях, они изолированы от внешней природной среды, лишены солнца, возможности двигаться. В этих условиях «корм,— утверждает профессор К. М. Солнцев,— становится главным звеном, связывающим животных с природой. Поэтому он должен содержать все, что получает животное, находясь, например, на хорошем пастбище, залитом солнцем».

Отчасти задача решается с помощью кормовых минеральных добавок и карбамида. Еще более важны биологически активные вещества, витамины, аминокислоты, ферменты. Обеспечить ими животных можно только с помощью микробиологической промышленности.

Микробиологический синтез проходит в клетках микроорганизмов или в среде их обитания под действием выделяемых этими микроорганизмами ферментов. Его промышленное применение началось в 40—50-х годах. Сейчас микробиологическими методами получают антибиотики, витамины, аминокислоты, белково-витаминные концентраты и другие препараты. В дрожжах, например, содержится одной из незаменимых аминокислот — лизина — в 10 раз больше, чем в равном количестве ячменя или овса. Для животных выпускается и целый набор витаминов: В₃, В₂, В₄, В₁₂, D и А.

Кормовые дрожжи, аминокислоты, ферменты и антибиотики, взятые в определенных соотношениях, вза-

имно усиливают свое действие на организм животных. На этом основано использование концентрированных смесей биологически активных веществ — премиксов, предназначенных для обогащения кормов. Добавки дрожжей и премиксов в 2—3 раза увеличивают суточный привес у свиней и примерно вдвое снижают затраты кормов на единицу привеса. Каждая тонна дрожжей и премиксов позволяет получить дополнительно 1,3—1,4 т мяса и сэкономить при этом 8,0—8,5 т зерна. Развитие микробиологической промышленности — путь к изобилию мясных продуктов и к экономии ценного **пищевого продукта — зерна.**

Но микробиология — это не только **пищевые добавки.** Использование производимых микробиологической промышленностью ферментов позволяет получать зеленые корма высокого качества. С их помощью **можно силосовать трудно поддающиеся этой обработке богатые белком культуры — горох, клевер, вику, сою и люцерну.** Под действием таких препара- / тов (всего 5 кг на тонну зеленой массы!) часть полисахаридов превращается в водорастворимые сахара и органические кислоты, а часть — в аминокислоты. Получается **силос высокого качества: зеленая масса до весны остается сочной и питательное хорошо усваивается животными.** Ферментирование превращает даже солому в **полноценный корм.** А ее только в нашей стране пропадает более 100 млн т,

Разработка генетических и **молекулярно-генетических** методов микробиологии, которые возникли в начале 70-х годов и очень быстро развиваются, обещает уже в этом веке дать новые средства повышения продуктивности ферм.

ПИЩА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

В снабжении себя пищей человечество прошло три этапа:

- охота, рыболовство, собирательство;
- традиционное земледелие и животноводство;
- промышленная пищевая технология.

Первые два этапа отвечают первому поколению пищи, третий уже качественно отличен от предыдущих и позволяет получать пищевые продукты второго поколения.

Еще на первых этапах происходило приобретение навыков фракционирования, разделения компонентов добытых продуктов, их переработки и хранения. Опытным путем совершенствовались кулинарные приемы, национальные кухни достигли уровня высокого искусства. Со временем производство многих пищевых продуктов — выпечка хлеба, приготовление творога, сбивание масла, извлечение и рафинирование сахара — стало промышленным. Однако эти производства во многом основывались на укоренившихся традициях. При этом, как правило, из сложной смеси разнообразных веществ в ходе приготовления пищевых продуктов — и это одна из особенностей сложившейся технологии — выделялись и потреблялись лишь жиры и углеводы (типичный углевод — крахмал). Белки же — наиболее ценные и дефицитные вещества, играющие первостепенную роль в жизнедеятельности организмов и выполняющие самые разнообразные функции, оказывались в отходах.

Жиры и углеводы — это энергетические компоненты пищи, которые при окислении снабжают организм энергией. По сравнению с белками их легче выделять из растительного и животного сырья, так как они проще по химическому составу и имеют удобные для выделения свойства (малая плотность, низкая растворимость в воде). Белки химически и термически менее устойчивы; при традиционных способах переработки пищевого сырья они разрушаются, превращаются в другие вещества и тем самым обесцениваются. Для выделения белковых фракций необходимы разнообразные химические приемы, более сложные методы сушки и хранения. Поэтому белки до сих пор попадают преимущественно в отходы и на корм скоту в виде, например, обезжиренного молока, сыворотки, жмыхов, шротов и т. д.

Вторая особенность обычной пищевой технологии — использование ограниченного числа видов растительного сырья. К нему по традиции относили только удобные для переработки виды: семена масличных и зерновых культур, картофель, сахарную свеклу, сахарный тростник и т. д. А наиболее эффективные, «белокпроизводящие» культуры, например многие травы, были просто исключены из числа продовольственных.

Недостаток белков по традиции восполняется человеком за счет животных продуктов. О том, насколько это невыгодно, говорят такие данные. В пищевой пеленке «растение — животное — человек» эффективность превращения растительного вещества в животное составляет лишь 7—10%. От 70 до 90% содержащегося в корме белка животные используют для поддержания жизнедеятельности своего организма. Поэтому, чтобы получить, например, 1 т протеина (простейшего белка) в виде молока, надо скормить животным от 4 до 10 т белка растительного происхождения. Килограмм белка стоит от 7,5 руб. (в жирном твороге) до 30 руб. (в курятине).

Есть ли выход из сложившейся веками и тысячелетиями ситуации? Здесь надо говорить о новом, четвертом этапе производства продовольствия, о создании третьего поколения пищевых продуктов, которые насыщены белками, об исключении среднего звена — сельскохозяйственного животного — из пищевой цепи.

История зарождения метода насчитывает уже несколько столетий. Он появился в районах с высокой плотностью населения, где ощущалась острая нехватка белка, — в отдельных странах Восточной и Юго-Восточной Азии, Африки, Центральной и Южной Америки. С помощью случайно найденных приемов, основанных на ферментации и химических процессах, население этих районов перерабатывает масличные, зерновые культуры и даже водоросли, используя их белки для питания.

В промышленную технологию эти приемы превратились совсем недавно: лишь начиная с 70-х годов нашего века в развитых странах, прежде всего в США и Японии, пища третьего поколения стала крупнотоннажным промышленным продуктом.

В Японии производят сотни тысяч тонн соевого творога (тофу), соевого соуса (июню), соевой пасты (мизо), сухой белковой массы (патто). Текстурированные белки заменяют в Японии десятую часть мясных фаршей. В еще большем объеме новые промышленные виды пищи выпускаются в США: к 1990 г* их потребление, по оценкам, достигнет 10 млн т. Высокими темпами развиваются подобные производства в странах Латинской Америки и Западной Европы.

В начале 80-х годов ассортимент пищевых продуктов на основе белков составлял в Бразилии около полу* сотни наименований. Школьникам Англии и других стран по вкусу пришлось завтраки, на четверть со* стоящие из добавок специально обработанных белков. Достижения биохимии и биотехнологии позволят повысить роль новой пищевой технологии в решении мировой продовольственной проблемы. Эта технология даст возможность комплексно использовать растительное сырье, повысить рентабельность сельского хозяйства, в несколько раз увеличить мировые ресурсы продовольствия.

Глава 2 ХИМИЯ И

ЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГЕТИКА ОБЩИМ ПЛАНОМ

Традиции и новации

Напомним прежде всего сложившуюся терминологию. Источники" энергии принято делить на две группы — возобновляемые и невозобновляемые. К невозобновляемым источникам в строгом смысле относятся уран и торий, а также уголь, нефть и природный газ, процессы образования которых хотя и могут протекать в наши дни, но лишь со скоростью, несопоставимой с уровнем добычи. Возобновляемые источники — это энергия падающей воды, Солнца, ветра, приливов и отливов, тепловая энергия недр Земли, морей и океанов. Есть и органические возобновляемые источники — так называемая биомасса. Она давно и прочно вошла в быт в виде дров, но вообще включает все виды растений и даже животных.

В начале 80-х годов на нашей планете в виде биомассы было накоплено столько энергии, сколько ее сосредоточено в половине мировых запасов угля, нефти и других горючих ископаемых. Скорость воспроизводства биомассы, казалось бы, сравнительно невелика — всего 0,1 % в год. Однако использование лишь десятой части прироста равнозначно удвоению сегодняшнего уровня производства энергии.

Существует три различных пути использования биомассы: сжигание с непосредственным получением энергии и два химических способа, к которым относятся газификация и ферментация. Газификация — это неполное сжигание для получения горючего газа. В трудные годы войны у нас на газе, получаемом из древесных чурок, работали многие автомобили. Ферментация — химические процессы, протекающие под действием биологических катализаторов. Ферментации можно подвергать самые различные органические вещества, получая метанол (древесный спирт), этанол (винный спирт) и **более сложные спирты**, и использовать спирты **как топливо или как сырье** для производства синтетического бензина. **Рисовая шелуха, отходы кукурузы и сахарного тростника, даже скорлупа грецких орехов** — все годится для ферментативного получения спиртов.

Источники энергии делятся также на традиционные и нетрадиционные (альтернативные). Среди традиционных — в основном невозобновляемые (уголь, нефть), но есть один возобновляемый — гидроэнергия. **Альтернативные источники, наоборот, включают преимущественно возобновляемые (энергия Солнца, ветра, приливов и т. д.), хотя и среди них есть невозобновляемые (нефть из битуминозных песков и горючих сланцев, геотермальная энергия).**

Некоторые природные вещества относятся сразу к двум группам источников энергии. Так, природные горючие газы, добываемые сейчас из-под Земли, являются одним из традиционных источников. А подводные месторождения, в которых метан в виде так называемых газовых гидратов (напоминающих по внешнему виду снег) лежит прямо на дне, — это альтернативный источник.

Двойственную позицию в классификации источников энергии занимает и уран. Сегодня его можно частично отнести к традиционным (широко используемый в современных ядерных реакторах уран-235), а частично — к альтернативным источникам (еще только вводимый в большую энергетику уран-238, из которого можно получать топливо для реакторов нового поколения).

Видимо, к возобновляемым следует отнести и такой источник энергии, как бытовые отходы. Правда,

возобновление здесь происходит не за счет природных процессов, а в результате деятельности человеческого потребительского общества. Подсчитано, что даже в развитых странах энергия, получаемая при сжигании этих отходов, может дать не менее 10—20 % всего энергопотребления.

Наиболее выгоден химический путь переработки бытовых отходов с получением биогаза. На двух станциях переработки бытовых канализационных стоков — Курьяновской и Люберецкой — так и делают, получая в год, ни много ни мало, ПО млн м³ газа! Переработка на биогаз позволяет решить проблему удаления отходов животноводческих комплексов и птицеферм.

И еще одну сторону нужно упомянуть, говоря об источниках энергии. Одни из них нужны для централизованного использования, другие — для автономного, или локального. Автономные источники необходимы в сельских районах и особенно в полевых условиях, в труднодоступных местностях — в пустынях, в горах, например, для обогрева одного дома, для приведения в действие насоса или небольшой передвижной установки. Трудно себе представить, что автономные, переносные атомные станции станут использоваться в быту или что в условиях бездорожья будут применять портативные угольные топки; а вот генераторы, питаемые энергией речушек и ручьев, небольшие ветро- и гелиоустановки, наоборот, словно предназначены для автономного использования. Недаром ветроустановки небольшой мощности в СССР выпускаются серийно, и в различных удаленных уголках страны их в сочетании с аккумуляторами уже работает более 10 тысяч.

Попробуем сделать прогнозы

Чем отличается современный период развития энергетики? Будут ли тенденции середины 70-х годов сохраняться и усиливаться? Как будет развиваться энергетика в ближайшие 10—20 лет?

Нетрудно предположить, что развитие будет по-прежнему быстрым.

Если в начале XX в. производство энергии в мире удваивалось примерно за 50 лет, в середине века —



за 30 лет, то с начала 80-х годов удвоение должно происходить за 15—20 лет. При этом будет продолжаться рост вклада электрификации и производство электроэнергии будет удваиваться каждые 10—15 лет. Правда, нельзя ожидать, что темпы роста энергетики будут постоянно увеличиваться, как это было раньше. Уже в 80-е годы количество производимой на душу населения энергии начало снижаться. И связано это не только с быстрым ростом населения, но и с увеличением стоимости сырья.

Рост энергетики будет, видимо, неравномерным.

По уровню развития энергетики различные страны мира резко отличаются друг от друга: в 1983 г. производство электроэнергии на душу населения составляло в Норвегии 22 тыс. кВт·ч, а в Пакистане — всего 200 кВт·ч. Столь же различны и задачи, стоящие перед энергетикой развитых и развивающихся стран. Например, см не совсем недавно перед многими странами Африки стояла проблема научить население готовить пищу не на кострах, а пользуясь ... печками, пусть очень простыми. Ведь тепловой КПД открытых очагов, применяемых в Африке, составляет всего 4 %. А снижение потребления дров в домашнем хозяйстве помогло бы остановить наступление пустынь и изменение климата на континенте. Пока же леса там быстро вырубаются, и на каждые 29 га сожженного на кострах леса в Африке вырастает лишь 1 га нового.

Подобные проблемы существуют и в других развивающихся странах Азии и Латинской Америки. Четвертая часть населения Земли живет в странах, которые вырубают свои леса быстрее, чем идет их восстановление.

Для многих развивающихся стран, где преобладает сельское население и сравнительно слабо развиты сети электропередач, важнейшее значение для быстрого повышения уровня жизни людей может иметь применение автономных источников энергии, например ветроустановок или солнечных батарей.

Что касается развитых стран, то и здесь будет происходить смена доминирующих энергоресурсов. Главными источниками энергии останутся органическое топливо, атомная энергетика и возобновляемые источники: энергия Солнца, ветра и воды. Но будет снижаться вклад нефти и газа и значительно расти вклад атомной и угольной энергетики. Большие усилия будут предприняты для развития производств синтетического жидкого топлива из угля. Каждая страна будет стремиться использовать несколько источников энергии, так как ориентация на один источник не только нежелательна, но и опасна.

Особенностью современной энергетики является то, что мощность многих единичных установок уже близка к предельным рубежам. Специалисты, например, полагают, что единичная мощность электрических генераторов современного типа не может быть выше 2,5—3,0 млн кВт (в СССР уже работает генератор мощностью 1,2 млн кВт). Напряжение в линиях электропередач не превысит 2,2—2,5 тыс. кВ (на линии Экибастуз — Центр оно уже достигло 1,5 тыс. кВ). Есть пределы роста КПД тепловых и атомных электростанций. Поэтому стоит важная задача использования в энергетике новых принципов.

В разработке традиционных и новых направлений энергетики все большее влияние оказывают достижения химии и химической технологии. В одной из статей академики В. А. Кириллин и М. С. Стырикович писали, что «научной базой энергетики являются почти все основные разделы современной физики и химии». Скажем больше: многие новые принципы получения энергии связаны с химической технологией, примером чему служит водородная энергетика,

Ассигнации для топок

Когда речь заходит о нефти, очень часто цитируются слова Д. И. Менделеева: «топить можно и ассигнациями». Действительно, Менделеев внимательно следил за развитием добычи и переработки нефти в России и США, не раз беседовал и спорил с крупнейшим в то время в России производителем нефти Нобелем (братом знаменитого Альфреда Нобеля), владевшим нефтепромыслами в Баку, о путях использования нефти. Но он отлично знал уникальные свойства нефти как топлива: «Это топливо **не имеет** себе соперников между обычными видами топлива **не** только потому, что занимает мало места, горит до конца и, само протекая, почти не требует ухода, **но и потому, что нагревательная способность (теплопроизводительность) нефти много выше, чем самых лучших каменных углей**»...

За почти сто лет, прошедших с тех пор, как было сделано это высказывание, основное назначение нефти и нефтепродуктов — быть топливом — осталось почти без изменений: в начале 80-х годов сжигалось 94 % добываемой нефти, и ситуация коренным образом в ближайшие десятилетия не изменится.

В 1980 г. мировые запасы нефти исчислялись в 91,4 млрд т, а общемировая добыча нефти составила более 3 млрд т. Советский Союз в конце 70-х годов вышел на первое место в мире по добыче нефти, годовой уровень добычи превзошел 600 млн т.

Добыча нефти из недр — сложный технологический процесс. Даже из разведанного и освоенного месторождения добыть нефть трудно, а выкачать «до последней капли» просто невозможно. Обычными методами из недр извлекается в лучшем случае половина нефти, а остальная так и остается под землей. К началу 80-х годов в мире было добыто 50 млрд т нефти, а в заброшенных месторождениях оставлено более 80 млрд т. Более 50 лет назад известный советский геолог академик П. М. Губкин писал: «Примерно 50 % нефти продолжает пребывать в недрах, когда современные нефтяники считают месторождение истощенным. Не хищническая ли это система эксплуа-

тации? Смогут ли с этим мириться нефтяники будущего? Конечно, нет».

Как повысить отдачу нефтяных пластов?

В одном из номеров известного английского журнала «Chemistry and Industry» («Химия и промышленность») за 1984 г. помещен юмористический рисунок, поясняющий способы извлечения горючего. Человек на коленях собирает его губкой из лужи на дороге и отжимает в ведро — это первичная добыча. Он же смывает остатки водой из шланга — вторая стадия добычи. Наконец, в ход идет струя пара, появляется банка с растворителем и ведро с мыльной пеной. И автомобиль, и его хозяин улыбаются: когда первые два способа себя исчерпали, в ход пошли химические средства, и горючее полностью удалено с дороги.

Закачивание воды в нефтяные пласты действительно увеличивает отдачу месторождения, однако не всегда удается получить большую прибавку. Более радикальный способ — применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) и растворителей в сочетании с тепловым воздействием, например подачей в пласт водяного пара. При этом возникает множество проблем, связанных с получением таких ПАВ, которые были бы устойчивы в течение нескольких месяцев, не корродировали оборудование и к тому же, во многих случаях, хорошо сочетались бы с морской водой: ведь в 1982 г. почти третью часть нефти добывали из морских месторождений, а скоро их доля может увеличиться до половины.

Водные растворы ПАВ увеличивают подвижность нефти в мелких порах и трещинах. Правда, излишне высокая подвижность приводит к тому, что растворители, минуя труднопроницаемые участки, выбирают для себя путь наименьшего сопротивления — сквозные каналы. Поэтому в раствор вводят дешевые растворимые полимеры — полисахариды и гидролизовапные полиакриламиды, которые повышают вязкость раствора, это обеспечивает стабильное вытеснение нефти раствором, без его протечки по сквозным каналам в пласте.

В качестве растворителей для ПАВ применяют сжиженные газы (пропан или диоксид углерода), подвижность которых значительно выше, чем у сырой нефти.

На многих месторождениях Украины в скважины закачивают воду и одновременно вводят туда мощную газовую горелку для подогревания и частичного испарения воды. При высоких пластовых давлениях и температуре 320—340 °С нефть растворяется в воде и поднимается вместе с ней на поверхность.

Большую роль в увеличении производства моторных топлив должны сыграть новые методы переработки нефти. Новая технология позволяет увеличить глубину переработки нефти, используя для получения моторных топлив и мазут. Подсчитано, что каждая тонна подвергнутого крекингу мазута дает 10 руб. экономии. Это как раз те ассигнации, которые все еще сгорают вместе с мазутом в топках. Добавим еще **одно**: при сжигании мазута образуется, хотя и в сравнительно небольшом количестве, зола, в которую переходят металлосодержащие компоненты **нефти**. Мельчайшие частички этой золы уносятся в атмосферу с дымом и газами. А среди этих металлов имеются довольно ядовитые, одного пентаоксида ванадия в золе 18—36 %. На территории нашей страны с нефтью на поверхность выносятся ванадия в несколько раз больше, чем его получают на предприятиях цветной металлургии. Улавливать золу из разбавленных газов непросто, а на небольших печах — совсем нерентабельно. Поэтому лучший выход с экологической точки зрения — прекратить сжигание мазута.

Поскольку значительная часть минеральных компонентов переходит в мазут, на очереди стоит вопрос переработки мазута для извлечения цветных металлов.

Менделеев был прав, полагая, что сжигание нефти может проводиться «только при условии, когда более ценные продукты нефти не могут быть применены для полезных и им свойственных целей».

Как сжигать уголь!

Уголь — наиболее распространенное на Земле органическое топливо. Его месторождения встречаются во многих районах земного шара. В СССР сосредоточены огромные запасы угля, которые оцениваются в 5730 млрд т и составляют 55 % его мировых запасов.

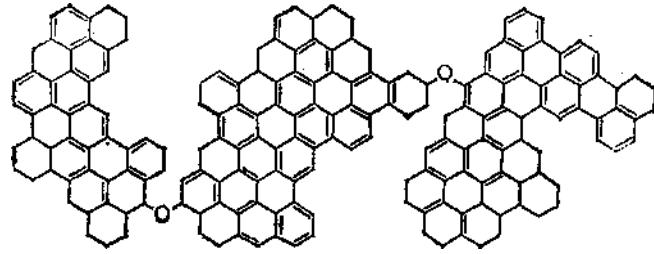


Рис. 2. Такой формулой можно представить строение угольного вещества

Если добыча угля сохранится на нынешнем уровне, его запасов хватит на 7,5 тыс. лет. Правда, эти цифры характеризуют геологические запасы, и не все из них доступны для добычи, но даже из наиболее доступных месторождений уголь можно добывать в течение нескольких тысячелетий. Только в Канско-Ачинском бассейне имеется 24 крупных месторождения с мощностью пластов от 6 до 96 м.

Сжигание угля — типичный химический процесс. Однако использование угля для получения энергии связано с рядом нежелательных последствий. Дело в том, что помимо основных элементов — углерода, водорода и кислорода — угли содержат азот и серу. Содержание азота колеблется от 0,5 до 2,5 %, серы — от 0,3 до 12 %. Кроме того, в углях присутствуют минеральные компоненты. Поэтому при сжигании в атмосферу выбрасываются большие количества пыли, оксидов серы и азота, соединения фтора и различных металлов, а также органические вещества. В масштабах планеты ежегодные выбросы исчисляются миллионами тонн: оксидов серы — более 200; оксидов азота — 65; различных углеводородов — 80; пыли и тончайших твердых частиц (аэрозолей) — 250; «первенство» удерживает углекислый газ — более 400 млн т. Следует добавить, что в дымовых выбросах ТЭС содержатся ядовитые металлы (ртуть, свинец, кадмий), мышьяк и радиоактивные элементы.

Повышение концентрации оксидов серы и азота в атмосфере — причина появления «кислотных дождей», о губительном действии которых на окружающую среду рассказывается в гл. 4.

Отказаться от использования угля в энергетике сегодня и в ближайшие десятилетия или столетия невозможно, поэтому необходимы решения, позволяющие повысить эффективность его сжигания, а также снизить или вовсе ликвидировать выбросы в атмосферу вредных веществ.

Здесь есть несколько путей, и все они так или иначе связаны с химической технологией и возможностями химии. Во-первых, надо перейти на наиболее целесообразный и эффективный способ сжигания, используя опыт химического аппаратаостроения. Во-вторых, любой способ сжигания необходимо сочетать с химическим улавливанием вредных компонентов из продуктов сгорания. В-третьих, можно провести газификацию углей и очищать образующиеся горючие газы химическими методами перед сжиганием. Наконец, в-четвертых, можно превратить уголь в жидкое топливо и перед использованием тоже обязательно очищать от вредных примесей.

Сначала о сжигании собственно угля. Сегодня в промышленных энергетических установках применяют в основном пылеугольные топki. Мелкоизмельченный уголь подают в зону горения струей воздуха с помощью многочисленных горелок. Частички угля при такой подаче быстро сгорают, не успевая попасть на дно топki, 4TQ обеспечивает сравнительно высокие температуры газообразных продуктов сгорания и позволяет сжигать уголь довольно полно.

Более ста лет тому назад было предложено сжигать в энергетических установках смесь угольной пыли с нефтью. Приготовление нефтеугольных смесей— дело не простое. Эта смесь не должна расслаиваться в течение, по крайней мере, нескольких недель, а еще лучше — месяцев. Она должна быть довольно подвижной, чтобы перекачиваться по трубам и распыляться на капли в горелках. Эти требования, казалось бы, взаимно исключают друг друга. С одной стороны, чем более густой, вязкой является смесь, тем она более устойчива. Но, с другой стороны, чем подвижнее смесь, тем быстрее из нее осаждается уголь. Противоречие удалось устранить, вводя небольшие количества специальных ПАВ и переводя уголь в тонкоизмельченное состояние с частицами размером в несколько сотых доле/* миллиметра—? благо, уголь

мягкок и легко измельчается без больших затрат энергии. При этом удастся получить смеси, наполовину* состоящие из угля.

Сравнительно недавно для сжигания угля и получения пара стали применять взвеси угля в воде. Подобное топливо может также использоваться в газовых турбинах и при проведении газификации под давлением. Такие взвеси содержат уголь и воду в отношении 7 :3, а также небольшие добавки ПАВ. Предполагается, что промышленное применение метод найдет в конце 80-х годов. В начальной стадии разработки находится метод сжигания взвесей угля в спиртах.

Применение угольных взвесей перспективно при транспортировании угля по трубопроводам. Эта проблема особенно остро стоит в нашей стране: в Европейской части СССР и на Урале сосредоточено три четверти всего населения и четыре пятых промышленных предприятий. В то же время эти регионы располагают лишь одной десятой частью топливно-энергетических ресурсов, остальные девять десятых находятся в восточных районах страны. Объемы перевозок угля с востока на запад страны резко возросли— до 120 млн т в 1980 г. (более 3 % от общего объема железнодорожных перевозок). А это весьма серьезная дополнительная нагрузка на железные дороги. Эти обстоятельства и заставляют обратиться к транспортировке угольных взвесей по трубам. Трубопроводный транспорт прост и прогрессивен.

В США уже около 15 лет устойчиво и бесперебойно эксплуатируется углепровод с трубами диаметром 450 мм мощностью 5 млн т угля в год длиной более 400 км под давлением 100 атм, причем его сооружение обошлось втрое дешевле, чем строительство железной дороги на такое же расстояние. Обслуживает углепровод всего 56 человек. В СССР работает небольшой углепровод для доставки угля с шахты на ГРЭС и фабрику обогащения. Сейчас спроектирован и должен вступить в строй углепровод для транспорта угля из Кузбаса (шахта «Инская») на Новосибирскую ТЭЦ-5. Если результаты его испытаний окажутся положительными, этот способ будет использован и во многих других местах, что не только удешевит доставку угля, но и будет способствовать широкому

распространению сжигания угля в виде взвесей. Уже существует технико-экономическое обоснование углепроводов для транспортирования 60—70 млн т кузнецких углей на Урал и в Центр. Его сооружение позволит сэкономить большое количество металла, удешевить строительство в 1,5 раза по сравнению с железной дорогой, причем для обслуживания потребуется в 12 раз меньше персонала, чем для железной дороги.

Один из основных путей развития методов сжигания угля — применение топок с кипящим (псевдооживленным) слоем. Попробуем представить себе, что будет происходить со слоем не очень мелких порошкообразных частиц твердого вещества, насыпанных на пористое днище цилиндрической прозрачной трубы, когда через это днище подается газ. Сначала видимых изменений не произойдет — газ будет потихоньку фильтроваться через слой. Увеличим подачу газа — слой начнет расширяться, распухать, его высота возрастет. При дальнейшем повышении скорости газа частицы приобретут некоторую подвижность, начнут колебаться, подрагивать, и, наконец, наступит момент, когда все частицы придут в хаотическое движение в пределах слоя, а верхняя граница начнет волноваться, напоминая поверхность закипающей жидкости. Более того, если еще «поддать газу», в слое «псевдожидкости» будут образовываться газовые пузыри, которые, поднимаясь на поверхность слоя и лопаются там, создадут иллюзию кипящей жидкости.

Кипящий, или псевдооживленный, слой действительно обладает многими свойствами жидкости; здесь действует закон Архимеда, закон сообщающихся сосудов. Если даже газ и твердые частицы имеют низкую теплопроводность, образующийся слой, вопреки всяким правилам сложения, может иметь теплопроводность, превышающую рекордные величины для самых теплопроводных материалов. Поэтому температура в слое быстро выравнивается и поддерживается одинаковой во всех его точках. Это очень важно для проведения многих процессов — нет опасности перегрева или, наоборот, подогрева вещества.

Сейчас интенсивно разрабатываются два типа энергоустановок с псевдооживленным слоем — работающие при атмосферном давлении и работающие при

давлении т.пмс атмосферного. Одно из важнейших достоинств таких устройств состоит в возможности сильного снижения выброса вредных газов. Здесь ; ь'сгштельно уменьшена вероятность налипания частиц золы на теплопередающие поверхности, что позволяет не только использовать зольные угли, но и вводить в кипящий слой частицы химических поглотителей оксидов серы. А некоторое снижение температуры позволяет уменьшить выбросы оксидов азота. Удалось найти и дешевые поглотители — известь, оксид магния и доломит (природная смесь карбонатов кальция и магния).

Установки для сжигания в кипящем слое при повышенном давлении более сложны, но и более эффективны. В них для производства электроэнергии будут одновременно использоваться две турбины — паровая и газовая, причем в газовую будут подаваться обеспыленные газообразные продукты сгорания.

Жидкие топлив из угля

В качестве моторных топлив годятся далеко- не все жидкие углеводороды, и получить подходящий набор, искусственно — одна из непростых задач. При переработке угля отношение водорода и углерода определяет агрегатное состояние образующихся веществ и их пригодность как топлива. Чем больше водорода, тем лучше топливо. Значит, первая задача — увеличить количество водорода. Сделать это можно тремя способами — пиролизом угля, его гидрогенизацией водородом и газификацией.

Пиролиз — нагревание угля без доступа воздуха до 700—1000 °С, которое сопровождается образованием летучих веществ и твердого остатка — кокса. Если уголь нагревать медленно, то сначала из него удаляется вода, при температуре до 250 °С выделяются оксид и диоксид углерода, а начиная с 300 °С образуются пары смолистых веществ (фенола, нафталина, антрацена, гетероциклических соединений). Начиная примерно с 350 °С, некоторые угли, в частности каменные, размягчаются, становятся тестообразными, приобретают текучесть, причем чем выше температура, тем они более подвижны и текучи. При дальнейшем повышении температуры до 450—500 °С полу-

жидкий уголь разлагается, образуя жидкий первичный битум и твердый полукокс.

При медленном нагревании до 900 °С полукокс теряет водород, даст усадку, растрескивается и постепенно вновь упрочняется — образуется кокс.

Кокс содержит лишь около 85% первоначального углерода, примерно 7 % водорода и 4—5 % кислорода и вдвое меньше, чем в угле, азота и серы.

Из 1 т угля получают 300—350 м³ коксового газа, который содержит по объему 55—60 % водорода, 20—30 % метана, 5—7 % оксида углерода, а также небольшие количества азота, углеводородов, углекислого газа и совсем немного кислорода. Его можно использовать как топливо, а после разделения на фракции — как химическое сырье.

При коксовании на каждую тонну угля получается около 30 кг каменноугольной смолы — смеси ценнейших химических веществ. Из смолы можно получить нафталин, фенантрен, антрацен, карбазол, метилнафталин, фенолы, хинолин и его гомологи, пиридиновые основания и технические масла — поглотительное, шпалопрпиточное, газгольдерное и другие. Но общий выход топлива из угля настолько мал, что использовать его для получения топлива невыгодно.

Сравнительно недавно в СССР предложены новые способы переработки углей. Наиболее перспективен разработанный учеными Энергетического института им. Г. М. Кржижановского высокоскоростной пиролиз, который будет использован на опытно-промышленной установке в Красноярске мощностью 1 млн т канско-ачинских углей. Суть метода — в очень быстром нагревании мелкоизмельченного угля до 900 °С при очень малом (доли секунды) времени пребывания частиц угля в высокотемпературной зоне.

При такой обработке из угля получается мелкий кокс, жидкая смола, горючий газ и фенолы. Мелкий кокс по свойствам не уступает получаемому из дефицитных коксующихся углей и в будущем может транспортироваться по трубопроводам. Добавив жидкую смолу, из него можно изготовить коксовые брикеты.

При перегонке жидкой смолы получают высокооктановый бензин и дизельное топливо. Выход топливной фракции даже из углей Капеко-Лчинского бассейна гораздо выше, чем при обычном коксовании. При

этом удаляется около половины содержащейся в угле серы.

Повысить в угле содержание водорода можно, внедряя его в уголь извне. Такой процесс называют деструктивной гидрогенизацией, поскольку он обычно протекает при высоких температурах (400—560 °С), и сопровождается разрывом химических связей в органическом веществе угля.

В истории гидрогенизации углей были периоды повышенного интереса к процессу и почти полного его забвения. Эта идея, появившаяся в 1900 г. благодаря исследованиям академика В. Н. Ипатьева, получила наибольшее развитие в годы второй мировой войны в Германии, изолированной от источников нефти. Из-за быстрого роста нефтедобычи и нефтепереработки в послевоенные годы эти производства оказались неконкурентоспособными и были закрыты. Лишь в середине 70-х годов интерес к получению синтетических жидких топлив из угля вновь возродился. Были разработаны новые катализаторы, усовершенствованы способы гидрогенизации, снижены давление и температуры процесса.

Сейчас ведутся работы по интенсификации процесса и выбору его оптимального варианта. Трудности, которые пока не удалось устранить даже в самых лучших установках, связаны с очень большим расходом воды — около 4 т на тонну синтетического бензина — и выбросом в атмосферу больших количеств диоксида углерода. Кроме того, как отмечают западные исследователи, в процессе выделяются канцерогенные вещества, угрожающие заболеваниями кожи у персонала. Тем не менее в США в 1992 г. планируется производить таким путем более 20 млн т бензина.

Третий метод производства жидкого топлива из угля основан на газификации — превращении твердых топлив в горючие газы путем окисления воздухом, кислородом, парами воды или диоксидом углерода. Такое превращение протекает при сравнительно высоких температурах (более 800—1400 °С) в специальных аппаратах, называемых генераторами, и отличается от коксования тем, что вся органическая масса угля здесь превращается в газы. Эти газы называют генераторными, или синтез-газами.

Газификации подвергают кусковой уголь, уложен-

ный неподвижным слоем, мелкодисперсный уголь в псевдооживленном слое и даже угольную пыль. Сейчас в мире по этому способу действуют 18 предприятий и строятся еще четыре. Работают также несколько опытных заводов и десятки опытных установок.

Появились и совершенно новые варианты, как, например, японский способ газификации в расплавленном железе путем вдувания в конвертер угольной пыли и кислорода, каталитическая газификация в присутствии карбоната калия, и другие.

Газификация угля для получения газообразного топлива получила широкое распространение в СССР в 40-е и 50-е годы. Однако начиная с 60-х годов производство генераторных газов стало сокращаться, а затем и почти полностью прекратилось; это было связано с ростом добычи более дешевого природного газа и внедрением его в промышленности и в быту. В последние годы к разработке процессов газификации вернулись вновь: уже действует опытная установка по газификации угля в кипящем слое под давлением, установка по газификации водноугольниц: взвесей. Но все это уже на иной основе, чем раньше, и для иных целей — получения из газов синтетического жидкого топлива.

Исходными веществами для синтеза служат оксид углерода и водород. Наиболее известный путь — применение открытой еще в 1922 г. и разработанной в 1925—1935 годах в Германии технологии, названной синтезом Фишера — Тропша. Сейчас этот метод значительно усовершенствован, однако получаемый таким путем бензин имеет низкое качество и может использоваться лишь как дизельное топливо. По методу Фишера — Тропша работает только одно предприятие в СССР и три завода в ЮАР.

Подытоживая, можно сказать, что сегодня ни один из разработанных методов пока не годится для широкомасштабного производства синтетического жидкого топлива. Получить бензин из угля вполне можно, однако затраты на создание крупного завода пока довольно велики, а получаемое топливо стоило бы дорого. И все же будущее — за синтетическим топливом; усилия многочисленной армии исследователей и инженеров в скором времени должны принести желанные плоды.

О спирте — особо

Особый разговор пойдет о метаноле (метиловом спирте) — ценном химическом продукте. Самым первым и долгое время единственным методом его получения была сухая перегонка древесины, поэтому метанол и называют древесным спиртом. Этот способ был вне конкуренции с момента своего изобретения в 1834 г. до 1923 г., когда в Германии, а затем в США были созданы более дешевые производства метилового спирта из синтез-газа.

Сейчас основными способами получения метанола стали каталитические процессы. Некоторые установки имеют производительность до 750 тыс. т в год. Мировое производство метанола достигло в 1980 г. 20 млн т и быстро возрастает.

Метанол — исходный продукт для производства многих органических веществ: формальдегида, водный раствор которого известен под названием формалина, муравьиной и уксусной кислот, ароматических углеводов. С помощью метанола получают такие многотоннажные продукты, как диметилтерефталат, метилметакрилат, метиланилин, ацетат. Из метанола могут быть получены также этанол и высшие спирты, ацетальдегид, диметиловый эфир. Он широко применяется и как растворитель.

Важно отметить, что из метанола можно получать бензин. Наиболее интересны способы с применением в качестве катализаторов цеолитов, алюмосиликатов, отличающихся строго регулярной структурой очень мелких пор. Для практических целей их получают искусственно, меняя соотношение основных компонентов — оксидов алюминия и кремния. Разработки фирмы «Mobil Oil» позволяют, используя высококремнистые цеолиты, получать из метанола углеводороды с выходом почти 50%, причем выход углеводородов бензиновой фракции достигает 40 %. Стоимость получаемого таким образом бензина несколько ниже, чем в процессе Фишера — Тропша.

Метанол — один из основных объектов химии простейших органических соединений, интерес к которым в последние годы сильно возрос. Появилось даже новое название этого раздела органической химии: химия C₁-молекул, или просто C₁химия,

Еще одна заманчивая область применения метанола — в качестве моторного топлива. Обладая высокой устойчивостью к детонации, он позволяет на 10—15 % увеличить КПД и мощность двигателя и избавиться от антидетонаторов (чаще всего это тетраэтил-свинец — один из главных виновников свинцовых загрязнений в зоне автотрасс). Но у метанола низкая теплота сгорания, вследствие чего его расход в 1,75 раза превышает расход бензина. А это значит, что и баки для горючего при одинаковом пробеге автомашины должны быть почти вдвое более емкими. Кроме того, метанол сильно корродирует многие материалы, которые по традиции применяются в автомобилестроении, и, как известно, очень ядовит. И еще одно препятствие: бензин не смешивается с водой и практически ее не растворяет, а метанол смешивается с водой в любых соотношениях, поэтому замена бензина спиртом потребует новых конструкций автомобильного двигателя.

Проблему применения метанола как горючего или как добавки к традиционным видам горючего исследовали в разных странах. Есть варианты, основанные на чистом спирте, однако в США, ФРГ, СССР и ряде других стран лучшим решением считается добавка 5—20 % спирта к бензину. При этом переделывать двигатель не требуется. При больших количествах метанола смесь расслаивается, что вызывает необходимость введения стабилизирующих добавок.

Испытания, проведенные в нашей стране в 1983 г. с автомобилями ЗИЛ-130, заправленными смесью низкооктанового бензина с 14—17 % метанола (контрольные машины заправляли бензином А-76), показали, что помимо экономии бензина улучшаются ходовые качества и снижается токсичность отработанных газов.

ХИМИЯ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Ядерные реакторы — что это!

СССР — страна, где впервые в мире была создана атомная электростанция (АЭС). Пущенная в июне 1954 г. Обнинская АЭС «бабушка» атомных станций — опередила зарубежные станции, по крайней

мере, на два года. За три с лишним десятилетия после этого события в СССР построено более 40 энергетических реакторов общей мощностью свыше 22 млн кВт. Крупной самостоятельной отраслью народного хозяйства стала атомная энергетика во многих странах СЭВ, а всего в мире к началу 1986 г. работало 250 энергетических реакторов общей мощностью 250 млн кВт.

АЭС в первом приближении напоминают кипятильник или даже самовар. Делящееся вещество — уран, плутоний или торий в виде их тугоплавких соединений или сплавов — помещают в оболочку, чаще всего трубку из нержавеющей стали или специальных сплавов. Трубки заваривают с торцов и получают тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), которые в определенном порядке помещают в активную зону реактора. Обязательным компонентом активной зоны, где происходит собственно деление ядер, является также теплоноситель — вещество или смесь веществ, которые нагреваются за счет энергии деления, и замедлитель для регулирования энергии выделяющихся нейтронов и обеспечения устойчивой работы реактора. Кроме того, реакторы снабжены защитой — регулирующими стержнями с веществами, активно поглощающими нейтроны и при необходимости способными замедлить цепную реакцию или совсем прекратить деление ядер.

Конечно, реакторы не столь просты, как здесь описано. Они насыщены различными приборами для контроля и управления, снабжены специальными машинами для дистанционной загрузки новых ТВЭЛов и выгрузки отработавших (технологи говорят — «облученных») ТВЭЛов. Непосредственно вблизи реактора должны находиться бассейны с водой для выдерживания («охлаждения») облученных ТВЭЛов, ведь из реактора их вынимают горячими в прямом смысле слова: образовавшиеся при делении радиоактивные продукты выделяют столько энергии, что оболочка ТВЭЛА раскаляется и ее температура достигает 700—800°C. Остановить радиоактивный распад и выделение энергии распада никакими замедлителями невозможно. Здесь может работать только время, поэтому и необходимы специальные бассейны для выдержки ТВЭЛов.

В мировой практике широкомасштабное применение получили в основном ядерные энергетические реакторы двух видов: с топливом из естественного урана, замедлителем из графита или тяжелой воды и газовым или водяным охлаждением, а также реакторы с урановым топливом, слегка обогащенным ураном-235, замедлителем из обычной воды или графита и водяным охлаждением.

В СССР серийными стали водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР). Активная зона в этих реакторах расположена в массивном герметичном цилиндрическом корпусе с эллиптическим днищем и сферической крышкой. До недавнего времени строились также реакторы большой мощности — каналные (РБМК). Реактор типа РБМК представляет собой кладку из графитовых блоков с цилиндрическими отверстиями, в которые помещают кассеты со сборками твэлов.

Головной АЭС с реакторами **ВВЭР** является Нововоронежская. Первый ее блок **мощностью 210 МВт** был пущен в 1964 г. Первые **РБМК** мощностью **100** и **200 МВт** установлены на Белоярской АЭС, мощностью **1 тыс. МВт** — на Ленинградской и Курской АЭС.

Говоря об атомной энергетике, сегодня нельзя не вспомнить об уроках Чернобыля. Первый и второй блоки Чернобыльской АЭС вступили в строй **в 1977** и **1978**, еще два блока начали действовать в **1982** и **1983** годах. Все блоки имеют РБМК-1000, работают на урановом топливе, обогащенном до **2 %-го** содержания урана-235. Загрузка топлива в каждый реактор — **180 т**.

В разных странах мира — США, Японии, Великобритании и других — и раньше были серьезные аварии на АЭС, но именно **26 апреля 1986 года**—день, когда произошла авария в Чернобыле, — и последовавшие за ним дни заставили по-иному взглянуть на стратегию реакторостроения, вопросы обеспечения безопасности и подготовки персонала. События на Чернобыльской АЭС заставили многих людей в Европе (какая она, оказывается, маленькая!), да и во всем мире, заново пересмотреть свое отношение к ядерной вЧжне, последствия которой могут быть гораздо более грозными и необратимыми.

Однако развитие атомной энергетики будет продолжаться. Атомные станции до последнего времени давали в основном электроэнергию, хотя их можно использовать и для получения тепла. Подсчитано, что если вместо всех ТЭС электроэнергию будут вырабатывать АЭС, то удастся сэкономить всего лишь 20 % добываемого в стране органического топлива, а остальные 80 % все равно надо будет сжигать в котельных и ТЭЦ.

Поэтому возникло новое направление — использование ядерной энергии в мощных котельных вблизи крупных городов. Для этого проектируются специальные ядерные реакторы. Первые атомные станции теплоснабжения (АСТ) — так стали называться эти установки — строятся под Воронежем и Горьким. После того, как будет проанализирована работа этих станций и накоплен достаточный производственный опыт, они будут строиться серийно.

Неподалеку от Одессы создается первая крупная атомная теплоэлектроцентраль (АТЭЦ) с двумя блоками ВВЭР-1000. В Одессу, где отопительный сезон длится почти полгода, протянутся четыре магистральных трубопровода с температурой подаваемой воды 150°C. На станцию эта вода вернется охлажденной до 90 °С. Около 500 мелких котельных будут консервированы или закрыты, так что воздух города-курорта станет гораздо чище.

Все описанные выше типы АЭС, АСТ и АТЭЦ работают на природном уране, слегка обогащенном (до 2—3 %) изотопом уран-235, который делится на нейтронах с относительно малой энергией, поэтому такие реакторы называют реакторами «на медленных нейтронах». Эти реакторы способны использовать лишь 0,711 % природного урана — ровно столько, сколько в нем содержится урана-235. Для резкого повышения энергетической отдачи урана в ядерных реакторах можно использовать плутоний-239, получаемый при облучении нейтронами основного компонента природного урана — изотопа с массовым числом 238. Ядерное деление плутония происходит при воздействии на него быстрых нейтронов.

Плутоний-239 — более выгодное топливо, чем уран-235, поскольку, поглощая при делении одного атома 10 нейтронов, он выделяет 29 нейтронов, а не

23, как уран. Быстрые нейтроны (БН), кроме того, относительно меньше поглощаются конструкционными материалами и продуктами деления. Такие ядерные реакторы как бы размножают горючее, поэтому их называют реакторами-размножителями.

С 1973 г. работает двухцелевая АЭС в г. Шевченко с реактором БН-350 мощностью 350 МВт. Она опресняет морскую воду и производит электроэнергию. Недавно вступил в строй блок мощностью 600 МВт на Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова. Реактор БН-600 — самая мощная установка такого типа на планете.

Ядерный топливный цикл

Когда заходит речь об атомной энергетике, чаще всего имеют в виду непосредственно АЭС, хотя АЭС — это только вершина айсберга, его выступающая над водой часть. На чем же покоится эта вершина? что «скрыто под водой?»

Впрочем, сравнение с айсбергом не вполне точно. Можно говорить, что АЭС — вершина пирамиды, а сама она состоит из нескольких ярусов — предприятий ядерного топливного цикла, обеспечивающих экономичное и безопасное производство энергии путем расщепления делящихся материалов. При этом между ярусами происходит постоянный обмен, движение материалов как снизу вверх, так и сверху вниз.

Ядерных топливных циклов может быть несколько, в зависимости от природы расщепляющегося материала. Известны циклы, основанные на использовании урана-235, плутония-239, тория-232. Современная ядерная энергетика, в частности ВВЭР, базируется на уране-235.

Из чего же состоит ядерный топливный цикл?

Основа основ — первая ступень пирамиды — это сырье. Уран необходимо добыть из земных недр, для чего нужны карьеры, рудники, шахты и другие предприятия. Извлеченные на поверхность руды требуют обогащения. Это следующий ярус пирамиды: обогатительные фабрики. Когда возможности механических (гравитационных, флотационного и др.) и радиометрических методов исчерпывают себя, рудные концентраты перерабатывают химическими методами. На

рудных химических заводах избирательно растворяют уран, раствор очищают и вновь осаждают уран в виде какого-либо соединения, переводят это соединение прокаливанием в оксид урана (так называемую закись-окись урана U_3O_8), получая химический концентрат. Это еще один ярус.

Далее начинаются чисто химические переделы. Химические концентраты содержат очень много примесей. Жесткие условия работы АЭС (высокие температуры, сильные радиационные поля) и требования получить необходимое количество нейтронов для дальнейшего деления заставляют очень строго контролировать концентрацию многих примесей в ядерном топливе и проводить глубокую очистку сырья. Такую очистку химического концентрата выполняют на аффинажных заводах — следующем ярусе пирамиды ядерного топливного цикла.

Наконец, цель достигнута — получено чистое соединение делящегося металла. В случае урана этим дело далеко не заканчивается, ведь в природной смеси нужного изотопа, урана-235, очень мало. Эту смесь, содержащую в основном уран-238, необходимо обогатить ураном-235, повысив его концентрацию в 2—3 раза, а лучше — в 4—5 раз.

Разделить изотопы легче всего, взяв в качестве рабочего вещества какое-либо газообразное соединение урана. Поэтому сначала из тех или иных чистых соединений урана на специальных предприятиях получают его самое летучее из стабильных соединений — гексафторид UF_6 , который на других специализированных предприятиях — еще один ярус пирамиды, но уже базирующийся на чисто физических процессах, — и используют как рабочее вещество для разделения изотопов.

Наконец, и этот этап завершен: получено две порции продукта — малая, с нужным соотношением изотопов (обогащенная фракция) и большая, в которой концентрация урана-235 стала меньше, чем в природном уране (обедненная фракция). Теперь вновь нужно получить нелетучее тугоплавкое соединение урана, причем в таком виде, чтобы оно было пригодным для изготовления ТВЭЛов и устойчивым в активной зоне ядерного реактора. Изготовление ТВЭЛов — ответственная операция, которая проводится на специали-

рованных предприятиях, образующих очередной ярус пирамиды.

Казалось бы, на этом цикл заканчивается. Твэлы поступают в ядерный реактор, цель достигнута — вот она, желанная энергии! Но тут аналогия с пирамидой становится недостаточной. Связано это с тем, что ядерное топливо в реакторах выгорает далеко не полностью. Ведь при делении образуются «осколки» — продукты деления, что, конечно же, меняет химический и, главное, изотопный состав топлива. В нем появляются вещества, которые не только корродируют оболочку твэла изнутри, но и поглощают нейтроны, вызывая в предельном случае остановку цепной реакции деления. В современных урановых реакторах нельзя расщепить, «сжечь» больше 1—2 % топлива. Поэтому облученные твэлы после такой степени выгорания извлекают из реакторов, какое-то время выдерживают в бассейнах и затем отдают химикам для переработки.

Отметим, что СТОЛВ малая «степень сгорания», неприемлемая для обычного, органического, топлива, не умаляет достоинств ядерной энергетики. Так, в современных реакторах на тепловых нейтронах уран выделяет в 10 тысяч раз больше энергии, чем равное по массе количество нефти.

Вернемся к химии, точнее, радиохимии. Радиохимические предприятия — весьма специфическая группа производств в составе ядерного топливного цикла. Здесь отделяют оставшийся, «невыгоревший» уран, вновь превращают его в гексафторид урана, который поступает на корректировку изотопного состава, а далее — на изготовление твэлов. Здесь же извлекают образовавшиеся в результате ядерных реакций искусственные тяжелые элементы — нептуний и плутоний.

И еще одна группа производств — это установки по переработке, концентрированию и обезвреживанию радиоактивных отходов, подготовке к длительному хранению в контролируемых условиях высокоактивных отходов и безопасному захоронению средне- и низкоактивных отходов.

К группе производств, связанных непосредственно с ураном, примыкают многие другие. Например, чтобы получить гексафторид урана, нужен фтор — один из наиболее сильных окислителей и реагентов. Работа

реактора невозможна без таких конструкционных металлов, как цирконий и его сплавы. Из циркония делают каналы в реакторах, оболочки твэлов. При эксплуатации реакторов в большом количестве расходуются соединения бора, причем не любые, а с повышенным против природного содержанием бора-10 (в природной смеси его содержится 19%). Бор-10 — превосходный поглотитель медленных нейтронов. В виде борной кислоты его добавляют в воду, служащую теплоносителем первого контура, а также в воду бассейнов для выдержки облученных твэлов. В виде очень тугоплавкого карбида бора В4С его применяют в системах управления и защиты реакторов.

Для ядерного реакторостроения требуются большие количества особо чистого графита, многих марок сталей, специальных бетонов и самых разных химических веществ.

Главный источник — уран-235

В природном уране 99,28% урана-238, 0,711% урана-235 и 0,005% урана-234. В составе земной коры содержится в среднем 0,0004% урана, что всего лишь в 9 раз меньше, чем хорошо известной и довольно распространенной меди.

По последним оценкам Международного агентства по атомной энергии, теоретические природные запасы урана в 182 странах мира составляют от 14,8 до 18,5 млн т, причем в социалистических странах — от 5,2 до 6,5 млн т. Далее по запасам идут Австралия и Океания (3,0—3,5 млн т) и Африка (2,6—3,5 млн т). Общие запасы урана — такой источник энергии, который в 15—20 раз превышает энергетические запасы угля, нефти, природного газа и горючих сланцев, вместе взятых. Но не весь этот уран можно извлечь по существующей сегодня технологии.

До второй мировой войны промышленными считались только три месторождения урана: Яхимово в Чехословакии, Шинколобве в Заире и Эльдorado в Канаде. Содержание урана в рудах этих месторождений достигало 1,5—10%. Примерно до конца 40-х годов переработке подвергались руды, содержащие не менее 1% урана, а начиная с конца 50-х

большук? часть урана извлекали уже из руд с концентрацией менее 0,3 %•

В последние годы рентабельной стала переработка руд, в которых урана содержатся лишь сотые доли процента, что даже значительно ниже, чем его содержание в отвалах, накопленных в первые десятилетия работы урановых обогатительных фабрик.

Как же перерабатывают такие ,руды? Сначала их измельчают до частиц размером в несколько сантиметров или миллиметров и обогащают радиометрическим методом. Ведь вместе с ураном в рудах всегда содержатся γ -радиоактивные спутники, **например радий, а γ -активность легко регистрируется. Применяют также так называемое гравитационное обогащение, типа отмывки золотоносного песка — ведь плотность минералов урана обычно больше, чем пустой породы.** Затем полученный концентрат снова измельчают, **теперь до частиц размером в десятые и сотые доли миллиметра, буквально истирают его в мелкую пыль.** Дальше начинается химическая переработка.

Урановый рудный концентрат содержит еще довольно мало урана. При этом собственно урановые минералы зачастую вкраплены в нем в минералы пустой породы, из которых и состоит в основном этот концентрат. Конечно, можно было бы подобрать или создать такие реагенты, которые растворили бы весь концентрат — и уран, и пустую породу. Но это должны быть очень сильные реагенты и наверняка очень дорогие. Кроме того, возникнут вопросы — из каких материалов делать аппараты для растворения и во сколько такое растворение обойдется?

В гидрометаллургии — так называют процессы концентрирования и очистки металлов с помощью реакций в водных растворах — действуют по-иному. Из концентрата стараются извлечь уран избирательно — селективно перевести его в раствор, т. е. выщелочить. На большинстве урановых заводов для выщелачивания применяют сравнительно разбавленную серную кислоту или раствор карбоната натрия, обычной соды. Для более полного и быстрого выщелачивания вводят окислители и получают в конечном итоге раствор солей урана — уранилсульфата UO_2SO_4 или карбонатуранилата $Na_4UO_2(CO)_3$.

растворы еще очень «грязные», урана в них < 1%. В них много примесей — железа, алюминия, кальция, кремния и других элементов, которые тоже перешли в раствор, — довольно много. Кроме того, растворы содержат взвешенные твердые частицы. По существу, после выщелачивания получается не раствор, а взвесь, называемая в технологии пульпой. До середины 50-х годов единственным методом переработки урановорудных пульп была фильтрация через плотные ткани, после чего труднорастворимые соединения урана осаждали действием каких-либо реагентов и снова фильтровали.

Когда добываемая руда содержала 1 % урана, а подвергаемые выщелачиванию концентраты — до 10% и более, на каждый килограмм урана в пульпах приходилось всего 90 кг взвешенных твердых частиц или меньше. А на каждый килограмм полученного осадка приходилось 5—15 л уже не нужного раствора. Даже в этом случае для концентрированных по урану растворов, если считать не на килограммы, а на тонны, нагрузка на фильтрацию (а процесс этот медленный и требующий большого числа аппаратов) оказывалась очень большой.

По мере того как обеднялись ураном руды, о чем говорилось выше, отнесенное к массе урана количество твердых частиц в пульпах повышалось, концентрация урана в растворах снижалась, и двойная фильтрация этих растворов превратилась в такую проблему, что затраты на фильтрацию уже перестали оправдываться ценой получаемого урана. Попробуйте профильтровать через школьную «промокашку» крахмальный клей. Первые порции отфильтруются быстро, а чем дальше, тем медленнее пойдет дело: слой уже осевших на фильтре частиц, через который надо будет фильтровать следующие порции, довольно быстро затормозит процесс.

Задача осложняется тем, что осадок после первой фильтрации несет на себе много захваченного им урансодержащего раствора. Этот осадок надо промыть. К нему добавляют воду, тщательно перемешивают полученную пульпу и затем снова фильтруют. И так два, три или даже большее число раз. Промывные воды, в которых урана совсем немного, но он все же есть, объединяют и направляют на переработку.

Где же выход из положения, если надо перерабатывать в сутки, скажем, тысячу тонн уранового рудного концентрата?

Инженеры нашли такой выход, и речь о нем пойдет ниже.

Безреагентные методы, бесфильтрационные схемы

Еще в 1842 г. французский химик Э. М. Пел иго установил, что уранилнитрат $UO_2(NO_3)_2$ хорошо растворим в серном (диэтиловом) эфире. Но уранилнитрат прекрасно растворим и в воде, тогда как эфир в воде растворяется плохо. В течение почти сотни лет это свойство урана казалось капризом природы и не находило особого практического применения.

Потом было замечено, что если к раствору уранилнитрата в воде добавить серный эфир, то уран переходит в эфир, тогда как многие примеси, не растворимые в эфире, остаются в воде. Отделив эфирный слой от воды и добавив к нему чистой воды, можно вновь перевести уран в воду и получить очищенный от примесей раствор.

В конце 40-х годов нашего века этот метод (он называется экстракцией) был применен на английском урановом заводе в Спрингфилде: из почти насыщенного водного раствора уранилнитрат переводили в эфир. Процедура была не из приятных, так как температура кипения диэтилового эфира всего $34,5^\circ C$ и при комнатной температуре он сильно испаряется. Если прибавить к этому высокую горючесть эфира, температура вспышки которого равна $-43^\circ C$, а температура самовоспламенения — плюс $180^\circ C$, становится понятным, что постоянная опасность пожара заставила искать другие растворители для проведения экстракции. Поиски увенчались успехом: было найдено вещество, которое совершило переворот в гидрометаллургии урана — трибутилфосфат. Это производное фосфорной кислоты, три атома водорода в которой замещены углеводородными радикалами (бутильными группами). Трибутилфосфат безопасен в обращении (его температура кипения $289^\circ C$, а температура вспышки $145^\circ C$) и хорошо растворяет уранилнитрат, образуя с ним жидкое химическое соединение $UO_2(NO_3)_2 \cdot TBO$. Кроме того, сам

трибутилфосфат в 12 раз хуже растворяется в воде, чем диэтиловый эфир, а это значит, что по потери с перерабатываемыми водными растворами и велики.

Начиная с конца 50-х годов во всех странах, производящих ядерное горючее, трибутилфосфат завоевал прочные позиции на гидрометаллургических заводах и удерживает их до сих пор, хотя сегодня промышленность располагает десятками экстрагентов, пригодных буквально «на все случаи жизни».

Экстракция урана трибутилфосфатом проложила дорогу широкому применению экстракционных методов очистки и концентрирования многих других радиоактивных, редких и цветных металлов. **И если бы химическим веществам ставили памятники за заслуги, то трибутилфосфат вполне мог бы удостоиться такой чести.**

Экстракцию осуществляют в непрерывнодействующих высокопроизводительных реакторах самых разных типов и размеров — от центробежных аппаратов величиной с наперсток до ящичных смесителей — отстойников ростом с пятиэтажный дом, которые способны пропускать через себя буквально реки растворов.

У этого метода есть и недостатки. Он не пригоден для переработки пульпы. Содержащиеся в пульпах твердые частицы обволакиваются органическим растворителем, слипаются, захватывают капли водного раствора и дают образования, которые технологи с явно выраженной недоброжелательностью называют «медузами». Плавающие между водным и органическим растворами «медузы» нарушают нормальное течение процесса и практически прекращают его.

Но и здесь было найдено блестящее решение. В 1953 г. в СССР под руководством академика Б. Н. Ласкорина был разработан способ извлечения урана из пульпы, основанный на ионном обмене, без фильтрации. Позднее такие же разработки были выполнены и в других странах. Вот что пишет сам Б. Н. Ласкорин: «Сущность бесфильтр ационно-сорб-ционнного метода состоит в том, что в тонкоизмельченную (0,15 мм) пульпу, содержащую выщелоченный уран преимущественно в жидкой фазе, вводится зер-ненный сорбент (0,63—1,6 мм), селективно поглощающий уран». Принципы здесь те же, что и в экстракте

ции: противоточное движение пульпы и сорбента, интенсивное перемешивание их и разделение после перемешивания. Так же, как экстракции сопутствует десорбция, сорбции обязательно сопутствует десорбция — переводение урана из сорбента в небольшой объем водного раствора какого-либо реагента. Отличия сорбции и экстракции — в фазовом состоянии концентрирующего вещества: сорбент твердый, а экстрагент — жидкий. **Поэтому-то сорбция не связана с образованием пресловутых «медуз» и легко может использоваться для переработки пульпы.**

Применение сорбционной технологии ознаменовала революцию в гидрометаллургии. Отказ от фильтрации позволил повысить интенсивность процесса в сотни и даже тысячи раз.

В нашей стране организован выпуск ионитов — веществ для ионообменной сорбции — самых разных типов и назначений. Как правило, это зернистые пористые органические полимеры, на поверхность которых «привить» способные к ионному обмену группы.⁴

Но у ионообменной технологии тоже есть недостаток — сравнительно малая емкость ионитов. Поэтому сорбцию выгодно применять для низкоконцентрированных растворов, а после нее переходить на экстракцию.

Именно сорбционно-экстракционная технология и позволила не только преодолеть многие трудности, возникшие при непрерывном снижении концентрации урана в рудах, но и вовлечь в переработку многие ранее недоступные виды сырья.

К применению экстракции и сорбции для решения других вопросов мы еще вернемся в последующих разделах, а сейчас продолжим рассказ о технологии урана.

Фториды урана и что за ними стоит

Ядерная энергетика со времени ее зарождения до наших дней широко использует фториды урана. Тетрафторид (UF_4) — обязательное промежуточное соединение при производстве металла и гексафторида (UF_6), а гексафторид — единственное вещество, используемое для разделения изотопов урана.

«Зеленая соль» («green salt»), как называли тетрафторид урана американцы в 40-х годах, в круп-

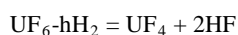
нокристаллическом состоянии дейтний и ельию имеет красивый темно-зеленый цвет, но чаще выделяется в виде голубовато-зеленого или серо-зеленого порошка.

Гексафторид урана при комнатной температуре образует бесцветные, прозрачные кристаллы с желтоватым оттенком. Он люминесцирует в УФ-лучах и слабо — на солнечном свете. Правда, рассмотреть, какого цвета кристаллы гексафторида урана, удавалось немногим даже из тех, кто работает с ним ежедневно. Гексафторид при обычной температуре имеет довольно заметное давление собственного пара — такое же, как вода при 53 °С, а попадая на воздух, быстро взаимодействует с парами воды, превращаясь в облако бледно-голубого дыма.

Историю развития технологии гексафторида урана Герой Социалистического Труда профессор Б. В. Громов, длительное время читавший лекции по технологии урана в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева, образно представлял как воспроизведение этапов сжигания органического топлива: «Аппаратурное оформление фторирования урансодержащих материалов для получения UF₆ вначале ограничивалось примитивными лодочками, небольшими полочными и трубчатыми печами. Теперь применяют более совершенные шнековые реакторы, печи «кипящего» слоя и новейшие высокоинтенсивные пламенные, или факельные, фтораторы, где взаимодействие тетрафторида урана или других урансодержащих материалов осуществляется с огромной скоростью при температуре 1000°С и выше».

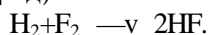
Пламенные реакторы используют не только для фторирования. Гексафторид урана после разделения изотопов надо снова превратить в тетрафторид (из него получают металл) или в диоксид урана.

Обычно гексафторид урана восстанавливают до тетрафторида водородом. Поскольку реакция

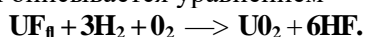


идет с заметной скоростью только при высоких температурах, для гарантированного повышения температуры в пламенный реактор вводят немного фтора. Фтор горит в водороде с выделением больших количеств тепла, образуется тот же продукт, что и при

восстановлении гексафторида урана — фтористый водород (фтороводород):



Этот же принцип — введение тепловыделяющих добавок — используется и при превращении гексафторида урана в диоксид. Здесь высокую температуру обеспечивают, сжигая кислород в водороде. При этом образующиеся пары воды не просто сбрасывают, а используют как реагент. Уже говорилось, что гексафторид урана энергично взаимодействует с парами воды и образует уранилфторид. При этом также выделяется тепло. Если создать избыток водорода, то при развиваемых в пламени температурах уранилфторид восстанавливается до диоксида урана. Суммарная реакция описывается уравнением



Соединения фтора позволяют создать необычный ядерный реактор, в котором вообще нет твэлов, а теплоносителем и одновременно источником энергии служат фториды урана и тория, растворенные в расплаве фторидов бериллия и лития. Такой реактор с тепловой мощностью более 7 МВт работал с середины 1965 по конец 1969 г. в Окридже (США). Используемые в качестве топлива расплавленные соли прокачивались насосом через активную зону, образованную графитовыми блоками, которые служили замедлителями нейтронов. Здесь шла цепная реакция ядерного деления, соли нагревались до более высокой температуры и, выйдя из активной зоны, отдавали тепло солям второго контура. Графитовые блоки не имели защитных оболочек, так как расплав солей не смачивает графит (соли стекают с графита, «как с гуся вода») и не проникают в него. Главное преимущество такого реактора — простота регенерации отработанного топлива: уран можно извлечь, проводя фторирование до UF_6 прямо в солевом расплаве (если часть его вывести на расположенную на небольшом расстоянии от реактора специальную установку). Расплав с накопившимися в нем нелетучими продуктами деления можно просто залить в емкости и после застывания расплава удалить эти емкости на хранение.

Важно и то, что ядерное топливо для такого реактора приготовить весьма просто: опадает необходимость делать таблетки, оболочки твэлов, кассеты и сборки. Поэтому затраты и на изготовление топлива должны быть сравнительно низкими.

Уже разработан проект реактора-размножителя на расплавленных солях электрической мощностью 1 млн кВт. Однако прежде чем этот проект может быть реализован, необходимо решить целый ряд непростых проблем.

Керамика особого класса

Основным урановым соединением, используемым в твэлах ядерных реакторов, является диоксид. Это темно-коричневое вещество с большой плотностью ($10,96 \text{ г/см}^3$), высокими температурами плавления ($2850 \text{ }^\circ\text{C}$) и кипения (примерно $3800 \text{ }^\circ\text{C}$). Несмотря на высокую термическую устойчивость, он легко окисляется и при нагревании на воздухе превращается в U_3O_8 .

К порошкообразному UO_2 , предназначенному для изготовления твэлов, предъявляются жесткие требования как по физическим характеристикам (структура, плотность, относительное количество пор и размер этих пор и т. д.), так и по химическому составу. Например, по действующим в США нормам количество влаги должно быть менее $0,04\%$, всех других примесей — менее $1,5\%$, а бора — даже менее четырех десятитысячных процента. Попробуйте получить!

Порошок UO_2 должен иметь хорошую текучесть, каждая его частица должна состоять из микрокристалликов определенного размера — в несколько тысячных долей миллиметра. А самое главное — состав и свойства порошка должны быть постоянными от партии к партии.

В массовом производстве таблеток UO_2 порошок засыпают в формы и прессуют при обычной температуре. Полученные заготовки спекают при $1600\text{—}1700 \text{ }^\circ\text{C}$, пропуская над ними разбавленный водород. При этом таблетки дают усадку до 50% .

Для реакторов на быстрых нейтронах, имеющих в качестве хладагента жидкие металлы, универсальным топливом может быть однородная спеченная смесь

UO₂, содержащая примерно 20 % диоксида плутония-239 (PuO₂).

В связи с ожидаемым расширением строительства высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов возникла необходимость в надежной и экономичной технологии микросферических частиц оксидов или карбидов урана и тория. Микросферическое оксидное урановое топливо перспективно и для обычных реакторов, ведь в оболочку твэлов вместо спеченных таблеток можно было бы просто засыпать микросферы и тщательно их уплотнить.

Как же получить плотные и однородные микросферы? Один из методов состоит в гранулировании порошка оксида. Предназначенный для этого аппарат напоминает большую сравнительно плоскую тарелку, установленную под некоторым углом. При вращении тарелки частицы порошка постоянно перекатываются из верхней части ее углубления в нижнюю, а поскольку к порошку добавляют немного связующего, мелкие частицы постепенно слипаются в шарики. Чем дольше вращается тарелка-гранулятор, тем крупнее шарики. Полученные микросферы просеивают и спекают.

Другой метод—химический, он появился в начале 60-х годов и быстро завоевал популярность. Золь-гель-процесс — так называется этот метод — основан на законах коллоидной химии. Небольшие порции жидких веществ, попадая в другую фазу, например в несмешивающуюся с ними вторую жидкость или газ, стремятся принять такую форму, чтобы их поверхность была как можно меньше. И если порция невелика, образуются капли, при этом чем меньше их объем и влияние посторонних сил, тем ближе форма капель к шарообразной. Понятно, что если капать раствор соли урана в органическую жидкость, не растворяющую воду и имеющую меньшую плотность, то оседающие вниз капли раствора будут сферическими. Но этого мало. Надо сохранить форму капель. Вот здесь снова приходит на помощь экстракция. Нужна не просто органическая жидкость, а такой растворитель, который способен за время падения капли раствора селективно удалять из нее большую часть воды, и берут не простой раствор, а коллоидный — золь, в котором уже есть как бы зачатки

твердой фазы. При удалении воды такой раствор может постепенно превратиться в гель — также коллоидное стекловидное образование, напоминающее крепкий студень. Гель обладает выраженными свойствами твердых веществ, во всяком случае, может долго сохранять свою идеальную сферическую форму. А это то как раз и надо. Полученные микросферы высушивают и прокаливают.

Развивается еще один химический метод получения микросфер, который основан на применении ионообменной сорбции. Зерна ионитов определенной формы и размера можно насытить соединением урана или другого делящегося металла, высушить и затем сжечь органическую матрицу или, если нужно получить карбиды, подвергнуть ее пиролизу.

К существенным преимуществам химических методов, помимо их технологических достоинств, относится меньшая опасность для обслуживающего персонала. Здесь нет операций с пылящими порошкообразными радиоактивными веществами. Ни растворы, ни микросферы геля, ни зерна сорбента, ни уже спеченные микросферы не дают радиоактивной пыли, работа с которой требует очень большой осторожности.

Но получить плотные сферические шарики — это еще не значит изготовить микротвэлы. Шарики горячего необходимо заключить в прочную, выдерживающую высокую температуру и громадную радиацию оболочку, причем в такую оболочку, которая была бы совершенно непроницаемой для образующихся при делении радиоактивных продуктов.

Эту задачу можно пока решить только одним путем — применяя метод химического осаждения из газовой фазы. Диаметр микросфер обычно составляет от 0,10 до 1,20 мм, причем допускаемое отклонение не должно превышать 0,01—0,02 мм. Микросферы — идеальный материал для образования кипящего слоя. Витаящие, отделенные одна от другой частицы обрабатывают при высокой температуре в потоке газобразных углеводородов. Органические соединения при высокой температуре подвергаются пиролизу, и в результате на поверхности частиц осаждается тонкий пористый слой пироуглерода. Вслед за первым слоем наносят таким же путем второй, очень плотный, а потом меняют состав газов и осаждают слой

карбида кремния — тоже очень тугоплавкого и устойчивого в жестких условиях вещества. Толщину и плотность всех трех слоев удастся выдерживать довольно строго, а многослойная защита непроницаема для продуктов деления.

Получив представление о методах, описанных в этом небольшом разделе, невольно приходишь к двум заключениям. Во-первых, в науке и технике словно не существует понятия «невозможно». Нужно изготовить керамические таблетки, выдержав их размеры, состав и пористость на микроскопическом уровне, — можно сделать! Требуются однородные, строго сферические частички с маковое зерно, диаметром в полмиллиметра — и это можно! Считаете целесообразным пустить процесс на поток, обойтись без противогазов и респираторов при работе — и для этого есть способы! Наконец, нужно сделать, казалось бы, невозможное — найти материалы, способные выдержать поистине адские условия работы, и нанести эти материалы тончайшим и плотнейшим слоем на каждую частицу — а сколько таких частиц в каждой тонне — и здесь находится блестящее решение! И, во-вторых, эти решения и находки, требующие, конечно, не только фантазии, но упорных поисков и часто изнурительных по длительности исследований, все чаще приходят именно из химии и химической технологии.

КАК ХРАНЯТ И ТРАНСПОРТИРУЮТ ЭНЕРГИЮ

Зачем и как накапливать

Еще 15—20 лет назад бытовало мнение, что энергетика — единственная отрасль народного хозяйства, где не нужны склады готовой продукции. Но по мере роста производства энергии ее хранение стало считаться не только возможным и желательным, но и необходимым. Причин такого положения несколько.

Во-первых, большинство промышленно развитых стран находятся в умеренном климатическом поясе, где происходит смена времен года, так что зимой энергии требуется обычно больше, чем летом. Во-вторых, потребление энергии меняется в зависимости от времени суток. В-третьих, некоторые альтернативные возобновляемые источники энергии — солнечное

излучение, ветер, волновое движение воды и другие — могут работать только в сочетании с тем или иным способом накопления энергии.

Есть и еще одна причина, заставляющая обращаться к проблеме хранения энергии.

Существует множество небольших, мелких и совсем крошечных потребителей энергии — от автоматического маяка или метеостанции до автомобильного аккумулятора, карманного фонарика и вшитого большому источнику питания регулятора ритма сердца. Небольшие потребители **разбросаны по громадным территориям**, зачастую удалены **от сетей электропередач**. Потребность в небольших источниках **тока выражается** впечатляющими цифрами: ежегодно выпускается 10 млрд химических источников. Электрохимики **утверждают, что суммарная мощность таких источников, если все их включить одновременно, превысила бы мощность всех электростанций мира**. Так называемая **малая энергетика оказывается не такой уж малой**. Нужно, правда, оговориться, что свою мощность **химические источники тока быстро утрачивают, и по годовой выработке электроэнергии они, конечно, почти незаметны на фоне промышленных энергоустановок**.

Консервация энергии — это путь к ее экономии Сейчас в «большой энергетике» основными методами накопления энергии служат методы, **основанные на механических принципах**. **Особенно распространены гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)**. **Идея их проста: при избытке энергии, например, глубокой ночью, часть энергии тратится на перекачивание воды из нижнего водохранилища в верхнее, а в часы пик вода из верхнего водохранилища используется для получения электричества на обычной ГЭС и вновь попадает в нижнее**.

Есть и другой механический метод: использование не воды, а газов, например метана или воздуха, закачиваемых в подземные полости. Выбор подходящих геологических формаций здесь проще, так как газы можно сжать до высоких давлений и их объем при одинаковой запасенной энергии гораздо меньше, чем объем несжимаемой воды в водохранилищах ГАЭС. Следовательно, и объем полости может быть сравнительно небольшим.

К механическим способам хранения энергии относится применение маховиков, однако расчеты показали, что если речь пойдет о больших количествах энергии, то материалы для маховиков, да и сами устройства с маховиками — ведь надо обеспечивать их безопасную работу — будут довольно дорогими.

Можно запастись собственно тепло, т. е. нагревать при избытке энергии массивные теплоемкие изделия — кирпичи, а затем забирать это тепло. Или, например, днем нагревать воду, а ночью использовать ее для обогрева, ночью нарабатывать лед, а днем использовать его в холодильниках и кондиционерах. Системы с солнечным подогревом воды уже приобрели популярность и «работают» во многих странах мира. Однако и здесь при увеличении масштабов применения резко возрастают трудности. Необходимы специальные объемные помещения для энергоносителя * — кирпичей или воды, и стоимость сооружения этих помещений, да и самой системы «съедает» ее преимущества.

Идеальным решением в будущем, возможно, станет применение сверхпроводников: время хранения здесь может быть очень большим, энергия сохраняется непосредственно в виде электричества и трудности с ее использованием отсутствуют.

Проблемы малой энерготики

Химические источники тока подразделяются на две большие группы — первичные, называемые также электрическими элементами, и вторичные, перезаряжаемые источники, или электрические аккумуляторы.

Элементы предназначены для однократного использования и состоят из двух электродов — положительного катода и отрицательного анода, — которые погружены в электропроводную среду — электролит. Анодом служит какой-либо химический восстановитель, а катодом — окислитель. Электролит обычных электрических элементов всегда жидкий, хотя некоторые из элементов и называют сухими (в них жидкий электролит смешан с твердыми частицами и находится в виде пасты).

Аккумуляторы тоже имеют катод, анод и электролит, но здесь при заряде и разряде катод и анод

меняются местами. Электрическая энергия накапливается за счет ее превращения в химическую при заряде, т. е. при образовании восстановителя и окислителя. При разряде окислитель и восстановитель реагируют друг с другом, и аккумулятор работает как обычный элемент. Выбор веществ для аккумуляторов сложнее, так как здесь необходимо обеспечить строгую обратимость процессов и возможность многократного повторения циклов заряда и разряда.

Для того чтобы перейти на хранение больших количеств энергии с помощью аккумуляторов, необходимо решить довольно много проблем. Во-первых, резко, до нескольких десятков или сотен тысяч киловатт-часов повысить количество запасаемой энергии. Во-вторых, заставить аккумуляторы выдерживать несколько тысяч циклов заряда-разряда. В-третьих, увеличить удельную энергию и удельную мощность аккумулятора, т. е. количество киловатт-часов, вырабатываемых на единицу массы, и мощность, отнесенную к килограмму массы. Именно низкие значения этих величин не позволяют пока выйти на шоссе электромобилям. В-четвертых, надо очень значительно снизить стоимость аккумулируемого электричества. Сейчас в самом дешевом гальваническом элементе, по подсчетам В. С. Багоцкого, каждый киловатт-час стоит около 30 руб.[^] тогда как на электростанциях всего 1—2 коп. Каким же арсеналом аккумуляторов располагает современная техника? Некоторые характеристики важнейших из них даны в таблице.

Характеристики перспективных аккумуляторов

Аккумулятор	ЭДС, В	Удельная энергия, Вт • ч/кг	Удельная мощность, Вт/кг	Срок службы, число циклов
Pb-кислотный	1,9—2,0	35-50	50-100	250-700
Ni-Fe	1,1-1,3	40-80	40-140	до 2000
Ni-Zn	1,5-1,7	60-70	130	200—500
Ni-Cd	1Д-1,3	15-35	100-300	500—2000
Fe-воздушный	1,1	30—40	80	200
Zn-воздушный	1,6	300-1000	—	500-600
Zn-хлоридный	1,9-2,1	80-150	120	400-800
Na-S	1,8	40-150	—	1000
Li-сульфидный	1,4	40-150	—	300

Самое большое распространение пока получил свинцово-кислотный аккумулятор с электродами из диоксида свинца и губчатого железа, погруженными в серную кислоту. Его пытаются усовершенствовать, и в опытных моделях уже достигнут срок службы до 2000 циклов. Несмотря на довольно низкие удельные характеристики, перспективы применения этих аккумуляторов для хранения больших количеств энергии нельзя считать нулевыми. Во-первых, стоимость их сооружения в расчете на киловатт-час уже сегодня ниже, чем для любых других установок, а в перспективе может быть вдвое ниже, чем у ГАЭС. Во-вторых, длительность сооружения и введения в строй здесь всего 2—3 года (у ГАЭС 8—12 лет).

Большую удельную мощность и удельную энергию, а также длительность эксплуатации могут обеспечивать более дорогие аккумуляторы никелевого семейства.

Особый класс образуют металловоздушные аккумуляторы, в которых электрический ток возникает при взаимодействии кислорода воздуха с отрицательным электродом из металла (железа, цинка и др.) в растворе щелочи. При этом образуются оксиды или гидроксиды металлов. Исследователям пришлось затратить поистине титанические усилия, чтобы заставить эти системы работать обратимо, чтобы повысить их устойчивость к саморазряду (иначе срок хранения запасенной энергии оказывается коротким) и преодолеть многие другие трудности. Но зато здесь применяется даровой окислитель — воздух, и запасы окислителя не отягощают батарею. Поэтому теоретическая удельная мощность может достигать 1000 Вт-ч/кг, а для алюминиево-воздушных — даже 4300 Вт-ч/кг.

Необходимо также рассказать еще об одной недавней разработке — цинк-хлоридном аккумуляторе. Он работает при температуре окружающей среды с электролитом из циркулирующего раствора дихлорида цинка $ZnCl_2$. При заряде цинк выделяется в металлическом виде на графитовом электроде, а хлор — в виде газа на другом электроде, тоже графитовом, но пористом. Хлор поступает в расположенный рядом резервуар, где он растворяется в воде и замерзает, образуя кристаллогидрат $Cl_2 \cdot 8H_2O$.

При разряде нагретый электролит подают в резервуар с замороженным хлором, разлагают гидрат, подают хлор в электрохимическую ячейку, где он восстанавливается на пористом графитовом электроде. Цинк при этом растворяется, в растворе увеличивается концентрация продукта реакции — дихлорида цинка. Показатели работы аккумулятора, как видно из таблицы, весьма высокие.

В США и европейских странах интенсивно разрабатываются натриево-серные батареи. Активные компоненты — натрий и сера — в них находятся при работе в жидком виде, так как аккумулятор действует при 300—350 °С. В качестве электролита используется специальная керамика из так называемого натриевого р-глинозема, который способен обеспечивать электрический ток за счет быстрого переноса ионов натрия. Именно эти ионы здесь и нужны, так как они образуются при окислении натрия серой. Они перемещаются в сторону расплавленной серы и соединяются с ней, образуя полисульфиды натрия. Специалисты сумели сделать трубы из очень чистого р-глинозема с высокой проводимостью, механической прочностью и хорошей устойчивостью к жидкому натрию.

Перспективным аккумулятором является литиево-сульфидный. Он работает при 400—450 °С; электролитом служат расплавленные хлориды лития и калия, анодом — литий (легкий и очень активный щелочной металл) или сплав лития с алюминием, катодом — сульфиды железа (FeS или FeS₂). По показателям работы эти аккумуляторы несколько уступают натриево-серным, а стоимость лития выше стоимости натрия, однако их удельная энергия сопоставима и составляет 40—50 (в пределе 100—150) Вт·ч/кг. Вполне возможно, что натриево-серный или литиево-сульфидный аккумуляторы станут массовыми и сумеют в начале 90-х годов завоевать позиции на городском транспорте. К 2000 г. можно ожидать появления на дорогах разных стран уже десятков МИЛЛИОНОВ электромобилей.

Еще одним направлением развития аккумуляторов является использование систем с электролитом на основе органических растворов и литиевым отрицательным электродом. С литием, как и с натрием,

нельзя сочетать водные растворы, а твердые электролиты или расплавленные соли работают лишь при высоких температурах. Органический электролит снимает эти ограничения и позволяет использовать активнейший литий при температурах, близких к комнатной или даже отрицательных — до минус 50 °С. В начале 80-х годов инженеры-электрохимики уже решали задачу создания установок для хранения энергии мощностью в несколько мегаватт или **десятков мегаватт**, поэтому **вполне вероятно, что малая; энергетика вот-вот придет на помощь большой.**

Земные задачи топливных элементов

Еще одним средством прямого преобразования энергии химического взаимодействия в электричество являются топливные элементы (батареи). В топливных элементах осуществляется как бы беспламенное горение, но горение особого рода, с пространственным разделением топлива и окислителя и с превращением выделяемой энергии непосредственно в электрический ток. Любая окислительно-восстановительная химическая реакция сопровождается переносом электронов от восстановителя (топлива) к окислителю. В топливном элементе окислитель и топливо (в простейшем случае это газообразные кислород и водород) присоединяют и отдают электроны на поверхности катода и анода. Образующиеся ионы переходят в электролит, разделяющий электроды, и реагируют с образованием **воды**. На каждый киловатт-час полученной при сжигании кислорода и водорода энергии при 100 %-м **КПД** выделяется 421 г воды.

Совершенно ясно, что КПД такого превращения должен быть гораздо выше, чем при ступенчатом: переходе одного вида энергии в другой: тепла сгорания — в механическую энергию пара, а последней — в электрическую. Кроме того, в топливных элементах, как и в других электрохимических ячейках, не действуют ограничения, накладываемые термодинамикой на тепловые машины.

Однако первые попытки реализовать идею топливного элемента считались чудачеством, фокусами ученых. Интерес к топливным элементам то возрастал, как это было в 1967—1968 годах, то вновь падал и

лишь в последнее время стал устойчивым. Сейчас их подразделяют на три класса: высокотемпературные, среднетемпературные и низкотемпературные.

Наиболее значительным «успехом» среднетемпературных топливных элементов было их использование в середине 60-х годов в программе «Аполлон». Разработанные тогда источники тока при массе около 100 кг (без топлива и окислителя) давали напряжение около 30 В и мощность 2000 Вт и более. Во время 440-часового полета «Аполлона-8» к Луне такая батарея выработала больше 290 кВт·ч электроэнергии.

Еще один тип топливных элементов — с мембранами из синтетических ионитов — тоже нашел применение первоначально в космических аппаратах. Так, для питания энергией кораблей серии «Джеминай» использовались по две батареи массой 31 кг и мощностью 1 кВт каждая. Одна из батарей побывала в космосе дважды: ее использовали повторно в трехнедельном полете.

Почти в то же время началось применение топливных элементов на подводных лодках. Позднее работы расширились. Был создан «гибридный» автомобиль, работающий на водородо-воздушных топливных элементах мощностью 6 кВт параллельно со свинцовыми аккумуляторами. Снабженный шестью баллонами для водорода, которые размещались на кузове, автомобиль преодолевал без заправки более 300 км.

Многочисленные исследования были посвящены использованию углеводородного топлива. Было бы очень заманчиво окислять таким образом, например, природный газ. К сожалению, оказалось, что углеводороды, во-первых, значительно менее активны, чем водород, гидразин или спирты, а во-вторых, электроды покрываются продуктами частичного окисления углеводородов, что мешает их нормальной работе.

В 70-е годы заметно повысился интерес к топливным элементам для земной крупномасштабной энергетики. Начались работы по созданию станций, которым известный советский электрохимик академик Я.М. Колотыркин дал название ЭЭС — «электрохимические электростанции». В своем докладе на XII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии в сентябре 1981 г. он сообщил о том, что общий

КПД для установок со среднетемпературными топливными элементами составляет уже 35—42%, а с высокотемпературными топливными элементами — 40—50%. По его мнению, высокотемпературные топливные элементы позволят сократить расход топлива на выработку энергии на 20 % по сравнению с ТЭС. Весной 1983 г. неподалеку от Токио была запущена установка с топливными элементами общей мощностью 4,5 МВт — почти Шатурская ГРЭС или Обнинская АЭС! Топливные элементы вступают в пору зрелости.

Когда ближайшие задачи будут решены, сфера применения топливных элементов может быть расширена и на химическую технологию. Сегодня большой набор многотоннажных продуктов получают при помощи окислительно-восстановительных реакций, сопровождающихся выделением тепла. Примером таких веществ является хлороводород HCl, пентаоксид фосфора P₂O₅, азотная кислота HNO₃. Образующаяся при их получении энергия пропадает. Для топливных элементов эти реагенты были бы бесплатными источниками энергии.

На пути к водородной цивилизации

По-настоящему выдающиеся идеи почти всегда высказываются задолго до того, как они могут быть использованы людьми. Так было и с водородной энергетикой. Вспомним диалог двух попавших на таинственный остров героев романа Жюль Верна — простодушного моряка и энергичного инженера. «— Что же будут сжигать вместо угля?

— Воду, — ответил Сайрес Смит.

— Воду? — вскричал Пенкроф. — Водой будут топить котлы пароходов и паровозов? Водой станут кипятить воду?

— Да, но водой, разложенной на свои составные элементы, и разложенной, несомненно, при помощи электричества, которое к тому времени превратится в мощную и легко используемую силу...»

Дальше диалог превращается в философский монолог, причем не столько Сайреса Смита, сколько его создателя — Жюль Верна. Приведем его целиком.

«Ведь все великие открытия, по какому-то непонятному закону, совпадают и дополняют друг друга. Да, друзья мои, я думаю, что воду когда-нибудь будут употреблять как топливо, что водород и кислород, которые входят в ее состав, будут использовать вместе или поодиночке, и явятся неисчерпаемые источники света и тепла, значительно более интенсивные, чем уголь. Придет день, когда котлы **паровозов, пароходов и тендеры локомотивов** будут вместо угля **нагружены сжатыми газами, и они станут гореть в топках с огромной энергией. И так, нам нечего опасаться. Пока на Земле живут люди, они будут обеспечены всем, и им не придется терпеть недостатка в свете, тепле и продуктах животного, растительного или минерального царства. Повторяю, я думаю, что когда истощатся залежи каменного угля, человечество будет отапливаться и греться водой. Вода — уголь будущего».**

Лишь сейчас, через сто с лишним лет после выхода в свет романа «Таинственный остров», после встряски «нефтяного кризиса» человечество, кажется, очень серьезно задумалось над проблемой топлива будущего и начало вести широкие разработки по его созданию.

Количество энергии, производимой на нашей планете, неуклонно растет, причем абсолютная величина приростов становится уже не просто большой, а даже, в сравнении со всей предшествующей историей развития цивилизации, гигантской. Увеличиваются расстояния, на которые необходимо передавать энергию от мест ее производства до потребителей, а вместе с этим растут и бесполезные потери энергии. Повышение напряжения и силы тока в линиях электропередач делает эти линии все более сложными, применяемые повсеместно воздушные изоляторы — все более громоздкими, а территории, отчуждаемые линиями, — все более обширными. Линии должны покоиться на прочных опорах, создание которых требует стальной и бетона, сами провода забирают все новые и новые тонны и тысячи тонн цветных металлов. Выключатели и трансформаторы для таких линий — сложнейшие инженерные сооружения: при размыкании цепи здесь возникают не просто искорки, а шаровые молнии и мощные электрические дуги — гене-

раторы ультрафиолетового и радиоизлучения, способные расплавить и сжечь любые металлы.

Потери энергии (точнее, ее источников) происходят и при транспортировании другими способами. Казалось бы, что может быть проще доставки угля по железным дорогам! Но цифры упрямо свидетельствуют: на пути из Кузбасса в Европейскую часть СССР из каждого вагона теряется 1 т угля и 2*5 т угольного концентрата (он мельче). А в вагоне всего 50—60 т. Для сокращения потерь за счет выдувания загруженный уголь покрывают различными пленками, водно-угольными эмульсиями, однако полностью проблема таким путем не решается. Хранение угля вызывает свои проблемы: он теряет часть летучих компонентов и, следовательно, свою калорийность, способен самовозгораться.

В то же время в мире накоплен уже весьма обширный опыт создания и эксплуатации мощных и протяженных газо-, нефте- и бензинопроводов, даже угле- и рудопроводов. Подавляющая часть химической технологии реализуется в сложнейших системах труб. Поэтому применение такого транспорта энергоносителей могло бы быть организовано довольно быстро, снизило бы в несколько раз затраты металлов, стоимость передачи энергии и сократило бы ее потери.

Энергетику необходимо перестроить, и для этого нужно выбрать универсальный энергоноситель, в который стало бы выгодно превращать всю или большую часть энергии из других источников — традиционных и альтернативных, возобновляемых и невозобновляемых, крупных и мелких. Этот энергоноситель должен легко и эффективно отдавать свою энергию при получении электричества. Носитель должен быть энергоемким, дешевым и технологичным, удобным в обращении.

Доводами в пользу перехода к новым энергоносителям являются ограниченность природных запасов нефти и газа, а также необходимость сделать энергетику экологически чистой.

Среди претендентов на почетную и ответственную роль такого энергоносителя рассматривались многие химические системы, способные обратимо менять свой состав, выделяя и поглощая при этом энергию. К ним,

например, относится диоксид азота NO_2 . Особенность этого вещества в том, что и в твердом, и в жидком состоянии оно димеризовано. При испарении димерные молекулы частично разлагаются, однако полное разложение при нормальном давлении происходит лишь при температурах около 140°C . Превращение газообразного NO_2 в жидкий димер сопровождается выделением большого количества тепла — около 3 кДж на грамм смеси, а разложение димера — поглощением такого же точно количества тепла. В одном месте можно получать мономерный газообразный диоксид из жидкого димера, затрачивая энергию, а затем перекачивать мономер по трубам к месту потребления энергии и там превращать его в жидкость. С оксидами азота умеют работать в промышленности, при растворении их в воде получается азотная кислота. Но уж очень они неприятны — бурые пары имеют удушливый запах, а попадание на кожу вызывает сильные ожоги.

Для хранения энергии можно использовать реакцию превращения смеси метана и паров воды в оксид углерода и водород. Эта реакция протекает с поглощением энергии, а смесь газов можно легко передавать по трубам или закачивать в емкости или подземные резервуары для хранения. Обратная реакция протекает на катализаторе и сопровождается выделением тепла, смесь вновь возвращается к исходному состоянию.

Существует множество других систем с обратимыми химическими реакциями, однако лидером среди перспективных энергоносителей по многим показателям оказался водород.

Жюль Верн был прав. Водород вызвал к себе столь большой интерес специалистов самых различных отраслей знаний, что возникло новое очень широкое направление науки и техники — водородная энергетика. Более того, широкое использование водорода могло бы привести к столь глубокой перестройке, усовершенствованиям в энергетике, на транспорте, в химической и металлургической промышленности, и эти изменения могли бы, как ожидают, затронуть жизнь и быт многих жителей планеты так сильно, что уже появилось понятие «водородная цивилизация».

Здесь следует еще раз повторить, что водород — не заменитель первичных источников энергии, а лишь средство, дополняющее их, вторичный источник, энергоноситель. Поэтому сопоставление земных запасов воды—источника водорода —с запасами, например, угля неправомерно.

Развитие концепции водородной энергетики заставило иными глазами взглянуть на существующие и разрабатываемые способы производства энергии. Большие задачи появились у атомной энергетики, особенно у высокотемпературных ядерных реакторов нового поколения. Совершенно по-иному стала выглядеть роль мощных топливных элементов в большой энергетике, поскольку сегодня в них уже достигнуты довольно высокие значения КПД преобразования энергии водорода в электричество. Альтернативные источники энергии, с помощью которых можно получить водород, приобрели дополнительные шансы на ускоренное развитие. По-другому стали оцениваться перспективы химических, металлургических и нефтехимических производств, потребляющих большие количества водорода. На транспорте использованию водорода как топлива стало уделяться значительно больше внимания.

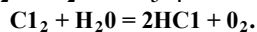
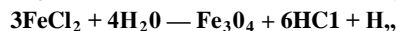
/ Несколько слов о транспорте. На дорогах некоторых стран, в том числе и СССР, появились опытные машины, использующие вместо бензина водород. Вначале было признано целесообразным вводить водород в виде добавок: всего 5 или 10 % водорода увеличивают дальность пробега автомобиля более чем в полтора раза. На примере двигателя автомобиля ГАЗ-652 уже показано, что перестроить его на использование водорода довольно несложно. А о снижении вредности выбросов при переходе на водород и говорить не приходится: при большинстве способов получения водород практически не содержит вредных примесей азотистых и сернистых соединений, а тем более тяжелых металлов, канцерогенных веществ и т. д.

В области водородной энергетики еще очень много надо сделать. Сегодня специалисты решают такие проблемы, как получение дешевого водорода и длительное его хранение. Самый простой и распространенный способ производства водорода в наше вре-

мя — электролиз воды, содержащей небольшое количество растворенных в ней добавок (иначе вода не проводит электрический ток). Попробуем подсчитать эффективность этого метода. При получении электроэнергии из ископаемого сырья и передаче этой энергии потери составляют 60—65%, при электролизе воды — 20 % от оставшейся. А если водород использовать в современном тепловом двигателе, то суммарные потери во всей цепочке составят 87—89 %, почти девять десятых! Очевидно, что нужны новые методы и приемы.

Среди новых способов производства водорода из воды, разрабатываемых сейчас, первое место занимают химические — с помощью так называемых термохимических циклов. Их идея состоит в том, чтобы разлагать воду не «ударом в лоб», т. е. нагревая ее до «высоких температур или подвергая электролизу, а ступенчато, с помощью химических реагентов, делающих это более эффективно и в более мягких условиях при использовании не электроэнергии, а тепла. Подбирают такие реакции, при последовательном проведении которых все вещества, кроме воды, возвращаются в исходное состояние и участвуют в цикле. Такой прием позволяет с высокой эффективностью преобразовывать тепло атомных реакторов в энергию водорода, минуя стадию получения электричества.

Примером термохимического цикла является следующий трехстадийный процесс:



Образующиеся на первой стадии вещества расходуются в дальнейших реакциях, но порознь: газообразный хлор и пары воды отделяются от твердого дихлорида железа. На второй стадии дихлорид железа разлагает воду, из продуктов реакции выделяют и выводят водород. На третьей стадии, которую можно проводить и одновременно со второй, хлор гидролизуют водой, выводя из полученной смеси кислород. Все оставшиеся вещества вновь используются для получения дихлорида железа и хлора по первой реакции. На практике реализация цикла встречает ряд трудностей, связанных с неполнотой протекания ре-

акций и сложностью разделения веществ, однако эта трудности не являются непреодолимыми.

Разрабатываются десятки других способов производства водорода — путем высокотемпературного электролиза паров воды, ее каталитического, фотохимического, фотокаталитического, фотоэлектрохимического разложения, предложены биохимические и биокаталитические способы: эта проблема привлекает сегодня большое внимание.

Для применения водорода как топлива необходимы усовершенствованные методы его хранения. Хотя сам водород имеет "малую плотность," хранить его* приходится в толстостенных, массивных баллонах или танках, что лишает его легковесности. Преодолеть этот недостаток можно, используя соединения водорода с металлами — гидриды металлов. Оказалось, что многие гидриды разлагаются при сравнительно низких температурах и выдерживают (что в данном случае так же важно, как и для электрических аккумуляторов) много циклов «заряда» и «разряда» — это позволяет снизить затраты на хранение водорода.

Набор металлов, образующих гидриды, ограничен, и лучше использовать их соединений "друг с другом или сплавы. Пока наиболее емким по водороду соединением является Mg_2Ni и сплав магния с 10 % никеля.

Сплавы магния, насыщенного водородом, выделяют водород при сравнительно высоких температурах, поэтому для автомобилей с водородным двигателем чаще используют сплав железа с титаном. Автомобили с такими источниками водорода в конце 70-х годов уже были способны проехать без дозаправки» 100—150 км, т. е. их вполне можно использовать а качестве городского транспорта.

ЭНЕРГЕТИКА И МАТЕРИАЛЫ

Композиционные и многие другие

Новые материалы сегодня определяют развитие многих областей техники и научно-технического прогресса в целом. Их роль хорошо видна на примере ветровых установок. Ветер — один из наиболее доступных в любом районе земного шара источников

энергии, и даже в странах с развитой энергетикой он может давать до 10% общей производимой энергии. По одно дело небольшие установки для удовлетворения сравнительно скромных бытовых и мелких хозяйственных нужд, другое — создание ветровых электростанций, когда стоимость электроэнергии должна быть сопоставима со стоимостью энергии, получаемой на ТЭЦ, ГЭС и АЭС.

Крупные современные ветроустановки не похожи на традиционные деревянные мельницы, которые еще лет 70—75 назад перемалывали четверть урожая зерна в России, или на аккуратные голландские ветряки для перекачивания воды с низменных участков в море. Скорее, они сродни авиационным двигателям, недаром их созданием зачастую занимаются авиакосмические фирмы.

Фирма «Боинг» в США создавала установку годовой мощностью 7,5 ГВт-ч электроэнергии. Диаметр ее ротора — 90 м (известная шуховская телебашня в Москве имеет высоту 160 м, но она неподвижна!). При ее проектировании пришлось поломать головы над выбором материала для этого ротора. Можно было бы использовать дешевую сталь, но тогда срок службы ротора был бы небольшим. А при прочих равных условиях снижение срока службы с 25 до 10—15 лет увеличивает себестоимость киловатт-часа в 2—3 раза. Можно было бы использовать дорогие сплавы, но тогда заметно возросли бы затраты на сооружение установки, и стоимость получаемой энергии вновь оказалась бы слишком высокой. Еще одно требование к материалам ротора — они должны быть сравнительно легкими: сдвинуть с места массивный ротор в момент запуска никакому ветру не по силам, и ротор пришлось бы снабжать специальным «пусковым» мотором.

Видимо, решающее слово тут принадлежит химикам-технологам, занимающимся разработкой композиционных материалов. Напомним, что под композиционными подразумевают материалы, образованные из химически разнородных компонентов с четкой границей между ними. У большинства таких материалов можно выделить матрицу, в которой распределен наполнитель. Матрицей служит полимерное вещество, углерод, металл или керамика, а наполнителем — вы-

сокопрочные волокна (стекловолокно, монокристаллы углерода, бора) или частицы. Типичными композиционными материалами являются стеклопластики — пластмассы, содержащие наполнители из стеклянных нитей, жгутов или тканей. Для ветроэнергетики перспективен пластик, армированный углеродными волокнами.

Помимо металлов, пластмасс, композиционных материалов в энергетике находят применение и многие материалы специального назначения. О некоторых из них, например керамике для ядерных реакторов, материалах для химических источников тока и топливных элементов, уже говорилось, о некоторых речь пойдет впереди.

Возрождение керамики

Дерево и ткани растительного происхождения — вот материалы для водяных колес, ветряных мельниц и парусников, а чугун и сталь низкого качества с небольшим количеством цветных металлов — для паровых машин первых поколений. Двигатели внутреннего сгорания уже не могут обойтись без высококачественных сталей, цветных металлов и сплавов, хотя основную их часть стараются отлить из наиболее дешевого чугуна. Для турбокомпрессорных двигателей в авиации нужны специальные жаропрочные и жаростойкие сплавы и большое количество цветных металлов.

Каковы же перспективы дальнейшего развития двигателестроения? Все ли мы «выжимаем» сегодня из двигателя внутреннего сгорания? Можно ли, сохранив уже привычную надежность, сделать его еще более экономичным? Какие здесь нужны материалы?

Эффективность двигателя, его коэффициент полезного действия, т. е. доля энергии топлива, перешедшая в работу, определяется известной формулой, которая вытекает из цикла Карно,

$$\eta_{\text{КПД}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Здесь T_1 — абсолютная температура, с которой топливо поступает в двигатель, а T_2 — температура, с которой оно сбрасывается. Во многих циклах, испол-

зуемых на практике, величина КПД зависит от степени сжатия горючей смеси, поскольку повысить температуру продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания можно увеличением степени сжатия. У первых образцов автомобилей степень сжатия была невелика — около 3, а их мощность не достигала 30 кВт. Затем степень сжатия повысилась до 8—10, мощность автомобильных двигателей выросла почти до 1000 кВт, стали широко применяться более экономичные дизельные двигатели. Но тем не менее рост КПД карбюраторных двигателей остановился на величине 25—30 %, а у дизелей — на 31—44 %. Причина этого — необходимость охлаждения двигателя, и прежде всего наиболее ответственных его узлов — цилиндров. Двигатель не мог обойтись без воздушного или водяного охлаждения, без отвода части тепла маслом, без радиатора. А охлаждение, в свою очередь, необходимо из-за недостаточно высокой жаростойкости и жаропрочности применяемых материалов — чугуна и алюминия, для которых «комфортные» рабочие температуры составляют 250—460 С, а верхний предел не намного их превышает.

Теория требует повышения температуры и степени сжатия, а на практике приходится большую часть энергии отводить и рассеивать. Выход из этой ситуации, в которой требования — сохранить надежность и повысить эффективность — приводят к взаимоисключающим решениям, может быть один: перейти на двигатели из новых материалов. В идеальном случае все тепло, выделяющееся при сгорании, должно расходоваться на повышение температуры продуктов сгорания, т. е. на увеличение КПД двигателя, и никаких потерь тепла из камеры сгорания быть не должно. Систему охлаждения двигателя нужно вообще устранить.

Вот здесь и начинаются трудности с выбором материалов. Пластмассы отпадают сразу. Из неметаллов тугоплавки только углерод и бор, но они неустойчивы на воздухе и могут просто сгореть. Алюминий, чугун, железо не годятся из-за низких рабочих температур. Высоколегированные стали и тугоплавкие металлы не подходят по стоимости. Все металлы, как правило, имеют весьма высокую теплопроводность, и попытка создать только с их помощью эффективный

m

двигатель была бы почти равнозначна тушению пожара керосином.

Наиболее тугоплавкие химические соединения — это оксиды, нитриды, карбиды, силициды, бориды и их сочетания; из них трудно делать отливки, но можно спекать, получая керамику. А нельзя ли сделать двигатель из керамики?

На первом этапе керамику можно использовать для покрытий, например для тепловой изоляции и для повышения устойчивости к истиранию. На втором она может использоваться в виде отдельных ответственных деталей — поршней, вкладышей цилиндра, накладок на головки клапанов, накладок на седла клапанов, свечей зажигания, ротора турбокомпрессора и т. п. Затем и весь двигатель будут делать из керамики, в том числе его корпус. Наконец, на заключительном этапе будет совершенствоваться сама керамика, и станут решаться такие задачи, как создание двигателя с минимальным трением за счет использования керамики, не требующей смазки.

Дизельные двигатели из керамики, не имеющие системы охлаждения, были установлены на 5-тонных грузовиках, которые прошли при ходовых испытаниях 12 900 км. По сравнению со стандартными дизелями они имели на 361 деталь меньше и были на 153 кг легче.

Керамические двигатели при одинаковом объеме цилиндров расходуют на одну треть меньше топлива, чем металлические. Более того, повышение температуры сгорания топлива примерно до 1200°C делает двигатель «всеядным», неразборчивым к топливу, он с одинаковым успехом будет работать на бензине, керосине, дизельном топливе, природном газе, метаноле и этаноле, на синтетическом топливе из угля. И еще немаловажное обстоятельство: топливо будет сгорать значительно полнее, а выбросы вредных органических веществ с отработанными газами резко-снизятся.

Для создания керамических двигателей наиболее перспективна конструкционная керамика из карбида кремния SiC, нитрида кремния Si₃N₄ и стабилизированного диоксида циркония ZrO₂. В качестве исходных веществ для нанесения тонких защитных покры-

тип и.и. ответственные металлические детали считаются перспективными тот же диоксид циркония и триоксид хрома Cr_2O_3 . Рассматриваются возможности применения композитов на основе карбида кремния, алумосиликата лития, чугуна, стали и алюминиевых сплавов.

Изготовление изделий из конструкционной керамики— большое искусство. Детали не должны иметь даже мельчайших, невидимых глазом дефектов, иначе они не выдержат длительной работы; должны иметь определенный коэффициент термического расширения, чтобы совмещаться с деталями из других материалов (это особенно важно, когда керамика используется для тепловой изоляции металлов), обладать высокой механической прочностью. Применение керамики требует преодоления ее главного недостатка—высокой хрупкости.

Сейчас во многих странах мира ведутся широкие разработки керамических двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин с керамическими деталями. Уже появляются сообщения, например, что японская фирма «Тоета Моторс» создала автомобиль, расходующий на 100 км пробега не более 2 л бензина, и даже показала его в 1985 г. на Международной выставке в Токио; что ежемесячный выпуск дизелей с керамической подкамерой на заводах этой фирмы составляет 300 штук в год; что американская фирма «Каммингс» уменьшила массу дизеля на одну пятую. Сообщается о том, что керамический двигатель японской фирмы «Киото керамике» проработал 500 ч; активно работают в этом направлении фирмы «Фольксваген», «Форд», «Фиат», «Гэррет», «Ровер», «Боинг» и многие другие.

Страны-члены СЭВ объединили свои усилия в этом направлении, и в Комплексной программе научно-технического прогресса до 2000 г. предусмотрено создание керамического двигателя внутреннего сгорания и керамической газовой турбины.

Современная эпоха с точки зрения применяемых материалов — все еще эпоха железа. Некоторое время назад представлялось, что на смену железу придут пластмассы. Однако сейчас так бурно развивается керамика, а керамические материалы уже проявили столь важные для техники свойства, что можно гово-

рять о скором возвращении человечества к каменному веку на качественно новом уровне—к веку керамических материалов.

Разупорядоченные материалы в солнечной энергетике

Солнце — важнейший источник энергии. По существу, благодаря Солнцу возникает ветер, морские течения и волнение моря. Источником гидроэнергетики тоже является Солнце: его лучи испаряют воду, заставляют таять снежные сугробы и ледники, бежать ручьи и реки. Энергия Солнца ежегодно преобразуется растениями и запасается в виде биомассы — деревьев, кустарников, трав. Как писал в 1906 г. поэт Сергей Городецкий,

**И от него на мертвом теле В
коре чуть глеющей земли
Плоды багряные зардели И
злаки тучные взошли.**

Уголь, торф, нефть и другие горючие ископаемые — это солнечные «консервы», солнечная энергия, запасенная за сотни, тысячи и миллионы лет истории Земли. И человечество широко пользуется этими источниками.

Полная мощность излучения Солнца поистине огромна — $4 \cdot 10^{14}$ млрд кВт. На удалении в 150 млн км это эквивалентно 1,4 кВт на каждый квадратный метр поверхности. Учитывая размеры Земли, нетрудно подсчитать, что мощность солнечного освещения на ней равна примерно $1,8 \cdot 10^5$ млрд кВт, т. е. всего около одной двухмиллиардной доли общей мощности лучевого потока светила. Около половины мощности излучения теряется за счет отражения атмосферой, а другая половина идет на поглощение поверхностью Земли (сушей и океаном) и повышение ее температуры.

Сопоставим эти цифры с возможностями техники. В 1986 г. во всем мире было произведено электроэнергии около 10 трлн кВт-ч, т. е. среднегодовая мощность всех электростанций мира сейчас примерно в 80 тыс. раз меньше, чем мощность солнечного излучения, поступающего на Землю. Даже тысячной

доли УГОН энергии было бы достаточно для удовлетворения потребностей человечества в ближайшие столетия, а ее потребление в таких количествах практически не отразилось бы на общем энергетическом балансе планеты.

Солнечная энергия — один из наиболее надежных источников. Немаловажно и то, что этот источник трудно применить для разрушения или каких-либо антигуманных целей. Для многих развивающихся стран, а все они расположены в зоне с высокой солнечной радиацией, развитие солнечной энергетики обещает быстрое обеспечение энергией для повседневных нужд, здравоохранения, канализации и связи, т. е. для повышения уровня жизни.

К сожалению, этот неисчерпаемый и экологически безвредный источник дает крайне рассеянную энергию. На квадратный метр поверхности Земли, по расчетам академика В. А. Кириллина, приходится лишь 0,16 кВт, и для того, чтобы солнечные электростанции (СЭС) достигли мощности создаваемого сейчас атомного реактора на быстрых нейтронах (1600 МВт) при 100 %-й эффективности преобразования энергии, площадь, с которой надо собирать солнечную энергию, должна составить 10 км², а если ориентироваться на обычный для тепловых машин 30%-й КПД — то уже 33 км²! Если же учесть, что между отдельными зеркалами, концентраторами и другими устройствами для улавливания солнечных лучей должны быть некоторые расстояния и какую-то площадь надо отводить под другое энергетическое оборудование, то общая площадь станции составит 35—40 км².

Еще один недостаток — это неэффективность работы в районах, находящихся севернее 50-й параллели. СЭС обязательно должны работать в сочетании с аккумуляторами электроэнергии, поскольку мощность солнечного излучения в течение светового дня постоянно меняется, а ночью вообще равна нулю. Наконец, сегодня в области использования энергии Солнца не решены еще многие проблемы материаловедческого и технологического характера.

Самый простой путь — использование энергии Солнца для теплоснабжения небольших построек, подогрева воды, охлаждения и кондиционирования воздуха. Широкие исследования в этом направлении

ведутся в Институте солнечной энергии АН Туркменской ССР, Киевском институте технической теплофизики, Энергетическом институте и Центральном конструкторском бюро АН Узбекской ССР, Государственном научно-исследовательском энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского. Уже получают энергию Солнца гостиница «Спортивная» в Симферополе, жилые дома и детские сады в республиках Средней Азии, на юге Украины, а также передвижные домики чабанов и многие другие постройки. С 1977 г. в Бухаре солнечные водоподогреватели выпускаются серийно.

Широко используется солнечная энергия и в других странах. В Японии работают уже миллионы водоподогревателей — больше, чем в любой другой стране. В городе Сакура создан Центр солнечной энергетики. Многие фирмы США, Франции выпускают стандартизованные секции водоподогревателей. С помощью концентраторов в опытным порядке плавят металлы. Американская фирма «Арко Солар» в 1983 г. построила СЭС мощностью 1 МВт и строит СЭС мощностью 6,5 МВт. У нас в Крыму в поселке Ленино, вблизи Актаского озера заканчивается сооружение СЭС-6 мощностью 5 МВт с 1600 гелиостатами (зеркалами-отражателями) общей площадью 40 тыс. м². Гелиостаты с помощью специальных моторов, управляемых ЭВМ, будут следить за Солнцем и менять угол своего наклона в течение дня. Такую же станцию планируется соорудить в Узбекистане. Проектируется СЭС мощностью 300 МВт.

И все же технические решения для большой солнечной энергетики пока сложны и тяжеловесны. Увеличение мощности приносит и новые проблемы. Оказалось, например, что на установке Еврогелиос мощностью 1 МВт с площадью зеркал 6200 м² уже через трое суток после мытья зеркал их эффективность снижалась на 10%. Идея СЭС ушла недалеко от уровня знаний 22-вековой давности, когда Архимед защитил родные Сиракузы от вражеского флота с помощью бронзовых зеркал, которые держали в руках женщины города (в XVIII в. знаменитый Ж. Бюффон экспериментально подтвердил возможность поджигания кучи сухих дров таким путем с расстояния до 100 м).

В перспективе все большее значение будут иметь устройства для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую, и прежде всего фотоэлектрические генераторы, или фотоэлектропреобразователи (ФЭП). Их действие основано на фотовольтаическом эффекте — возникновении напряжения в полупроводниках при поглощении ими света или другого электромагнитного излучения.

Простейшие ячейки, используемые в солнечных батареях и экспонометрах, содержат два полупроводниковых материала с разным типом проводимости — электронным и дырочным. Освещение полупроводников вызывает появление дополнительных электронов и дополнительных дырок, а также электрического поля в области контакта полупроводников друг с другом. Если свободные концы полупроводников замкнуть, то заряды, возникающие при освещении, начинают перемещаться, создавая в цепи ЭДС.

Мощность ФЭП достигает 200—300 Вт/м², КПД — от 10 до 20 %, хотя теоретически он может быть и 80%. Такие генераторы широко используются на спутниках, космических кораблях и космических орбитальных станциях «Салют» и «Мир». Находят они применение и на Земле — там, где нужны небольшие источники энергии, а подвоз горючего затруднен, например для катодной защиты мостов и трубопроводов, питания небольших установок для орошения, оград для скота («электрических пастухов») и т. п.

Почему же эти преобразователи не применяются более широко? Это связано с тем, что основным материалом, из которого сейчас изготавливают ФЭП, является монокристаллический кремний, по словам одного специалиста — «рабочая лошадка» микроэлектроники. Его получают по длительной, довольно сложной технологии сначала в виде буль (цилиндрических слитков с коническими верхом и низом), причем эти булы имеют диаметр всего 100 или 125 мм и лишь передовые страны переходят на выпуск буль диаметром 150 и даже 175 мм. Их разрезают на диски, которые после легирования примесями, создающими электронную или дырочную проводимость, идут на изготовление приборов. Для интегральных схем такой диаметр дисков является просто гигант-

ским, поскольку на каждом из них размещаются сотни схем. Поэтому затраты на получение монокристаллов вносят все меньший вклад в стоимость микросхем. В ФЭП ситуация иная: здесь работает поверхность, и стоимость монокристаллов уже не нивелируется затратами на изготовление приборов.

Преобразователи с монокристаллами, используемые в Космосе и значительно реже на Земле, просто довольно дороги и не по карману большинству потенциальных потребителей автономных источников энергии.

И все же ситуация далеко не безнадежна. Во-первых, можно попытаться найти такую технологию, которая позволила бы резко снизить себестоимость монокристаллического кремния, отказаться от малопродуктивной операции выращивания кремниевых буль. Среди различных предложений наиболее привлекательно выглядит электролитическое нанесение кремния из расплавленного гексафторосиликата калия, K_2SiF_6 , на графитовую подложку. Во-вторых, для значительного удешевления преобразователей можно несколько поступиться их качеством — величиной КПД преобразования — и отказаться от монокристаллов, перейти на поликристаллические материалы, а их сразу изготавливать в виде нанесенных на подложку пластин или лент. Здесь можно применять электролиз из расплава, из органического раствора или даже из твердого электролита и многие другие методы. В-третьих, можно пойти по пути сокращения расхода кремния, отказаться вообще от кристаллических структур, а в устройствах использовать тонкие пленки аморфного материала.

Что такое кристаллическое тело? Это устойчивая и совершенно определенная структура из правильно и регулярно размещенных в пространстве атомов. Здесь господствует порядок — ближний и дальний. Раньше считали, что аморфное тело отличается от кристаллического лишь очень малыми размерами упорядоченных областей, т. е. что в нем имеется ближний порядок (такое же расположение атомов, как и в кристалле), но отсутствует дальний. Возможности изменения в нужную сторону свойств кристаллического, да и аморфного тела состояли, как считали, лишь в изменении его состава, сознательном нарушении целочисленного соотношения различных атомов,

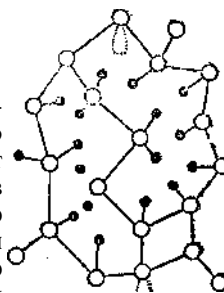
переходе к пестехпометрическому составу, а также в изменении концентрации и характера дефектов кристаллической структуры. Как показывает опыт развития микроэлектроники, это дало довольно много. Однако основа, которая подвергается модификации, т. е. трехмерная кристаллическая решетка, здесь оставалась неизменной, что резко ограничивало диапазон изменения свойств.

Новое понимание аморфного тела состоит в том, что атомы в нем могут быть размещены в любом порядке, который вовсе не обязательно связан с кристаллической решеткой. Поскольку от порядка размещения атомов (или от беспорядка!) зависят и свойства, то аморфные вещества дают широчайшие возможности для изменения свойств и получения материалов с ранее небывальными свойствами.

Аморфное вещество; по образному выражению одного из специалистов в этой области, С. Р. Овшинский, — «сложное искаженное тело, образованное местными нажатиями, проявлением сил отталкивания и притяжения, сжатое в одном месте, растянутое в другом, повернутое по оси, — само противопоставление модели кристаллической решетки». Вот эти-то неравновесные, нестехиометрические, нестабильные материалы с богатым набором свойств и широкими возможностями целенаправленного изменения свойств ведут атаку на суверенные владения Его Величества монокристалла и входят, точнее, врываются, в современную технику. При этом их нестабильность может никак не проявляться; не боимся же мы, что оконные стекла вдруг закристаллизуются и рассыплются или что алмаз — не аморфное, но тоже неравновесное вещество — вдруг превратится в графит.

Наибольший интерес для нас представляет аморфный кремний, принцип получения которого был открыт в 1969 г. В планарной технологии интегральных схем в течение многих лет широко используют летучее термически неустойчивое соединение кремния — силицид SiH_4 или его галогениды. С их помощью ведут химическое осаждение слоев или пленок кремния на нагретые подложки, причем в зависимости от условий получают поликристаллические или монокристаллические пленки. Попытка разложить SiH_4 в неравновесных условиях — в плазме электри-

Рис. 3. Так примерно выглядит формула «сплава» кремния с водородом



ческого разряда — привела к образованию необычного, аморфного кремния. Как оказалось, он содержит небольшое количество водорода в виде захваченных и прочно удерживаемых «осколков» молекул силана. До этого считалось, что получить однородную смесь разных по плотности веществ можно только в условиях невесомости, а здесь удалось получить сплав кремния с нерастворимым в нем водородом в поле земного тяготения. Простым изменением состава газов такие невообразимые сплавы были получены с хлором, фтором, азотом, углеродом. Метод оказался пригодным для выделения тройных сплавов, например, кремния с водородом и фтором или кремния и германия с водородом. Добавка в газы летучих соединений мышьяка, фосфора или бора позволила легировать сплавы и менять характер их проводимости.

Вот эти сплавы, и прежде всего аморфный кремний, содержащий водород и фтор, и стали сегодня этапным материалом, с которым связаны надежды на развитие ФЭП и на снижение стоимости электроэнергии, получаемой от Солнца.

Первое сообщение о создании солнечной батареи на аморфном кремнии появилось через 7 лет после того, как был открыт способ получения этого материала, причем КПД преобразования у батарей составил 5,5%. Стало ясно, что появилась возможность резко увеличить размеры батареи по сравнению с теми, которые достижимы на кристаллах, и в разных странах мира началась настоящая борьба за повышение КПД, увеличение срока службы, снижение стоимости устройств и получаемой электроэнергии. Еще через 7 лет у батареи площадью 100 см² был достигнут КПД, равный 8,6%, по устойчивости ее работы оставяла желать лучшего. Затем были созданы и более эффективные устройства (практический предел составляет 12—14%).

Осуществлены усилиями фирм ОПЛ и Японии с помощью стоматической опытной установки — прооб-1>a i лавода,— производящая с конца 1983 г. кремниевые покрытия на гибкой основе для батарей. Основой служит лента из хромированной стали, на которую наносят три слоя кремния: легированный бором, чистый и легированный фосфором — каждый толщиной не более полутора тысячных миллиметра. Затем сверху наносят сетчатый металлический электрод. Ленту можно сворачивать в рулон и резать на части.

Создаются многопереходные (тандемные) батареи с несколькими парами слоев полупроводников, что позволит повысить КПД до 18—22 %.

Предполагается, что с 1990 г. аморфный кремний станет применяться уже на крупных стационарных установках, а с 1995 г. начнет вытеснять кристаллический кремний.

Но одновременно будут развиваться и солнечные батареи на поликристаллическом кремнии — здесь тоже ведется интенсивный поиск возможностей по повышению технологичности и снижению стоимости. Кроме того, высокие КПД (до 31 %) сулит применение других полупроводников — арсенида галлия, теллурида кадмия, селенида меди-индия. В СССР, например, сотрудниками Института физики твердого тела АН СССР совместно с НПО «Квант» создано устройство для осаждения поликристаллического кремния из расплава на углеграфитовую ткань шириной 15 см.

Разрабатываются также электрохимические солнечные батареи, КПД их лучших образцов к 1981 г. достиг 12 %. Предполагается применение солнечных термоэлектрогенераторов.

Более 250 лет назад знаменитый Д. Свифт с едким сарказмом описал представителя Великой Академии Лагадо, который разрабатывал проект извлечения солнечных лучей из огурцов, хранения их в герметичных склянках и, в случае холодного лета, поставки их по умеренной цене для губернаторских садов. Современная техника приближается к консервированию световой энергии.

Выстоит ли аморфный кремний в борьбе со своими конкурентами за первое место под Солнцем, покажет время. Пока мы являемся свидетелями того*

как этот представитель млтерпалов нового поколения набирает темпы и догоняет своего упорядоченного кристаллического собрата.

Создать сверхпроводник

Важным сдвигом в энергетике станет широкое применение сверхпроводников — веществ, которые при охлаждении полностью — до нуля! — утрачивают одно из свойств, присущее всем без исключения веществам, — электрическое сопротивление. С помощью сверхпроводников можно было бы резко повысить эффективность обычных электрических генераторов и уменьшить их размеры, создать мощные и экономичные аккумуляторы энергии. Перед электротехникой и энергетикой открылись бы колоссальные возможности. Мощные сверхпроводниковые магниты уже помогают освоению термоядерной энергии.

Со времени открытия сверхпроводимости в 1911 г. голландским физиком Х. Камерлинг-Оннесом утвердилось мнение, что она проявляется только при очень и очень низких температурах, и достичь этого состояния можно, лишь потратив много энергии на глубокое охлаждение.

Состояние сверхпроводимости может быть нарушено не только при повышении температуры выше критической, но и при повышении тока сверх критического, а также напряженности магнитного поля выше критического значения (даже когда температура остается достаточно низкой). Если на координатных осях трехмерного пространства отложить критические значения температуры, тока и напряженности поля, то для существования сверхпроводимости останется сравнительно небольшая часть пространства, примыкающая к началу осей координат. Сверхпроводимость зажата в угол!

Еще несколько лет назад рекордно высокие значения критической температуры приписывали германиду ниобия Nb_3Ge . Это значение ($-250\text{ }^\circ\text{C}$) гораздо ниже температуры кипения жидкого азота ($-196\text{ }^\circ\text{C}$) и даже ниже температуры его затвердевания, поэтому для охлаждения был нужен жидкий гелий, температура кипения которого $-266,9\text{ }^\circ\text{C}$. Но газообразный и особенно жидкий гелий чрезвычайно

дорог и малодоступен. Поэтому мощные установки со сверхпроводящими обмотками уникальны, дороги и насчитываются с тысячами. Так, на МГД-генераторе У-25 под Москвой был установлен для испытаний магнит со сверхпроводящей обмоткой, изготовленной в Аргоппской национальной лаборатории в США. Как о серьезной технической задаче сообщалось о планах создания в США к 1990 г. магнита мощностью 500 МВт, а к 2000 г.—5 тыс. МВт. Только наиболее развитые промышленные страны мира — СССР, США и Япония — имеют технические и экономические возможности создавать и использовать такую технику.

Для нашедших сравнительно широкое применение сверхпроводящих сплавов ниобия и титана критическая напряженность равна 14 тесла, для германиды ниобия — 38 тесла. В 1971 г. были синтезированы так называемые «фазы Шевреля» с еще более высокими критическими напряженностями. Так, у $PbMo_6S_8$ — сложного сульфида молибдена и свинца — она превышает 60 тесла. Угол сверхпроводимости расширился в одну сторону. Но главное препятствие оставалось непреодолимым: критическая температура у фаз Шевреля мала даже по сравнению со сплавами и соединениями ниобия.

Специалисты продолжали мечтать о веществах, не теряющих сверхпроводимости при температурах, близких к точке кипения азота. Одно время казалось, что открытые относительно недавно органические сверхпроводники сумеют быстро выйти в область таких «высоких» температур, ведь органические вещества допускают широчайшие возможности поиска и синтеза гомологов, но и эти надежды не оправдались.

Открытие, всколыхнувшее многих ученых, было * сделано в 1986 г. в Швейцарии: А. Мюллеру и Г. Бед-норцу удалось синтезировать вещество с критической температурой около -240°C . В начале 1987 г. сотрудники Института физики Академии наук Китая получили сверхпроводник, работающий при температуре жидкого азота. Еще более впечатляющих результатов достигли американские ученые: в лаборатории С. Чу удалось повысить критическую температуру до -160°C !

Стали поступать предварительные сообщения из СССР, Японии, Югославии, ФРГ, Польши. Неустой-

чивое состояние сверхпроводимости было зафиксировано при температурах, близких к комнатной. В различных странах по инициативе стали собирать внутренние и международные собрания ученых.

Новые материалы, так неожиданно, без каких бы то ни было теоретических обоснований ворвавшиеся в класс сверхпроводниковых, состоят из сравнительно дешевых оксидов бария, иттрия и меди. Они могут содержать аналоги бария или иттрия, а их синтез основан на спекании. Находится ли человечество на пороге революционных изменений в энергетике, станет ясным уже в ближайшие несколько лет.

Глава 3 ИЗ ЗЕМЛИ, ВОДЫ И ВОЗДУХА

ПЛАНЕТА НА ВЕСАХ ЭКОНОМИСТОВ

Заглянем в кладовые

Наша планета — и дом, и корабль, и мастерская, и хранилище. В трех ее сферах, где теплится жизнь — литосфере, гидросфере и атмосфере — сосредоточены огромные количества различных веществ. Большая часть этих богатств приходится на земную кору — тонкую оболочку планеты.

Каждый кубический километр коры Земли имеет массу 2,67 млрд т и содержит в виде соединений в среднем 1,25 млрд т кислорода, более 800 млн т кремния и 200 млн т алюминия. Кислород, кремний и алюминий — три кита, на которых держится неорганический мир. Силикаты и алюмосиликаты самого разного состава и фантастической архитектуры довлеют над всем остальным минеральным разнообразием литосферы. Другие широко распространенные элементы — кальций, магний, натрий, калий, названные здесь в порядке уменьшения их содержания, вместе с железом и титаном присутствуют в исследуемом кубическом километре в количестве десятков миллионов тонн. Содержание еще четырех элементов — фосфора, фтора, марганца и бария — исчисляется

миллион лмп тонн. Первые 10 элементов (от кислорода до фосфора) занимают по массе более 99,7 % земной коры.

Продолжая перечисление, выделим группу «соты-сячников» — 12 элементов, которые представлены сотнями тысяч тонн. Это углерод, хлор, сера, стронций, цирконий, рубидий, ванадий, церий, хром, цинк, никель и лантан. Далее следуют «десятитысячники», «тысячники» и элементы с еще более скромным представительством. Замыкают список распространенности элементов ртуть, серебро, селен, палладий, платина, иридий, осмий, рутений, родий, золото, рений. В кубическом километре прилегающих к поверхности Земли пород среднее содержание золота оценивается в 10 т, а рения — самого редкого и рассеянного на Земле элемента — в одну-две тонны.

Еще меньше концентрация некоторых радиоактивных элементов, которые подвергаются распаду и просто не выдержали соревнования со временем. Например, в кубическом километре содержатся лишь десятые доли микрограмма радиоактивного прометия. Поэтому будем считать, что земные кладовые хранят только 80 из известных на сегодня ПО химических элементов и что последним в списке этих 80-ти стоит все-таки рений.

Норвежский геохимик В. М. Гольдшмит в 20-х годах нашего века открыл важнейшие закономерности, связывающие свойства элементов и их распространенность в природе, дал геохимическую классификацию элементов. Оказывается, в алюмосиликатных джунглях есть свои законы: помимо литофильных, к которым относятся больше половины элементов, существуют халькофильные и сидерофильные элементы. Литофильные образуют алюмосиликаты, оксиды, га-логениды, сульфаты, фосфаты и слагают 95 % земной коры. Халькофильные элементы — это сами халько-гены, т. е. сера, селен и теллур, а также металлы, существующие в природе в виде соединений с халькогенами, — медь, свинец, висмут, цинк, кадмий, ртуть и другие. Многие из этих металлов, например золото, серебро, медь, встречаются и в самородном виде. Всего в этой группе 18 элементов. Большинство сидерофильных элементов — их одиннадцать — встречается в самородном состоянии, но часто в виде соеди*

нений с мышьяком — арсенидоп (платина, кобальт, никель, железо) или с серии - сульфидов (молибден и рений).

Распространенность в природе близких по свойствам элементов обычно убывает с ростом их атомного номера, как это можно видеть из следующих дрл-меров: меди (№ 29) в природе больше, чем серебра (№ 47), а серебра — больше, чем золота (№ 79); натрия (№ 11) больше, чем калия (№ 19), а калия— больше, чем рубидия (№ 37); ванадия (№23) больше, чем ниобия (№ 41), а ниобия — больше, чем тантала (№ 73) и т. д. Элементы с четными атомными номерами распространены несколько более, чем элементы с нечетными: стронция (№ 38) и циркония (№ 40) больше, чем натрия (№ 39) и ниобия (№41); кальция (№ 20), титана (№ 22) и хрома (№ 24) — больше, чем скандия (№ 21) и ванадия (№ 23). Чем выше плотность и температура плавления металла тем он реже встречается.

В общем, прав знаменитый испанский писатель XVII в. Бальтасар Грасиан, который в «Карманном оракуле» утверждал: «Все ценное достается дорогой ценой — ценнейший из металлов самый тугоплавкий и самый тяжелый». К счастью, из этого правила есть исключения.

В природе кроме усредняющих процессов, приводящих к сглаживанию гор, перемешиванию горных пород, выравниванию температур, постоянно проявлялись и проявляются противоположные процессы, рождающие новые горы, образующие скопления минералов. Эти явления и порождающие их силы еще до появления человека обеспечили его минеральными богатствами.

В истории человечества не было бы железного века, если бы на поверхности Земли не встречались в довольно больших по тем временам количествах железные руды с высокой концентрацией железа, и не было бы бронзового века, если бы среди камней не попадалась самородная медь, а ее сульфиды не образовывали бы богатейших скоплений вблизи поверхности. Отметим, что медь — сравнительно редкий металл, который в списке геохимиков по распространенности уступает, по крайней мере, 25 другим элементам.

Человечество не овладело бы энергией атомного и α -излучения, если бы не было таких руд, в которых концентрация урана — наиболее доступного радиоактивного элемента — не отличалась бы заметно от средней. Иногда встречаются крупные месторождения с высоким содержанием урана в руде и даже почти чистые оксиды урана (минералы уранинит и иастуран). В 70-х годах было сделано сенсационное открытие, вызвавшее необычайный интерес у специалистов. В одной из провинций Габона, где сейчас имеются урановые шахты, 2 млрд лет назад действовал природный ядерный реактор! Естественные процессы привели к очистке урана от «реакторных ядов» — ванадия, селена, молибдена и к накоплению такого большого его количества, что значительная часть делящегося изотопа была израсходована («выгорела»). За сотни миллионов лет, в течение которых работал этот реактор, концентрация урана-235 снизилась от 0,71 до 0,30 %.

А золото? Природа сконцентрировала килограммы из миллионов тонн породы в самородки или золотые песчинки.

Итак, в древности и в средние века человек мог собирать с поверхности или добывать с помощью неглубоких шахт нужные ему минералы; позднее шахты становились все глубже и для добычи с поверхности (открытая разработка) понадобились вскрышные работы. Но как же распределяются отдельные элементы в месторождениях? Какая доля металлов концентрируется в рудах и сколько остается в пустой породе?

Такую связь пытались установить неоднократно. Сравнительно недавно канадские ученые Дж. Дж. Говетт и М. Х. Говетт показали, что для 16 различных металлов количество их в рудных месторождениях составляет примерно миллионную долю от их общего содержания в земной коре. Оно может составлять и стотысячную, и десятиллионную доли, но в самом первом приближении — миллионную. Конечно, это правило имеет изрядное число исключений. Например, разведанные запасы рения более чем вдвое превышают запасы индия и скандия, хотя по концентрации в коре Земли индий и скандий превосходит рений в тысячи и десятки тысяч раз. Виновник такой дне-

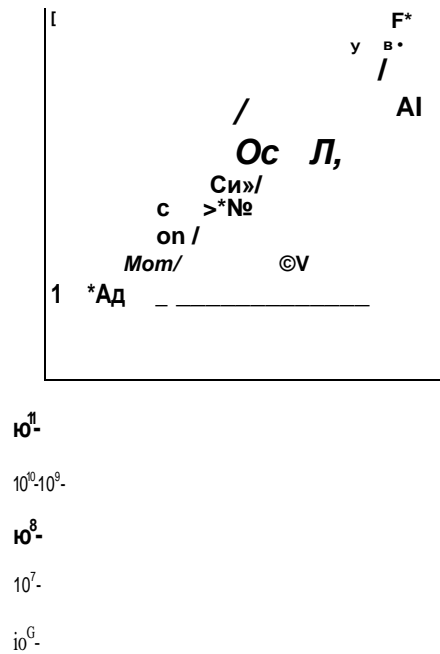


Рис. 4. Между количеством металлов в земной коре (A) и их рудными запасами (R) существует отчетливая связь

пропорции — человек: индий и особенно скандий находят сравнительно малое техническое применение, а вот рений — самый рассеянный элемент — в связи с его особо ценными свойствами пользуется повышенным спросом.

Попробуем оценить запасы некоторых веществ в рудных месторождениях исходя из того, что месторождения содержат лишь одну миллионную долю от суммарного количества в земной коре. При этом учтем только площадь суши без Антарктиды, а толщину земной коры примем равной 16 км. Тогда в полученном объеме (2,16 млрд км³) металлы в рудных месторождениях содержатся в следующих количествах (в тоннах):

Алюминий	4,47 · 10 ⁹	Ниобий	1,14 · 10 ⁶
Железо	2,02 · 10 ¹¹	Серебро	3,34 · 10 ⁵
Титан	2,70 · 10 ¹⁰	Золото	2,29 · 10 ³
Цирконий	9,15 · 10 ⁸	Рений	5,72 · 10 ³

Как видим, рассчитанные запасы алюминия составляют около 450 млрд т, а рения — меньше 6 тыс т.

Какова география месторождений природных ископаемых? По континентам, регионам, странам и областям одной страны отдельные виды сырья распределены неодинаково. Пока еще сильно сказывается и то, что недра в ряде стран изучены недостаточно.

В развитых странах геологическая разведка проведена гораздо более полно, чем в развивающихся, да и интенсивность эксплуатации недр, например в ГДР* ПНР, странах Западной Европы, отличается от таковой в странах Центральной Африки или в Бразилии, а в Европейской части СССР — от характерной для Восточной Сибири. Тем не менее определенные закономерности существуют.

Крупные страны имеют большие запасы, нежели малые.

Отдельные виды сырья довлеют к тем или иным климатическим или географическим зонам. Например, бокситы (основное алюминиевое сырье) — продукт выветривания, происходящего в условиях тропиков, — сосредоточены в основном в экваториальных странах: Гвинее, Ямайке, Суринаме, Бразилии и Гайяне. Месторождения СССР и европейских стран — явное исключение.

Олово сконцентрировано в так называемом тихоокеанском оловянном поясе, и среди наиболее богатых запасами олова стран — Малайзия, Таиланд, Индонезия, Боливия, Бирма, Австралия и Нигерия. Некоторые звенья этого пояса глубоко вдаются в сушу, так что олово порой обнаруживают на удаленных от Тихого океана территориях. В СССР россыпное олово добывают на севере Якутской АССР, в междуречье Яны и Индигирки. Есть здесь и богатые жильные месторождения, причем оловянные скопления расположены на громадной территории, включающей Приморский и Хабаровский край, Магаданскую область, восточную часть Якутии, Ляховские острова. Здесь тихоокеанский пояс сливается с монголо-охотским и уходит к Северному полюсу. Месторождениям олова сопутствуют золото и тантал.

Еще одна закономерность: почти две трети всех месторождений нефти приходится на восточное полушарие планеты, от Гринвичского меридиана на восток до Чукотки. Здесь же сосредоточено девять десятых крупных месторождений.

Интересно, что в распределении природных богатств между тремя главными политико-экономическими группами стран современного мира прослеживается некоторая равномерность. Площадь социалистических, развивающихся и капиталистических стран

занимает примерно 26, 46 и 27 % от общей площади суши (из рассмотрения исключена Антарктида), в то время как учтенные минеральные ресурсы составляют, по данным западных ученых, соответственно 33, 36 и 31 %. В СССР и странах социалистического лагеря сосредоточены очень большие запасы горючих ископаемых, ванадия, калия, асбеста, марганца, хрома, железа и многих других видов сырья. СССР — единственная в мире страна, полностью обеспеченная всеми сырьевыми ресурсами.

Большие запасы сырья имеются на океанском шельфе — подводной окраине материков, куда шагнули буровые вышки и платформы, искусственные ост* рова нефтяников и газовиков. В прибрежных донных отложениях в виде россыпей встречаются минералы олова, титана, циркония. Даже на черноморских пляжах Кавказа и в прилегающих участках дна имеются залежи магнетитовых песков.

На дне многих океанов расположены залежи марганцевых конкреций, общая масса которых составляет десятки, а по некоторым данным — сотни миллиардов тонн. Марганца в них в сотни раз больше, чем в месторождениях на суше. Недавно было обнаружено, что конкреции растут и масса их увеличивается на 10 млн т в год. Если перерабатывать этот прирост, можно ежегодно получать 2,4 млн т марганца, 1,4 млн т железа, 100—150 тыс. т никеля, 50—100 тыс. т меди, 30 тыс. т кобальта, более 5 тыс. т молибдена.

Представляет немалый интерес и сама морская вода, содержащая огромные количества различных солей и множество редких металлов. В водах Мирового океана растворено $4,8 \cdot 10^{16}$ т (48 миллионов миллиардов тонн!) солей. Концентрация солей неодинакова, но в среднем равна 3,4% (34 г на 1 кг воды). В морской соли больше всего хлора (55%), натрия (более 30%), сульфат-иона (7,7%), магния (3,7%). В значительных количествах морская соль содержит также кальций, калий, карбонат-ионы и бром и в небольших количествах — многие другие химические элементы. Д. И. Менделеев предположил, что со временем можно надеяться найти средства извлекать из морской воды даже золото.

Источниками минерального сырья могут быть воды озер. Так, ближневосточное Мертвое море — одно из самых больших хранилищ брома. Залив Кара-Богаз-Гол, содержание солей в водах которого почти в 10 раз превышает среднее для Мирового океана, является богатейшим в мире месторождением мирабилита (сульфата натрия).

Подземные воды некоторых месторождений — источник брома, йода, лития.

Не означает ли это безграничность, неисчерпаемость природных запасов? При ответе на этот вопрос необходима осторожность. Английский философ Фрэнсис Бэкон в книге «Великое восстановление наук» предупреждал, что «преувеличенное представление о своем богатстве является одной из главнейших причин бедности». Посмотрим поэтому, как расходуются минеральные ресурсы.

Расходуем и теряем

Количество добываемого из недр Земли сырья выражается астрономическими, ошеломляющими цифрами. В 1983 г. в мире было произведено около 4 млрд т, товарного (обогащенного) угля, почти 2,6 млрд т, нефти и газового конденсата, более 900 млн т цемента, добыто свыше 600 млн т железной руды, выпущено в составе удобрений 124 млн т питательных веществ для растений, получено более 60 млн т каустической и кальцинированной соды.

Не остается в стороне и атмосфера. В 1978 г. из воздуха было получено около 90 млн т кислорода и 70 млн т азота. В одном из стихотворений известный русский советский поэт Велимир Хлебников писал:

Нам много ль надо?
Нет: ломоть хлеба, С
ним каплю молока, А
солью будет небо! И
эти облака.

Из атмосферного воздуха — кеба — получают азот, электролизом воды — облаков — водород, из смеси водорода и азота — аммиак, окислением аммиака «—»: азотную кислоту и далее нитрат аммония, аммонийную селитру. Но не так уж мало нам сегодня надо:

НО

на получение кислорода и азота в мире расходуется более 120 млрд кубометров воздуха!

Ежегодно добываются десятки миллионов тонн природных фосфатов и солен калия, бокситов и марганцевых руд, более 10 млн т сырья идет на производство соединений магния — магнезита и магнезии. Миллионами тонн исчисляется ежегодное производство меди, барита, цинка, асбеста, флюорита, свинца, хрома, соединений бора и титана. Каждый год извлекаются сотни тысяч тонн никеля, соединений циркония, графита, олова и молибдена. К металлам, добыча которых составляет десятки тысяч тонн, относятся сурьма, вольфрам, стронций, уран, ванадий, кобальт, редкоземельные элементы и мышьяк.

Более чем по 10 тыс. т в год производится кадмия, ниобия и серебра, по несколько тысяч тонн — ртути, лития и висмута, более чем по тысяче топи-селена, золота и тория. Дальше исчисление идет в тоннах: тантал— около 900, теллур — 500, натрий и бериллий— по 350, платина и платиновые металлы — в сумме 200, германий—100, индий — 50, галлий — 20, таллий — 15, рений — 10.

Наименьшими объемами добычи характеризуются, видимо, некоторые редкоземельные металлы, а из неметаллов абсолютный «рекорд» принадлежит алмазам, добычу которых измеряют в каратах (1 карат — 0,2 г). По данным зарубежных публикаций, во всех странах, кроме СССР, в 1980 г. было добыто 18 млн каратов алмазов, по при этом синтетически было получено более 100 млн каратов. Общие запасы алмазов в недрах капиталистических и развивающихся стран оцениваются в 655 млн каратов.

В этом обилии статистики прослеживается некая закономерность: чем больше средняя концентрация элемента в земной коре, а следовательно, и запасы в промышленных месторождениях, тем выше объем ежегодной добычи. Обычно выполняются и такие условия: чем больше концентрация элемента в литосфере, тем больше его концентрация в руде, тем меньше стоимость тонны сырья и тонны самого металла. Например, по данным на 1980 г., для Великобритании чугун стоил около 10 фунтов стерлингов за тонну, алюминий — 770, медь — 910, олово — 7200, а серебро — уже около 9 фунтов за унцию, т. е.

примерно 320 фунтов за килограмм. Правда, такое соответствие соблюдается не всегда: добываемые из комплексного сырья свинец и цинк стоили соответственно 390 и 330 фунтов за тонну, т. е. ниже ожидаемого.

И еще одна закономерность: чем меньше объем производства элемента и его концентрация в рудах, тем больше отходов образуется при его получении из руды. Для богатых железных руд с тонной металла добывается тонна пустой породы, для бедных железных руд — уже две, для свинца — около 30 т, для никеля—100 т, для меди — 200 и даже 300 т, для олова — 500—1000 т, для вольфрама и молибдена — до двух тысяч тонн пустой породы! Поэтому общее количество добываемой из Земли горной массы значительно превышает суммарную массу производимых целевых продуктов. Только из недр СССР, например, ежегодно извлекается 15 млрд т породы. Если ее загрузить в железнодорожные вагоны, то состав 200 раз опояшет земной шар по экватору, а если уложить в виде монолитного куба, то его ребро будет почти в 1,8 км.

Понятно, почему сегодня 70—75 % всех производственных отходов приходится на горную промышленность. При этом рост потребностей в сырье и снижение его качества вызывают неуклонное увеличение количества извлекаемых пород, возрастание объема отходов и удваивание объема горных работ примерно за 15 лет. По данным члена-корреспондента АН СССР Д. З. Бронникова, наша страна производит более одной пятой всей горной продукции мира. Сегодня горная промышленность СССР сосредоточила 30 % основных производственных фондов страны и ежегодно получает около 40 % государственных капитальных вложений. Вот данные только по одному Министерству по производству минеральных удобрений СССР. В 1985 г. на его 20 подземных рудниках, 35 карьерах, трех рассолопромыслах и пяти участках подземной выплавки серы было добыто более 185 млн т руд, при выполнении вскрышных работ перемещено 380 млн т пород, пройдено 680 км горноподготовительных выработок.

Обратимся к другим странам. Интересно, что добыча рудного минерального сырья в 1980 г., по оценкам

западных специалистов, была примерно одинаковой в каждой из трех групп стран — социалистических (33%), развивающихся (27%) и капиталистических (39%). Отметим, однако, что только в 78 из 155 развивающихся стран ведется добыча минерального сырья и только 30 из этих стран вносят заметный вклад (более 5%) в общемировую добычу.

Добыча отдельных видов сырья распределена по странам мира неравномерно. Вновь обращаясь к статистическим данным экспертов капиталистических стран, отметим, что в 1980 г. добыча некоторых металлов концентрировалась лишь в нескольких странах мира. Так, в трех странах, к которым был отнесен и СССР, добывалось 98,9% платиновых металлов, еще три страны по 97% монополизировали добычу ниобиевых руд. Это же относится к литию, титановому сырью — рутилу, молибдену, циркониевому сырью — циркону, а также к магнию, золоту, асбесту и ванадию.

Наша страна в большом количестве добывает марганцевую руду (в 1983 г. более 58% мировой добычи), железную руду (40%), калийные соли (в 4 раза больше, чем в США), природный газ (33%), нефть (24%), уголь (16%) и другие виды сырья, занимает первое место в мире по производству минеральных удобрений, цемента, оконного стекла и других материалов.

Говоря о минеральных ресурсах, следует остановиться и на их использовании. Неполное извлечение полезных компонентов характерно не только для нефтяных месторождений (50- (К) % нефти при традиционных методах добычи не извлекается из нефтеносных пластов). В недрах остается примерно десятая часть свинцово-цинковых руд и половина калийных солей. Почти полвека ведется разработка апатито-нефелиновых месторождений, и все это время добывают только апатит, а большая часть не менее ценного нефелинового сырья идет в отвалы. Теряются или выбрасываются десятки миллионов тонн многих других сопутствующих веществ.

А что происходит с миллиардами тонн минерального сырья, ежегодно добываемого из недр?

С нефтью, углем, природными газами — ясно: после переработки или даже без переработки их в

основном сжигают. Лишь небольшая часть нефти и галл идет на получение различных органических продуктов.

Фосфор, калий, азот — основные компоненты удобрений — частично вместе с урожаем удаляются с полей и вовлекаются в конечном счете в природный круговорот этих веществ, частично вымываются дождями и попадают в реки и озера. Однако лишь азот имеет шанс быстро вернуться в свою родную стихию — атмосферу, а фосфор и калий вместе с элементами микроудобрений рассеиваются с пищевыми отходами.

Громадные количества серы, ежегодно вовлекаемой в переработку (около 50—55 млн т) превращаются в серную кислоту и затем большей частью в твердые отходы гипса: фосфогипса, борогипса, фторогипса, которые лишь в небольшой степени используются строительной индустрией.

Рассеиваются такие элементы, как бор, магний, мышьяк, барий, фтор, титан, такие минералы, как графит, асбест, слюда и многие, многие другие.

Значительная часть стали и сплавов на основе железа превращается в ржавчину, и лишь сравнительно небольшая доля в виде железного лома возвращается к металлургам. Многие цветные и редкие металлы большей частью рассеиваются после однократного использования. Хотя в начале 70-х годов извлечение цветных металлов из вторичного сырья заметно повысилось, оно еще невелико: в капиталистических и развивающихся странах из такого сырья получают 50 % свинца, около 40 % меди, примерно 25 % алюминия, цинка и олова. При этом чем выше уровень потребления, тем большая доля металлов извлекается из отходов.

Даже такие драгоценные металлы, как серебро и золото, с оборотом которых положение несколько лучше, чем с другими металлами, выбрасываются вместе с отслужившими свой срок приборами, отработанными фотореактивами и другими материалами.

Сопутствующие полезным компонентам горные породы идут почти целиком в отвалы и лишь в очень небольшой степени используются в жилищном и дорожном строительстве.

Благородные газы, ко горы? до'онг,зют из атмосферного воздуха и широко приме ня ю т как инертные среды при получении некоторых веществ, сварке металлов в разрядных электрических лампах и некоторых типах лазеров, возвращаются, как и азот, в атмосферу. По-ипому складывается судьба легчайшего из них, гелия. Источником гелия служат природные газы из подземных месторождений, куда он попадает как продукт радиоактивного распада некоторых тяжелых элементов. Из аэростатов, шаров-зондов, течеискате-лей, водолазных скафандров, лабораторных хроматографов, криогенных установок гелий также попадает в атмосферу, но не остается в ней, а рассеивается в просторах Космоса.

Сегодняшнюю сырьевую политику иначе как расточительной не назовешь; отчасти это связано с технической беспомощностью, но главным образом — с недостаточной организованностью. Если так будет продолжаться, то затраты на организацию и эксплуатацию свалок отходов станут вносить наибольший вклад в стоимость материалов и изделий.

Ж^вые струи

Люди издревле относились к воде как к святыне. Священные омовения вошли в главнейшие ритуалы зороастризма, христианства (крещение), ислама и иудаизма. Индусы почитают езященные воды Ганга, героями русских былин стали Дунай Иванович и Дон Иванович. Л у скольких пародов источники считаются святынями!

Что естественнее глотка воды? Вода и жизнь неразделимы. Как считал выдающийся русский советский геохимик академик В. И. Вернадский, «жизнь—• это особая коллоидная водная система... особое царство природных вод».

Еще поэтичнее об этом сказал А. Сент-Экзюпери.

«Вод п!

У тебя ют ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не престо необходима для жизни, ты и есть жизнь».

Воды на Земле очень много — ее общие запасы равны почти 1,5 млрд км³. На каждого жителя

планеты приходится по 300 км³ воды — Ладожское озеро на троих! Казалось бы, с водой у человечества не должно быть никаких проблем. Но продолжим высказывание Сент-Экзюпери: «Ты — величайшее в мире богатство, но и самое непрочное, столь чистая в недрах земли. Можно умереть подле источника, если в нем есть примесь магния. Можно умереть в двух шагах от солончакового озера. Можно умереть, хоть и есть два литра росы, если в нее попали какие-то соли. Ты не терпишь примесей, не выносишь ничего чужеродного, ты — божество, которое так легко спугнуть».

Действительно, около 98 % запасов воды — это соленые или солоноватые воды, а пресной, пригодной для утоления жажды воды гораздо меньше — всего 30—35 млн км³. Объем воды, эквивалентный Ладожскому озеру, приходится не на троих людей, а на **150** человек, и каждому из нас при таком расчете достается все еще громадная цифра — почти 6 км³. Но и этот расчет не полон.

Пусть не пугает читателей обилие цифр в этом разделе. Цифры могут навести на раздумья. К сожалению, большая часть пресной воды малодоступна, так как 97 % этих запасов сосредоточено в полярных ледяных шапках и горных ледниках. Лишь 0,06 % всех водных ресурсов земного шара (826 тыс. км³, или 165 млн м³ на человека) находится в реках, пресных озерах и в почвах. Если вновь вернуться к Ладожскому озеру, то оказывается, что сосредоточенная в нем вода—доля примерно 15 тыс. человек.

В реках всех континентов одновременно течет около 2 тыс. км³ воды, а среднегодовой речной сток составляет примерно 40 тыс км³.

Много воды накоплено в подземных водоемах. Один из них, под Западно-Сибирской низменностью, имеет площадь почти в 3 млн км² — третья часть всей Европы. В Туркмении есть подземное море, содержащее втрое больше воды, чем Аральское море. Под степями и пустынями Казахстана залегают водоносные горные породы, сосредоточившие в несколько раз больше пресной воды, чем ее могли бы вместить Азовское море и Балхаш. Даже под Сахарой есть крупное водохранилище с пресной водой.

Водные ресурсы распределены на Земле крайне неравномерно. Почти две третьих части суши принадлежат к засушливым территориям, к так называемым аридным и полуаридным зонам, где воды испаряется больше, чем поступает с атмосферными осадками. Имеются и излишне увлажненные территории.

А сколько воды потребляется? Расход воды в мире на бытовые и промышленные нужды составляет более 8 тыс. км³ в год. Если в средние века человек обходился 10—15 л воды в сутки, а в XIX в. примерно втрое большим количеством, то сейчас только для домашних нужд и питья в сутки расходуется в среднем 150—600 л на душу населения. Для Ташкента эта величина составляет 450—500, а для Москвы — даже 700 л. Если бы каждый житель планеты потреблял из Ладожского озера по 500 л в сутки, то это озеро было бы выпито до последней капли всего за год.

Вода нужна не только для питья и бытовых нужд. При поливном земледелии на выращивание 1 т зерна расходуется более 1 тыс. м³ воды, на выращивание 1 т риса — в четыре раза больше. Каждый гектар искусственно орошаемых земель требует 2 тыс. м³ воды в год. Если к тому же учесть, что в промышленности вода — почти незаменимый растворитель, хладагент и средство для транспортирования, что на производство каждой тонны угля расходуется 2 м³ воды, стали—120 м³, газетной бумаги — 900 м³, резины или алюминия—1500 м³, а химического волокна— 2 тыс м³ воды, то можно понять, почему средний расход воды в промышленно развитых странах исчисляется тысячей или тысячами литров на душу населения в сутки (во Франции — 1200, в США — 6500 л). Промышленность и энергетика в мировом водохозяйственном балансе «везят» вчетверо больше хозяйственно-питьевого водоснабжения, а при сохранении нынешних тенденций будут «весить» в 6—7 раз больше.

Вода — особый, жизненно важный вид сырья. Полный кругооборот воды в атмосфере происходит 40 раз в год, а ее количество в атмосферных осадках превышает 500 тыс км³.

Тем не менее запасы пресной воды пока постоянно сокращаются, а потребность в ней растет,

И?

Умет.ш.'цчч-я объем речного стока, речная и дождевая |*»>да но многих областях и даже целых странах стала непригодной для питья, увеличивается использование подъемных запасов пресной воды. Так, в СССР каждую секунду из-под земли извлекают около 700 м³ воды, причем почти половику ее используют для городского водоснабжения. Подземная вода питает городские водопроводы Минска, Еревана и Харькова, даже в Москве действует более 400 скважин.

Нельзя сказать, что мы относимся к воде бережно. Лишь в 1986 г. решением ЦК КПСС и Совмина СССР были прекращены работы по переброске части стока северных и сибирских рек в Волгу, Среднюю Азию и Казахстан и даны конкретные задания по сокращению расхода воды крупными потребителями на 15—20 %. Мало того, что проект переброски требовал гигантских капиталовложений, он грозил громадными потерями воды за счет испарения, изменением климата и экологического равновесия на очень больших территориях. Сейчас на печальном опыте стало ясно, что интенсивное вторжение в природные процессы приводит ко многим нежелательным последствиям: выкачивание воды из подземных хранилищ и непродуманная мелиорация ведут к поступлению засоленных вод на место пресных и к утрате плодородия почв, создание крупных водохранилищ — к снижению скорости потока, заболачиванию, интенсивному зарастанию водорослями больших акваторий, ухудшению качества воды.

А какие объемы драгоценной воды пока утекают бесполезно через миллионы неплотно закрытых кранов! В Японии — единственной пока стране мира — городское хозяйство использует воду трех видов — морскую, пресную хозяйственную и питьевую, причем каждая из них имеет свою стоимость.

С пресной водой в мире сложилась острая ситуация. По данным Всемирной организации здравоохранения, более миллиарда жителей Земли испытывают недостаток питьевой воды, проблема ликвидации ее нехватки равносильна борьбе с голодом. Недаром Организация Объединенных Наций объявила 1981—1990 годы Международным десятилетием питьевой г.мдп и наметила крупномасштабные проекты по увеличению запасов воды.

По словам писателя С. П. Залыгина, " «земной шар—'это теперь не более чем хоть и многометражная, а все-таки коммунальная квартира с одним на всех водопроводным краном». И мы, жители этой квартиры, сами должны заботиться и о воде, текущей по трубам, и об исправности водопроводного крана. ■ •

Будет ли исчерпано неисчерпаемое!

По мере того как возрастал объем промышленной продукции и количества добываемого из земных недр сырья, все явственнее становилась проблема источников этого сырья. Политика в области сырья (сколько производить, сколько и кому продавать, сколько и у кого покупать) давно стала важнейшим элементом внешней и внутренней политики стран мира.

Ресурсов полезных ископаемых все еще довольно много, эти ресурсы продолжают увеличиваться. Но ведь и потребление сырья растет. Не грозит ли нам истощение природных запасов и экономическая катастрофа из-за нехватки сырья? Интригующие попытки определить, на сколько хватит запасов тех или иных ископаемых, не прекращаются, по крайней мере, 30—40 лет. Оправдались ли ранее сделанные прогнозы?

Нужно сразу сказать, что подавляющая часть расчетов и прогнозов в области сырья оказалась излишне пессимистичной, эмоциональной, и сами эти расчеты использовались главным образом с целью драматизировать ситуацию. Так, в середине 50-х годов, когда мировая добыча нефти только приближалась к годовому уровню в 1 млрд т (этот уровень был достигнут в 1960 г.), американские ученые предсказывали истощение ее запасов к 1985 г. В то же время в 1985 г. добыча нефти в мире составила более 2,5 млрд т, а ее запасы оценивались еще в 90—100 млрд т.

Постоянное увеличение разведанных запасов характерно и для многих других видов сырья. Это связано, во-первых, с настойчивым геологическим поиском и, во-вторых, с вовлечением в переработку более бедных руд, что стало возможным благодаря появлению новых химико-технологических методов. В начале 1961, 1971 и 1981 годов в капиталистических и

разнимающихся странах запасы бокситов составляли около 7, 10 и 22 млрд т, запасы меди — округленно 200, 300 и 500 млн т, цинка — 100, 150 и 200 млн т, свинца — 60, 90 и 130 млн т, молибдена — 2, 5 и 10 млн т. Правда, среднегодовые темпы прироста запасов меняются в зависимости от вида сырья, составляя, например, для сурьмы около 1 % в год, а для молибдена и вольфрама — более 7%. Кроме того, они меняются и год от года, как правило, уменьша-

ясь со временем. По сообщению службы геологической съемки США, ежегодный прирост запасов нефти в мире в начале 60-х годов составлял в среднем

I
около 5,3 трлн л, а в конце 70-х годов — только 1,4 трлн л.

Прирост запасов происходит главным образом за счет перевода месторождений с низкой концентрацией извлекаемого компонента в разряд промышленных. Отношение содержания элемента в земной коре к его содержанию в промышленных месторождениях,

?
принятое нами условно равным одному миллиону, в

*
действительности не остается постоянным, имеет тенденцию к уменьшению. Так, средняя концентрация меди в рудах США составляла в 1950 г. около 0,9 %, а в 1977 г. — уже 0,5%. Руд с меньшей концентрацией меди больше, чем с высокой. В капиталистических и развивающихся странах средняя концентрация свинца в рудах за 20 лет (1961 — 1981) упала с 4 до 3 %. В СССР нижний предел содержания полезных компонентов в полиметаллических свинцово-цинковых рудах составляет около 1 %. Сравнение с концом прошлого века дает еще большую разницу: свинцово-цинковые руды содержали тогда 20—30 % полезных компонентов. Бедных свинцово-цинковых руд значительно больше, чем богатых. Сейчас у нас осваиваются месторождения железистых кварцитов, содержащих 26—35 % железа, хотя еще недавно промышленными считались руды с концентрацией 50 % и более. И вновь можно констатировать, что такой переход означает увеличение суммарных запасов железа.

В средние века, по свидетельству знаменитого Г. Агриколы, руды, содержащие менее 3 унций золота на 100 фунтов (1,875 кг на 1 т) или менее 3 фунтов серебра на 100 фунтов (3%), считались

бедными. В начале 60-х годов золото извлекали из руд, содержащих не менее 4—8 г/т, в 80-х годах в ЮАР среднее содержание золота в рудах составляло менее 7 г/т. Уже найдены способы вполне экономичной переработки золотых отвалов, содержащих 0,4—0,5 г золота на 1 т. Поэтому и учитываемые запасы золота растут из года в год.

Случаются и сенсационные геологические открытия, например такие, как месторождения нефти и газа в Западной Сибири, в Северном и Балтийском морях, ниобия в Южной Америке. Запасы ниобия в виде его пентаоксида к началу 1968 г. оценивались чуть больше, чем в 18 млн т, но позднее в Бразилии были найдены богатейшие залежи пироклоровых руд, оцениваемых в 47 млн т пентаоксида, и ситуация с запасами ниобия резко изменилась. Правда, эти и менее крупные открытия сделаны главным образом в малосвоенных, удаленных районах, где добыча требует больших затрат. Добыча нефти со дна морей обходится значительно дороже, чем на суше.

Если говорить о нашей стране, то надо отметить тенденцию к перемещению основных сырьевых баз из европейской части в Сибирь. Три четверти населения Советского Союза проживает в Европе и на Урале, здесь сосредоточено четыре пятых промышленного потенциала страны, а в недрах европейской части содержится лишь одна десятая часть топливно-энергетических и примерно одна шестая минеральных ресурсов. Многие из имеющихся здесь месторождений начали эксплуатироваться очень давно.

Еще в доисторические времена были известны марганцевые залежи Чиатуры. У выходов попутных газов близ нефтяных месторождений Баку построили свой храм огнепоклонники, и со дна моря впервые в мире нефть стали добывать именно здесь — в 1825 г., за 63 года до появления первых буровых в Японском море и за 81 год до сооружения их в Тихом океане вблизи Калифорнии. Неудивительно, что добыча марганца в Грузии, нефти в Азербайджане, угля в Донецком бассейне на Украине, никеля на Кольском полуострове уже не растет, а сокращается. В Донбассе, например, глубину шахт приходится увеличивать до километра и более и разрабатывать пласты угля всего в 50—70 см толщиной. К этому надо

добавить и то, что здесь встречаются пласты, залегающие под большим углом наклона к горизонту. Производительность труда здесь примерно в 30 раз ниже, чем в Канско-Ачинском бассейне, а сама добыча — в 10 раз дороже.

Даже на сравнительно новых месторождениях не удается постоянно поддерживать высокий уровень добычи многих видов сырья. На широко известном Самотлорском месторождении быстро был достигнут максимальный годовой объем добычи нефти в 154 млн т, причем этот объем держался несколько лет. Из скважин здесь часто били нефтяные фонтаны, дававшие в сутки по 300 и более тонн нефти. Сейчас для поддержания максимального уровня даже при активном воздействии на пласты надо иметь там вместо одной уже несколько (до десятка) скважин.

Чтобы удержать достигнутое, приходится осваивать новые месторождения, которые находятся во все более труднодоступных и менее обжитых районах. Поэтому у нефтедобытчиков получил распространение вахтовый метод работы, когда бригады доставляются вертолетами на буровые лишь на ограниченное время — две-четыре недели, а затем сменяются новыми бригадами. Поэтому тонна нефти, добытая из новых скважин в 1985 г., стоила в 2—3 раза дороже, чем тонна нефти из скважин, задействованных в 1980 г. Поэтому, видимо, в СССР темпы добычи топлива после 1975 г. постоянно снижались. Поэтому же очень большое значение придается хозяйственному освоению громадных территорий, прилегающих к трассе Байкало-Амурской магистрали.

Но вернемся к прогнозам. Можно ли верить утверждениям американских специалистов, что даже с учетом прироста новых месторождений нефти запасов во всех месторождениях хватит лишь примерно на 60 лет? Можно ли вслед за англичанином М. Хадсоном полагать, что за 25-летний период с 1976 по 2000 годы будет исчерпана 7/8 часть запасов железа, почти по 1/2 запасов меди и марганца, четверть запасов вольфрама, почти треть запасов кобальта и почти две третьих — золота?

Ответы на эти вопросы ясны и оптимистичны. Никакая нехватка сырья человечеству в ближайшие столетия не грозит. Сырье есть и будет всегда. Проблема-

ма состоит в другом: в отсутствии экономной технологии. Удастся ли создать и реализовать такие технологии, которые позволили бы получать из более дорогого и менее качественного сырья сравнительно дешевую продукцию? Если ориентироваться на то, что помимо известных методов добычи будут созданы новые, что помимо традиционного сырья появятся новые его виды, что кроме сегодняшних методов переработки будут найдены и внедрены более прогрессивные,— об истощении запасов говорить не придется. Такой глобальный оптимизм разделяют многие специалисты. Он прозвучал, например, в выступлениях большинства участников 27-го Международного геохимического конгресса (Москва, 1984 г.).

Но сырьевая ситуация должна побуждать исследователей и инженеров к активным действиям. Надо всерьез бороться за удержание стоимости продукции на одном уровне: ввести режим еще большей экономии при использовании сырья, заменить самые дефицитные виды продукции более доступными, значительно увеличить долю вторичных источников сырья, с целью экономии питьевой и вообще пресной воды применять водооборотные схемы в промышленности, отказаться от процессов, требующих больших количеств свежей воды.

В перспективе человечество придет к замкнутым циклам использования металлов, и природные источники станут играть заметно меньшую роль.

Еще *более* далекая перспектива связана с освоением Луны, планет солнечной системы, астероидов.

В решении всех этих задач, и прежде всего задач сегодняшнего дня и проблем начала будущего века, первостепенное значение имеют достижения химической технологии. Об этом говорят приведенные далее примеры.

ХИМИЯ ПОМОГАЕТ ЭКОНОМИТЬ СЫРЬЕ

Новые технологии, новые материалы, новые
исходы

Ответственность за обеспечение сырьем и его экономное расходование лежит в основном на химической /технологии в широком ее понимании.

К;и«.пи основные пути решения сырьевой проблемы >¹ Они очевидны и сводятся в первом приближении к следующему.

1. Усовершенствование методов добычи и переработки сырья, повышение степени извлечения полезных компонентов, упрощение и удешевление переработки.

2. Комплексность и глубина переработки сырья, извлечение из него большинства или всех полезных компонентов.

3. Замена дефицитных видов сырья более дешевыми и доступными, традиционных материалов — новыми, прогрессивными.

Все эти пути в большей или меньшей степени связаны с химико-технологическими процессами. Поясним их на нескольких примерах.

Из-за того, что рудное сырье постоянно обедняется, на химических и химико-металлургических предприятиях применяются все новые и новые методы его переработки. В предыдущей главе рассказывалось об использовании жидкостной экстракции и ионообменной сорбции в технологии урана. Но эти процессы уже давно вписались в технологию редких металлов — циркония, гафния, ниобия, тантала, молибдена, вольфрама, рения и других. Позднее с большим успехом они внедрились в технологию цветных металлов — меди, хрома, индия. Особенно высока их эффективность при переработке комплексных, например полиметаллических, руд.

В производстве свинца, который пока еще в основ* ном получают выплавкой из концентратов, химическими методами попутно извлекают свыше 10 других веществ, а на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате им. В. И. Ленина — более 17 элементов. При переработке концентратов из них извлекают также теллур, ртуть, сурьму, кадмий, ряд редких металлов, включая редкоземельные.

Цинк, в отличие от свинца, производят в основном методом гидрометаллургии. Тем не менее и здесь попутно получают сейчас более 10 элементов, причем на передовых предприятиях — том же Усть-Каменогорском комбинате и Челябинском электролитном цинковом заводе им. С. М. Кирова — выпускают 15—■ 17 видов товарной продукции.

На предприятиях медной промышленности из руд извлекают 19 компонентов — золото, серебро, серу, селен, теллур, рений, молибден, цинковые и свинцовые концентраты и другие продукты. С 1965 по 1975 годы выпуск продукции на единицу перерабатываемого сырья вырос в 1,5 раза, а доля попутно производимой продукции превысила 40 %.

Классическим примером комплексного использования сырья стал метод, применяемый на трех заводах нашей страны для производства глинозема из нефелина. Этот метод позволяет на каждую тонну глинозема выделить 0,2—0,3 т поташа, 0,6—0,8 т кальцинированной соды, 9—11 т портландцемента и 40 г редчайшего аналога алюминия — металла галлия.

Правда, здесь есть еще над чем поработать: апа-тито-нефелиновые комплексные руды месторождений Кольского полуострова помимо основных компонентов содержат железо, титан, ванадий (в титано-магнетите и эгирине), редкоземельные элементы, стронций и фтор (в апатите), титан, редкоземельные элементы, тантал и ниобий (в сфене). Да и нефелин пока только частично идет на переработку, а магнетитовый, сфеновый и эгириновый концентраты почти не перерабатываются. Более того, при обогащении комплексных руд нефелин лишь частично перерабатывался в концентрат, а его значительная часть вместе со сфе-ном, титано-магнетитом и эгирипом шла в отвалы.

Лишь в начале 80-х годов стали работать небольшие установки по выделению ценных минералов из «хвостов» апатитового производства и получению из них нужных народному хозяйству продуктов. При переработке апатитов и фосфоритов пока попутно получают только фтор, да и то не полностью; для выделения редкоземельных элементов и стронция все еще нет экономически выгодных способов.

Большое значение имеет замена металлов новыми материалами. В первую очередь необходимо найти заменители для дефицитных тугоплавких металлов, входящих в состав жаропрочных и сверхпрочных сплавов.

Замена одного металла другим тоже может привести к экономии сырья, и к снижению затрат при использовании металлов. Так, применение на строительстве газопроводов алюминия вместо стали

сокращает потребность в металле в 7—10 раз: ведь алюминий гораздо легче.

Большой эффект дает замена металлов пластмассами. Помимо экономии материалов, при этом значительно снижаются затраты энергии, а следовательно — и сырья для ее получения. Так, суммарный расход тепловой и электрической энергии на производство единицы объема полимерных материалов в 4 раза ниже, чем при выплавке стали, в 5 раз ниже, чем при производстве меди, и в 6 раз ниже, чем при производстве алюминия.

При изготовлении пластмассовых дренажных труб для мелиорации расход энергии на треть меньше, чем при изготовлении обычных керамических дренажных труб. Но пластмассы дают эффект еще и там, где их используют: трубы не бьются, их легче укладывать, при равной длине они весят гораздо меньше, чем керамические. Многие виды пластмасс сейчас модифицируются, что также позволяет экономить сырье. Ярким примером тому служит применение высоконаполненных полимеров.

Все большую роль играют материалы с покрытиями.

Особое значение приобретает извлечение ценных компонентов из бедного и нетрадиционного сырья, из отходов других производств. На том, как решаются некоторые из подобных задач, следует остановиться особо.

Металлы из морской воды

Морская вода, если речь идет не о получении поваренной соли, мирабилита или оксида магния, а о металлах, — самый нетрадиционный их источник. И все же металлов в ней много. Они поступают в мировой океан с речными стоками, с дождями и постоянно выпадают на дно морей и океанов в виде осадков труднорастворимых соединений.

Вот, например, уран. При средней его концентрации $3,3 \text{ мг/м}^3$ общее количество урана, находящегося одновременно в морской воде, поистине громадно — 4,5 млрд т. Концентрация урана в морях и океанах сильно колеблется относительно средней. В воде Гельголандской бухты она равна $3,6 \text{ мг/м}^3$, а в реке Эльбе — 2 мг/м^3 . Только в поверхностном слое воды

мирового океана толщиной 100 м — в том слое, из которого сравнительно легко можно брать воду,— общее количество урана составляет сотни миллионов тонн.

Сегодня путь извлечен ни урана из морской воды принципиально ясен — это ионообменная сорбция на синтетических поинтах, над которой уже почти 30 лет интенсивно работают в разных странах мира. Однако воплотить идеи в конкретные инженерные решения, в экономичные способы и установки долгое время не удавалось.

Главная техническая трудность — это необходимость перекачки очень большого количества воды: при 100 %-м извлечении надо пропустить 300 млн м³ воды на каждую тонну урана. Используемый сорбент должен иметь высокую емкость по урану. Эта величина емкости зависит от состава растворов и уменьшается со снижением концентрации урана и ростом общей концентрации солей. В этом отношении морская вода с очень малой концентрацией урана и в сотни миллионов раз большей концентрацией других солей является, конечно, весьма неудобным сырьем. Нельзя не учитывать и трудности аппаратного оформления, так как объем находящегося одновременно в работе сорбента должен быть очень большим.

Что касается сорбентов, то длительное время предпочтение отдавалось гидроксиду титана. В США в 1979 г. была даже проведена оценка стоимости урана при его извлечении этим сорбентом. Но при годовой производительности завода 100 т U₃O₈ в сутки нужно будет перекачивать более 10 млн м³ морской воды, а затраты на строительство завода составят громадную величину — 6,2 млрд долл. Затраты на извлечение 1 кг урана составят 4,6—5,7 тыс долл. Это в несколько десятков раз больше стоимости урана, добываемого обычными методами. Японские специалисты считают, что выделение урана на гидроксиде титана можно несколько упростить, если гидроксид нанести на магнитный материал или на волокна из полимерных материалов.

Высокой емкостью по отношению к урану обладают акриламидоксимовые смолы, а также гуминовые кислоты. Последние содержатся в торфе; они способны быстро поглощать уран и, самое главное, безвредны

в окружающей среде, даже если используются в небольших количествах. Их также целесообразно наносить на полимерные матрицы, имеющие форму сеток или пористых образований. Каждая тонна гуминовых кислот поглощает 100 г урана, снижая его концентрацию в морской воде на 1 мг/м³. Чтобы получить 250 т урана в год, требуется около 1000 т гуминовых кислот, нанесенных на 400—500 млн т носителей, и миллиард кубических метров морской воды в сутки. Себестоимость получаемого урана составит при этом 700—900 долл. за килограмм.

Аппаратурное оформление процесса может быть и другим. Чтобы снизить расходы на перекачивание воды, предлагается погружать в морскую воду сорбент в виде довольно длинной транспортной ленты, использовать приливно-отливные течения или воду, расходуемую на приморских АЭС для охлаждения турбин. Имеются проекты плавучих установок для извлечения урана из морской воды, контейнеров, буксируемых за морскими судами. Аппаратами могут служить целые морские лагуны, отделенные специальными дамбами. Наконец, колонны для сорбции предложено устанавливать на бакенах; волны, раскачивая бакен, будут прогонять воду через колонну.

Сейчас в лабораториях и на опытных установках многих стран мира идет напряженная работа по совершенствованию процесса и снижению стоимости получаемого урана. Однако для стран, лишенных других источников урана (Япония, ФРГ), его добыча из морской воды может быть выгодной даже при сравнительно высокой себестоимости. Вполне вероятно, что к 1990 г. вступит в строй первая промышленная установка, химическая технология получит новую область применения, а человечество овладеет еще одним источником сырья. Извлечение урана наверняка проложит дорогу добыче из воды и других металлов (например, ванадия, стронция, лития), возникновению морской металлургии.

Если гора не идет к Магомету...

Что происходит после того, как рудное месторождение разведано, оконтурено, описано и поставлено на спламс? Без каких операций нельзя обойтись при его

разработке? Очевидно, что прежде всего надо подобраться к рудному телу, извлечь руду на поверхность, доставить ее на обогатительную фабрику и обогатить, перевезти концентрат на завод и подвергнуть химической переработке. Чтобы подойти к рудному телу, проходят стволы шахт и штреки, укрепляют своды, делают освещение, вентиляцию, системы отвода шахтных вод, с помощью транспортных систем удаляют горные породы. Руду отбивают, транспортируют к подъемникам и выдают «на гора». Ее везут на рудный двор обогатительной фабрики, дробят, измельчают, обогащают (а это чаще всего — многостадийный процесс) и сушат. Получаемую при этом пустую породу перевозят или перекачивают в специально сделанные хвостохранилища. Рудный концентрат — уже не саму руду — снова грузят и везут, на сей раз на завод, где гора, пришедшая к Магомету, подвергается действию химических реагентов.

Если из этой длинной цепочки выбросить хотя бы одно звено, затраты на процесс заметно падают. Сразу несколько дорогостоящих операций удастся устранить при открытой, бесшахтной разработке руд, поэтому этот метод и находит все более широкое применение. Но он оправдан лишь при неглубоком залегании рудного тела. Если оно все-таки лежит сравнительно глубоко — в нескольких десятках метров или даже в полукилометре? Оказывается, и здесь возможны революционные технические решения, позволяющие значительно сократить общую технологическую цепочку. Химические процессы можно проводить прямо на месте залегания руды! Пусть Магомет сам придет к горе.

Идея одного из геотехнологических методов, т. е. процесса непосредственно в пластах горных пород, была высказана почти сто лет назад. В 1888 г. Д. И. Менделеев предложил проводить газификацию твердых топлив под землей. Позднее В. И. Ленин в работе «Одна из великих побед техники» охарактеризовал важное значение этого метода для повышения производительности труда, освоения бедных месторождений угля, снижения стоимости электроэнергии, улучшения условий труда рабочих. Еще несколько десятилетий спустя СССР занял ведущее положение в мире по подземной газификации.

Широкую практику приобрело подземное выщелачивание растворимых в воде солей. В пласт каменном соли по одним скважинам нагнетают воду, а по другим выкачивают рассол.

Методы геотехнологии коснулись и некоторых металлов. Уже в начале нашего века было предложено выщелачивать медь из горных пород, подавая в них выщелачивающий раствор и собирая насыщенный солями меди раствор, прошедший через пласт, в нескольких штреках. Правда, тогда предложение не было, да и не могло быть реализовано: растворы содержали слишком мало меди, чтобы ее можно было рентабельно из них выделять. Но вот в середине 50-х годов появились методы извлечения металлов из разбавленных растворов с помощью ионообменной сорбции - на синтетических смолах, стали внедряться методы жидкостной экстракции, что открыло перед технологами значительно более широкие возможности. Сорбционные и экстракционные процессы позволили резко сократить затраты на очистку и выделение металлов из растворов. Подземное выщелачивание многих металлов и в сочетании с этими методами стало не только дешевым, но превзошло по экономическим показателям обычные способы добычи. Наибольшее распространение оно нашло для урана.

В США первая промышленная установка по подземному выщелачиванию урана была создана в 1963 г. В середине 70-х г. в стране эксплуатировалось таким методом 9 месторождений, а в 1980 г. добывалось уже около одной десятой части всего урана. Оно быстро развивалось и в последние годы. Подземное выщелачивание применяется в Канаде и во Франции. Практически все разновидности подземного выщелачивания реализованы в СССР.

На первый взгляд, подземное выщелачивание — слишком медленный процесс. Современная технология стремится ускорить реакции, при этом, как правило, нельзя обойтись без повышенных температур и давлений, без все более сильных реагентов и более мощных и производительных аппаратов. Оно и понятно: чем выше скорость процесса, тем меньше объем аппаратуры на единицу продукции, а чем меньше объем аппаратов, тем меньше идет на них металла, тем меньше площадь для их размещения и дешевле

сами заводы. Интенсификация процессов — важнейший путь повышения их экономичности.

Но ведь подземное выщелачивание — процесс особый, отличающийся тем, что реакторы здесь вовсе не требуются. Неважно, что толщину горных пород растворы пропитывают очень и очень медленно. Неважно, что для пропитывания (технологи говорят «закис-ления») рудного тела могут потребоваться недели и месяцы. Количество извлекаемых и подаваемых растворов выравнивается, а малая скорость фильтрации равнозначна большому времени контактирования, что позволяет использовать слабые растворы.

В чем же главные достоинства метода? Во-первых, по сравнению с обычными методами сокращается число технологических операций, снижаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Во-вторых, становится возможным эксплуатировать месторождения с бедными рудами. В-третьих, исключается контакт обслуживающего персонала с радиоактивными спутниками урана (торий-230, радий-226) и дочерними продуктами его распада. В-четвертых, значительно уменьшаются количества извлекаемых из недр земли пород, идущих затем в отходы. В-пятых, в 2—3 раза сокращаются сроки ввода в действие установок и предприятий. Наконец, нарушения природного ландшафта сводятся к минимальным. Подземное выщелачивание обычно осуществляют по одному из двух вариантов — шахтному или скважинному. Для шахтного неполную и старые или специально созданные шахты, особые подземные камеры с обрушенной рудой, а для скважинного — штольни и штолки. Плотные скальные породы после добычи обычными способами и дробления могут быть вновь загружены в подземные выработки и подвергнуты подземному выщелачиванию. Обрушение горных пород проводят с помощью взрывов, в том числе с использованием ядерных зарядов мощностью 1 — 2 мегатонны.

При скважинном варианте подземного выщелачивания на площади, занимаемой рудным телом, бурят в определенном порядке скважины, в которые закачивают выщелачивающие растворы серной кислоты или карбонатов, и продукционные, из которых растворы выкачивают. В СССР скважины размещают по

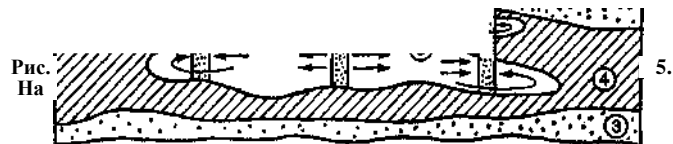


Рис. На
 вертикальном разрезе участка подземного выщелачивания можно увидеть продукционные скважины (1), скважину для подачи раствора (2), водонепроницаемые породы (?), не содержащие металла породы (4) и рудное тело (5)

линии, или ряду: ряд скважин для подачи, ряд продукционных, снова ряд скважин для подачи и так далее. Кроме того, вокруг рудного тела делают множество контрольных скважин, с помощью которых следят, не произошла ли непредвиденная миграция под землей насыщенных ураном растворов за пределы рудного тела. Рудное тело обрабатывают отдельными участками, а отработанные скважины бетонируют и срезают верхнюю часть труб, затем их засыпают землей, которую перед бурением скважин предварительно удаляли.

Скважинный вариант подземного выщелачивания — самый производительный метод добычи и переработки полезных ископаемых. Значительно уступают ему шахтный вариант подземного выщелачивания и открытая разработка месторождений, а замыкает перечень подземная разработка. К сожалению, не для всех месторождений годится подземное выщелачивание, поскольку не все они имеют соответствующие геологические и гидрологические характеристики. Рудное тело должно располагаться на водонепроницаемых породах и в то же время обладать определенной проницаемостью для растворов. Наиболее часто этим требованиям удовлетворяют ураноносные песчаники — до половины таких месторождений доступны для подземного выщелачивания.

Подземное выщелачивание применяют для получения меди, молибдена, оно перспективно для марганца, никеля, золота и серебра. Предполагается, что этот метод позволит повысить извлечение золота на 10—20 %.

Снижение затрат на извлечение металлов, достигаемое при подземном выщелачивании, дает возможность вовлекать в переработку такие месторождения, которые, когда-то считались бедными или бросовыми.

Из шлаков и золы

Каких отходов больше всего? Оказывается, шлаковых и зольных. В стране производится 120 млн т чугуна и при этом выбрасывается 120 млн т доменных шлаков, а только перевозка этих шлаков в отвалы стоит 60 млн руб. Выплавка стали дает еще почти 25 млн т шлаков и требует дополнительных затрат на транспортировку их в отвал. Сжигание угля в масштабах СССР добавляет к этим цифрам 40—45 млн т золы и шлаков, сжигание торфа и сланцев — еще 3 млн т золы. В общей сложности в середине 80-х годов энергетика и металлургия страны «производили» около 300 млн т таких отходов.

В состав шлаков входят несколько десятков химических элементов. Главные их составные части — оксиды кремния, алюминия, кальция и магния. При этом содержание оксида кальция достигает 50 %, а ведь кислородные соединения кальция — основа многих цементов. Поэтому шлаки вполне могут заменять природное сырье для производства цемента. Специалисты нашей страны, в частности, разработали технологию быстротвердеющего шлакопортландцемента.

Из металлургических шлаков получают шлаковую пемзу, которая служит отличным средством теплоизоляции и звукоизоляции. Эту же пемзу можно использовать и как наполнитель в составе бетона.

Ученые-химики создают из отходов и принципиально новые материалы. Пример — семейство шлакоситаллов, стеклокристаллических материалов, разработанных в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева. Шлакосптп.пловые блоки — уже не дефицитный материал в строительстве,

им украшены многие здания и сооружения в различных городах нашей страны. Позднее на основе шлаков стал выпускаться сигра — синтетический гранит, который по изяществу не уступает природным полудрагоценным камням.

Многие страны, например ЧССР, используют для производства строительных материалов большую часть шлаков и золы, а в ГДР металлургические шлаки утилизируются до последней тонны.

Золы энергетических установок — сырье для производства кирпича и бетонных изделий. На базе золы ГРЭС в г. Шахты работают Новочеркасский и Ростовский заводы строительных материалов, Шахтинский кирпичный завод. Значительная часть отходов Московской ТЭС № 16 используется на Московском комбинате строительных материалов № 4 для получения изделий из плотного силикатного бетона. Дубровский завод железобетонных конструкций в Ленинградской области выпускает керамзит, используя золу ГРЭС № 5 Леизнерго. Подобные примеры можно продолжить, хотя для полного использования отходов энергетики в нашей стране еще многое надо сделать.

Более сложна проблема рационального использования отходов фосфогипса, объем которых в СССР составляет около 30 млн т. С одной стороны, для нужд строительства в громадных количествах добываются разнообразны горные породы, включая гипс, с другой — в отвалах, занимающих большие площади, находятся сотни миллионов тонн фосфогипса, борогипса и фторогипса. Стоимость годового «содержания» фосфогипса в отвалах доходит до 7 руб. за тонну, а заводская себестоимость тонны строительного гипса из фосфогипса равна 6—9 руб.

Из фосфогипса можно получать различные продукты. Еще в начале 70-х годов Гомельский химический завод организовал комплексную переработку фосфогипса до цемента и серной кислоты. Разработаны способы получения извести, сульфата калия и сульфата аммония. Если организовать полномасштабное использование фосфогипса, можно отказаться от добычи природного гипса. Добавим также, что новые методы переработки фосфатного сырья на удобрения исключают образование фосфогипса.

Конечно, не все еще проблемы переработки крупномасштабных отходов в полезные продукты удалось разрешить, но можно с уверенностью говорить, что химическая технология сумеет это сделать.

Современная алхимия

В феврале 1983 г. в японское патентное агентства поступила такая заявка на изобретение: «Получение золота и платины с помощью облучения античастицами», а примерно полтора года спустя заявка была опубликована. Ее автор, Иосида Кинго, предложил получать золото из... ртути, облучая ее антипротонами или антинейтронами. Подобным же путем можно получить и платину.

Мистификация? Нет. Реальный способ? Тоже нет. Здесь изложена идея, физически вероятная, но трудно осуществимая на практике. Специалисты по ядерной физике могли бы предложить и другие подобные пути получения золота и драгоценных металлов. Более того, в обычных энергетических ядерных установках при делении урана и трансурановых элементов действительно образуются драгоценные металлы. Проблема их промышленного производства связана с химическими, а не с физическими процессами.

Рассмотрим ее несколько подробнее. При делении урана образуется большое число химических элементов. Если начальная концентрация урана-235 в топливе составляет 3,3 %, то за три года его пребывания в активной зоне образуется 38 таких элементов. Одна тонна отходов облученных твэлов после трехлетнего выдерживания содержит 4,2 кг неодима, 3,6 кг молибдена, 1,3 кг лантана, 1,5 кг палладия, рутений и родий. Общая стоимость трех последних металлов в тонне отходов составляет довольно солидную величину — около 20 тыс. долл. Американцы подсчитали, что во всех радиоактивных отходах — а эти отходы хранятся с момента появления радиохимических производств и будут храниться до полного распада радионуклидов — скопилось платиновых металлов не менее чем на 180 млн долл. Вот почему в США и ФРГ начались работы по извлечению этих металлов из отходов.

Задача для химиков оказалась непростой, но уже в 1977 г. был запатентован способ выделения палладия методом жидкостной экстракции. Позднее для извлечения из отходов опробовали расплавленный свинец. Изучается поведение платиновых металлов при фторировании отходов. Сейчас еще преждевременно говорить о технологическом решении этой задачи, но нет сомнения, что даже если все природные источники платиновых металлов будут исчерпаны, физики и химики найдут способы обеспечить потребность в этих металлах.

Глава 4 ХИМИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

НЕСКОЛЬКО ВВОДНЫХ СЛОВ

Проблемы взаимодействия природы и человека в условиях ускоренного научно-технического прогресса в последние годы привлекают всеобщее внимание. И это закономерно. Стремительный рост населения Земли, удовлетворение его возрастающих потребностей требуют интенсификации промышленности и сельского хозяйства, что все в большей степени нарушает природное равновесие.

Охрана окружающей среды — термин довольно условный. Буквальный его смысл предполагает сохранение существующего состояния, его резервацию. Однако отказаться от производительной деятельности невозможно, это вызвало бы резкое, а возможно, и катастрофическое ухудшение жизненных условий подавляющего большинства населения земного шара. Замораживание промышленного прогресса усилит остроту глобальных проблем, а не ускорит их решение.

Но и неконтролируемое промышленное развитие равным образом чревато самыми серьезными последствиями. В этих условиях необходимо своеобразие слияние процессов преобразования природы и ее охраны. Рациональное природопользование — вот к чему необходимо стремиться. И те, кто полагает, что это абсолютно невозможно, глубоко не правы.

i

Дело в том, что научно-технический прогресс не только усложняет взаимоотношения природы и человека, но и открывает широкие возможности для решения возникающих проблем. Важнейшая роль принадлежит здесь химии и химической технологии, так как любое антропогенное (т. е. вызванное человеком) загрязнение — это загрязнение веществом, и в отличие от медиков, биологов и других специалистов, которые могут обнаружить последствия загрязнений, выявить проблему, химики могут предложить и реализовать пути ее решения.

ПРОБЛЕМЫ АТМОСФЕРЫ Не

только среда обитания

Наибольшее беспокойство вызывает влияние деятельности человека на химический состав и физическое состояние атмосферы. Из-за интенсивного перемешивания воздушных масс локальные изменения быстро распространяются на большие расстояния, и поскольку люди дышат этим воздухом, контроль за состоянием атмосферы особенно важен и необходим[^]

Человечество обитает на дне Великого воздушного океана, который окружает земной шар оболочкой толщиной не меньше тысячи километров — почти в четверть земного радиуса. Масса этой оболочки округленно составляет $5 \cdot 10^{15}$ (пять квадрилионов) тонн. Хотя это эквивалентно менее чем одной миллионной доле массы Земли, без атмосферы жизнь на планете была бы невозможна. «Нужен, как воздух», — выразительнейшая формула высшей необходимости. Вдыхая каждую минуту от 5 до 100 л воздуха, человек в сутки требует его 12—15 кг, а это значительно превосходит среднесуточную потребность в пище и воде.

Атмосфера — легкая, почти невесомая по сравнению с Землей оболочка — является, кроме того, надежной броней, оберегающей человека от угрожающих ему из Космоса многочисленных опасностей. Она не пропускает метеориты, которых только над Москвой ежедневно сгорает около двухсот, защищает от перегрева, отмеряя солнечной энергии почти столько, сколько необходимо. Без нее перепад суточных

температур составил бы ~ 200 К, неприемлемую для выживания всех земных форм жизни величину. Помимо этого на верхнюю границу атмосферы ежесекундно обрушивается лавина космических излучений с широким диапазоном длин волн и энергий. Если бы им удалось достигнуть земной поверхности, их убийственная сила мгновенно испепелила бы все живущее на Земле.

(Неудивительно поэтому, что любые колебания в химическом составе и физических свойствах атмосферы находятся под пристальным вниманием ученых. Результаты их исследований показывают, что в атмосфере в последние десятилетия происходят серьезные сдвиги.

Первостепенное значение имеют следующие процессы: повышение концентрации диоксида углерода; увеличение количества атмосферных аэрозолей; рост тепловыделения в атмосферу за счет хозяйственной деятельности людей, что приводит к некоторому повышению ее температуры; загрязнение атмосферы оксидами серы и азота, а также веществами, разрушающими озоновый слой.

Шуба из CO_2

Многие газы кажутся нам прозрачными. Ведь область длин волн, доступная человеческому глазу, — лишь малая часть всего диапазона электромагнитных излучений, и газы, прозрачные в видимой части спектра, могут быть непрозрачными в инфракрасной или ультрафиолетовой.

Яркий и наиболее известный пример — атмосферный диоксид углерода, или углекислый газ CO_2 . Он хорошо пропускает большую часть солнечного излучения на Землю, но совершенно непрозрачен для инфракрасного, теплового излучения поверхности Земли. Не давая ему выйти за пределы земной атмосферы, CO_2 действует как стекло или полиэтиленовая пленка в парниках, поэтому это действие называют «парниковым эффектом».

Нельзя считать, что сдерживающая CO_2 атмосфера укутывает Землю плотным одеялом: количество проходящего через нее и рассеиваемого в Космосе тепла все же довольно велико. Ведь концентрация CO_2 в

атмосфере совсем мала и составляет по объему лишь несколько сотых долей процента. Именно поэтому изменение концентрации СОг вызывает изменения и в балансе тепла, перераспределение солнечной энергии* между Землей и Космосом.

Концентрация СОг в земной атмосфере за период существования Земли не оставалась постоянной: в течение 500 млн лет она изменялась в среднем от 0,05 до 0,15—0,20%, превышая в отдельные периоды 0,40%. Существуют и кратковременные сезонные изменения концентрации, но они менее значительны. В 30-е годы нашего столетия была замечена новая тенденция — очень быстрого повышения концентрации СО₂, причем особенно существенные изменения отмечались во второй половине столетия. Что же происходит? Раньше баланс диоксида углерода на Земле целиком определялся естественными причинами: его выделением при окислении и горении органических веществ и поглощением растениями и океаном. С наступлением индустриальной эпохи человек все больше и больше вторгался в эти процессы. Количество СОг, поступающего за счет сжигания ископаемого топлива, возросло от 100 млн т в 1850 г. до 6 млрд т в 1980 г. Ежегодно выбросы увеличиваются на одну двадцатую или двадцать пятую часть.

В атмосфере задерживается примерно половина СО₂, вторая половина поглощается океаном (выпадая на дно в виде карбонатов) и растительностью. В результате увеличения антропогенных выбросов, объем которых стал сопоставимым с объемом естественных, концентрация СОг начала быстро расти: в 1900 г. она составляла 0,0290%, в 1967 г.—0,0318%, в 1978 г.—0,0336%. Эти темпы стали угрожающе высокими: к 2050 г. концентрация может возрасти вдвое по сравнению с 1978 г. Правда, по прогнозам, после 2100 или 2300 г. выбросы в результате сжигания органического топлива станут уменьшаться, но к тому времени концентрация СО₂ будет в 5—10 раз выше наблюдавшейся в середине прошлого века.

Уже сейчас в результате роста объемов выбросов СО₂ средняя температура воздуха повысилась за 100—150 лет на 0,5 К. Удвоение концентрации СО₂ вызовет повышение температуры еще на 2,5—3,5 К. Каковы возможные последствия этого? Специалисты

дают различные ответы на этот вопрос. Так, некоторые советские ученые считают вероятные последствия благоприятными: повысится продуктивность растений, за счет потепления в нынешних холодных зонах расширятся площади посевов. Пока, однако, оснований для оптимизма немного. В частности, тщательное изучение годичных колец у **деревьев не выявило** их более активного роста **в периоды** повышения концентрации CO_2 .

Более реальны прогнозы, **свидетельствующие** об опасности быстрого **нарушения сложившегося в при***роде равновесия. **Антропогенное потепление может** привести к изменению климата, **увеличению количества осадков в одних зонах и уменьшению их в других.** Оно **даже может стать причиной таяния полярных льдов и повышения среднего уровня** Мирового океана.

За последние 250—300 лет уровень Мирового океана повышался в среднем на 1 мм в год. В 20-х годах XX века подъем достиг 1,4—1,5 мм в год, что эквивалентно ежегодному увеличению объема океанской воды на 520—540 км³. В 20-х годах XXI века, как предполагают, скорость повышения может превысить 50 мм в год.

Сильнее всего повышение температуры воздуха скажется на климате Арктики и Субарктики. Уже в начале следующего века здесь может произойти таяние грунтового льда, смещение на север границ вечной мерзлоты, что грозит разрушением многих построек в нынешней зоне мерзлоты. Начнут таять льды и айсберги. Если принятая для расчетов модель окажется справедливой, то для полного исчезновения полярных льдов будет достаточно примерно 75 лет. Это приведет к повышению в 2050—2070 годах уровня Мирового океана на 6 м! Начнется новый «всемирный потоп» — антропогенный.

Правда, нельзя считать упомянутую модель строго доказанной, и вероятность «потопа» пока представляется ничтожно малой. Тем не менее она существует, и процесс накопления CO_2 в атмосфере требует пристального внимания, так как даже незначительное повышение средней температуры планеты повлияет на климат различных зон.

Есть ли возможности предотвратить повышение концентрации СОг в атмосфере? Ученые осторожны в своих рекомендациях по этому вопросу. Видимо, необходимо по возможности снизить масштабы сжигания органического топлива, остановить уменьшение площади лесов — главного природного поглотителя СОг, приостановить процессы, приводящие к снижению концентрации органического вещества (гумуса) в почве. Однако сделать все это быстро, в ближайшие десятилетия будет довольно трудно.

Аэрозольный холодильник

Удивительные свойства приобретают твердые и жидкие вещества при тонком и сверхтонком измельчении. Даже такие вещества, плотность которых во много сотен и тысяч раз больше плотности воздуха, в виде микроскопических и субмикроскопических частиц способны давать устойчивые образования с воздухом. Эти образования называют аэрозолями. К широко известным аэрозолям относятся пыли (так называемые грубодисперсные аэрозоли), дымы (взвешенные в воздухе очень мелкие твердые частицы) и туманы (взвешенные капельки жидкости).

Атмосферные аэрозоли имеют либо естественное, либо обусловленное человеческой деятельностью происхождение. Самым мощным природным источником аэрозолей являются вулканы: в годы интенсивной вулканической деятельности количество аэрозолей увеличивается в десятки раз против среднего. Другие источники — сильные лесные пожары, пыльные бури. Антропогенные атмосферные аэрозоли — это выбрасываемая промышленными предприятиями мельчайшая пыль, а также газы, способные со временем превращаться в твердые или жидкие вещества, например оксиды серы и азота. ТЭЦ выбрасывают в воздух мелкодисперсную золу, содержащую многие вредные вещества, включая радиоактивные изотопы урано-радиевого и ториевого семейств. Общее количество аэрозолей, ежегодно поступающих в атмосферу, исчисляется уже сотнями миллионов тонн.

Аэрозоли путешествуют с воздушными потоками и со временем осаждаются на поверхность Земли и Мирового океана. Они оказывают двойное воздействие

ла экологическое равновесие на планете — изменяя химический состав почвы и влияя на прозрачность атмосферы. Твердые и жидкие частицы аэрозолей снижают способность атмосферы пропускать солнечные лучи, что вызывает уменьшение температуры воздуха у поверхности Земли. Известно, например, что после периодов вулканической активности или извержений крупных вулканов наступают периоды похолодания, длящиеся несколько месяцев. Такое же действие оказывают и антропогенные аэрозоли: их присутствие в атмосфере понижает среднюю температуру примерно на 0,5 К. Аэрозоли, видимо, отчасти компенсируют повышение температуры планеты из-за роста концентрации CO₂ в атмосфере, смягчают парниковый эффект. Однако проблема взаимного влияния аэрозолей и СОг на температуру воздуха требует еще тщательных исследований.

Особую опасность представляют аэрозоли, образующиеся в результате ядерных взрывов на поверхности Земли, а также аэрозоли, которые могут образоваться в результате сильных пожаров, вызванных ядерными взрывами. В 1982 г. была создана математическая модель последствий ядерной войны и выдвинута гипотеза глобального похолодания из-за скопления больших количеств сажи в атмосфере. Впоследствии возник термин «ядерная зима», поскольку похолодание даже после «ограниченной» ядерной войны было бы весьма сильным и привело бы к глобальной катастрофе. Подписание в 1963 г. в Москве Договора о запрещении ядерных испытаний в трех сферах резко уменьшило опасность образования радиоактивных аэрозолей. Поставить ядерную войну вне закона, полностью исключить любую возможность ее возникновения, не допустить ядерную зиму — важнейшая политическая задача нашего времени; ее решение ускорило бы и преодоление экологических проблем.

Под угрозой озоновый слой

Земная атмосфера имеет сложный состав и строение. В ее состав входит, в частности, аллотропная форма кислорода — озон. Содержание этого трехатомного газа невелико: у поверхности Земли концентрация O₃ составляет всего Ю⁻⁶—10⁻⁷%. Но на больших

высотах она увеличивается почти в тысячу раз и на высоте 20—30 км достигает Ю³ %. Его объемное содержание максимально на высоте около 40 км. концентрация и общее содержание озона в атмосфере зависят от географической широты и времени года. Обычно она повышена в полярных и приполярных областях, в северном полушарии максимальна весной и минимальна осенью) 3
 ^ Несмотря на ничтожные количества озона в атмосфере, его роль исключительно велика. Как и многие другие многоатомные газы, он способен поглощать излучение — и жесткие ультрафиолетовые лучи Солнца, почти не пропуская их в нижнюю часть атмосферы и к поверхности Земли, и инфракрасные лучи, ^ £/ / ^ несущие тепловую энергию от поверхности Земли в Космос. Лишь примерно сотая доля губительного ультрафиолета способна пройти сквозь озоновую защиту. Если бы эта доля была больше, это - повлекло бы за собой снижение урожаев, падение производства мяса и молока, уменьшение улова рыбы, активизацию некоторых заболеваний кожи у людей и даже нарушения генетических механизмов наследственности у живых организмов. Одновременно это уменьшилось бы вклад озона в парниковый эффект, создаваемый атмосферой ^

J. СРзон — весьма активное химическое соединение. Он легко вступает в реакции и при незначительных воздействиях разлагается на двухатомную молекулу кислорода и атомный кислород. Молекулярный кислород устойчив в нижних и средних областях атмосферы, атомный — в ее верхних областях. Ни тот, ни другой не обладают свойством поглощать жесткое ультрафиолетовое излучение ГЗ

№ ^ Образование озона происходит, главным образом, в процессах, связанных с* выделением атомного кислорода, например, при разложении пероксидов. Наибольшее значение имеет разложение молекулярного кислорода под действием электрических разрядов, коротковолнового излучения, соударений с быстрыми частицами — электронами, протонами и др. В промышленности его получают с помощью электрических разрядов в озонаторах. Да и в естественных условиях он образуется по такому же механизму во время грозы

Говоря об озоне, отметим и его ядовитые свойства: уже при концентрации Ю⁴ % и атмосферном давлении воздуха подопытные грызуны погибали через четыре часа. В общем, мало озона — плохо, много — тоже плохо. Почему же специалисты многих стран мира с тревогой говорят об озоновом слое Земли? Потому что он, похоже, начинает разрушаться в результате деятельности человека. Если раньше сведения об изменении количества озона в атмосфере появлялись, опро* вергались, а достоверных данных на этот счет было очень мало, то открытия последних лет уже более тревожны. В атмосфере над Антарктидой, как оказалось, концентрация озона периодически становится столь малой, что можно говорить об «озоновой дыре». Более того, существование дыры считается возможным и в Арктике, куда предполагалось направить специальную советскую экспедицию с участием зарубежных ученых для исследования этого явления. «Обвинения» в разрушении озонового слоя уже давно были предъявлены веществам группы фреонов.

Фреоны, или хладоны, — простейшие фторуглероды или галогенфторуглероды — были известны еще в 30-е годы нашего века, однако их промышленное производство и применение началось в 50-е годы и резко увеличивалось год от года. Наиболее популярны фреон-11 (дихлордифторметан СС12F2) и фреон-12 (хлортрифторметан СС1F3). Эти легкокипящие жидкости или газы обладают уникальным набором свойств; они химически инертны, не горючи, взрывобезопасны, не токсичны, не растворяются в воде и растворяются в органических жидкостях. Они, например, не действуют на распространенные конструкционные материалы, не оказывают никакого вредного воздействия на людей, даже если их концентрация в воздухе оставляет 40%. Поэтому-то промышленность буквально «ухватилась» за эти вещества* они стали применяться взамен токсичного и горючего аммиака или теплоносителей из ядовитых органических веществ обычных классов в промышленных и бытовых холодильниках. Именно они циркулируют в каждом домашнем одно- и двухкамерном аппарате, упрощая наш быт и помогая сохранять продукты питания.

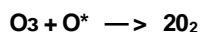
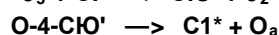
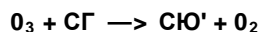
Применение фреонов открыло новые возможности для хранения и дозирования жидкостей: появились многие миллиарды так называемых аэрозольных упаковок. Лекарства, косметические и моющие средства, инсектициды, краски и множество других веществ выпускаются сегодня в удобном для использования виде. И в каждом баллончике рабочим веществом служит сжиженный фреон.

Со временем фреоны стали использовать в системах автоматического пожаротушения (фреон-13В1, СВгF₃), как растворители (фреон-113, C₂Cl₃F₃), расширился их ассортимент. И долгое время невозможно было даже представить, что они могут стать опасными.

Обладая высокой летучестью и попадая в атмосферу, "фреоны разлагаются под действием ультрафиолетового солнечного излучения с образованием нескольких десятков различных соединений и радикалов типа C1\ СЮ", СС1F2. Эти радикалы активно взаимодействуют с озоном

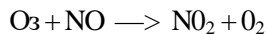


В присутствии атомного кислорода радикалы могут катализировать реакции атомов и радикалов с молекулами озона



..

Взаимодействовать с озоном или катализировать его реакцию с атомами кислорода могут и оксиды азота



Известно уже около 150 химических реакций, определяющих состояние озона в атмосфере, причем далеко не все они изучены. Разумеется, сейчас важно разобраться в этих реакциях до тонкостей. Однако главная мера, на которую уже пошли многие государства,— это прекращение выбросов фреонов в атмосферу, что равнозначно резкому сокращению

применения и производства летучих производных. В качестве хладагентов, например, можно использовать менее летучие фторхлорметаны, а в аэрозольных упаковках — не отказываться же от такого удобного вида товаров — сжиженные газообразные парафины. Эти парафины, скажем, пропан или бутан — горючи, но зато очень дешевы. И, наверное, сегодня важнее сохранить озоновую защиту планеты, заплатив за это даже некоторыми неудобствами при использовании аэрозольных упаковок. J

Кислотные дожди

Многие газообразные вещества, попадающие в атмосферный воздух, взаимодействуя с влагой, образуют кислоты. Наиболее крупный источник таких кислот — диоксид серы, который образуется при эксплуатации энергетических установок, использующих органическое топливо, а также металлургических предприятий. Выделяющийся при сжигании угля, мазута и нефти; при обжиге на воздухе полиметаллических и других сульфидных руд диоксид серы попадает с отходящими газами в атмосферу и в присутствии паров влаги превращается в неустойчивую сернистую кислоту H_2SO_3 или окисляется до серной кислоты H_2SO_4 . Окисление SO_2 — каталитический процесс, протекающий в присутствии следовых количеств оксидов металлов, некоторых органических соединений (возможно, активных частиц — радикалов) или под действием солнечного света. Образовавшаяся серная кислота способна реагировать с пылевидными оксидами металлов и превращать их в сульфаты. Многие из этих процессов протекают только в каплях или пленках и еще недостаточно полно изучены.

Источником диоксида серы в атмосферном воздухе могут быть и естественные процессы — извержения вулканов, разложение так называемых серных вод, биогенное выделение (CH_3S из океанских вод, H_2S и CS_2 — из тропических почв и другие, однако антропогенные выбросы серы уже сравнялись с естественными в южном полушарии и более чем на порядок превысили их в северном полушарии Земли. Вклад природных источников в глобальном масштабе не превышает 40 %,

Еще один источник кислот в дождевой воде — оксиды азота. Их «прародитель» — обычный воздух, содержащий, как известно, в основном азот и кислород; в естественных условиях образование оксидов азота из газов воздуха происходит лишь при грозовых разрядах и в результате деятельности азотфиксирующих и разлагающих белок бактерий. В промышленности оксиды азота образуются на энергетических предприятиях и в автомобильных двигателях: развиваемая при сжигании топлива высокая температура способствует реакции азота с кислородом. Немалый вклад вносит и растущее применение азотных удобрений (нитратов, аммиака и др.), за счет чего увеличивается количество оксидов азота «бактериального» происхождения в атмосфере. Доля природных процессов в образовании оксидов азота оценивается в 50 %.

Общая схема превращений оксидов азота в воздухе такова: выделяемый бактериями N_2O разлагается под действием света до NO ; этот оксид, претерпевая ряд превращений в присутствии кислорода и паров влаги, образует азотистую (HNO_2) и азотную (HNO_3) кислоты, которые, реагируя с оксидами металлов, образуют нитраты. Однако детальный механизм и здесь не до конца понятен.

Определенный вклад в образование кислот в атмосфере вносит хлор и его соединения. Их гидролиз или фотохимическое разложение приводят к появлению хлороводорода HCl и хлороводородной (соляной) кислоты.

Что же происходит со всеми этими кислотами? Диоксид серы и оксиды азота в обычных условиях — газы, а серная и азотная кислоты — жидкости, плотность которых выше плотности воздуха и воды. Мельчайшие капельки кислот диаметром 0,1 — 1,0 мкм в виде тумана довольно устойчивы и не осаждаются, но они могут служить центрами конденсации влаги, сливаться друг с другом и выпадают на землю в виде дождя. Наиболее вероятен такой механизм для H_2SO_4 , которая заметно менее летуча, чем HNO_3 .

Количество кислоты в растворах выражают с помощью показателя кислотности — pH. Чистая вода имеет pH = 7,0, обычная дождевая вода — в среднем 5,6 (некоторую кислотность ей придает присутствующий

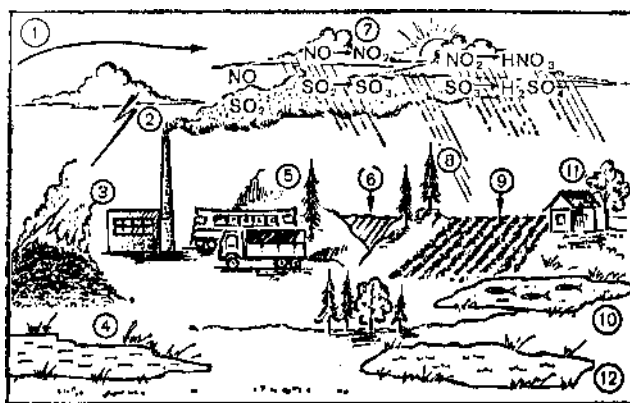


Рис. 6. Схема образования кислотных дождей.

Оксиды азота образуются при грозе (2), лесных пожарах (5), разложении органических веществ (4, 6, 9), сжигании топлива (5, 7). Вместе с оксидами серы, выделяющимися при сжигании угля и мазута (7), они относятся воздушными потоками (7), испытывают химические превращения и выпадают с кислотными дождями (8). От этих дождей страдают поля (9), здания и сооружения (11). Подкисленная вода попадает в пруды и озёра (10), вызывая гибель живых организмов в непроточных водоемах (12).

в воздухе CO_2), а вода кислотных дождей — меньше 5,0. В некоторых районах Швеции, Норвегии и США кислотность дождевых вод составляет 4,2—4,5, а концентрация кислот в них превышает нормальную для дождей в десятки раз. Некоторые дождевые воды содержат еще больше кислоты. В 1974 г. в Шотландии во время грозы pH дождевой воды составлял 2,4, т. е. в тысячи раз больше нормы. Для сравнения укажем, что такой же pH имеет 6%-я уксусная кислота (столовый уксус).

Кислотные дожди вызывают тяжкие последствия. Уже при pH менее 5,5 пресноводные рыбы чувствуют себя угнетенно, медленнее растут и размножаются, а при pH ниже 4,5 вообще не размножаются. Дальнейшее уменьшение pH приводит к гибели рыб, затем земноводных, а в конце концов — насекомых и растений: организмы не приспособлены к жизни в кислотах. К счастью, всеобщая гибель предотвращается почвой, которая не только фильтрует через себя дождевую воду, но и химически очищает ее, обменивая содержащиеся в воде катионы (в том числе и H^+) на катионы натрия и калия. Очищающие свойства почвы

были известны с древних времен. Тит Лукреций Кар считал, что даже морскую воду можно опреснить, пропуская через почву, «ибо, при грубости их, ее горечи мерзкой начала, не уходя в глубину, на поверхности держатся почвы». Таков же и механизм естественной очистки речных и других проточных вод. И лишь при скапливании подкисленной дождевой воды в непроточных водоемах — озерах и прудах, особенно расположенных на кислых грунтах (ведь и сами минералы могут быть более кислыми или более щелочными), очистка происходит крайне медленно или вовсе не происходит. Все живое тогда погибает.

Такое явление получило печальную известность, и теперь даже ведется статистика, сколько озер ежегодно становится мертвыми из-за кислотных дождей. В горах Андроиак (штат Нью-Йорк, США) более половины из 214 озер уже не имеют рыбы.

Кислотные дожди воздействуют и на почву, вызывая закисление, поскольку ее способность обменивать катионы (т. е. обменная емкость) не беспредельна. Закисление отрицательно влияет на структуру, агрегатное состояние почвы, угнетает почвенную микрофлору и растения, вызывает их гибель. Это вредит лесам, сельскохозяйственным культурам.

От кислотных дождей страдают здания и сооружения, каменные и металлические конструкции и особенно — мраморные и известняковые. Из-за повышенной кислотности городского воздуха в последнее время заметно ускорилось разрушение мраморных сооружений и памятников, выдержавших натиск столетий. Попробуйте капнуть на мрамор или мел столовым уксусом — камни будут разрушаться с шипением.

Особенность кислотных дождей — их отдаленность от места выбросов оксидов серы и азота и привязка к определенным географическим зонам. Это связано с тем, что превращение оксидов серы и азота в кислоты протекает сравнительно медленно, а выбросы заводских труб относятся ветрами. Так, максимальная концентрация H_2SO_4 достигается на расстоянии 250—300 км от места выброса SO_2 . Еще меньше скорость связывания кислоты пылевидными оксидами металлов: максимальная концентрация сульфатов отмечается на удалении в 500—1000 км от места выброса SO_2 . Реальная картина осложняется из-за

множественности источников, изменения скорости и направления ветров, неодинаковой высоты труб, раз* ной концентрации оксидов и т.д. Однако общая ситуа* ция из года в год повторяется, поскольку и роза ветров, и другие действующие факторы изменяются мало.

В Европе, где значительную часть года господствуют юго-западные ветры, наиболее уязвимы для кислотных дождей территории на севере ее центральной части: Великобритания, ФРГ, ГДР, Швеция* Финляндия и отчасти другие страны, В то же время в йе* ликобриташи и ФРГ осаждаются только от одной десятой до одной третьей части выброшенной трубам ми предприятий серы, а в скандинавских странах, наоборот, в 2—3 раза больше серы, чем ее выбран сывают собственные заводы. Кислотные дожди не признают территориальных границ,

Разумеется, опасность представляют не только дожди: зачисление почвы может происходить при взаимодействии с ней газообразных оксидов серы и азота, а также при осаждении некоторых твердых соединений. В той же Европе есть обширные территории* где среднемесячное количество выпадающей из всех источников серы превышает $0,5 \text{ г/м}^2$. Зоны о повышенным загрязнением за счет атмосферных осадков есть и в СССР, особенно в западной части страны.

От осадков страдают не только обитатели водоемов и растения. Человек реагирует на наличие SO_2 при его концентрации в воздухе около 50 мкг/м^3 , а на сульфаты — при концентрации $6\text{—}10 \text{ мкг/м}^3$.

Как защитить атмосферу!

Борьба с кислотными дождями уже началась. В угольной энергетике принимаются меры для снижения выбросов оксидов, провоцирующих эти дожди* разрабатываются новые, экологически более совершенные способы сжигания. В цветной металлургии улучшается улавливание SO_2 из сбросных газов за счет меньшего его разбавления при переходе к прогрессивным методам плавки, разрабатываются ме< тоды гидрометаллургической переработки сульфидов. Снижение уровня загрязненности атмосферы оксидами серы и азота будет достигнуто и за счет струк-

дгурных изменений в энергетике: ^ снижения доли ТЭЦ и ГРЭС на органическом топливе и повышения доли экологически менее вредных станций. В Европейской части СССР предусмотрено, в частности, значительное увеличение производства электроэнергии на атомных электростанциях, ТЭС на угле мощностью 1 тыс. МВт в год потребляет 2,3 млн т угля, расходует 6,2 млн т кислорода и выбрасывает в атмосферу «140 тыс. т SO₂, 8,4 млн т CO₃ (о нем уже шла гречь), 4,5 тыс. т пыли и аэрозолей. К этому надо «добавить 2920 тыс. т золы и шлаков. Равная по мощности АЭС не расходует кислород, не выбрасывает SO₂ и CO_a, не дает такого громадного количества твердых отходов. Правда, в случае АЭС в атмосферу выделяются радиоактивные газы и аэрозоли, однако их количество ничтожно, к тому же их разбавляют до концентраций, отвечающих соответственно 0,002-й « 0,001-й доле от предельно допустимых.

Комплекс мер, принимаемых в СССР и странах СЭВ., поможет снизить вредные газовые выбросы за текущую пятилетку примерно на одну треть.

СОХРАНИТЬ ГИДРОСФЕРУ

Почему не хватает воды

О состоянии с запасами пресной воды на планете уже говорилось в предыдущих главах. Рассмотрим некоторые тенденции в изменении этих запасов.

Положение с водными ресурсами в последние десятилетия сильно изменилось и продолжает меняться. Постоянно увеличивается потребление воды для нужд промышленности и сельского хозяйства. Сточные воды делают непригодными к употреблению все большие объемы воды. Вырубка лесов, осушение болот, добыча со дна рек строительных материалов приводит к уменьшению речного стока, нарушению веками складывавшегося равновесия, измельчению рек и их заболачиванию. В результате малые реки гибнут, а большие скудеют. За последние десятилетия множество малых рек потеряли Украина, Средняя Азия, Казахстан, многие области в Европейской части РСФСР и на Урале. Маловодность рек в некоторых регионах -г- и „, это „, отмечено в отчете ЦСУ

СССР — явилась одной из причин невыполнения в¹ 1986 г. плана выработки электроэнергии.

Из-за интенсивного водозабора Сырдарья уже почти не доносит свои воды до некогда полноводного Аральского моря, а уровень моря за последние 15 лет понизился на 7—8 м. Резко — с 41 до 28 км³ — сократился сток Кубани и Дона, значительно меньше воды несет Волга в Каспийское море.

Увеличение количества применяемых удобрений и их смыва дождевыми водами вызывает непрерывный рост солености речной воды. Это отмечено даже у таких крупных рек, как Днепр и Волга.

Значительная часть воды, идущей на орошение, в конце концов сбрасывается в реки. Концентрация солей в такой воде значительно выше, чем в чистой речной, и, попадая в реки, она повышает их соленость.

Водоносные слои, питающие источники пресной воды, также сильно загрязнены. По оценке Национальной Академии наук США, около 1 % таких слоев в США требуют крупномасштабных и дорогих, стоимостью в миллиарды долларов, мероприятий по очистке.

Сейчас стало ясно, что и водохранилища, созданные в Европейской части СССР, а также в Сибири за послевоенные годы, отнюдь не способствуют повышению качества воды и улучшению экологической обстановки в прилегающих к ним районах.

При сегодняшних объемах сбрасываемых загрязненных вод и уровне загрязнений обезвреживающая способность водоемов оказалась на грани истощения, а во многих местах — полностью истощенной.

По существу, развитые страны стоят перед необходимостью полного или почти полного отказа от действовавших ранее принципов обезвреживания загрязненных сточных вод и вообще перед необходимостью пересмотра роли воды в жизни народов и государств.

Громадный, порой трудно поддающийся оценкам ущерб водоемам нашей страны принесли безответственность и бесхозяйственность. Чем иначе объяснить, например, судьбу Ладожского озера — нашего второго Байкала, крупнейшего озера Европы? Приозерский целлюлозно-бумажный комбинат в последние годы перед его закрытием сбрасывал в некогда чистейшее озеро по 50 млн м³ ядовитых стоков. Живописный

водоем под Приозерском, близ Ладожского озера, был превращен во временный (так оправдывались проектировщики) отстойник, который сейчас стал мертвым болотом. Нимало не заботились о чистоте озера и десятки других предприятий, расположенных на его берегах. Дело дошло до того, что в 1972 г. уже стало нельзя использовать городской водозабор Приозерска, находящийся в 8 км от города, а в прибрежный поселок Сторожевое питьевую воду начали **привозить в бочках**. В мае 1987 г. ЦК КПСС принял решение перевести Приозерский комбинат на выпуск другой продукции и обязал принять **меры по охране окружающей среды бассейна Ладожского озера**.

Всего несколько лет назад случилась авария на Украине, когда 4,5 млн м³ рассола, сброшенного Стебниковским заводом калийных удобрений, надолго отравили реку Днестр. Выброс и его последствия широко обсуждались в печати. Но этот горький урок не всем пошел впрок, и в 1987 г. несколько сот тысяч кубометров ядовитых промышленных стоков Череповецкого металлургического комбината без всякой очистки были выброшены на Шекснинский плес. Уже очень много лет назад исчезла упомянутая Пушкиным «шекснинска стерлядь золотая», в последние десятилетия резко уменьшились уловы знаменитого белозерского снетка, а после этой аварии многим рыболовецким бригадам Рыбинского моря вообще пришлось покинуть родные места.

Несколько горьких стихотворений написал о таких методах «хозяйствования» советский поэт Василий Федоров:

Меня охпатмпаств гнев.
Утраты восполняя скудно,
Ты истребляешь
Безрассудно
Природы
Всковой посев.

И через строфу в том же стихотворении «Пророчество»:

Земли
Ме вечна благодать.
Когда далекого потомка
Ты пустишь по миру
С котомкой,
Ей будет
Нечего подать.

Главное средство — водооборот

Современный уровень развития техники позволяет выполнять глубокую очистку сточных вод практически любого состава. Конечное содержание отдельных примесей может быть снижено до 10^{-5} — 10^{-6} %, а в случае радиоактивных примесей — и до еще меньшей величины. **Вода исключительно высокой степени чистоты потребляется, например, некоторыми предприятиями электронной промышленности, а уровень очистки воды определяет здесь и общий технический уровень.**

Однако чем выше степень очистки, тем дороже процесс и получаемая вода. Поскольку стоимость свежей воды определяется лишь затратами на сооружение и обслуживание водозаборных станций (сама вода ничего не стоит), при организации повторного использования сточных вод стремятся провести минимально необходимую очистку.

Методов водоочистки известно довольно много. Один из самых простых и дешевых — отстаивание, позволяющее освободиться от взвешенных твердых частиц. Несколько более дорогостоящий, но более эффективный процесс — фильтрация. **Перед отстаиванием и фильтрацией обычно проводят нейтрализацию, а также добавляют реагенты для укрупнения частиц примесей — так называемые коагулянты и флокулянты.** Некоторые примеси удаляют химическим путем, вводя в сточные воды те или иные реагенты, и лишь затем проводят отстаивание.

Для удаления органических примесей их окисляют химически или биохимически. Биохимическая очистка обеспечивает удаление из сточных вод около 90 % загрязняющих органических веществ; она широко применяется на предприятиях нашей страны и за рубежом.

Эффективным методом удаления солей при их небольшом содержании в сточных водах может быть ионообменная сорбция.

Все шире начинают применяться^ мембранные методы, в частности электродиализ и обратный осмос. Эти методы настолько эффективны, что из растворов солей позволяют получать кислоты и щелочи, т. е. проводить процесс, обратный нейтрализации. Доволь-

но крупные промышленные установки электролиза применяются для получения пресной воды из морской. Системы с обратным осмосом, где разделение через полупроницаемые мембраны проходит под действием высокого давления, более просты и экономичны. Например, при обессоливании воды затраты тепловой энергии здесь в 15 раз ниже, чем при выпаривании.

Применение электролиза в процессах водоочистки (в сочетании с ионообменными установками) позволяет снизить расход энергии* на каждый кубический метр очищенной воды в 2 раза, расход нонитов — в 3 раза, уменьшив при этом и затраты некоторых других химикалгов.

Универсальным методом водоочистки является выпарка, или перегонка, в ходе которой можно получить концентрат и сконденсировать чистую воду из паровой фазы. Однако эти методы связаны с большим расходом энергии, и их выгодно применять там, где энергия имеется в достатке и стоит дешево. Например, в южных странах и районах для очистки воды перегонкой можно приспособить солнечные нагреватели.

Таким образом, для водоочистки может быть использован целый набор приемов (мы еще не упоминали очистку вымораживанием, сорбцией на активном угле, соосаждением и некоторые другие методы). Но в построении схем водоочистки есть определенная логика: для больших потоков воды и в начале очистки используют наиболее дешевые методы, хотя они и не позволяют полностью удалять примеси. Для меньших потоков уже частично облагороженных сточных вод прибегают к более дорогостоящим приемам. И лишь сравнительно малые объемы воды очищают с помощью самых энергоемких и дорогих операций.

Главным показателем совершенства водоснабжения в промышленности является кратность использования воды, т. е. отношение общего объема потребляемой предприятием воды к объему свежей воды за одно и то же время. Кратность использования воды промышленностью нашей страны еще весьма невелика. В легкой промышленности она едва превышает единицу, в теплоэнергетике и производстве бумаги — чуть

больше двух, а в пищевой и угольной промышленности — трех. В химической и нефтехимической промышленности, занимающих ведущее положение по обороту воды, кратность использования составляет около 5 и 7.

Как ни трудно предприятиям отказываться от использования практически даровой свежей воды и как ни хлопотно увеличивать кратность использования воды, это — один из основных путей решения экологических проблем на уже действующих производствах.

К сожалению, создание водоочистных сооружений пока идет довольно медленно. Так в химической промышленности за 7 лет — с 1975 по 1982 г. — количество потребляемой в год свежей воды сократилось лишь на 270 млн м³, а мощность водооборотных систем увеличилась только на 12 %. Если сопоставить объем сэкономленной воды с тем, который идет на хозяйственные нужды (а он увеличивается в нашей стране на 6—8 % в год), можно убедиться, что сделано здесь еще очень и очень мало. Уже сейчас надо готовиться к переходу на системы, позволяющие довести кратность использования воды до десятков, а в начале нового века — до сотен.

Два важнейших вопроса, которые пока редко задают на промышленных предприятиях и в научно-исследовательских институтах:

— Нельзя ли обойтись в этом конкретном производстве вообще без воды?

— Нужна ли в этом процессе, на этой операции вода высокого качества?

Четкое определение требований к потребляемой воде, отказ от использования свежей и питьевой воды в производстве — одно из первых условий перехода к ее экономии. Сточные воды одного передела могут вполне заменить свежую воду на другом. Вместо водяного охлаждения на большом числе заводов и фабрик разумнее применять воздушное. Это может дать довольно много, так как в химической промышленности большая часть воды (в США — более двух третей) расходуется именно в системах охлаждения. И еще одна конкретная рекомендация: не смешивать, как это зачастую делается, все сточные воды, имеющие различный состав, ведь их проще, дешевле и эф-

фективнее обезвреживать порознь или объединив в несколько потоков.

Эти и подобные мероприятия, а также применение новых технологий позволили в десятой пятилетке закрыть 90 и реконструировать 75 цехов и производств и сократить объем сбрасываемых вод на 50 млн м³. Еще больше цехов и производств (более 200), действовавших по старинке, было закрыто и реконструировано в одиннадцатой пятилетке. Но достигнутое еще не меняет общей ситуации с расходом воды в промышленности.

Значительно снизить дефицит воды во многих случаях удастся за счет использования природных солоноватых вод после предварительной очистки или даже без нее.

Роль химии в природоохранных мероприятиях сегодня далеко не ограничивается только собственно химической промышленностью: без химических методов и реагентов, без таких веществ, как флокулянты, коагулянты, иониты, активный уголь, невозможна ни водоподготовка в энергетике, ни очистка сточных вод самых различных производств, ни поглощение вредных веществ из отходящих газов. Да и вода, предназначенная для питья, обязательно проходит через стадии обработки различными химикатами.

Как здоровье, Океан!

Если нашу планету когда-нибудь посетят пришельцы, они наверняка будут искать собратьев по разуму в океане: ведь именно водные пространства занимают по площади больше семи десятых поверхности земного шара. Мировой океан непрерывен, и лишь в отдельных местах из него выступают массивы суши.

Для сопоставления можно привести такие цифры: средняя высота суши не достигает 900 м, а средняя глубина океана — в 4 с лишним раза больше. Если бы поверхность Земли была гладкой, то океан полностью покрыл бы ее оболочкой толщиной почти в 2,7 км.

В океанах сосредоточены колоссальные количества самого нужного для жизни вещества — воды, громадные массы солей, десятки тысяч видов животных и

растений. Он хранит огромные запасы минеральных богатств и энергии.⁴

Океан по праву называют кухней погоды. В нем рождаются, например, могучие тропические циклоны. Некоторое время тому назад между учеными различных специальностей шел спор о том, что первично во влиянии на погоду и климат — океан или атмосфера. Ведь их взаимодействие и взаимовлияние столь велики, а протекающие в них процессы настолько сильно зависят друг от друга, что отделить их, выделить ведущие звенья, довольно сложно. Если судить по доле поглощаемой солнечной энергии, то первичны процессы в океане, но если брать в расчет подвижность атмосферы, то предпочтение можно отдать ей. Так или иначе, ясно: самочувствие океана сказывается на состоянии атмосферы, а вместе с атмосферой океан влияет на важнейшие естественные глобальные процессы. Недаром во времена Гомера бог Океан считался прародителем всех богов.

Несмотря на размеры и массу такого колосса, как океан, он все больше и больше начинает чувствовать присутствие на планете Человека, страдать — как от результатов человеческой деятельности, так и бездеятельности.

Люди истребили многие виды животных, с помощью могучих китобойных флотилий почти полностью «очистили» от китов большие акватории. Океан ощущает резкое увеличение концентрации оксидов углерода, серы и азота в атмосфере, хотя пока еще справляется — мы считаем, что справляется, — своими силами с этими оксидами.

Загрязнению Мирового океана способствуют в целом все отрасли человеческой деятельности — нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, сельскохозяйственное производство и пищевая индустрия, городское хозяйство, энергетика, базирующаяся на органическом топливе, морской и речной транспорт. Некоторые отрасли приспособили его под свалку самых вредных отходов, как, например, это делают на предприятиях ядерного топливного цикла в Англии.

Наиболее распространенные сейчас загрязнители — нефть и нефтепродукты. Около 10 млн т — заметная доля мировой добычи нефти — ежегодно оказывается

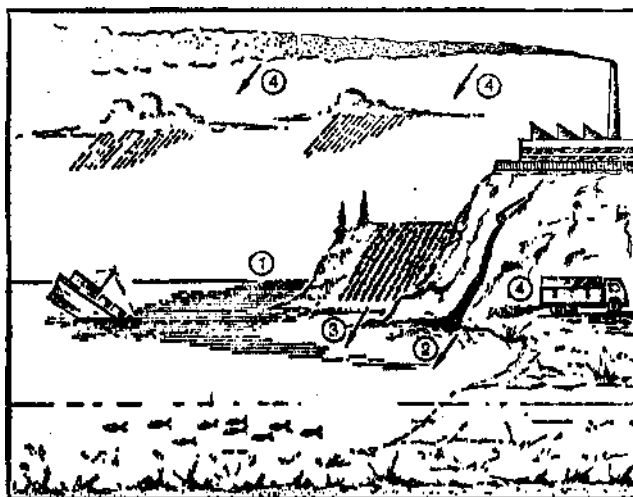


Рис. 7. Как происходит загрязнение Мирового океана: 1—нефть; Я—тяжелые металлы; 2—пестициды с полей; 4—тяжелые металлы на золе уноса ТЭЦ плюс автомобильный транспорт

в океане. Попадая в морскую среду в результате аварий, слива вод за борт, а также со стоками с материков, нефть растекается по поверхности. Часть ее (50—75%) испаряется, а часть (до 5%) растворяется в воде, причем наиболее токсичные ароматические углеводороды растворяются лучше других компонентов.

В нефтяном пятне на поверхности остаются тяжелые фракции нефти с температурой кипения выше 370 °С, которые уплотняются и оседают на дно. Сколько таких осадков накопилось в бухтах многих морских портов!

Океан способен самоочищаться от нефтепродуктов за счет химического и микробиологического их окисления до простых соединений. Ускорению процессов способствует ультрафиолетовый свет: фотохимическое окисление протекает быстрее химического. Однако биохимические процессы идут с еще более высокими скоростями, а жить за счет энергии, выделяемой при окислении углеводов, в морской воде способны более 200 видов бактерий и грибов.

В Мировой океан с промышленными стоками в высочайших концентрациях попадают ядовитые соединения тяжелых металлов — ртути, свинца, цинка, меди, мышьяка и других. Так, около половины годового производства ртути разными путями попадает в океан, причем третья часть из этого количества переносится по воздуху. Воздушным путем ежегодно поступает в океан до 20 тыс. т свинца из двигателей внутреннего сгорания. Металлы удаляются из воды, частично осаждаясь на дно, частично сорбируясь взвешенными в воде твердыми частицами, частично поглощаясь морскими организмами.

Большую тревогу вызывает ежегодное поступление в Мировой океан до 130 тыс. т различных пестицидов, в том числе ДДТ и его аналогов, обладающих способностью накапливаться в живых организмах.

Кроме того, как показали исследования последних лет, многие ароматические углеводороды, входящие в состав нефти, в морской воде превращаются в соединения, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. Некоторые морские растения и животные даже могут синтезировать из производных ароматических углеводородов известный канцероген — бенз[а]пирен, а водоросли и травы вблизи западного побережья Центральной Америки уже содержат до 0,55 мг/г бензпирена.

Некоторые живые организмы обладают способностью поглощать и концентрировать ряд тяжелых металлов, а также радиоактивные элементы; их накопление вызывает патологию различных органов, а использование в пищу может привести к заболеваниям людей. Наблюдались, например, многочисленные случаи болезни Минамата — отравления людей метилртутью.

Экологические последствия загрязнения Мирового океана в наибольшей степени выражены в уменьшении воспроизводства морских организмов. Многие загрязнители плохо растворимы в воде, обладают относительно низкой плотностью и накапливаются на поверхности океана. Так, нефтяная пленка даже при небольшой ее толщине остается на поверхности довольно длительное время и нарушает процессы «дыхания» океана, т. е. обмен веществами с атмосферой,

приводит к отклонениям в естественных процессах поглощения и перераспределения энергии, снижает количество столь важных для жизни света и тепла. В то же время приповерхностный слой воды в океане — наиболее важная для жизни большинства его обитателей зона, где живут многие микроорганизмы, личинки и мальки, где возникают экосистемы, **определяющие нормальное течение жизненных процессов на средних и больших глубинах.** Важное значение в приповерхностном слое имеют свойства морской пены, которая обладает способностью активизировать жизненные процессы.

Проблемы океана вызывают необходимость постоянного контроля за его состоянием и за процессами взаимодействия с атмосферой, а также всестороннего исследования химических процессов, протекающих в глубинах и на поверхности океанских вод. В комплексе океанологических наук появилась еще одна научная дисциплина — химия океана, или химическая океанология. Она изучает солевой обмен океана и континентов, а также обмен диоксида углерода между океаном и атмосферой, приобретающий в настоящее время большое климатологическое значение. В ее компетенции — поведение органических веществ не только в водной массе, но и в донных осадках, **извлечение из морской воды ценного сырья,** исследование условий образования железомарганцевых и других конкреций, поиски гидрохимических индикаторов нефтегазоносности участков морского дна. Большое место занимают исследования механизма и кинетики протекания химических и физико-химических процессов в океане, вызванных антропогенными факторами.

Разрабатываются химические методы борьбы с загрязнением океана, в том числе с разлитой нефтью. Так, несколько способов сбора нефти основаны на том, что по поверхности нефтяного пятна разбрызгивают расплавленный парафин или раствор поливинила в летучем растворителе. При твердении они захватывают нефть; твердую массу собирают механическим способом. Найдено, что полиуретан поглощает в 18 раз больше нефти, чем весит сам. Разбрасывая на поверхности океана куски полиуретана, удается эффективно сорбировать разлитую нефть. Эмульгаторы

ры и диспергирующие вещества испрльзуют для пе«* ревода остатков нефти в эмульсии и для ускорения процесса биохимического разрушения нефти.

СИТУАЦИЯ НА СУШЕ

В отвалах — сырье будущего

В предыдущей ,главе, посвященной сырьевой проблеме, уже говорилось о громадном количестве твердых отходов, накопленных и сейчас накапливаемых многими отраслями промышленности. Это различные шлаки, золы ТЭС, фосфогипс, борогипс, хлорид кальция, производственный и бытовой мусор и многое другое. Для их хранения отчуждаются все большие площади сельскохозяйственных угодий и лесов, а само хранение требует все больших затрат.

Были упомянуты и некоторые пути рационального использования отвалов. Однако в целом проблема твердых отходов еще очень далека от решения, и сотни миллионов тонн таких отходов все еще дожидаются, когда настанет их черед.

Слово «отходы» по отношению ко многим их видам следовало бы заключать в кавычки, поскольку они содержат большое количество ценных компонентов. Каково будущее отходов? В чем состоит стратегия борьбы с ними?

«Пренебрегаемые результаты химических превращений, которые со временем становятся исходной точкой нового производства» — это менделеевское определение отходов ярко показывает исторический характер понятия. Ведь степень извлечения ценных компонентов при переработке минерального сырья никогда не достигает 100 %, она зависит от уровня развития техники и от потребностей общества в тех или иных веществах. На ранних этапах развития промышленного производства — об этом говорилось в предыдущей главе — сырье было более богатым, а степень извлечения ценных компонентов — более низкой, чем сейчас. Поэтому в некоторых отвалах содержание этих компонентов уже сравнялось или превысило их содержание в рудах и концентратах. Кроме того, появились новые методы переработки сырья, позволяющие повысить степень извлечения и резко уменьшить

концентрацию ценных компонентов в отвалах. Некоторые вещества, не имевшие ранее широкого технического применения, приобрели первостепенное значение, появились технические и экономические условия для комплексной переработки, извлечения сразу нескольких элементов или соединений.

Особенно наглядно это проявилось в цветной металлургии, производстве редких металлов и урана. Для урана, к примеру, помимо уже описанного подземного выщелачивания стали применять аналогичный метод, названный кучным выщелачиванием. Твердые отходы укладывают штабелями высотой до 10 м на водонепроницаемое основание (например, на площадку, покрытую толстой полиэтиленовой пленкой), рядом с которым сооружают сборник растворов (бетонированную канаву). Каждый штабель сверху поливают выщелачивающим реагентом — слабым раствором кислоты, который через несколько дней или недель собирают и перерабатывают, извлекая уран. Описана работа по такому принципу заводов в США, Португалии и Аргентине.

Для переработки отходов иногда используют новые химические методы, например бактериальное выщелачивание. Некоторые тионовые бактерии энергию, необходимую для их жизни, получают за счет окисления серы, сульфидов, тиосульфатов до сульфатов или серной кислоты. Если в отходах есть сера или сульфиды, их можно переработать, почти не затрачивая кислоты; достаточно ввести бактерии и создать для микроорганизмов комфортные условия. Бактерии поглощают серу, быстро размножаются при ее достатке, а выделившаяся серная кислота выщелачивает металл из отходов. Пока такие методы применяют лишь в опытно-промышленном порядке, но они обещают быть весьма дешевыми.

В районах интенсивного развития цветной металлургии Советского Союза (Урал, Рудный Алтай и др.) ждут своего часа отвалы старых и действующих заводов, содержащие большие количества ценных веществ — молибдена, кобальта, кадмия, селена, теллура, германия, рения и др.

Несколько слов необходимо сказать и о вторичном сырье. Хотя использование многих химических продуктов неизбежно связано с их рассеянием {азот,

фосфор, калий и микродобавки в удобрениях, те же фреоны и т. д.), для большого числа других веществ, в принципе, возможно организовать сбор из отслуживших приборов, машин, изделий. Идея многократного, циклического использования минеральных ресурсов давно обсуждается и прорабатывается. В первую очередь здесь обращают внимание на металлы.

В СССР уже сейчас из вторичного сырья выплавляется почти каждая третья тонна стали и каждая пятая тонна цветных металлов. В некоторых промышленно развитых странах эти показатели еще выше: из вторичных источников там получают половину железа, десятую часть вольфрама, третью часть алюминия, две пятых никеля и меди, две третьих свинца.

Затраты на получение металлов из вторичного сырья во много раз ниже, чем из руд, а ущерб окружающей среде на единицу продукции уменьшается в десятки и сотни раз.

В заключение раздела необходимо отметить, что понятия «отходы производства» и «вторичное сырье» постепенно должны слиться, а из определения, которое дал Д. И. Менделеев, можно будет исключить слова «пренебрегаемые» и «со временем».

Безотходное производство: мечты и реальность

Последние 10—15 лет — знаменательный период для специалистов практически всех технических дисциплин. Если примерно два десятилетия назад, в конце 60-х годов, термин «экология» был известен в основном биологам, а вопросы охраны окружающей среды при разработке новых процессов, проектировании и работе предприятий заботили совсем немногих технологов и проектировщиков (исключениями являлись сравнительно немногочисленные специфические производства), то к нынешнему времени многое изменилось. В мышлении специалистов, в их подходах к решению профессиональных задач произошли почти революционные изменения, вопросы охраны окружающей среды стали составной частью многих технологий, да и экологическое образование сыграло свою роль.

Не только инженеры и ученые — весь мир поворачивается к вопросам промышленной экологии. Среди тех, кто в первую очередь способствовал этому в нашей стране, надо назвать академика И. В. Петряно-ва-Соколова, умозаключения и страстные призывы которого — такие естественные и знакомые сегодня — далеко не сразу, но завоевали множество сторонников.

Экологические проблемы, экологические лозунги постепенно стали популярными. Очень многое сделано здесь в научном, юридическом и организационном плане. Однако было бы наивно полагать, что понимание проблемы равнозначно ее решению. Промышленность СССР и других развитых стран создавалась десятилетиями, основываясь на старых принципах, которые не учитывали, да и не могли учесть сложившейся сейчас ситуации. Поэтому сегодня главный фронт борьбы за улучшение экологической обстановки проходит пока там, где необходимо уменьшить количество вредных веществ в сливных водах и сбросных газах, снизить объемы самих отходов за счет утилизации содержащихся в них полезных продуктов.

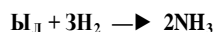
Уже ближайшее будущее требует более кардинальных решений. Теоретической предпосылкой таких решений, их идеальной моделью являются понятия безотходного и малоотходного производства. Сейчас под безотходной технологией понимают такой принцип организации производства, при котором цикл «первичные сырьевые ресурсы—производство—потребление—вторичные сырьевые ресурсы» построен с рациональным использованием всех компонентов сырья, всех видов энергии и без нарушения экологического равновесия. Безотходное производство может быть создано в рамках комбината, отрасли, региона, а в конечном счете — для всего народного хозяйства.

Примером естественного «безотходного производства» являются некоторые природные экосистемы — устойчивые совокупности совместно обитающих организмов и условий их существования, тесно связанных друг с другом. В этих системах осуществляется полный круговорот веществ. Конечно, экосистемы не вечны и развиваются во времени, но они обычно настолько устойчивы, что способны преодолевать даже некоторые изменения внешних условий.

Безотходное производство может мыслиться лишь теоретически, поскольку законы природы не позволяют полностью превращать энергию в работу. Да и потери вещества не могут быть нулевыми. Довести их до нуля, пусть даже ценой огромных затрат, невозможно уже потому, что системы улавливания по*еле какого-то предела сами начнут «производить» новые отходы в большем количестве, чем те, для которых они созданы. Более того, все без исключения промышленные химические реагенты не являются стопроцентно чистыми и содержат то или иное количество примесей. И наивные ссылки на законы со*хранения материи, из которого якобы вытекает воз*можность создания идеально безотходных произ*водств (к таким аргументам иногда прибегаю*!сторонники крайних взглядов)', не изменяют этого положения. Да и экосистемы при нормальном существовании вовлекают в круговорот не все вещества: животные, птицы и рыбы оставляют после своей гибели?скелеты, моллюски — раковины. Но это понятие ста*вит цель: максимально приблизиться к теоретическо*му пределу. А цель, как известно, определяет и средства ее достижения. В данном случае это комплексная переработка сырья, создание водооборотных и газоноборотных систем, разумное кооперирование, сочетание производств в рамках комбинатов и территориально-производственных комплексов. Понятие о безотходном производстве позволяет сформулировать требования к новым технологиям и новым аппаратам.

В определении безотходного производства учитывается стадия потребления, что накладывает ограничения на свойства производимых продуктов потребления, влияет на их качество. Главные требования — надежность, долговечность, возможность возвращения в цикл на переработку или превращения в экологически безвредную форму. Не может не тревожить, например, судьба контейнеров и упаковок из пластмассы, миллионы которых накапливаются в природной среде. Стремясь сделать контейнеры экологически безвредными, ученые специально создали неустойчивые в атмосферном воздухе и почве пластмассы, которые в естественных условиях способны терять форму и быстро разлагаться на безвредные простые вещества.

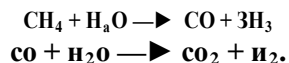
Еще одна сторона действительно безотходной технологии — это внимание к сырью и его источникам. Зачастую при оценке того или иного процесса, различных способов получения одного и того же продукта не учитывают всей сырьевой цепочки. Рассмотрим, например, производство аммиака. Реакция, используемая на большинстве современных аммиачных заводов, довольно проста



и протекает при 450—500 °С и давлении около 30 МПа на катализаторе. Никаких отходов здесь в соответствии с уравнением реакции не должно образовываться. Является ли это производство безотходным? Ответ сегодня должен быть отрицательным, поскольку и при производстве азота, и при получении водорода пока неизбежно образуется большое количество отходов.

Азот выделяют низкотемпературной ректификацией воздуха. Но перед основной операцией воздух должен быть предварительно обеспылен, осушен и очищен от CO_2 . Осушающие реагенты рано или поздно уже невозможно будет регенерировать, и их придется отправить на свалку. Очистка от CO_2 требует применения щелочных растворов, которые также переходят в сточные воды.

Водород чаще всего получают конверсией природного газа, которая в простейшем случае описывается уравнениями



Но и здесь исходные газы надо предварительно очистить от примесей соединений серы, а полученный водород — от остатков CO и больших количеств CO_2 . Ни один из ныне используемых способов очистки не гарантирует полного удаления примесей из газов, но каждый из них связан с затратами химических реагентов, иногда катализаторов и с образованием отходов в той или иной форме.

Сам синтез аммиака — тоже на практике не безотходен. Современные агрегаты синтеза большой мощности имеют воздушное охлаждение. Но даже при их использовании на каждую тонну продукта здесь

потребляется 50—60 м³ воды, часть которой к тому же⁷ требует предварительной очистки.

Подобным образом можно стадию за стадией рассматривать любые производства, убеждаясь, что по-настоящему безотходных производств пока не существует.

Оговорим, что термин «безотходное» в некоторых отраслях промышленности имеет иное содержание, отличающееся от приведенного выше. Так, в химической промышленности к безотходным относят производства, в которых материальные ресурсы используются на 90—98 % (для небольших производств принимаются меньшие цифры). Это очень высокие показатели, и нет сомнения, что если бы все предприятия нашей страны или их большая часть сумели их достигнуть, экологическая обстановка в СИСР стала бы гораздо лучше.

Реальная задача, стоящая сейчас перед промышленностью, сельским хозяйством и транспортом,— свести наносимый природе вред до минимума, что для промышленности означает повсеместно перейти на малоотходные производства. Эти производства часть сырья и материалов переводят в отходы, которые направляются на длительное хранение, а часть сбрасывают в окружающую среду. При этом количество отходов должно находиться на уровне, ниже которого по техническим, экономическим или иным причинам опуститься уже невозможно, а сбросы не должны превышать предельно допустимых норм и оказывать какое-либо вредное воздействие на окружающую среду. Выбор глубины переработки сырья и «коэффициента безотходности» проводится с экономических позиций.

УМЕТЬ ИЗМЕРИТЬ ОПАСНОСТЬ

С того времени, когда медики впервые заговорили об опасности для здоровья, связанной с присутствием свинца в атмосфере, радиоактивного стронция в молоке, а хлоруглеродов в питьевой воде, подход к вопросу охраны окружающей среды существенно изменился. В настоящее время стала очевидной обратная зависимость между предельно допустимой концентрацией вредного вещества и стоимостью ее до-

стижения. Сейчас уже никого не могут удовлетворить общие утверждения о том, что данное соединение может оказывать канцерогенное воздействие. Необходимо научиться количественно сопоставлять опасность использования тех или иных веществ с затратами, вызванными заменой их менее вредными соединениями, а также потерями, которые повлечет за собой отказ от использования этих веществ.

Опасность, связанная с применением того или иного вредного вещества (если только без него нельзя обойтись), может быть сведена техническими приемами практически к нулю. Однако чем ниже достигаемый при этом уровень степени риска, тем дороже это обходится. Поэтому постоянно приходится делать выбор между затратами и реальным риском. Выбрать же оптимальный вариант можно, только располагая надежной информацией, за предоставление которой ответственны ученые. Особая роль тут отводится химикам.

Стремиться к полному, «абсолютному» удалению того или иного вредного вещества из окружающей среды зачастую нет необходимости. Нельзя ставить знак равенства между фактом наличия токсичного вещества и опасностью, как это часто делается. Так, один из постоянных компонентов атмосферы — монооксид углерода **СО** приобретает токсичность при концентрации выше **0,10 %** и оказывает отрицательное влияние на здоровье при длительном воздействии, когда его концентрация превышает 10^{-3} %. Однако не следует делать вывод, что монооксид углерода необходимо полностью удалить из атмосферы. Это было бы нелепо и невозможно, так как мы живем в естественной атмосфере, содержащей этот оксид в количестве примерно 10^{-4} %. Это количество легко поддается определению. Очевидно, что задача состоит в том, чтобы решить, какие именно концентрации необходимо контролировать в интервале от порога токсичности до безопасного предела. В последнее время наивный подход «нулевого риска» постепенно вытесняется более сложным, но более логичным подходом разумного риска, который предусматривает соотношение степени риска, затрат на его снижение и эффективности того или иного технологического процесса, являющегося источником риска. Большое значение

при этом имеет **полный** и **точный анализ воздуха,** воды, почвы, **контроль за состоянием растений и животных.**

Загрязнители могут влиять на состав природных соединений, список которых насчитывает сотни наименований. Многие из выбрасываемых предприятиями веществ, попадая в атмосферу, вызывают изменение концентрации химически активных соединений, которые и отобразить в обычные пробники для анализа невозможно. Для их изучения необходимы специальные методы. Уже созданы приборы, обладающие чувствительностью на больших расстояниях. Так, во время сильного смога в Лос-Анжелесе специалисты измеряли содержание в атмосфере формальдегида и азотной кислоты с помощью особого вида колебательной спектроскопии на расстоянии свыше 1 км. Эти эксперименты показали, что можно определять содержание в воздухе одновременно формальдегида, уксусной кислоты, азотной кислоты и озона в концентрациях порядка 10^{-7} •%. Таких концентраций достаточно, чтобы соединение играло существенную роль в атмосферных реакциях. С помощью сканирующих лазерных приборов, действующих по принципу радара, удалось измерить распределение диоксида серы по направлению ветра вблизи работающей на угле электростанции, при этом содержание диоксида измерялось в количествах 10^{-4} •%.

Особую важность приобретают сейчас исследования, направленные на определение химического состава загрязнителей, так как уже стало известно, что механизмы переноса и токсичность заметно меняются в зависимости от состава.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВСЕОБУЧ

В решении проблем окружающей среды важнейшая роль принадлежит образованию. Уже с самого раннего возраста каждый живущий на Земле человек должен знать, к чему приводит беспечное отношение к окружающей среде. Он должен знать о заболеваниях, вызываемых загрязнениями среды, о генетических отклонениях, о гибели животных и растений, об уменьшении плодородия почв, об исчерпании запасов питьевой воды и других негативных изменениях среды

обитания. И не только знать, но ощущать личную ответственность за ее состояние.

Самые незначительные бытовые «мелочи» — сорванный редкий цветок, спиленное дерево, разбитая на пляже бутылка, слитое в водоем отработанное машинное масло — наносят большой, а часто и непоправимый вред природе. Производственная деятельность человека увеличивает масштабы его влияния на природу в сотни и тысячи раз* И каждый участник производственного процесса обладает определенной: самостоятельностью в выборе линии поведения, от которой зависит, будет ли его влияние на окружающую среду благотворным или пагубным. Именно поэтому в сознании каждого человека должен быть заложен некий набор моральных принципов, не позволяющих наносить вред окружающей среде, стимулирующих стремление к оптимальному взаимодействию с природой.

Чтобы суметь сделать экологически разумный выбор и действовать оперативно в сложной ситуации, избежать нежелательных последствий, нужно обладать определенными знаниями. Поэтому крайне важно, чтобы экологическое воспитание начиналось с младших классов школы и даже в детском саду на доступном для этого возраста уровне, чтобы затем оно тесно переплеталось с общеобразовательной и профессиональной подготовкой. При освоении каждого предмета или специальности обучающиеся должны получать по возможности полное представление о той роли, какую этот предмет или специальность играют в решении конкретных проблем окружающей среды. Такого рода знания являются основой для воспитания активного, сознательного отношения к окружающей среде.

Существует мнение, что проблема экологического воспитания и образования может быть решена введением дополнительной учебной дисциплины. К сожалению, столь простым способом желаемого результата получить нельзя. Эффективное экологическое образование требует радикального пересмотра всей системы обучения. Так, экологическая подготовка химиков и химиков-технологов требует, на наш взгляд, междисциплинарного подхода, изучения химии как составной части естествознания (мы не отрицаем при этом важности узкой специализации — для специалистов)].

Настала необходимость, преподавая химические дисциплины, обратить внимание на то, как ведет себя то или иное вещество не только в колбе или химическом реакторе, но и в атмосфере, океане, почве, какое воздействие оказывает оно само и продукты его превращения на биологические системы (растения и живые организмы). Такой подход дает не только практические знания, но и воспитывает привычку задумываться над этими вопросами, привычку, которая пока еще не вошла глубоко в практику современных химиков.

С 1982 г. в МХТИ им. Д. И. Менделеева начали готовить химиков-экологов. За время обучения студенты получают необходимую теоретическую и практическую подготовку, изучают основы общей и промышленной экологии, химии окружающей среды, биохимии, химической токсикологии, осваивают основы мониторинга окружающей среды, принципы создания экологически обоснованных технологических процессов и производств, математическое моделирование и прогнозирование качества окружающей среды, экономические аспекты природопользования, основы природоохранного законодательства. Важной стороной подготовки химиков-экологов является воспитание активной реакции на проблемы окружающей среды, умения сформулировать свою точку зрения по тому или иному вопросу, убедить в правильности и необходимости предлагаемого решения. Одна из форм воспитания такой активной позиции — участие студентов в дискуссиях по проблемам окружающей среды и встречи в официальной и неофициальной обстановке со специалистами, активно работающими в этой области. Такие встречи обогащают взаимно и приносят в процесс обучения необходимые элементы практического характера.

Особую роль в профессиональной подготовке инженеров-экологов, в их нравственном и гражданском воспитании играет производственная практика на предприятиях регионов с напряженной экологической обстановкой. Студенты-экологи получают на теоретических занятиях очень большую дозу информации, это притупляет эмоциональное восприятие, снижает эффективность экологического воспитания. Во время производственной практики лекционный материал ста-

новится ясным, очевидным, зримым. Так, услышав на лекции, что из 50 млн т апатита, ежегодно добываемого на рудниках Кольского полуострова, 30 млн т — более половины! — уходят в отходы, студенты спокойно записывают эти цифры в тетрадь. Но когда они попадут на практику в Кольский регион, первая цифра обернется для них рудниками полукилометровой глубины, избородившими пространства полуострова, изменившими его ландшафт, климат, флору и фауну. Вторая цифра воплотится в хвостохранилища с высотой стен около 25 м и периметром 14 км, уродующие один из рукавов озера Имандра — жемчужины Заполярья.

Рядом с обогатительной фабрикой, оснащенной современным оборудованием, хвостохранилище производит особенно гнетущее впечатление, поражает нелепостью своего существования: ведь уже разработана технология, позволяющая из этих нефелиновых хвостов получить великолепную «тяжелую» соду, поташ, глинозем, высококачественный цемент. После такой экскурсии студенты совсем иначе слушают лекции по проблемам комплексной переработки природного сырья. Нельзя считать случайностью, что именно те студенты, которые своими глазами увидели «техногенный ландшафт» и другие последствия неконтролируемого вмешательства в природу, первыми пришли в студенческую научно-исследовательскую лабораторию, чтобы участвовать в работах, имеющих прямое отношение к выполнению программы по комплексному освоению недр Кольского полуострова.

Освещение проблем окружающей среды в литературе, средствами массовой информации, в учебных дисциплинах необходимо подкреплять разнообразными общественно-государственными программами, предусматривающими широкое участие всех членов общества в их практическом осуществлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоящие перед человечеством глобальные проблемы сложны, многообразны и взаимосвязанны. Хотя возникновение многих из них нередко связывают с научно-технической революцией, это справедливо только отчасти. Вовсе не прогресс в человеческих

знаниях, технике и технологии породил эти проблемы. Главная причина трудностей, возникших перед населением Земли,— **несовершенство социальной организации жизни населения.**

Резкие контрасты в уровне жизни людей в промышленно развитых странах и в бывших колониях империалистических стран, сотни миллионов голодающих при избытке продуктов питания во многих государствах, десятки миллионов безработных, выброшенных за ворота заводов и фабрик в развитых капиталистических и развивающихся странах, при наличии множества острейших проблем, до которых не доходят руки, необычайная роскошь нескольких сотен или тысяч семей при ужасающей бедности сотен миллионов, невежество и мракобесие, иногда возведенные в ранг закона, на фоне высочайших достижений современной культуры,— все эти явления свойственны сегодняшнему миру.

Возникновение социализма как государственной системы позволило устранить многие **противоречия.** Социализм, построенный на научной основе, — и этого не могут не признавать даже его откровенные **враги,— более справедливая социальная система, которая по своему осмысливает содержание глобальных проблем и предлагает свои пути их решения.** В том, что **глобальные проблемы не обошли стороной и нашу страну, сыграли роль и исторические обстоятельства, и упущения в экономике, и использование в изменившихся условиях устаревших методов руководства, и медленное развитие демократических начал.** Еще одна **причина — постоянная угроза ядерной войны.** Балансирование на грани войны и мира в условиях безудержной гонки вооружений резко уменьшает возможности решения глобальных научно-технических проблем.

Сегодня в мире ежегодно тратится на военные цели более 500 млрд долл. Почти четверть ученых земного шара занята разработкой и совершенствованием средств уничтожения людей или связанными с этим задачами. Сохранение мира на Земле, ограничение, а затем и полное прекращение производства оружия массового уничтожения, создание между странами атмосферы доверия — важнейшие условия преодоления глобальных проблем.

Ученые планеты, инженеры и конструкторы, а среди них многомиллионный отряд химиков самых разных специальностей способны в короткое время найти, создать и реализовать технические решения для смягчения остроты и ликвидации сегодняшних проблем, Для этого нужен прежде всего мир.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Земля и человечество. Глобальные проблемы/Под ред. И. Т. Фролова и др. М.: Мысль, 1985. 428 с.
2. *Каленин, И. В.* Роль химии в решении топливно-энергетической проблемы. М.: Знание, 1986. 32 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия», №7).
3. Материалы будущего: Пер. с нем./Под ред. А. Неймана. Л.: Химия, 1985. 240 с.
4. *Овчинников В. И., Янишевский Ф. В.* Промышленность минеральных удобрений — сельскому хозяйству. М.: Знание, 1985. 48 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия», № 6).
5. *Поллер З.* Химия на пути в третье тысячелетие: Пер. с нем./ М.: Мир, 1982. 401 с.
6. *Раков Э. Г.* В природе и технике. (Запасы, уровень производства и использование химических элементов). М.: Знание, 1984. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия», № 6).
7. *Розанцев Э. Г.* Химия и продовольствие. М.: Знание, 1984. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия», № 5).
8. *Ягодин Г. А., Третьякова Л. Г.* Химическая технология и охрана окружающей среды. М.: Знание, 1984. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия», № 3).