

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия "Наука и технический прогресс"

Основана в 1977 году

А.А. Опаловский

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ ГЛАЗАМИ ХИМИКА

Ответственный редактор
академик

И.В. ТАНАНАЕВ



МОСКВА "НАУКА"
1990

ББК 20.1

060

УДК 523.31.000.54 + 523.31 : 504.054

Рецензент кандидат химических наук
В.Ф. СУХОВЕРХОВ

Опаловский А. А.

060 Планета Земля глазами химика. М.: Наука,
1990. — 224 с. (Наука и технический прогресс).
- ISBN 5-02-001479-6.

Что представляет собой Земля, ее недра, моря и океаны, воздушное пространство и космические дали, мир животных и растений как эколого-химические системы? Если согласиться, что автомобиль и электростанция, дымовая печь и кухонная утварь, цветущая роза и даже сам человек являются ничем иным как химическим реактором, то какой из этого следует сделать вывод? В чем мы "не послушались" природу и чем теперь расплачиваемся? Что такое отходы — ненужные вещи, ценные продукты или бич современного общества и природной среды? Почему, наконец, человеку не обойтись без химических знаний, если он хочет жить в согласии с природой? На эти и многие другие вопросы читатель получит ответ в этой книге.

Книга предназначена для читателей, которым не безразлична природа — источник жизни.

Научно-популярное издание

Опаловский Аркадий Анатольевич

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ ГЛАЗАМИ ХИМИКА

Заведующий редакцией литературы по химии и металлургии В.М. Орлов

Редактор издательства М.Л. Франк

Художник С.А. Резникова

Художественный редактор И.Д. Богачев

Технический редактор Е.В. Лойко

ИБ № 46896

Подписано к печати 12.11.90. Формат 84 X 108 1/32. Бумага — тип №2. Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,76. Усл.кр.отт. 12,18. Учл.-изд.л. 12,5. Тираж 10000 экз. Тил.зак. 496. Цена 75 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука" 117864 ГСП-7, Москва В-485 Профсоюзная ул., 90

4-я типография издательства "Наука". 630077 Новосибирск, 77, Станиславского, 25

Оригинал-макет подготовлен на персональном компьютере в Академии наук СССР

1502020500-431

0 56-90 НП
054(02)-90

ББК 20-1

ISBN 5-02-001479-6

© Издательство "Наука", 1990

Моей маме

Серафиме Владимировне Опаловской
посвящается

Почему "глазами химика"?

Человек, и только он один, — вот весь смысл и все оправдания, его-то и надо спасать.... И, однако, природа по-прежнему рядом. Безумию людскому она противопоставляет невозмутимо спокойные небеса и свою мудрую неприложность.

Альбер Камю. Изгнанничество Елены

Миллиарды лет развивалась и совершенствовалась планета Земля. Физико-химические процессы при этом имели основополагающее значение. В недрах Земли образовались месторождения полезных ископаемых. Сформировались моря и океаны. Безжизненная атмосфера, состоявшая в основном из метана, аммиака и оксидов углерода, превратилась в пригодную для жизни азотно-кислородную смесь. Суша в результате сложных биохимических процессов покрылась плодородным слоем — почвой. На планете восторжествовала жизнь во всем многообразии растительного и животного мира, включая человека. Перечисленные изменения общепланетарного масштаба в большей или меньшей степени связаны с превращениями вещества, а значит, они в первую очередь должны рассматриваться с точки зрения химии. Эти превращения осуществлялись в динамике устанавливавшегося природного равновесия.

Человек же в процессе своей сознательной деятельности издавна влияет на равновесное состояние планеты. Его не всегда безвредное вмешательство в жизнь природы обычно имеет частично или полностью химическое происхождение.

Прежде природа легко преодолевала это вмешательство благодаря своим саморегулирующим и самовосстановительным свойствам и оставалась неизменной в глобальных масштабах.

Однако в последние десятилетия мощного развития промышленного потенциала во многих странах мира веками складывавшееся согласованное взаимодействие всех элементов планеты начинает нарушаться. Всею виною — человек с его образом жизни и производством,

далеко не всегда вписывающимся в естественные природные системы, что с особой силой стало проявляться в эпоху научно-технического прогресса. Вот почему во второй половине XX в. проблемы сохранения природы, охраны окружающей среды стали делом первостепенной важности для всего человечества.

Нет человека, который не был бы заинтересован самым непосредственным образом в их неременном решении как гражданин, обеспокоенный судьбой своей Родины, города, дома, всего человечества, как житель планеты Земля, желающий сохранить ее прекрасной, щедрой и обильной для себя, своих детей, внуков, близких и далеких потомков, добрая память или гневное слово которых о нас, ныне живущих, ему не безразличны.

В современном мире наблюдается ускоренный количественный рост практически всех отраслей производства. Он не одинаков по масштабам и темпам, но, несомненно, характерен для хозяйственной деятельности людей во всех странах. В связи с этим увеличивается антропогенная нагрузка на природу, которая может привести к понижению качества окружающей среды, если не будут предприняты специальные меры для ее защиты.

Важнейшим звеном развития экономики и технологии становится целенаправленная химизация различных отраслей производства. Огромная часть производственных операций — от древнего способа выплавки металла до современного метода получения сверхпроводящих материалов — по сути своей является химическим процессом. "Жизнеспособность" этих методов находится в прямой зависимости от степени их воздействия на окружающую среду, т.е. от степени их экологической опасности. Ясно, что возросший интерес к экологическим проблемам неизбежно усиливает внимание специалистов любого профиля к химии, потому что экологическое и экономическое совершенствование производства очень часто оказывается химической задачей.

Особая роль химии в производственной деятельности человека обусловлена также ее дуализмом. Поясним это на конкретном примере. Благодаря использованию окислительно-восстановительной реакции бурно развивается энергетика и крутятся колеса миллионов автомобилей, реакция полимеризации позволяет получать искусственные материалы, без которых сегодня немислимы нормальное существование и развитие человеческого

общества. Польза подобных реакций очевидна. Отказаться от них мы не можем, так как нет альтернативы всесторонней химизации промышленных процессов как на предприятиях химического профиля, так и на любых других. Однако вред, наносимый природе этими же реакциями, очевиден, но его можно устранить, используя новые технологические процессы и материалы, созданные все той же химией. Пожалуй, ни одна область человеческих знаний не обладает подобным дуализмом. Именно химия, химическая промышленность в наибольшей степени способны защитить природу от все возрастающего антропогенного воздействия химических соединений. Под его влиянием природа способна измениться настолько, что современная жизнь окажется невозможной и сформируется "новая природа", где не будет места человеку, но, вероятно, могут развиваться другие формы жизни.

Эта книга — о химическом аспекте проблем охраны окружающей среды, но она и о человеке, о его будущем, которого может и не быть, если люди всей планеты вовремя не остановятся в своем неистовом стремлении подчинить себе природу любыми способами.

Непомерное восхищение возможностями человека в деле "покорения" природы сменяется сейчас озабоченностью ее состоянием, пониманием необходимости формирования новых взглядов на проблемы взаимодействия с окружающей средой. Люди все больше и больше осознают, что огромная прекрасная планета Земля не так уж и велика, она легко ранима и уязвима. Это наш общий дом, сохранение которого — долг и обязанность всего человечества.

О месте химии в решении этой задачи и идет речь в предлагаемой читателю книге.

Ретроспектива и современность

Настоящее есть следствие прошедшего, а поэтому непрестанно обращай взор свой на зады, чем сбережешь себя от знатных ошибок.

Козьма Прутков. Плоды раздумья

Развитие общества на всех исторических этапах основано на эксплуатации природных богатств, будь то шкура убитого мамонта или энергия расщепленного атома, а значит, и на антропогенном вмешательстве в окружающий нас мир. В последние десятилетия воздействие человека на природу чрезвычайно возросло и нередко оказывается выше ее восстановительных способностей.

От первобытного человека до наших дней

Основой существования человека на заре его формирования была охота на крупных животных. Первобытный человек начал нарушать природные закономерности, определявшие численность популяций и видов животных и растений. Хищническое истребление зверей, нередко превышавшее потребности людей, привело к исчезновению самых доступных для охотников животных, дававших шкуры и мясо. Это, в свою очередь, поставило человека на грань самоуничтожения. Известные случаи резкого сокращения численности населения в ряде районов с благоприятными ландшафтно-климатическими условиями наиболее разумно можно объяснить именно сокращением источников питания. Полагают, что уничтожение древними охотниками крупнейших животных явилось причиной первого экологического кризиса в истории биосферы, вызванного деятельностью людей. От гибели человечество спаслось, освоив скотоводство и земледелие.

Около 10 тыс. лет тому назад люди от добычи продуктов перешли к их производству. Однако противоречия между человеком и природой на этом не закончились. Более того, они стали долговременней и масштабней.

Развитие земледелия и скотоводства сопровождалось активным использованием огня для истребления лесных массивов с целью увеличения площадей полей и пастбищ. Так впервые химическая реакция (горение, т.е. окислительно-восстановительный процесс) находит применение в производственной деятельности людей. Ее продукт — древесная зола — хорошо удобрял почву, что даже при очень неглубокой обработке обеспечивало высокие урожаи; однако при такой системе земледелия быстро убывало плодородие почв. Через год-другой приходилось переносить возделываемые поля на новые места. Наступал черед уничтожения новых лесов.

Если же говорить вообще о начале использования химических реакций для нужд человека, то установить эту дату мы можем лишь приблизительно. Костер первобытного человека — это самый первый пример целенаправленного осуществления окислительно-восстановительной реакции с заданными исходными материалами и температурными режимами. Используя современную терминологию, скажем, что химия первоначально нашла применение в сфере коммунально-бытовых услуг. В этой же сфере обнаруживаются и первые возможные ее конфликты с природой.

Печные газы нанесли заметный вред окружающей среде крупных городов средневековья. Английский король Эдуард IV в 1273 г. специальным эдиктом запретил отапливать дома Лондона каменным углем, так как город задыхался в смраде каменноугольной копоти. Это, говоря современным языком, самый первый в истории человечества закон об охране атмосферы. Более чем через 100 лет (1388 г.) издается эдикт об охране Темзы в черте города. Оба закона касались крупного города, условия жизни в котором уже в те времена были экологически не безопасными.

В "соревнование" по негативному воздействию на окружающую среду вступает и промышленное производство, постепенно, но неуклонно набирающее силу и столь же неуклонно увеличивающее техногенное давление на природу.

Самые ранние конфликты производства с природой связаны с зарождением металлургии. Достаточно высокого уровня она достигла в XVII-XVIII вв. Окислительно-восстановительная реакция выделения железа из оксидов связана с применением углерода, основным источником которого в те времена была только дре-

весина. Мощное развитие черной металлургии привело к уничтожению лесов на больших территориях стран Западной Европы и Америки.

Появление парового котла, двигателя внутреннего сгорания, развитие самых различных отраслей промышленности вызвали к жизни все новые и новые источники загрязнения окружающей среды. Увеличились количества и объемы химических соединений, поступающих в атмосферу, загрязняющих водоемы, проникающих в почву и недра Земли. Если в начале XX в. человечество использовало 12 химических элементов, то в середине этого столетия — около 50, а в наши дни фактически все химические элементы находят большее или меньшее практическое применение и их соединения неизбежно попадают в природную среду, ухудшая ее качество и уровень воспроизводства, а значит, и условия жизни людей.

Еще К. Маркс и Ф. Энгельс указывали на опасность стихийного развития производства, способного превратить окружающий нас мир в пустыню, подчеркивали роль человека как составной части природы в ее улучшении и совершенствовании.

В. И. Ленин также обращался к природоохранным проблемам, показывая важность рационального хозяйствования на Земле и в ее недрах. В работе "Набросок плана научно-технических работ" в качестве главной и неотложной он выдвинул задачу систематического определения правильного размещения промышленности и наиболее рационального использования хозяйственных и сырьевых ресурсов. Ленинские принципы рационального использования природных сырьевых ресурсов, бережного отношения к богатствам Родины являются важным звеном современной природоохранной политики.

В наши дни знаменем времени становятся всенародная заинтересованность и всенародный характер обсуждения проблем охраны природы. Они перестают быть делом узких специалистов и небольшой группы наиболее "беспокойных" писателей. Наивно, однако, было бы думать, что наступило полное согласие между природой и человеком. Огромное количество естественно-научных, общественно-политических и литературно-художественных публикаций убеждает нас в обратном. Сделано немало. Прекращаются строительство и эксплуатация объектов, угрожающих окружающей среде, выводятся за черту городов наиболее опасные предприятия,

внедряются технологии, обеспечивающие оптимальное взаимодействие с природой. И в то же время тысячи предприятий продолжают отравлять воздух, которым мы дышим, загрязнять воду недостаточно очищенными промышленными стоками, хранить отходы в условиях, не гарантирующих полное исключение возможности попадания ядовитых веществ в окружающую среду. Сиюминутный экономический эффект нередко "перетягивает чашу весов", предпочтительной оказывается многоотходная технология, прельщающая относительно низкими затратами, хотя, в принципе, именно она наиболее материалоэкономна, а в конечном итоге и наименее экономична.

В последнее время экологические проблемы обострились во многих районах нашей страны. Об этом шла речь на I Съезде народных депутатов СССР (май-июнь 1989 г.). Развернувшаяся еще в предвыборную кампанию дискуссия о путях повышения качества природной среды продолжилась с трибуны Съезда. Впервые было заявлено, что 104 наших города экологически неблагоприятны, а это означает, что жители этих городов ежедневно подвергают свое здоровье и саму жизнь неоправданному, но неизбежному риску.

Об экологической обстановке, сложившейся в стране и ее отдельных регионах, говорил чуть ли не каждый оратор Съезда, вне зависимости от основной темы его выступления. И это не случайно: практически все наиболее острые проблемы общества так или иначе тесно переплетаются с вопросами сохранения и повышения качества окружающей среды.

Нельзя, однако, не заметить, что в ряде выступлений уровень профессионализма был невысок, а предложения сводились к запретительным мерам, в них не хватало конструктивности. Об опасности и даже вреде такой однобокости очень хорошо еще почти за год до Съезда сказал академик Б. Н. Ласкорин, председатель общественного Комитета по охране окружающей среды Союза научных и инженерных обществ: "Происходит прогрессирующее загрязнение, деградация жизненных качеств биосферы. Поэтому у многих складывается представление, что эти процессы неизбежны. И, на наш взгляд, родилось убеждение, будто для того, чтобы приостановить этот, казалось бы, неумолимый процесс деградации, т. е., по существу, обеспечить выживание человечества, якобы нет другой альтернативы, кроме установления определенных пределов роста... прекра-

щения роста индустриального, сельскохозяйственного производства.

На наш взгляд, это совершенно неправильные и ошибочные концепции... Решить эти вопросы можно не на эмоциональном уровне, к чему прибегает наша общественность в первую очередь, а на рациональной технико-экономической основе, ибо если мы упустим это важнейшее обстоятельство, то наша общественность способна принести не только пользу, но и вред окружающей среде. Мы позакрываем и остановим те производства, которые потенциально помогут решить и даже устранить экологические проблемы современного мира".

Эта длинная цитата приведена с единственной целью: подчеркнуть настоятельную необходимость профессионального подхода к природоохранным проблемам, важность экологического образования для всех и для каждого. Движение "зеленых", охватившее всю нашу страну, становится самой массовой организацией общества. И может быть, самый главный недостаток этого движения на сегодняшний день в том и заключается, что предпочтение отдается именно запретительным мерам, а не научно обоснованному анализу ситуации, сложившейся в конкретном регионе, и установлению мер по преодолению противостояния производства и природы, производительных сил общества и его отдельных членов.

"Мне представляется, что в этой обстановке все-таки решающая роль принадлежит науке, — считает народный депутат СССР, писатель С.П.Залыгин. — Мне кажется, у нас сейчас наступил такой период, когда нам нужен критерий, который позволит установить, что вот этот завод надо строить, никак не можем без него, а этот не надо. Пока таких критериев нет, и без помощи науки мы их никогда не найдем".

Как видим, мнения этих двух профессионально несхожих людей совпадают: необходим научно обоснованный подход к экологическим проблемам при самой широкой их поддержке массовым экологическим движением общественности.

На последующих съездах народных депутатов СССР и союзных республик, сессиях Верховного Совета явно наметилось сближение "эмоциональных" и "конструктивных" сил. Именно это, а также открытость в обсуждении тяжелой экологической обстановки, к которой мы пришли, создание в высшем эшелоне власти — Вер-

ховном Совете СССР — Комитета по вопросам экологии и рациональному использованию природных ресурсов, многомиллионное движение "зеленых", охватившее практически всю страну, позволяет говорить о формировании нового отношения человека к природе, которое, хочется надеяться, может вывести нас из почти тупиковой экологической обстановки, сложившейся в последние годы.

От правильного решения проблем охраны окружающей среды в значительной степени зависят возможности развития, благосостояния и жизнь не только нынешнего, но и будущих поколений. Нужно разумно пользоваться огромными, но не беспредельными восстановительными силами природы. Чрезвычайно мощные техногенные нагрузки, которые создает современный человек в своей практической деятельности, могут оказаться чрезмерными, необратимо разрушающими экологические системы.

Не будем, однако, забывать, что научно-технический прогресс, порождая проблемы охраны окружающей среды, обеспечивает и возможности создания средств ее защиты на базе внедрения новых технических средств и технологий.

Несколько слов о терминологии

А теперь вернемся к началу книги и зададимся вопросом: что такое "о к р у ж а ю щ а я с р е д а"?

Покажется странным, что после многократного употребления автору вдруг захотелось объяснить это понятие. Зачем пояснять общеизвестное, а если так уж и необходимо, то почему это не сделано раньше? Вопрос может быть и справедливым, но не беспорядочным. Кажущаяся простота термина и широкое его применение, причем еще задолго до того, как он приобрел современное звучание, оправдывают возможные сомнения.

Автор полагает, что, лишь оценив взаимодействие человека и природы на разных этапах развития общества и установив степень воздействия человека на окружающую среду начиная еще с тех времен, когда она количественно и качественно принципиально отличалась от современной, можно правильно объяснить термин "ок-

ружающая среда" в общем контексте его исторического развития.

Что термин не так прост, подтверждается таким примером. В документах Стокгольмской конференции ООН по проблемам окружающей человека среды (1972 г.) даже отсутствует само определение понятия "окружающая среда", так как в течение более чем двухлетнего периода, предшествовавшего конференции, страны-участницы, представленные в Подготовительном комитете, не смогли выработать точки зрения, удовлетворяющей все заинтересованные стороны. Правда, причины отсутствия единого мнения скорее общественно-политические, чем естественнонаучные, но они породили разногласия, которую не избежала и наша литература. Рассмотрим основные части окружающей среды и характер их взаимодействия в свете современных представлений.

К окружающей среде относится вся природная среда, унаследованная человеком от предшествующих поколений. Кроме того, она включает среду, созданную человеком (техногенная среда), роль которой различна в зависимости от конкретного исторического этапа и становится тем заметнее, чем выше уровень развития общества, его научно-технический потенциал, степень техногенного воздействия на окружающую среду. Тем не менее во всех случаях природная среда занимает главенствующее положение и ее состояние прежде всего определяет качество окружающей среды.

Окружающая среда — это внешний материальный мир, воздействующий на общество. Оно, в свою очередь, влияет на материальный мир и формирует его, т.е. окружающая среда — это пространство, подвергающееся влиянию общества, которое в нем живет. Это среда обитания человека и сфера его производственной деятельности. Это физическая среда, в которой протекает жизнь.

Окружающую среду — материальный мир во всем его многообразии — должны изучать практически все или почти все науки. Вот почему, строго говоря, совокупность знаний об окружающей среде в современном ее понимании не является особой наукой. Отраслевые проблемы окружающей среды должны оставаться уделом специалистов отдельных отраслей. Однако такая специализация не исключает общего подхода к специ-

фическим проблемам охраны окружающей среды. В то же время нельзя забывать, что окружающая среда как поле деятельности многих наук обогащает их. В этом смысле следует иметь в виду определенную экологизацию всей науки в целом.

Говоря об окружающей среде, следует заметить, что широкое распространение получил также термин "экология" в самых различных сочетаниях с характером деятельности человека. Создатель этого направления в биологии немецкий ученый Эрнст Геккель (1866 г.), давший ему следующее определение: «Под экологией мы подразумеваем общую науку об отношениях организма и окружающей среды, куда мы относим все "условия существования" в широком смысле этого слова». Из этого определения следует, что в сферу исследований экологии должен вовлекаться и человек — высшее творение природы. А если это так, то экология, сохраняя естественнонаучное содержание, включает весь объем гуманитарных дисциплин: экономику, социологию, право и т.д. Геккель и не подозревал, что слово, составленное им (от греч. oikos — дом и logos — наука), казалось бы, для узкого круга биологов, спустя 100 лет станет широко употребляемым термином, а созданный им раздел науки — предметом интереса специалистов практически всех профессий. Экология различна по содержанию для биолога и химика, строителя и геолога, социолога и экономиста, но едины по цели: экологически приемлемое решение своих профессиональных задач, охрана окружающей среды от негативного воздействия собственной производственной деятельности. Именно она и оказывает основное влияние на окружающую среду.

Однако качество окружающей среды существенно зависит также от роста народонаселения и урбанизации общества. Оценим эти факторы в их историческом развитии.

Демография и экология

Как считают демографы, к началу мезолита (около 15 тыс. лет тому назад) на Земле жило несколько миллионов человек, а в седьмом тысячелетии до нашей эры (начало неолита) население планеты не превышало 10 млн человек. Подавляющая часть людей жила в Южной и Восточной Азии, Африке и Южной Европе. Мало что из-

вестно о жителях Америки и Австралии, но очевидно, что население этих материков было весьма незначительным. Темпы роста населения в эпоху неолита не превышали 0,04 %.

Полагают, что в первый год нашей эры на земном шаре жило 200-250 млн человек, т.е. не больше, чем сейчас живет в Советском Союзе, а население нынешней территории нашей страны составляло около 5 млн человек, что почти в 2 раза меньше населения современной Москвы.

Приведенные цифры, конечно, весьма приблизительны, но несомненно, что длительное время население земного шара было невелико, а его прирост осуществлялся крайне медленно и не превышал долей процента.

Однако к 1625 г. народонаселение достигло 500 млн человек, удвоившись по сравнению с началом нашей эры. При существовавшем тогда темпе роста (0,3 %) следовало ожидать ускоренного удвоения населения — где-то лет через 250, но оно наступило раньше: в 1825 г. население планеты достигло 1 млрд человек. Через 150 лет оно увеличилось в 4 раза, а еще через 12 лет мир услышал о рождении пятимиллиардного жителя планеты.

Миллиарды лет существует наша планета. Миллиарды лет формировалась ее природная среда, для которой сотни лет — неувливаемые мгновения. А ведь за какие-то 350 лет население мира выросло на порядок.

Приведенные цифры дают основание утверждать, что на земном шаре произошел "демографический взрыв", продолжающийся и в наши дни. К 2000 г., надо полагать, мы превзойдем шестимиллиардную отметку. Как видим, весь XX век проходит под знаком этого "взрыва", а стабилизация численности населения мира, по прогнозам демографов, ожидается только к концу следующего века, когда на планете будет проживать примерно 12-13 млрд человек.

Представив в общих чертах демографическую обстановку мира и ее экстраполяцию на ближайшие годы, нельзя не указать на то, что общий рост населения в городских районах по крайней мере в 2-3 раза выше, чем в сельской местности.

Следовательно, "демографический взрыв" сопровождается "взрывом урбанистическим". Что такое урбанизация? Это процесс, приводящий к изменению образа жизни и характеризующийся перемещением людей из

сельской местности в городские районы. Следствием этого является уменьшение количества населения в сельских районах ниже нормального, тогда как города заселяются все более плотно, образуя все более и более крупные населенные пункты, агломерации и урбанизированные зоны.

В настоящее время мы переживаем период наиболее быстрой урбанизации. В Соединенных Штатах Америки в 1800 г. в городах проживало 6 % всего населения, в 1850 г. — 15 %, в 1900 г. — 40 %; в настоящее время свыше 70 % жителей США живут в городах. В Советском Союзе, согласно Всесоюзной переписи населения, в 1989 г. проживало 286,7 млн человек, из них 188,8 млн человек (66 %) — в городах. За 10 лет число горожан выросло на 25,2 млн человек, тогда как сельское население уменьшилось на 900 тыс. человек.

Интересно проследить рост городов- "миллионеров" на планете. В 1850 г. их было четыре, в 1900 г. — 16, в 1950 г. — 75, а к 2000 г., как предполагают, в мире будет 275 городов с населением 1 млн человек и более. По данным ООН, общая численность городского населения к 2000 г. в 2 раза превысит население земного шара начала века.

В Советском Союзе в настоящее время имеется 23 города, население которых составляет 1 млн человек и более. Лишь чуть-чуть до "миллионера" не дотягивает Волгоград, недалеко от этой отметки Рига, Красноярск и Саратов, немного подальше — Воронеж и Запорожье. Так что пока книга дойдет до читателя, скорее всего, число 23 успеет устареть.

В городах и промышленных центрах очень высока плотность населения, что, конечно, порождает нарушение экологических систем, причем не только в самих городах, но и далеко за их пределами. Специалисты утверждают, что тенденция к концентрации населения и производства в крупных населенных пунктах сохранится и в будущем. Города как искусственные системы, не гармонирующие с механизмом самовосстановления и самоочищения природы, будут существовать еще длительное время, создавая дополнительные трудности в решении экологических проблем.

Если говорить о жизненном пространстве, то рост народонаселения, ускоренная урбанизация не вносят особенно сложных проблем в этом плане: на Земле еще много места. Сложность проблем, связанных с урбани-

зацией, заключается не в нехватке физического пространства, а в необходимости решения на новом количественном уровне таких глобальных проблем, как обеспечение растущего населения ресурсами и энергией, продуктами питания при сохранении качества окружающей среды. В ближайшие 20-30 лет миру придется столкнуться с весьма значительными затруднениями экологического характера, обусловленными быстрым ростом народонаселения, существенным увеличением его плотности, особенно в пределах ограниченных регионов.

Подчеркнем еще раз: демографическая обстановка, значительная урбанизация всего человеческого общества создают определенные трудности при решении вопросов охраны окружающей среды. Эти факторы должны приниматься во внимание, но не они являются основополагающими. Главное — техногенная нагрузка, обусловленная развитием всех сфер производства. Его всемерная химизация выдвигает на первый план химический аспект проблем охраны окружающей среды. Вот почему именно в таком аспекте важно рассмотреть окружающую среду и ее составные части, в которых живет и работает человек.

Три агрегатных состояния планеты

Итак, все вдумчиво обсудим,
Чтоб не трудиться наугад.
Презрение тем ничтожным людям,
Что необдуманно творят.
Фридрих Шиллер. Песнь о колоколе

Все многообразие природы вмещается всего лишь в три понятия, отвечающие различным агрегатным состояниям вещества. Это атмосфера — газообразная оболочка планеты, гидросфера — жидкая и литосфера — твердая. Выделяют также еще одно, особое состояние материи — живую природу, биосферу. Атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера — о б ъ е к т ы о к р у ж а ю щ е й с р е д ы, которые, в свою очередь, представлены целым рядом элементов со своей характерной спецификой расположения и взаимодействия. В литосфере, например, различают недра и почву,

в гидросфере — воды суши и воды Мирового океана, т.е. совокупность океанов и морей всей планеты, в биосфере — животный и растительный мир.

Рассматривая объекты окружающей среды, следует иметь в виду, что они находятся в постоянном взаимодействии и не имеют четко выраженной границы раздела. Ведь вода присутствует во всех объектах окружающей среды, животный и растительный мир распределяется в определенной части атмосферы, гидросферы и литосферы, а выброшенные вулканом твердые частицы могут годами оставаться в атмосфере.

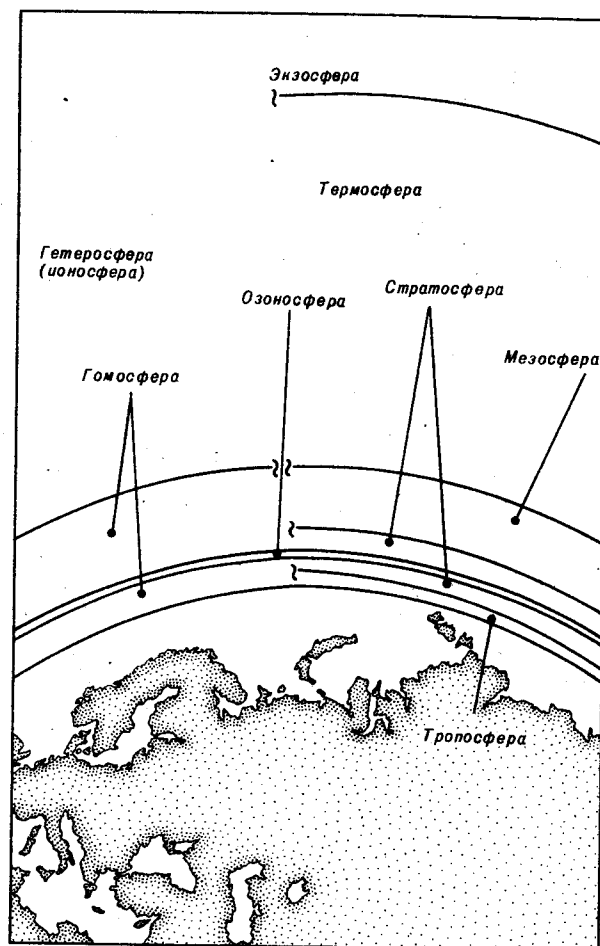
Тем не менее каждый объект окружающей среды имеет свое основное и постоянное "место жительства", выполняя строго определенные природой функции. Итак — о воздухе, воде, земле и существах, на ней живущих.

Атмосфера — скафандр для Земли

Что нужнее человеку — живой мир нашей планеты, земля, недра, вода или воздух? Все! Без них невозможно не только наше развитие, но и сама жизнь. Однако нужно подчеркнуть особое значение атмосферы (от греч. *atmós* — пар и *sphaira* — шар). Она является резервуаром кислорода — необходимого компонента протекающих в организме окислительно-восстановительных реакций и, кроме того, выполняет защитные функции. Космонавт выходит в открытый космос в скафандре, оберегающем его от губительного воздействия космических лучей. В общепланетарном масштабе таким скафандром является атмосфера.

Атмосфера имеет протяженность до 1100 км. На такой высоте еще обнаруживаются следы составляющих ее веществ. В то же время напомним, что действие магнитного и гравитационного поля Земли распространяется на все частицы, находящиеся от нее на расстоянии до 10 земных радиусов (60 тыс. км). Они движутся вместе с Землей вокруг Солнца и поэтому могут считаться принадлежащими атмосфере.

По физическим свойствам отдельных частей атмосферы, характеру изменения температуры устанавливается пять основных ее сфер (рис. 1): тропосфера (0-10 км), стратосфера (10-50 км), мезосфера (50-100 км), термосфера (100-800 км) и экзосфера (800-1100).



Р и с. 1. Строение атмосферы

Пограничный слой между ними называют соответствующими паузами (тропопауза, стратоспауза, мезоспауза). Заметим, что протяженность каждой из сфер дана приблизительно.

Приведенная классификация атмосферы не единственно возможная и целесообразная. Может быть использован иной принцип, основанный на выделении частей

атмосферы, различающихся по химическому составу и состоянию вещества. Примерно до 80-100 км наблюдается постоянное относительное содержание основных химических составляющих атмосферы, тогда как на больших высотах оно меняется с изменением расстояния от поверхности Земли. В соответствии с этим различают гомо- и гетеросферу. В гомосфере выделяют слой — озоносферу, в котором при сохранении постоянства относительного содержания азота, кислорода и аргона фиксируется повышенное по сравнению с любой другой частью атмосферы содержание озона. Наконец, следует иметь в виду, что химические вещества атмосферы под действием излучения подвергаются ионизации, вследствие чего с высоты примерно 80 км обнаруживается большое количество ионов и свободных электронов. С этого расстояния и выше распространяется слой, называемый ионосферой.

Масса атмосферы составляет $5 \cdot 10^{15}$ т, однако основное количество вещества сосредоточено в тропосфере и нижней части стратосферы. Так, в объеме атмосферы протяженностью 1 тыс. км (100-1100 км) вряд ли сконцентрировано по массе больше миллионной доли ее вещества.

Атмосфера представляет собой смесь газообразных продуктов, не вступающих во взаимодействие при обычных природных условиях. Эта смесь, называемая воздухом, содержит в основном азот, кислород и аргон.

Компонент	Содержание в атмосфере		Компонент	Содержание в атмосфере	
	об. %	мас. %		об. %	мас. %
N ₂	78,09	75,50	Kr	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
O ₂	20,95	23,10	H ₂	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Ar	0,932	1,86	N ₂ O	$5 \cdot 10^{-5}$	$707 \cdot 10^{-5}$
CO ₂	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$	O ₃	$2 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Ne	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$			
He	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$			

П р и м е ч а н и е. Химическая энциклопедия. М.; Сов. энциклопедия, 1988. Т. I. С. 399.

Приведенные данные далеко не исчерпывают все возможные газообразные, жидкие и твердые вещества

природного и антропогенного происхождения, составляющие атмосферу. Во-первых, не упомянута вода, содержание которой непостоянно и колеблется в пределах 0,1-2,8 %, во-вторых, не приведен целый ряд реакционноспособных газов постоянно меняющейся и очень низкой концентрации. Последнее, однако, не означает, что их роль в нашей жизни ничтожно мала. Далеко не так. Мы еще вспомним, и не раз, о реакционноспособных газах.

Начнем рассмотрение состава атмосферы с самого жизненно важного ее вещества — кислорода.

Кислород обеспечивает протекание окислительно-восстановительных реакций в живых организмах, а также в технологических процессах. Развитие последних обуславливает повышенный его расход в современный период.

Кислород не всегда входил в состав атмосферы. Он появился одновременно с первыми хлорофилловыми организмами. Известно, что приблизительно 2 млрд лет тому назад в атмосфере уже присутствовал кислород, на что указывает наличие оксидов железа в соответствующих геологических формациях, но только последние 20 млн лет его содержание достигло величин, близких или равных современному.

Существует ли опасность уменьшения содержания кислорода в атмосфере? В общем-то да, но не следует слишком драматизировать обстановку. Практически всем известны примеры огромного потребления кислорода в наши дни: автомобиль, проехав расстояние от Москвы до Ленинграда, расходует объем кислорода, достаточный для обеспечения дыхательных функций человека в течение года; самолет, прилетев в Москву из Владивостока, сжигает 30-40 т кислорода, а при запуске двигателей крупного реактивного лайнера атмосфера теряет столько кислорода, сколько производит его в течение 24 ч лесной массив площадью 15-20 тыс. га. О чем говорят эти примеры? О растущем техногенном расходе кислорода. Однако это еще не значит, что наша атмосфера в глобальном масштабе оказалась обедненной им. Прямые экспериментальные измерения показывают, что по крайней мере в течение последнего столетия количество кислорода в атмосфере не уменьшилось. Расход атмосферного кислорода пока компенсируется его образованием в процессе жизнедеятельности растений суши и Мирового океана. При фотосинтезе они

ежегодно продуцируют около 320 млрд т свободного кислорода.

Конечно, можно и нужно думать о возможном нарушении кислородного баланса в атмосфере, уменьшении его содержания в глобальном масштабе вследствие хозяйственной деятельности общества, тем более что, по прогнозам, ежегодный расход кислорода к 2000 г. достигнет 57 млрд т. Однако не будем преувеличивать угрозу кислородного голода, тем более что есть более близкая и реальная опасность — значительное загрязнение воздуха ядовитыми и токсичными веществами. Грозным предупреждением человеку служат такие цифры: ежегодно в атмосферу планеты поступает 600 млн т химических соединений и до 2 млрд т твердых частиц и аэрозолей.

Не недостаток кислорода, а избыток самых различных веществ составляет самую главную угрозу для атмосферы.

Состояние кислорода неодинаково в разных слоях атмосферы. У поверхности Земли он находится в виде двухатомных молекул. Чем в более разреженных слоях находится кислород, тем в большей степени он подвержен диссоциации на атомы под действием солнечной радиации. Начиная с высоты 40 км, заметно увеличивается содержание атомарного кислорода, а выше 120-150 км молекулы O_2 практически отсутствуют — весь кислород становится атомарным.

Атомарный кислород, взаимодействуя с молекулярным, образует трехатомные молекулы озона O_3 , максимальная концентрация которых достигается на высоте 20-35 км. Создается особый озоновый слой атмосферы, выполняющий важные функции защиты Земли от губительного для всего живого ультрафиолетового излучения. Молекулы озона непрозрачны для проникающей ультрафиолетовой радиации Солнца и практически полностью поглощают ее. Кроме того, озоновый слой задерживает около 20 % инфракрасного теплового излучения Земли, создавая благоприятные условия для ее теплового режима.

Озон составляет всего лишь миллионные доли атмосферы, но роль его трудно переоценить. Озоновый "экран" Земли появился 570-400 млн лет тому назад. С тех пор он надежно защищает жизнь от смертоносного излучения. Природное равновесие обеспечивает постоянное содержание озона в озоновом слое (рис. 2). Однако

Кислород во всех его "ипостасях" действительно самый главный компонент атмосферы, многофункциональный и незаменимый.

Гораздо большую часть атмосферы составляет газообразное вещество, роль которого, пожалуй, существенно скромнее роли кислорода, но и без него наше существование немислимо.

Азот в отличие от кислорода - инертная часть атмосферы. Азот осуществляет сложный круговорот в природе, основанный в первую очередь на его взаимодействии с биосферой, однако большая часть живой природы не способна к прямому использованию свободного азота атмосферы. Предварительно он должен быть связан.

Фиксация азота в химических соединениях осуществляется в природе по различным механизмам, в том числе в результате химического и фотохимического синтеза в атмосфере под действием грозových разрядов и солнечной радиации, а также в почве в результате жизнедеятельности особого вида бактерий, обитающих в бобовых растениях или почве. После гибели живого вещества азот возвращается в атмосферу.

Основная часть цикла "нитрификация - денитрификация" осуществляется в почве. За год по механизму биологического связывания азота образуется 92 млн т его соединений, а разлагается 83 млн т. Разницу в 9 млн т составляет связанный азот, задерживающийся в почвах, водоемах и океане.

Молекулы азота устойчивее молекул кислорода. Их диссоциация начинается на высоте примерно 200 км, а полный распад на атомы, очевидно, осуществляется только выше 300 км. На высоте 50-100 км, кроме того, возможно взаимодействие азота с кислородом. Образующийся оксид азота (II) NO вносит свой вклад в равновесные процессы, происходящие в озоновом слое.

Чтобы закончить рассказ об инертной части атмосферы - несколько слов о самых инертных ее составляющих.

Аргон и другие благородные газы не принимают заметного участия в превращениях как живой, так и неживой природы, или по крайней мере наши сведения об этом чрезвычайно ограничены.

Мы видим, что основная масса атмосферы представлена элементарными веществами - N_2 , O_2 , Ar, однако, кроме них, в воздухе содержатся, правда чаще всего

в существенно меньших количествах, самые различные вещества более сложного состава. Обратимся к ним.

Вода атмосферы тесно связана с развитием жизни на Земле. Не останавливаясь подробно на этом общеизвестном факте, укажем только, что очень существенна также ее роль в формировании климата.

Основная масса водяных паров сконцентрирована в тропосфере, куда ежегодно поступает порядка $6 \cdot 10^8$ млн т влаги.

Не только вода оказывает влияние на климат. Заметна значительная роль другого компонента атмосферы, что кажется на первый взгляд весьма удивительным, так как речь идет о газообразном веществе, содержание которого не превышает сотых долей процента, - это оксид углерода (IV).

Оксид углерода (IV), или углекислый газ CO_2 , как и кислород, участвует в многообразных процессах, идущих в живой природе. Первичная атмосфера Земли состояла из метана, оксидов углерода (II) и (IV), аммиака, оксида серы (IV), сероводорода и других газов. Воздух был лишен свободного кислорода. Он входил в состав воды, минералов и газообразных соединений атмосферы. Земные водоросли начали окислять метан и оксид углерода (II) в углекислый газ, а аммиак - в молекулярный азот. За миллиарды лет растения практически "очистили" атмосферу и превратили ее в азотно-кислородную.

Полагают, что на протяжении последних 600 млн лет содержание углекислого газа в атмосфере неуклонно падало. Однако этот процесс не отличается равномерностью. Установлены периоды, когда концентрация углекислого газа в атмосфере достигала 45 % или снижалась до 0,05 %. Его содержание стало уменьшаться с большой скоростью 50-70 млн лет тому назад и к началу нынешнего века оказалось наименьшим за всю геологическую историю Земли.

Углекислый газ оказывает заметное влияние на климатические условия. Он создает так называемый парниковый эффект, так как молекулы CO_2 хорошо пропускают коротковолновое солнечное излучение, но поглощают в длинноволновой части спектра, т.е. препятствуют рассеянию в космос тепла, излучаемого Землей, и затрудняют таким образом охлаждение земной поверхности. Установлена четкая корреляция между климатом и содержанием углекислого газа в атмосфере:



Р и с. 3. Механизм обмена углекислого газа между объектами и элементами окружающей среды

понижение его концентрации приводит к уменьшению общепланетарной среднегодовой температуры. При полном отсутствии CO_2 вся поверхность Земли покрылась бы льдом, а среднегодовая температура не превышала бы -10°C .

Учитывая тенденцию к снижению концентрации углекислого газа в атмосфере за последние 20–25 млн лет, можно ожидать, что к такому состоянию наша планета подойдет примерно через 1 млн лет, когда концентрация CO_2 приблизится к 0,015 %. Не следует пугаться этих прогнозов. И не только потому, что 1 млн лет — это очень много и за такой срок человечество обязательно придумает что-то, избавляющее его от круглогодичной и очень холодной зимы.

Дело еще в том, что в таких прогнозах содержание углекислого газа в атмосфере оценивают без учета большого количества иных факторов, влияющих на климат. Нельзя также не учитывать и влияние деятельности человеческого общества, а она в наши дни становится реальной силой, способной изменить даже такое глобальное явление природы, как климат.

Углекислый газ поступает в атмосферу из недр Земли в результате вулканической деятельности и вследствие преобразования органического вещества на поверхности. Значительная его часть поглощается Мировым океаном и растительностью. Остаток CO_2 , распределяющийся в атмосфере, зависит от его равновесной концентрации с морской водой и твердым карбонатом кальция океанического дна (рис. 3). Также важно подчеркнуть, что если водяные пары сосредоточены главным образом в нижней части тропосферы, а

основная масса озона — в ограниченном объеме стратосферы, то углекислый газ распределен равномерно в каждом слое до высоты примерно 70 км.

На существующее миллионы лет природное равновесие в современных условиях накладываются процессы, вызванные хозяйственной деятельностью человека. В результате этой деятельности увеличивается количество поступающего в атмосферу углекислого газа, прежде всего за счет сгорания огромного количества органического топлива. Только на этот процесс ежегодно расходуется порядка 10 млрд т кислорода, превращаемого в эквивалентное количество углекислого газа.

Если сравнить вулканическую деятельность современного периода с активностью в начале века, то в общепланетарном масштабе она осталась неизменной. Объем естественно преобразованного органического вещества на поверхности Земли за то же время если и изменился, то только в сторону уменьшения количества образующегося углекислого газа. Таким образом, в результате природных процессов его содержание в атмосфере должно остаться неизменным или даже несколько понизиться.

В действительности же за последние 20 лет концентрация углекислого газа в атмосфере выросла на 15 %. Поэтому антропогенная причина подобного явления вполне очевидна.

Наиболее вероятные прогнозы утверждают, что по крайней мере до середины следующего столетия окислительно-восстановительная реакция горения органического топлива останется основой быстро развивающейся энергетики мира. За это время содержание углекислого газа в атмосфере может возрасти в несколько раз. Как видим, в обозримом будущем ледниковый период нам не грозит. Скорее следует говорить об ожидаемом потеплении. Подсчитано, что до 2000 г. концентрация углекислого газа в атмосфере может увеличиться, как минимум, еще на 17 %, что приведет к изменению среднегодовой температуры на $0,65^\circ\text{C}$. К 2025 г., по предположениям ученых, в атмосфере будет 0,064–0,074 % CO_2 . Это значит, что температура повысится еще на $2-5^\circ\text{C}$.

Предполагаемое потепление, оцениваемое в общежитских представлениях как благо, им, скорее всего, не станет. Климатологи полагают, что наибольшее изменение климата произойдет в Арктике и Субарктике. Исчезнут полярные и высокогорные льды, намного повы-

сится уровень Мирового океана, огромные высокоразвитые и густонаселенные прибрежные территории окажутся под водой, уменьшится количество осадков в степной и лесостепной зоне, а в субтропиках их станет больше на 20 %. Природные условия Западной Сибири приблизятся к условиям Южной Польши, а климат на северо-западе Европейской части Советского Союза в первой половине XXI в. станет очень похожим на климат современной Франции. Все это, конечно, весьма приблизительно, и жизнь может внести свои коррективы. Однако отметим, что нарисованная картина не плод фантастических измышлений, а реальный прогноз ученых, основанный на расчетах, использующих современный математический аппарат и вычислительную технику.

Мы становимся свидетелями возможного изменения климата в результате антропогенного воздействия. К чему приведет потепление? Следует ли пытаться его остановить, а если да, то как? Вопрос не из легких. В самых общих чертах обстановка может свестись к следующему: одни территории, вероятно, окажутся в более благоприятных по сравнению с современными климатическими условиях, другие — в менее благоприятных, но в глобальном масштабе общее потепление планеты, да еще такое существенное — крайне нежелательное явление. Вот почему углекислый газ, традиционно не считавшийся загрязняющим веществом, становится далеко не безвредным техногенным продуктом. Вот почему недалек тот час, когда перед химиками, возможно, встанет задача улавливать и связывать кажущийся ныне безобидным углекислый газ как примесь. А может этот час уже настал? Не случайно Конгресс США вынес на рассмотрение законопроект, направленный на уменьшение глобального теплового эффекта. Среди предполагаемых мероприятий выдвигается международное соглашение о 20 %-ном снижении содержания углекислого газа в атмосфере к 2000 г. Это предложение нашло широкую поддержку американской общественности, особенно из-за сильной засухи в США, которую приписывают парниковому эффекту. Правда, ученые Национального центра по исследованию атмосферы не считают засуху следствием этого эффекта и, отмечая повышение уровня глобальных температур в 80-х годах на $0,5^{\circ}$ по сравнению с концом прошлого века, тем не менее не склонны все объяснять хозяйственной деятельностью людей. Однако те же ученые одобряют инициативы Конгресса. С

ними нельзя не согласиться. В данном случае, как говорится, лучше перестраховаться.

А что у нас? В 1989-1990 гг. зима в Москву, да и на всю европейскую часть страны по-настоящему так и не пришла. С 1983 г. в Москве ежемесячная температура января обычно выше нормы на несколько градусов. Похоже, эта аномалия становится устойчивой тенденцией. Специалисты не скрывают своей тревоги, считая, что парниковый эффект как результат антропогенного воздействия на атмосферу если и не единственная, то одна из основных причин этой аномалии.

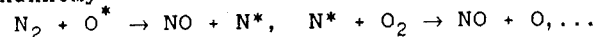
Задав вопрос: "А что у нас?", автор, конечно, понимает всю его условность. В проблеме климатических изменений отсутствуют понятия "у нас" — "у них". Как верно заметил известный американский специалист в области астрономии и космических исследований К. Саган, "...мы живем в парнике планетарного масштаба".

Теперь обратимся к составляющим атмосферы, относительные содержания которых выражаются ничтожно малыми числами с длинным рядом нулей после запятой, а значение определяется чаще всего прилагательными превосходной степени более или менее угрожающего характера, что зависит не только от эмоциональности авторов, но и, увы, от реальной обстановки.

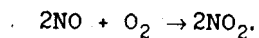
Малые газообразные примеси могут оказать немалое влияние на климатические условия нашей планеты, качество атмосферы. По мнению ученых, если при увеличении содержания углекислого газа в атмосфере в 2 раза среднегодовая температура повышается на несколько градусов, то при удвоении концентрации оксида азота (I), метана или фторхлоруглеводородов изменение этой температуры будет менее значительным, но тем не менее оно сохранит то же направление: увеличится для каждого из названных газов примерно на 1° , т. е. существенно усилит общий парниковый эффект.

Причиной выделения в атмосферу указанных газообразных продуктов могут быть как природные, так и техногенные процессы.

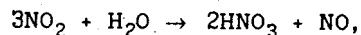
Оксиды азота в основном поставляются биосферой, но 20 % от общего их содержания имеют техногенное происхождение, так как в пламени и прилегающих к нему слоях при высокой температуре атмосферный азот легко окисляется кислородом воздуха по цепному механизму:



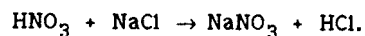
Оксид азота (II) NO превращается в оксид азота (IV) NO₂ в результате сложного фотохимического процесса, который в упрощенном виде сводится к реакции



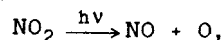
Во влажном воздухе оксид азота (IV) взаимодействует с присутствующим в атмосфере аэрозольным хлоридом натрия, в результате чего образуются нитрат натрия и свободная хлористоводородная кислота. Первая стадия этого процесса - образование азотной кислоты:



вторая стадия - адсорбция ее паров частицами хлорида натрия с выделением хлористого водорода в газовую фазу:



Кроме того, в результате фотолиза оксид азота (IV) может вновь восстановиться до оксида азота (II):



а атомарный кислород примет участие в атмосферных процессах как активный окислитель. Так ведут себя природные и техногенные оксиды азота.

До двух третей метана дает биосфера, причем половина этого количества - следствие производственной деятельности людей. Углеводороды более сложного состава также имеют техногенное происхождение. Основная их масса в природных условиях окисляется по фотохимическому механизму, но не исключена и реакция с атомарным кислородом.

В ряду малых газовых примесей нельзя не упомянуть оксид углерода (II) CO, или угарный газ. В атмосфере он образуется в результате окисления метана ($15 \cdot 10^8$ т/год), а также при сгорании органического топлива в

условиях недостатка кислорода ($46 \cdot 10^7$ т/год). Оксид углерода (II) в отличие от оксида углерода (IV) не взаимодействует с водой, сохраняя при растворении молекулярную форму. Установлено, что угарный газ не поглощается Мировым океаном, а, наоборот, поступает из него в атмосферу ($5,85 \cdot 10^7$ т/год), где выполняет функции восстановителя.

Уже упомянутые фреоны также можно отнести к малым газообразным примесям, находящимся в атмосфере. Они в основной массе имеют антропогенную природу (их естественные источники содержат главным образом четыреххлористый углерод CCl₄). Уникальные свойства фреонов делают их нередко фактически незаменимыми материалами, используемыми весьма эффективно в широком диапазоне практических потребностей: от холодильных установок большегрузных рыболовных траулеров и космических кораблей до лаков для волос и даже искусственных заменителей крови. Однако в связи с опасностью применения фреонов для озонового слоя атмосферы оценка их практической значимости стала более сдержанной, а производство не поощряется. Несмотря на это, по-прежнему выброс фреонов в атмосферу пока увеличивается. До настоящего времени общее повышение концентрации фреонов в атмосфере сохраняется на уровне 5 % в год, что приведет к ее удвоению через 12 лет, если над соображениями сиюминутной выгоды не возобладают перспективный подход, сформулированный в Монреальском протоколе. Только так, пожертвовав некоторой частью "добра", обеспечиваемого применением фреонов, мы можем избавиться от большего "зла", ими же производимого.

Природное равновесие малых газообразных примесей подразумевает естественное протекание химических реакций, приводящих к разложению этих примесей. Для оксидов азота и углеводородов характерны процессы как в атмосфере, так и в Мировом океане. Реакции хлорфторуглеводородов (фреонов) протекают только в газовой фазе на высотах, обеспечивающих их фотохимическую активацию и превращение весьма инертных в обычных условиях газов в вещества высокой реакционной способности.

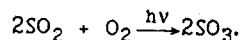
Равновесие малых газообразных примесей в природе может быть нарушено производственной деятельностью общества, так как их выброс в атмосферу неуклонно растет, а относительно низкое содержание подразу-

мевают относительно большую легкость достижения таких концентраций, какие существенно сдвинут природное равновесие в нежелательном направлении. Это тем более верно, что поступление в атмосферу газов, создающих парниковый эффект, не уменьшается: в глобальном масштабе 1989 г. стал "рекордным" и объем выбросов "парниковых" соединений составил 5,8 млрд т.

Еще один класс химических веществ, концентрация которых в атмосфере незначительна, требует специального рассмотрения.

Соединения серы относятся к числу реакционноспособных газов атмосферы и легко вступают в различные химические взаимодействия. К ним прежде всего относятся сероводород H_2S и оксид серы(IV), или сернистый газ SO_2 . Источниками этих соединений являются как природные, так и техногенные объекты. Вследствие высокой реакционной способности эти вещества находятся в атмосфере в неизменном виде всего лишь 2–4 дня.

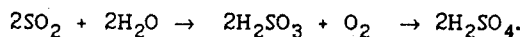
Оксид серы(IV) в результате фотохимического окисления достаточно легко превращается в оксид серы(VI):



Эта реакция проходит в несколько стадий.

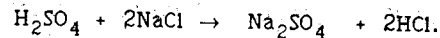
Нельзя исключать из рассмотрения и механизм окисления, основанный на образовании промежуточных соединений с присутствующими в атмосфере загрязнителями, но в любом случае конечным продуктом является оксид серы(VI), реакция которого с водой приводит к получению серной кислоты.

Вполне очевидно, что возможен иной механизм ее образования. Не изменяя степени окисления, оксид серы(IV) может предварительно раствориться в водяных каплях атмосферы, а затем окислиться кислородом, растворенным в воде:



Присутствующий во влажном воздухе аммиак способен нейтрализовать капли серной кислоты с образованием частичек твердого сульфата аммония. Кроме то-

го, конечным продуктом превращения оксида серы(IV) может быть сульфат натрия как результат реакции капель серной кислоты с аэрозольным хлоридом натрия:



Не исключена аналогичная реакция и с карбонатами.

Что касается сероводорода, то в газовой фазе он в отличие от оксида серы(IV) не претерпевает фотохимических превращений и трудно реагирует с кислородом и озоном, но легко окисляется атомарным кислородом.

Из-за высокой реакционной способности соединения серы, образующиеся в результате техногенеза, очень опасны, тем более что в атмосферу их поступает сотни миллионов тонн. На фоне огромной массы всей атмосферы даже это количество не кажется угрожающе высоким, так как в глобальном масштабе оно не превышает десятиллионной доли процента. Однако локальный характер выделения соединений серы может привести к губительным воздействиям не только на атмосферу, но и на литосферу, гидросферу, все элементы биосферы, так как эти соединения очень быстро вымываются атмосферной влагой и выпадают на поверхность Земли в виде кислотных дождей. Они отравляют поля и густонаселенные промышленные центры, превращают в мертвое царство живительные лесные массивы и красивейшие озера.

Главный "виновник" кислотных дождей — оксид серы(IV), но ему в этом активно "помогают" оксиды азота (см. с. 30).

Мы далеко не исчерпали перечень всех газообразных соединений, присутствующих в атмосфере. Ограничимся названными, так как они в первую очередь определяют функции и качество атмосферы. Тем не менее нельзя не упомянуть вещества еще одного типа, существование которых в газообразной оболочке Земли кажется несколько "незаконным", так как речь пойдет о твердых продуктах атмосферы.

Аэрозоли распространены в приземном слое, тропосфере и стратосфере. Они представляют собой частицы вещества, находящиеся во взвешенном состоянии, время жизни которых весьма различно: от нескольких часов до многих лет.

В тропосфере различают три типа распределения частиц: фоновое, океаническое и континентальное.

Под фоновым распределением понимают количество частиц в 1 см^3 чистейшего воздуха, не подверженного влиянию локальных источников аэрозолей, с верхним пределом концентрации 700 частиц/см^3 . В нижней части тропосферы, расположенной над океаном, содержатся частицы океанического происхождения с радиусами $0,5-20 \text{ мкм}$. Над материками, включая районы, подверженные загрязнению, имеет место континентальное распределение частиц, концентрация которых над сельской местностью составляет примерно 10^4 частиц/см^3 , а над большими городами и промышленными центрами она может превысить 10^5 частиц/см^3 .

Частицы могут попасть в атмосферу "в готовом виде", но значительная их часть образуется в результате химических реакций в ней между газообразными, жидкими и твердыми веществами, включая пары воды.

Большое количество аэрозолей образуется в результате естественно протекающих природных процессов, но немалая их доля имеет антропогенное происхождение. Трудно установить достаточно надежно количество частиц, ежегодно попадающих в воздушный океан Земли. Одна из наиболее внушающих доверие оценок для частиц различного химического состава размером менее 20 мкм , образующихся над поверхностью Земли, представлена ниже.

Рассматривая приведенные данные, важно обратить внимание на следующее:

- большой интервал значений для каждой из величин, иногда различающихся в 3 раза и более, показывает наши ограниченные возможности точного определения общего количества твердых частиц, поступающих в атмосферу, но даже самые осторожные оценки близки к 1 млрд т/год , и вполне вероятно увеличение этой цифры в 2-3 раза;

- представление об аэрозолях как о воздухе, загрязненном различными частицами, попавшими с поверхности Земли, если и верно, то только наполовину, так как из всех частиц, составляющих аэрозоль, около 50 % получены в результате химических реакций в атмосфере;

- имеющийся в распоряжении ученых фактический материал не позволяет получить более точную величину, чем 5-45 %, характеризующую соотношение между антропо-

Форма существования частиц	Количество твердого вещества, млн т/год
----------------------------	---

Природные источники

Частицы из почв и пород	100-500 *
Частицы, образующиеся при лесных пожарах и очистке вырубок	3-150 *
Морская соль	300 *
Вулканическая пыль	25-150 *
Сульфаты из H_2S	130-200
Аммонийные соли	80-270
Нитраты из $(\text{NO})_x$	60-430
Углеводороды, выделяемые растениями	75-200

Всего частиц природного происхождения 773-2200

Антропогенные источники

Эмиссия твердых частиц	10-90 *
Сульфаты из SO_2	130-200
Нитраты из $(\text{NO})_x$	30-35
Углеводороды	15-90
Всего частиц антропогенного происхождения	185-415

Всего частиц, поступающих в атмосферу "в готовом виде" (отмечены звездочкой) 438-1190

Всего частиц, образующихся в результате химической реакции (без звездочки)	520-1425
Общее количество частиц, поступающих в атмосферу	958-2615

Примечание. Химия окружающей среды: Пер. с англ./Под ред. Дж. О. М. Бокриса. М.: Химия, 1982. С. 271.

погенной и общей эмиссией аэрозолей, однако наиболее вероятно, что на 15-20 % они являются результатом практической деятельности человека;

- максимальный антропогенный вклад приходится на сульфаты.

Эти данные показывают лишь общую картину. Отметим, что мы не назвали большое количество раз-

личных химических соединений, общее поступление которых в тропосферу несравненно ниже, чем это характерно для типов соединений, представленных выше, хотя локальное загрязнение может быть достаточно большим. Важно также иметь в виду обобщенный характер приведенных данных: твердые частицы — это не только относительно безобидная пыль, но и канцерогенные вещества, токсичные металлы (свинец, ртуть, кадмий и др.), пестициды, а углеводороды включают самые различные органические соединения, химическое превращение которых в природных условиях еще больше расширяет ассортимент "углеводородных" частиц, многие из которых опасны для всей биосферы, включая человека.

Аэрозоли стратосферы не столь многообразны. Они состоят главным образом из сульфатов. Экспериментально установленное соотношение $[\text{NH}_4^+]:[\text{SO}_4]^{2-}$ оказалось равным 1-2, т.е. основным твердым компонентом стратосферы является сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Многообразен мир аэрозолей. Его частицы различаются по распределению, размерам, структуре и химическому составу. Сравнительно крупные частицы относительно легко и быстро покидают "чуждую" им газообразную среду и возвращаются в "родную" твердую стихию — на земную поверхность — ближе к источнику первичного образования. Частицы микронного и субмикронного размеров, в том числе образовавшиеся в результате химических превращений в атмосфере, могут оставаться в ней долгие годы, но значительная их часть, особенно частицы, представляющие собой высококорастворимые соединения, легко вымываются влагой атмосферы. Сказанное в наибольшей степени справедливо для серосодержащих частиц, которые вымываются из атмосферы осадками, выпадающими на Землю в виде печально известных кислотных дождей.

Если же рассматривать глобальное воздействие аэрозолей, то мы вынуждены вновь возобновить разговор о климате. Как и углекислый газ, аэрозоли техногенного происхождения способны изменить климат в общепланетарном масштабе, только их действие диаметрально противоположно действию CO_2 . Твердые частицы рассеивают солнечный свет, отражая лучи по всем направлениям, а значит, существенная их часть не попадает

на поверхность Земли и общий тепловой баланс сдвигается в сторону понижения температуры. Как видим, техногенно мы можем Землю не только нагреть (углекислый газ), но и охладить (аэрозоли). Правда, последнее вызывает меньше опасений, так как объем аэрозолей несоизмерим с объемом углекислого газа: он значительно меньше. Во многих случаях технология очистки представляется вполне разрешимой задачей, а улавливание аэрозольных частиц, нередко содержащих ценные компоненты, обещает не только экологический успех, но и заметную экономическую выгоду, что дополнительно стимулирует очистку воздуха от твердых продуктов. Это вселяет уверенность, что нам не грозит появление общепланетарного аэрозольного "экрана", лишаящего биосферу живительных солнечных лучей.

Мы только приблизились к проблеме воздействия техногенеза на климат. Посмотрели глазами химика, но, может быть, такой взгляд самый верный, так как именно химическое состояние атмосферы в значительной степени определяет климатические условия на Земле.

Группа специалистов Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) Соединенных Штатов Америки составила интересный прогноз на основании построенной ими математической модели. Были учтены все виды техногенного загрязнения атмосферы. Беспристрастный компьютер сообщил, что если промышленные предприятия ничего не предпримут в ближайшее время для ограничения выбросов загрязняющих веществ, средняя температура воздуха на нашей планете за 20 лет возрастет на $0,88^\circ\text{C}$. При резком сокращении газообразных выбросов в атмосферу, что, по мнению ученых, маловероятно, потепление хотя и замедлится, но там не менее сохранится общая тенденция и средняя общепланетарная температура повысится на $0,44^\circ\text{C}$.

Химический техноген опасен не только изменением климата. Можно просто задохнуться от большого количества ядовитых веществ в атмосфере. Источниками этих веществ являются предприятия, расположенные в промышленных центрах, где, естественно, сконцентрировано и население.

Главным отрицательным последствием загрязнения атмосферы является ухудшение здоровья человека, а следовательно, и сокращение продолжительности его жизни. За всю жизнь человек делает около 600 млн вдо-

хов, потребляя при этом примерно 600 тыс. м³ воздуха. Понятно, что даже минимальное его загрязнение может нанести вред, трудно компенсируемый человеческим организмом.

Наиболее опасны для организма человека оксид углерода (II) и оксиды азота, фтористые и хлористые соединения, соединения свинца, фосфора, мышьяка и ртути, 3,4-бензпирен и некоторые другие канцерогенные углеводороды, сероводород и сероуглерод, формальдегид и меркаптаны. От катара верхних дыхательных путей до рака легких - таков "диапазон" воздействия загрязнителей на человека.

Для растений особенно опасны оксиды серы и азота, фторсодержащие соединения. Воздействию загрязнителей подвержены и животные. Химические соединения, попадающие в атмосферу в результате практической деятельности человека, оказывают пагубное действие на всю флору и фауну.

Исследования ученых Пенсильванского университета показали, что современный американец поглощает в 100 раз больше свинца и в 25 раз больше кадмия, чем древний египтянин. Вряд ли такой "режим дыхания" абсолютно безвреден. "Пусть каждый дышит меньше и только в случае абсолютной необходимости", - печально шутит известный американский юморист Арт Бухвальд.

Атмосфера - уникальный объект окружающей среды по своему отношению к биосфере, по характеру распределения и способу использования. Созданная миллиарды лет тому назад, она достигла равновесного состояния и казалась, несмотря на свою наибольшую локальную изменчивость, наиболее стабильной в глобальном масштабе. Наша уверенность в этом сильно поколебалась в последнее время вследствие мощного техногенного воздействия на газообразную оболочку Земли.

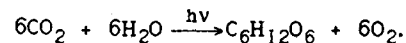
Атмосфера - смесь газообразных веществ: N₂, O₂, Ar, H₂O, CO₂, SO₂, C_nH_{2n+2}, NO_x ... В отличие от нее другой объект окружающей среды - гидросфера описывается простой и единственной формулой - H₂O.

Гидросфера -местилище основного элемента Аристотеля

Аристотель считал воду одним из основных элементов мироздания. Трудно не согласиться с ним.

Земля почти на три четверти покрыта водой. Инопланетянам она показалась бы "жидкой" планетой с небольшими вкраплениями твердого вещества. Объем гидросферы (от греч. hydor - вода, влага) составляет почти 1,5 млрд км³.

Свойства воды общеизвестны, но на некоторых из них нельзя не остановиться. Опасаясь обвинения в банальности, все же начнем с утверждения, что в состав молекулы воды входят атомы кислорода (88,8 %) и водорода (11,2 %). Это важно напомнить хотя бы потому, что растения примерно наполовину состоят из кислорода (42 %) и водорода (6,5 %), источником которых является вода. Осуществляемый ими фотосинтез вещества является окислительно-восстановительным процессом, при котором углекислый газ восстанавливается за счет водорода воды:



Важное значение этой реакции заключается в том, что она является источником кислорода, выделяемого растениями в атмосферу.

Алхимики искали не только философский камень и эликсир жизни, но и универсальный растворитель. Не будем обсуждать проблему синтеза золота и достижения вечной жизни, но достойно удивления, что алхимики не нашли универсального растворителя, потому что по свойствам к нему ближе всего подходит обычная вода.

Со структурой вещества связана величина диэлектрической проницаемости, характеризующая полярность молекулы, т.е. неравномерность распределения в ней электрических зарядов. Вода имеет аномально высокое значение диэлектрической проницаемости, определяющее ее необычайно сильную растворяющую способность. Вследствие этого в природе не существует воды в чистом виде. По существу, мы всегда имеем дело с солевым раствором большей или меньшей концентрации.

Взрослый человек больше чем на половину (61 % - у мужчин и 54 % - у женщин) состоит из воды (у детей ее еще больше, у пожилых людей и стариков - меньше). Вода хорошо растворяет почти все пищевые продукты. Вот почему процесс пищеварения в желудочно-кишечном тракте протекает только в водной среде. Пищевые продукты (белки, углеводы, жиры, минеральные соли)

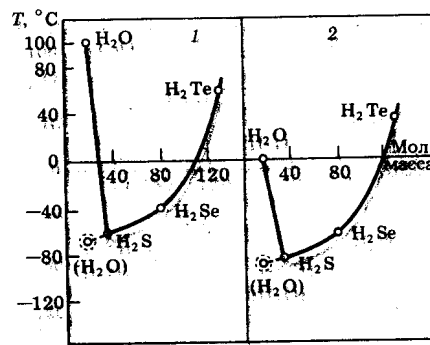
вместе с ней легко просачиваются сквозь стенки желудка в кровь и поступают во все органы, а затем и ткани организма. Вода образует плазму крови, находится внутри клеток в составе клеточной протоплазмы и в тканях в виде межклеточной жидкости. Почки, один из наиболее энергично работающих органов человека, очищают кровь от вредных веществ, растворенных в плазме, т.е., собственно говоря, в воде, и выводят их из организма в виде солевого раствора (мочи). Значительное количество вредных веществ выделяется также водой с потом. В нем обнаружены такие, например, соединения, как метиловый, этиловый и изопропиловый спирты, ацетон, ацетальдегид, уксусная кислота. Последняя в этом растворе преобладает.

Аналогичные функции вода выполняет в организме животных.

Не менее важна роль растворяющей способности воды в неживой природе. Она преобразует горные массивы, формирует некоторые месторождения полезных ископаемых и почвенный слой; обеспечивает постоянство солевого состава Мирового океана. Кроме того, вода как растворитель является важнейшим и наиболее распространенным продуктом промышленного использования. Расход свежей воды для этих целей только в СССР составляет примерно 100 млрд т/год, а всего в 1988 г. потребление свежей воды в нашей стране составило 286 млрд т.

Растворимость газов в воде обычно не высока. Кислород мало растворим в воде. При нормальных температуре и давлении его содержание в 1 л воды не превышает 10 мл. Тем не менее важно подчеркнуть, что соотношение кислорода и азота в морской воде равно 1:2, а в атмосфере — 1:4, т.е. в воде относительное содержание кислорода выше. Сравнительно высокой растворимостью в воде обладают газы, реагирующие с ней. К таким газам, в частности, относятся оксиды серы, углекислый газ и аммиак; значительное количество которых выделяется в различных техногенных процессах.

Для воды характерна аномально высокая удельная теплоемкость. Она выше, чем у воздуха, в 3300 раз. Это значит, что, во сколько раз мы затратим больше энергии при нагревании 1 л воды на 1 °, во столько же раз больше ее выделится при охлаждении. Вода,



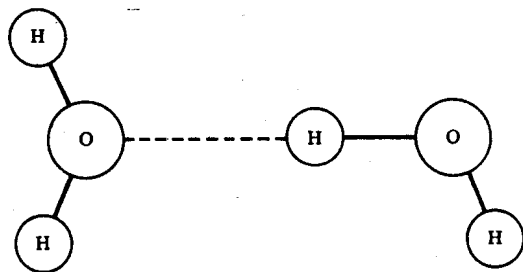
Р и с. 4. Температура кипения (1) и плавления (2) в ряду $H_2O - H_2S - H_2Se - H_2Te$. Пунктиром обозначены «нормальные» температуры кипения и плавления воды

таким образом, является главным аккумулятором солнечной энергии.

Аномалии, аномалии... Их очень много, и очень хорошо, что они есть. Вода имеет также аномально высокие температуры кипения и плавления. Представьте себе, что творилось бы в природе, имея вода температуру кипения -80° , а плавления -100° . А именно такие температуры должна она иметь, следуя общей зависимости этих величин от молекулярной массы вещества в ряду $H_2O - H_2S - H_2Se - H_2Te$ (рис. 4). Тогда выкипела бы вся вода океанов и морей и наша планета стала бы безводной.

Настоящей катастрофой для всего живого было бы и «нормальное» поведение воды при затвердевании. Вещества в твердом состоянии тяжелее, чем в жидком. Что произошло бы, подчинись пара «жидкая вода-лед» этой общей закономерности? Образующийся лед сразу бы опускался на дно водоема, и за зиму водоем полностью промерзал бы, из-за чего погибла бы вся флора и фауна, а летом вода вряд ли бы успевала растаять и значительный слой льда вечно оставался бы на дне. Прямо скажем — угрожающая картина, но опять спасает аномалия: лед легче воды.

Почему же у воды столько счастливых аномалий? Ее молекулы обладают чрезвычайно высокой склонностью к взаимному притяжению, что приводит к образованию ассоциатов, т.е. сложных объединений общей формулы $(H_2O)_n$ ($n = 2, 3, \dots$). Стремление к ассоциации проявляется вследствие возникновения между молекулами воды дополнительных, так называемых водородных связей между атомами водорода одной молекулы и атомом кислорода другой. Поскольку при этом первоначальная



Р и с. 5. Водородная связь между молекулами воды

связь атома водорода с "собственным" атомом кислорода не теряется, он оказывается соединенным одновременно с двумя атомами кислорода и тем самым связывает две молекулы воды друг с другом, упрочняя всю систему (рис. 5).

Молекулы сероводорода в жидком состоянии притягиваются друг к другу силами межмолекулярного взаимодействия, а молекулы воды в таком же состоянии дополнительно удерживаются еще и более прочными (чем межмолекулярные) водородными связями. Вот почему "вырвать" молекулу воды из жидкости и перевести ее в газообразное состояние несравненно трудней: для этого необходимо затратить значительно больше энергии, чем в случае сероводорода. Вот почему температура кипения воды на 160°C выше температуры кипения сероводорода. Образование молекулами воды водородных связей также способствует аномальному повышению температуры плавления, значительному увеличению диэлектрической проницаемости, необычному уменьшению плотности льда, уникальной способности воды накапливать солнечную энергию.

Итак, вода приобретает чудесные свойства в значительной степени благодаря существованию между ее молекулами водородных связей. Энергия этих связей невелика и составляет приблизительно 20 кДж/моль , т.е. примерно в 20 раз меньше энергии связи атомов внутри молекулы. Тем не менее эта величина оказалась достаточной для придания воде целого ряда особых свойств, делающих ее уникальной жидкостью, определяющих поведение гидросферы в природных условиях, обуславливающих роль воды в биосфере и современной технологии.

Несомненно, описанные аномалии оказывают основополагающее воздействие на состояние природной воды,

в том числе на такую важную ее характеристику, как химический состав, потому что, уподобив гидросферу индивидуальному веществу — воде, мы не забываем, что фактически это многокомпонентный водный раствор.

Пресная вода — самый ценный элемент гидросферы.

Огромная масса гидросферы создает иллюзию неисчерпаемости водных ресурсов. Однако основная масса воды соленая и она не пригодна для питья, промышленного и бытового потребления, сельскохозяйственного полива. Только 3 л воды из 100 л приходится на долю пресных вод, причем 2 л из них заключены в малодоступных льдах. Источниками пресной воды в первую очередь являются реки и озера, поверхностные и подземные водохранилища. Если же обратиться к наиболее удобной и широко используемой речной воде, то в оставшемся литре она составляет всего лишь 1 мл (1-2 капли).

Водный ресурс можно оценить и более оптимистично, имея в виду естественный круговорот воды, ее возобновляемость в реках. Объем годового речного стока и доступной для использования подземной воды составляет 50 тыс. км³, а реальная потребность — около 20 тыс. км³.

Потребности в пресной воде растут из года в год, речной сток распределен по планете неравномерно, существует вероятность антропогенного загрязнения количества воды, гораздо большего, чем используется. Все эти факторы обострили проблему качества пресной воды, ее потребления, рационального и безвредного для природной среды. Академик А.Е.Ферсман назвал воду "самым важным минералом на Земле". Это определение приобретает особое звучание в наши дни.

Ясно, что природные воды не могут быть идеально чистыми вследствие их высокой растворяющей способности. Речные воды подразделяют на слабоминерализованные (до 200 мг/л растворенных солей), среднеминерализованные (до 200-500 мг/л) и сильноминерализованные (свыше 1000 мг/л). Химический состав воды, естественно, зависит от ее источника.

Общим для всех речных вод является то, что основной компонент растворимых солей — гидрокарбонат кальция, в меньшей степени гидрокарбонат магния. Из анионов в существенно меньших количествах присутствуют хлорид, сульфат и силикат, а также нитрат, нитрит и карбонат; из катионов — натрий и аммоний.

Среда может быть нейтральной, слабокислой или слабощелочной.

Конечно, сказанным не исчерпывается полная химическая характеристика речных вод. Ежегодно в реки и озера планеты сбрасывается до 7 тыс. км³ неочищенных стоков. Трудно просто перечислить все присутствующие там соединения. Даже, казалось бы, самая чистая — дождевая — вода в наши дни может стать источником большого количества токсичных веществ, извлеченных из атмосферы. В среднем американском городе дождевая вода ежегодно поглощает до 150 т свинца и 15 т ртути, выпадающих на головы ни в чем не повинных жителей.

Что же говорить о реках, нередко пересекающих на своем пути многомиллионные города, крупные промышленные комплексы, мощные энергетические объекты, обильно "посыпанные" минеральными удобрениями и ядохимикатами сельскохозяйственные поля? Вода, взятая из реки для технологических, бытовых целей или полива полей, насыщается самыми разными химическими соединениями, и, если после использования не проведена ее тщательная очистка, все они в реку и попадают. Такая речная вода не пригодна для жизни, а употребление в пищу рыбы, выловленной из такой реки, просто опасно, так как она может накапливать значительные количества ядовитых веществ.

Чистейшие у истоков воды Рейна приносят каждый день к берегам Голландии около 60 тыс. т химических соединений. Каждый день! В год это составит десятки миллионов тонн. Содержание ртути в рейнской воде достигает 3,5 мг/л, а это во много раз больше того предела, когда вода еще остается безопасной и ее можно употреблять без угрозы ртутного отравления.

Рейн — это только пример, может быть, наиболее мрачный, но далеко не единственный. Источником этих страшных загрязнений являются предприятия Швейцарии, Франции, ФРГ и Голландии, по территории которых протекает Рейн. И чем ниже по течению, тем меньше высококонцентрированный речной сток напоминает обычную речную воду.

В нашей стране самые загрязненные реки — Западный Буг, Днестр, Дон, реки Сахалина и Кольского полуострова; нижнее течение рек Амура и Дуная. В них концентрация ряда загрязняющих веществ выше безопасной нормы в 10 раз и более.

Реальные запасы речной воды истощаются, как видим, не столько из-за ее фактического расхода, сколько из-за резкого ухудшения ее качества. К счастью, природа "запасла" немало пресной воды в недрах Земли.

Подземные воды встречаются на различных глубинах — от единиц до десятков метров. Это верхняя граница поверхностных подземных вод. Ниже ее практически все поры и трещины в горных породах заполнены водой, и если учитывать эту воду, то объем воды в земной коре приближается к объему Мирового океана. Так что, если иметь в виду все воды, заключенные в толще земной коры, объем гидросферы уверенно может быть удвоен и приравнен к 3 млрд км³. Как видим, рассматривая гидросферу, нельзя обойти вниманием подземные воды.

Подземные воды, соприкасаясь на пути своего движения с горными породами, обогащаются многими химическими соединениями. Этим объясняется сложный и исключительно разнообразный состав вод, концентрация солей в которых колеблется от 0,1 до 500 г/л и выше. В последнем случае солей в растворе содержится больше, чем растворителя.

В зависимости от концентрации растворенных в воде солей различают четыре типа подземных вод: пресные воды (до 1 г/л), солоноватые (1-3 г/л), соленые (3-35 г/л) и рассолы (более 35 г/л).

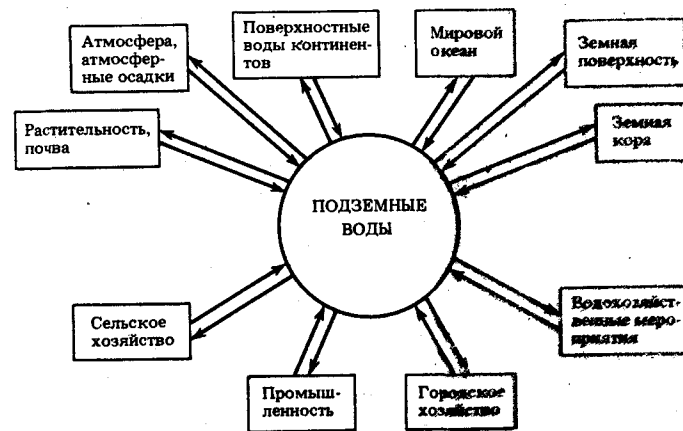
Главными ионами, определяющими химический состав подземных вод, являются анионы хлора, сульфата, гидрокарбоната и катионы натрия, кальция, магния. Общая химическая картина в этом случае только по некоторой степени аналогична представленной для пресных вод. Подземные воды могут быть и гидрокарбонатно-кальциевыми, напоминая речную воду, и хлоридно-натриевыми, приближаясь по составу к морской воде. Химический состав подземных вод зависит от концентрации растворенных солей (минерализации): основой солевого состава пресных подземных вод чаще всего являются гидрокарбонаты, в рассолах средней концентрации вследствие высокой растворимости хлоридов преобладают ионы натрия и хлора, а в более концентрированных рассолах (выше 150 г/л) — ионы кальция, магния и хлора. Эти закономерности объясняются различиями в растворимостях хлоридов натрия, кальция и магния.

Значительная часть подземных вод резко отличается от поверхностных содержанием газообразных веществ. Их растворимость повышается с увеличением давления, и поэтому 1 л подземной воды способен на большой глубине растворить несколько сотен кубических сантиметров газа. Среди газов, сопутствующих подземным водам, наиболее распространены азот и кислород, углекислый газ и сероводород, метан и тяжелые углеводороды. В меньших количествах встречаются водород, аргон, гелий и другие газы. Газовый и ионный составы подземных вод подчиняются следующей закономерности: растворимость газов при увеличении концентрации растворенных солей в воде уменьшается и, в свою очередь, наличие в воде растворенных газов способствует переходу некоторых солей в раствор.

В подземных водах обнаружено более 60 химических элементов, образующих растворимые соединения, содержащиеся в воде в незначительных количествах. В заметных количествах при определенных условиях в подземных водах, кроме упомянутых выше, могут также находиться соединения железа, кремния, калия, карбонаты и нитраты, причем карбонаты распространены только в водах, имеющих щелочную реакцию, а нитраты — в кислых водах. Последние обычно служат признаком загрязнения подземных вод.

Подземные воды лучше, чем поверхностные, защищены от внешних воздействий, но, увы, эта защита далеко не абсолютна. Они тесно взаимодействуют с объектами и элементами окружающей среды, а также с объектами хозяйственной деятельности человека (рис. 6). Это неизбежно приводит к антропогенному изменению подземных вод.

Земля обладает большими запасами пресных и слабосоленых подземных вод, пригодных для потребления, в том числе для хозяйственно-питьевых целей. Во многих случаях эти воды являются основным источником пресной воды. В Советском Союзе их годовой ресурс составляет 330 км³. Распространение подземных вод по стране более равномерно по сравнению с речными водами, во многих случаях это придает им особую ценность. В отдельных районах севера Туркменской и запада Узбекской ССР, Центрального Казахстана, Молдовы и южных районов Армении подземные воды являются единственным источником водоснабжения. В общем объеме водопотребления для целей водоснабжения подземные



Р и с. 6. Взаимосвязь подземных вод с природной и техногенной средой

воды составляют 76 %, а централизованное снабжение водой большинства крупных городов СССР базируется только на их использовании.

Немало в мире мест, где подземные воды являются единственным источником водоснабжения. Всем известная Сахара, ставшая символом безводной мертвой пустыни, расположена над огромным подземным морем. Границы и объемы его точно не установлены. Только 7 разведанных артезианских бассейнов охватывают территорию площадью 1,1 млн км². Общий объем подземных вод здесь оценивается в 15 тыс. км³.

Ценность и полезность подземных вод в огромной степени возрастают в наши дни, когда загрязнение окружающей среды, и в том числе речного стока, приобретает все большие масштабы. Растет потребление подземных вод, но увеличивается и степень риска загрязнения, повышаются требования к их защите от техногенных воздействий.

Мы знаем, что жизнь невозможна без пресной воды, а началась она в соленой воде океанов.

Морская вода по химическому составу одинакова в пределах Мирового океана, и на ее долю приходится более 90 % всей гидросферы (1,37 · 10⁹ км³). По современным представлениям, первичный океан образовался при выделении воды из расплава, поступающего на поверхность Земли из разогретых недр.

Изначально вода океана имела кислую реакцию, так как фтор, хлор и бром выделялись в виде соответст-

вующих сильных кислот, которые растворялись в воде и реагировали с горными породами, образуя соединения щелочных, щелочноземельных и других элементов. Таким образом, соединения, растворенные в воде Мирового океана, по анионному составу являются продуктами дегазации разогретых недр, по катионному — результатом взаимодействия сильноокислых растворов с соединениями земной коры. Общая концентрация солей первичного океана, очевидно, была близка к современной, но соотношение главных компонентов было существенно иным. В водах первичного океана основу составляли карбонаты и гидрокарбонаты. Сульфат-ионы отсутствовали, так как в океане и атмосфере не было кислорода.

В результате возникновения жизни, выделения свободного кислорода в процессах фотосинтеза, формирования азотно-кислородной атмосферы соединения углерода в значительной степени окислились до углекислого газа, сера и сероводород — до сульфат-иона, преобладающими формами азота стали элементный азот и нитрат, железо(II) окислилось до железа(III), в результате чего оно потеряло подвижность и началось массовое выделение в осадок соединений железа(III), а подвижность кальция и магния возросла.

Наконец, после стабилизации состава атмосферы примерно 1,5-0,5 млрд лет тому назад установился современный солевой состав вод океана. В отличие от первичного океана современный представлен не карбонатами и гидрокарбонатами, а преимущественно хлоридами. В этом принципиальная разница между морской и речной водой.

Относительное содержание основных солей океана постоянно, что является главной закономерностью в химии океана. Основные ионы, составляющие 99,98 мас. % солевого состава Мирового океана, приведены ниже.

Анион	Концентрация, г/кг	Катион	Концентрация, г/кг
Хлорид	19,3534	Фторид	0,0013
Сульфат	2,7007	Натрий	10,7638
Гидрокарбонат	0,1427	Кальций	1,4080
Бромид	0,0659	Магний	1,2970
Борат	0,0265	Калий	0,3875
		Стронций	0,0083

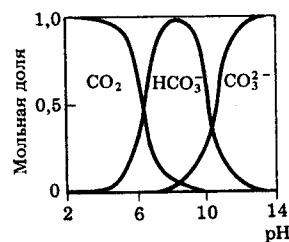
Примечание. Алекин О. А., Ляхин Ю. И. Химия океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. С. 27.

На долю остальных веществ, присутствующих в морской воде, приходится всего лишь 0,02 мас. %. Это элементы, из которых составлены живые организмы, — биогенные (C, H, N, P, Si, Fe, Mn); элементы, входящие в состав растворенных газов (кислород, азот, углекислый газ, аргон, сероводород, углеводороды и благородные газы); микроэлементы, концентрация которых не превышает $1 \cdot 10^{-6}$ %, и, наконец, элементы органического вещества.

Средняя концентрация солей в морской воде составляет 3,5 %, но она может колебаться в широком интервале. При относительно невысоком содержании солей общее их количество в огромной массе Мирового океана исчисляется колоссальной величиной — $5 \cdot 10^{16}$ т, причем 77,1 % от этого количества составляет хлорид натрия. Кроме того, в Мировом океане много магния ($1,8 \cdot 10^{15}$ т), кальция ($5,6 \cdot 10^{14}$ т) и калия ($5,3 \cdot 10^{14}$ т). Таким образом, хлор, натрий, магний, кальций и калий составляют основу солевого состава морской воды. Если бы мы хотели рассмотреть все присутствующие в ней элементы, то пришлось бы перечислить 70 из 107 элементов, концентрация которых чрезвычайно незначительна, но общая масса достигает внушительных размеров. Вот только один пример: в 1 л морской воды содержится $4 \cdot 10^{-6}$ мг золота, а в 1 км³ — 4 кг. Для приближенного расчета умножьте, пожалуйста, это число на 1,5 млрд (объем гидросферы), а потом разделите на 5 млрд (население Земли) и вы увидите, что в Мировом океане на каждого жителя планеты запасено по 12 кг золота. Вот что такое микроэлементы, и не случайно некоторые из них привлекают самое серьезное внимание производителей.

Для существования и развития жизни важное значение имеют биогенные элементы океана.

Углерод находится в Мировом океане в виде CO_2 , неорганических карбонатов и гидрокарбонатов, а также органических соединений. Одной из наиболее сложных и важных для гидросферы является система "углекислый газ — карбонат". Ее изучение показывает, что в морской воде должны присутствовать углекислый газ, гидрокарбонат- и карбонат-ионы, что подтверждается химическим составом Мирового океана. Обычно морская вода имеет pH 7-8,5, а следовательно, основной анион-



Р и с. 7. Влияние pH на состояние углекислого газа, растворенного в воде

HCO_3^- (рис. 7). В этой форме углерод легко усваивается организмами, живущими в водной среде.

В настоящее время средняя концентрация CO_2 в гидросфере оценивается в $4 \cdot 10^{-3}$ моль/л, причем 80 % находится в виде гидрокарбоната. Потеря углекислого газа в поверхностном слое океана из-за усвоения его растениями компенсируется поглощением CO_2 из атмосферы. На глубинах океана углекислый газ образуется за счет органического вещества.

А з о т в океане содержится главным образом в виде нитратов, которые составляют основу азотного питания растений и являются конечным продуктом минерализации органического вещества. В морской воде также присутствуют аммиачные и нитратные формы азота, растворенный элементный азот и азот органических соединений. Азот и его соединения попадают в Мировой океан с материковым стоком и атмосферными осадками.

Большая часть **ф о с ф о р а** (до 90 %) в морской воде входит в состав растворимых неорганических соединений. Основным его источник — материковый сток. Кроме того, поставщиками фосфора служат действующие вулканы и некоторые породы океанического дна.

Концентрация **к р е м н и я** в водах океана невелика. Основной формой являются растворенные (95 %) и взвешенные (1 %) частицы неорганических соединений. Кроме того, он содержится в органических веществах (4 %). Кремний в океан попадает с речными водами и в результате ветровых переносов.

Г а з ы поступают в океан не только из атмосферы, но и в результате подводной вулканической деятельности, химических и биологических процессов.

При средней концентрации кислорода в морской воде порядка 10 г/л наблюдается различие в его распределении в зависимости от глубины океана. В поверхностной зоне (до 100–300 м) различают верхний слой, который вследствие обмена с атмосферой всегда насыщен кислородом, и нижний, обедненный им вследствие интенсивного фотосинтеза. Промежуточная зона (от 100–300 до 1400–1600 м) характеризуется кислородным минимумом (уменьшение содержания кислорода до 0,5 мл/л). Глубинная зона (более 1600 м) отличается относительно высоким содержанием кислорода — до 5 мл/л. Придонная зона занимает незначительный объем океана и имеет низкое содержание кислорода.

Среди газов, растворенных в морской воде, наибольшую концентрацию имеет азот, но ввиду своей инертности он практически не участвует в процессах, протекающих в океане. С увеличением глубины содержание азота в воде изменяется незначительно.

Сероводород появляется в морской воде только в отсутствие кислорода. Источник его поступления — биохимическое восстановление сульфатов при участии бактерий и разложение органического вещества.

Круговорот вод Мирового океана осуществляется за счет испарения с поверхности и возврата с атмосферными осадками. Ежегодно испаряется 505 тыс. км³ воды; 458 тыс. км³ выпадает на поверхность океана, 47 тыс. км³ выпадает на сушу и поступает в океан с речным стоком.

В Мировой океан непосредственно из атмосферы в результате обмена с подземными водами и особенно с речным стоком всегда попадали те или иные отходы хозяйственной деятельности человека, но примерно до конца 50-х годов нашего века их количество было таково, что морская среда справлялась с таким вмешательством путем естественных процессов самоочищения. Ныне поступление промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов в океан приобрело размеры, угрожающие сохранению природного равновесия.

Наибольшую опасность составляют нефтяные загрязнения, попадающие в океан при морских перевозках нефти, очистке танкеров, кораблекрушениях, бурении и эксплуатации нефтяных скважин на морских месторождениях. Ежегодно в океан этими путями поступает не менее 15 млн т нефти. Принимая во внимание

способность 1 т нефти покрыть тонкой пленкой 12 км² водной поверхности, нетрудно представить, какая угроза заключена для всего живого в этой огромной массе нефти, попадающей в океан.

Кроме нефти, в океаны и моря поступает немало соединений ртути, кадмия, мышьяка и других весьма токсичных элементов. Они выносятся в Мировой океан реками, выпадают вместе с дождями и снегом на морскую поверхность, проникают в глубины, накапливаются в организмах рыб и растений.

Гидросфера объединяет внешне очень различные стихии: плавно несущий свои воды величавый Амур и резко скачущий по камням горный ручеек, подземные мрачные реки и загадочные моря, неповторимый Байкал и синь морских просторов. Все это вода, выполняющая присущие ей геологические, биологические, климатические и технологические функции. Все элементы гидросферы находятся в состоянии равновесного взаимного обмена, а также активно взаимодействуют с другими объектами окружающей среды.

Огромные запасы гидросферы, геохимическая возобновляемость ресурсов делают ее практически неисчерпаемой. Однако мощное антропогенное вмешательство во все элементы гидросферы, характерное для современного этапа научно-технического прогресса, ставит под угрозу сохранение их качества. Опасность подстерегает не только маленькую речку с кожевненным (или другим) заводом на берегу, но и всю громаду Мирового океана, ставшего в наши дни общепланетарной свалкой отходов самого различного химического состава, нередко весьма опасных для жизни животных, растений и человека. Химические соединения оказывают на качество гидросферы самое большое влияние. В связи с этим химический аспект охраны рек, морей и океанов становится самым важным в широком спектре проблем, с которыми сталкивается человечество в процессе мощного, далеко не всегда экологически продуманного использования гидросферы. Ясно, что физико-химическое изучение гидросферы, разработка способов ее защиты от химического техногенеза — задача исключительного как научно-теоретического, так и практического значения.

Гидросфера, о чем уже говорилось не раз, хотя и содержит добрую половину элементов периодической

системы Д. И. Менделеева, но в основе своей является одним веществом — водой, чего нельзя сказать о литосфере, гипотетическая формула которой должна была бы содержать все известные элементы, разве только за исключением не существующих в природе и получаемых искусственным путем.

Литосфера — твердая оболочка Земли

Теперь обратимся к третьему агрегатному состоянию Земли — твердому. Сначала рассмотрим строение Земли. Земля состоит из ядра — центральная часть Земли с радиусом 3,5 тыс. км, мантии — средняя, основная часть планеты протяженностью около 2,9 тыс. км, на которую приходится 83 % объема и 67 % массы, и земной коры — верхняя оболочка, простирающаяся на материках на глубину от 35-45 до 70 км, а на океаническом дне — от 5 до 10 км. Средний радиус Земли равен 6371,032 км, объем — $1,083 \cdot 10^{12}$ км³ и масса — $5,976 \cdot 10^{21}$ т. Преобладающими элементами являются железо (34,7 %), кислород (29,5 %), кремний (15,2 %) и магний (12,7 %).

В радиальной классификации строения нашей планеты различают особую область — литосферу (от греч. lithos — камень) — внешнюю сферу Земли, включающую земную кору и верхнюю часть мантии. Нередко же под литосферой понимают самый верхний слой земной поверхности. Другими словами, это твердая поверхность материков. Принципиальное отличие литосферы от других объектов окружающей среды заключается в том, что она является местом обитания человека, а поэтому в наибольшей степени подвержена антропогенному воздействию при эксплуатации поверхностного слоя и недр Земли. Под последними подразумевают часть земной коры, в пределах которой возможна добыча полезных ископаемых. Очевидно, что недра не имеют определенной нижней границы, она зависит от уровня научно-технического прогресса. На сегодняшний день максимальное достижение геологической практики — Кольская сверхглубокая скважина глубиной более 12 км. Можно эту цифру считать нижней границей недр, хотя вполне очевидно, что эта граница будет неуклонно приближаться к центру Земли.

Состав земной коры выражают в кларках, означающих среднее содержание химического элемента в ней (в

процентах). Основную ее массу составляют кислород, кремний и алюминий (84,55 %), причем большая часть этого количества приходится на кислород (47,0 %). Эти элементы, а также железо, кальций, калий, натрий, магний и титан составляют 99,48 % массы земной коры, тогда как на долю всех остальных приходится всего 0,52 %. Среди последних такие, например, широко используемые и совсем не кажушиеся редкими, как углерод, азот, фосфор, хром, марганец, медь, цинк, олово, ртуть, свинец и др. Однако, как уже сказано, основу земной коры составляют легкие элементы, что обусловлено процессом формирования нашей планеты: легкие элементы выделялись из расплава и всплывали на поверхность, образуя атмосферу, гидросферу и литосферу.

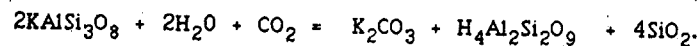
Имея в своем распоряжении около 90 элементов, природа за миллиарды лет создала около 2 тыс. видов минералов. Интересно сравнить "синтетические способности" природы и человека. Homo sapiens в этом соревновании одержал убедительную победу. Только в Советском Союзе ежегодно синтезируется около 4 тыс. новых химических соединений, а всего их известно не менее 8 млн.

Относительная бедность минерального мира легко объяснима низким содержанием в земной коре многих элементов. Природа-синтетик "работала" в условиях дефицита реагентов. В этой связи геохимические и химические условия синтеза часто не совпадали. В качестве примера можно обратиться к сере и селену. Достаточно высокий кларк первой ($4,7 \cdot 10^{-2} \%$) обусловил ведущее значение сероводорода в геохимических процессах формирования сульфидных месторождений многих металлов. Химическая близость серы и селена, сероводорода и селеноводорода позволяла ожидать аналогичной картины для селенидов тех же металлов. Однако в земной коре слишком мало селена ($5 \cdot 10^{-6} \%$), и вследствие этого селеноводород не оказал заметного влияния на процессы минералообразования.

Так, при химической близости элементов мы наблюдаем значительное их геохимическое различие. Вот почему геохимия, основываясь, конечно, в первую очередь на периодическом законе химических элементов Д.И. Менделеева, обращает должное внимание на распространенность элементов в земной коре, а также, естественно, на термодинамические и физико-химические

условия протекающих в земной коре минералообразующих процессов.

Закономерно ожидать в земной коре наибольшего количества минералов, образованных элементами с высоким кларком, и, наоборот, — редкого скопления минералов, включающих малораспространенные элементы. Действительно, 55 % земной коры слагаются алюмосиликатами, относящимися к группе полевых шпатов. Основные их представители: ортоклаз $KAlSi_3O_8$, альбит $NaAlSi_3O_8$ и анортит $CaAl_2SiO_8$. Полевые шпаты под воздействием природных факторов постепенно разрушаются, что примерно можно представить обобщающим уравнением



Нерастворимые продукты — каолин $H_4Al_2Si_2O_9$, являющийся основой обычных глин, и кварц SiO_2 , выделяющийся в виде песка. Эти два химических соединения представляют собой минеральную основу почв всех видов.

Указанные в составе полевых шпатов алюминий, кремний, кислород, калий, натрий и кальций, а также железо и магний образуют свыше 1 тыс. минеральных видов, т.е. больше половины всего "семейства минералов", меньшая часть которого приходится на долю всех остальных элементов.

Элементы в составе химических соединений способны передвигаться в земной коре. Различают механическую, физико-химическую, биогенную и техногенную миграции. Механическая миграция обусловлена перемещением вещества по воздуху и речным стоком, при обвалных и оползневых процессах, под влиянием силы тяжести. Физико-химическая миграция, подчиняясь законам диффузии, зависит от создавшихся в природе условий растворения, осаждения, сорбции, комплексобразования, связана с окислительно-восстановительными и кислотно-щелочными свойствами среды. Биогенная миграция управляется законами, присущими живым организмам. Следствием производственной деятельности человека является весьма сложная техногенная миграция.

Для разных элементов роль того или иного вида миграции не равноценна. Так, для калия, фосфора и азота основополагающая роль биогенных процессов, для натрия и хлора — физико-химических, а для олова и золота — механических. Важно подчеркнуть, что подвижность элементов не является свойственной им константой, а зависит от природных условий, сформировавшихся в конкретном месте. Например, гидроксиды железа инертны в щелочной окислительной среде (степные и пустынные районы), но приобретают высокую подвижность в кислой восстановительной среде (зона таежных болот).

Способность элементов к миграции приводит к выносу их из одних мест и концентрированию в других. Последнее происходит на границе изменения физико-химических свойств среды, где резко снижаются подвижность элементов. Например, при значительном уменьшении окислительно-восстановительного потенциала вследствие скопления сероводорода концентрируются многие металлы, образующие труднорастворимые сульфиды (железо, свинец, цинк, медь и др.), а при смене кислой или слабощелочной среды на сильнощелочную концентрируются выпадающие в осадок соединения железа, меди, цинка, кадмия, хрома, урана и других элементов.

Итак, миграция элементов и изменение физико-химических условий способствуют концентрированию определенных химических соединений в отдельных местах литосферы, формированию месторождений полезных ископаемых.

Эксплуатация недр с целью получения необходимых материалов приобретает невиданные масштабы и имеет устойчивую тенденцию к дальнейшему развитию. Достаточно сказать, что к 2000 г. из земных недр ежегодно будет извлекаться, не считая сопутствующих материалов, не менее 180-200 млрд т полезных ископаемых. Если же иметь в виду всю горную массу, поступающую на поверхность Земли, то ее годовой объем составит более 600 млрд т. Масса Земли постоянна, так как количество космического материала, попадающего на ее поверхность, пренебрежимо мало, и в этом смысле техногенный расход материала планеты — необратимый, ничем не компенсируемый процесс.

Ясно, что столь мощное техногенное воздействие на литосферу не может не сказаться на ее качестве.

Существенным моментом с точки зрения охраны твердой оболочки Земли является и то, что она выполняет функции "конечного пункта" значительного количества загрязнителей, находящихся во всех объектах окружающей среды. Они попадают на поверхность Земли из атмосферы, взаимодействуя с поверхностными водами, загрязняют недра, отравляют огромные территории в процессе хранения отходов, коренным образом изменяют поверхностный слой в урбанизованных зонах.

Вряд ли следует сравнивать по важности и значимости отдельные элементы литосферы. Если недра обеспечивают сырьем подавляющее большинство промышленных предприятий, являются источником энергетических ресурсов, то поверхность Земли — это среда обитания человека и значительной части биосферы, место производства сельскохозяйственной продукции — основной массы белка, необходимого для поддержания нашей жизни. Нормальное существование практически невозможно без всестороннего использования подземных недр, а вне земной поверхности невозможна сама жизнь человека. Развитие человеческого общества, таким образом, взаимосвязано и обусловлено нормальным функционированием и эксплуатацией всех элементов литосферы, включая ее поверхностный слой, ценным ресурсом которого является почва.

Площадь суши всех континентов и островов планеты составляет 148 млн км². Она распределяется приблизительно следующим образом: 15 млн км² — ледники, 40 млн км² — леса, 44 млн км² — сельскохозяйственные угодья, 49 млн км² — прочие земли.

Почва формировалась веками. Она представляет собой смесь минеральных веществ (в основном, как уже отмечалось, это каолин и кварц), а также сложных органических соединений, образовавшихся в результате разложения растительных и животных организмов. В ходе биологического круговорота веществ в почве накапливался так называемый гумус, обладающий ценными свойствами плодородия и являющийся многокомпонентным продуктом органической природы. Гумус образуется непрерывно, и этот процесс продолжается в современных условиях, однако биогенная его возобновляемость не означает неисчерпаемость почвы.

Природе необходимо 200 лет для создания слоя почвы толщиной в 1 см. Ее формирование — процесс,

который мы не в силах ускорить. Рождаются и умирают мириады живых существ. Оставаясь в почве, они в процессе разложения за тысячи лет образуют почвенный слой в 20-30 см. Почва обладает многовековым плодородием, и сохранить неизменным его уровень можно, внося в нее столько питательных веществ, сколько уже извлечено. Ничего подобного человечество не придумало и не создало. Гидропоника, аэропоника — интересные и перспективные находки людей, но это очень дорогие системы, и они не идут ни в какое сравнение с обычной почвой.

Почвы используются человеком прямо и косвенно. Прямое использование (развитие городов, прокладка дорог, трубопроводов и электросетей, строительство промышленных объектов и горнодобывающих предприятий, создание водохранилищ и т. д.) означает безвозвратную гибель почвы. Косвенное "потребление" почвы (выращивание культурных растений, составляющих основу питания человека и домашних животных, рубка леса, сбор дикорастущих культур, охота) при правильной эксплуатации не приводит к ее уничтожению или резкому ухудшению качества, потому что при этом не разрушается почвенный слой.

В наши дни почва становится национальным богатством. На почвах мира ныне производится около 1 млрд т зерна. К 2000 г. увеличивающемуся населению земного шара понадобится уже примерно 2,5 млрд т зерна. Значит ли это, что соответственно в 2,5 раза будет увеличена площадь пахотных земель?

В мире распаханно только 11 % суши, еще приблизительно 20 % приходится на луга и пастбища. Казалось бы, резерв более чем достаточен. Однако такое мнение, увы, ошибочно, что легко подтверждается рассмотрением мирового распределения земельных ресурсов, 20 % которых расположено в исключительно холодных областях, 20 % — в слишком сухих, 20 % — на очень крутых склонах и 10 % имеют слишком тонкий почвенный слой, а оставшиеся 30 % и составляют пашни, луга и пастбища. Резерв, конечно, есть, но говорить о многократном увеличении пахотного клина не приходится. Расчеты показали, что без очень крупных капиталовложений можно его поднять до 17 %, но не более того.

В Советском Союзе значительная часть территории занята тундрой, тайгой и горами. Ежегодно вовлека-

ются в сельскохозяйственный оборот все новые и новые земли. Однако и наши возможности довольно-таки ограничены по двум причинам: во-первых, запас земельных ресурсов не столь уж велик, во-вторых, быстрыми темпами растет удельный вес прямого использования почвы при развитии промышленности и транспорта, укрупнении старых и строительстве новых городов.

Указанные антропогенные факторы в большей или меньшей степени характерны для всех стран мира. Кроме того, они дополняются еще одним источником уменьшения распаханых земель. Имеется в виду эрозия (от лат. *erosio* — разъединение), т. е. разрушение почвенного покрова.

Различают геологическую и антропогенную эрозию. Первая протекает повсеместно под лесной и травянистой растительностью. Она слабо выражена, и утраченный почвенный слой полностью восстанавливается в ходе почвообразующих процессов. Вторая развивается там, где естественная растительность уничтожена и территория используется без учета ее экологических возможностей. В этом случае эрозия ускоряется во много раз и не компенсируется естественными процессами.

Только в нашей стране в результате эрозии ежегодно теряется около 1,5 млрд т плодородной почвы, а общий объем эрозированных сельскохозяйственных угодий составляет 113 млн га. Не лучше обстоят дела и в индустриально развитых странах.

Опустынивание еще один источник сокращения фонда продуктивных земель. В определенной степени это естественный процесс, но человек способен его существенно усилить и ускорить. Специалисты ООН подсчитали, что за полвека в результате главным образом хозяйственной деятельности людей создана пустыня, равная по площади почти половине Южной Америки.

В результате процессов эрозии и опустынивания за последние 20 лет наша страна потеряла около 6 млн га сельскохозяйственных земель.

Земля, на которой мы живем, выращиваем продукты питания и из недр которой извлекаем "пищу" для промышленности, Земля, по которой бегут реки и над которой простирается атмосфера, подвергается в наши

дни мощному антропогенному воздействию, характер которого весьма разнообразен, но существенная его часть имеет химическое происхождение. Проблема защиты литосферы становится, таким образом, в значительной степени задачей химии, крайне усложняющейся из-за тесного взаимодействия литосферы с другими объектами окружающей среды, с одной стороны, и из-за сложных многоступенчатых механизмов реакций, протекающих в такой многокомпонентной гетерогенной системе, какой является литосфера, — с другой.

К важнейшим антропогенным факторам, способствующим разрушению почвы, относятся: добыча полезных ископаемых (особенно открытым способом, выводящим большие количества веществ на поверхность Земли); эксплуатация нефтепромыслов, сопровождающаяся загрязнением почвы нефтью; промышленные выбросы в атмосферу химических соединений, оседающих на поверхность Земли; неправильное и избыточное применение удобрений и ядохимикатов; загрязнение поверхностного стока, интенсивно взаимодействующего с отходами животноводства и кормопроизводства; попадание в почву больших количеств неочищенных или недостаточно очищенных жидких и твердых отходов; коренное изменение почвы под искусственно создаваемыми объектами в процессе развития инфраструктуры урбанизированных зон.

Земля образовалась около 4,7 млрд лет тому назад. Это была мертвая, лишенная жизни планета. В безраздельном царстве неорганических веществ сформировались три оболочки Земли: атмосфера, гидросфера и литосфера. С "опозданием" более чем на 1 млрд лет планета приобрела еще одну оболочку — биосферу. Нужно заметить, что точный ее возраст достоверно не установлен, но вполне очевидно, что биосфера — последняя, самая молодая оболочка Земли. Самая сложная и наиболее подвижная в течение всей истории нашей планеты.

**Биосфера — самая молодая
и самая динамичная часть Земли**

Биосфера (от греч. *bios* — жизнь) занимает определенную ограниченную область, охватывающую все три сферы планеты: верхнюю часть земной коры, гидросферу и тропосферу. В этой книге нам не удастся

рассмотреть все многообразие и важнейшие закономерности существования и развития животного и растительного мира. Мы лишь приблизимся к этой теме, коснувшись ее чисто химического аспекта.

Все оболочки Земли населены живыми организмами и подвергаются их воздействию. Сам термин "биосфера" предложен еще в 1875 г., однако целостное учение о биосфере как об особой сфере нашей планеты, созданной живыми организмами, связано в первую очередь с именем выдающегося советского ученого В. И. Вернадского.

Биосфера — самая динамичная сфера Земли. По современным оценкам, биомасса всего земного шара составляет $2,4 \cdot 10^{12}$ т (без воды), а ежегодное производство живого вещества находится на уровне $2,3 \cdot 10^{11}$ т. И хотя по сравнению с массой земной коры эти величины ничтожно малы, только за последние 500 млн лет суммарная продукция живого вещества, несомненно, превысила массу земной коры. По сконцентрированной в биосфере энергии, постоянно возобновляющейся и производящей огромную геохимическую работу на протяжении миллиардов лет, биосфера не имеет соперника в окружающем мире.

Биохимические функции живого вещества проявляются в планетарном масштабе как совокупное действие миллиардов живых организмов на все объекты окружающей среды. Именно благодаря живой материи в атмосфере и гидросфере осуществился переход от восстановительных условий к окислительным, была создана современная азотно-кислородная атмосфера и установлен ныне существующий солевой состав Мирового океана. Карбонатное осадконакопление в водах морей и океанов также осуществлялось преимущественно биогеохимическим путем.

Все живущее на планете по способу преобразования химических веществ может быть разделено на два больших, но неравноценных класса.

Организмы, строящие свои ткани непосредственно из неорганических соединений (вода, углекислый газ и минеральные соединения земной коры) и называемые автотрофными, составляют основную массу живого вещества планеты. В основе механизма образования живого вещества может лежать как процесс фотосинтеза, когда для осуществления реакции используется солнечная энергия, так и в меньшей степени

процесс хемосинтеза, энергией для которого служат окислительно-восстановительные реакции с участием аммиака, сероводорода, серы, железа(II), марганца, водорода, метана, угля и нефти.

Гетеротрофные организмы (человек, животные, некоторые виды растений и почти все микробы) не способны синтезировать органические соединения. Они перерабатывают углеводы и белки, созданные фотосинтезирующими растениями, и находятся, таким образом, в полной зависимости от них.

Как для автотрофных, так и для гетеротрофных организмов важнейшими продуктами являются воздух и вода. Состояние атмосферы и гидросферы определяет, таким образом, качество жизни всех организмов, включая человека.

В процессе фотосинтеза наряду с основными элементами питания — кислородом, углеродом и водородом — в биохимический круговорот вовлекаются азот, фосфор, сера, калий, кремний, кальций, магний, натрий и другие почти все известные химические элементы. Химический состав живого организма достаточно широко варьирует у различных видов. Некоторые из них обладают способностью к резко повышенному накоплению одного или нескольких элементов. Содержание отдельных элементов в организмах, естественно, неодинаково; более того, разные органы могут иметь различный химический состав. Тем не менее общие закономерности сохраняются для всех видов.

Всего в живых организмах обнаружено 70 химических элементов, из них 47 постоянных, называемых биофильными. В состав наиболее распространенных биологических систем из этого набора входят 18.

Шесть элементов — кислород, углерод, водород, азот, фосфор и сера — играют исключительно важную роль в формировании живых организмов: они входят в состав белков и нуклеиновых кислот и являются основой жизни на Земле. Это легкие атомы со степенями окисления (валентностями) один (водород), два (кислород), три (азот), четыре (углерод), пять (фосфор) и шесть (сера). Названные степени окисления соответствуют наиболее стабильным электронным конфигурациям. Только для первых двух элементов (водород и кислород) приведена единственно возможная валентность, а для третьего (углерод) — наиболее харак-

терная, тогда как остальные (азот, фосфор и сера) проявляют переменные степени окисления.

Из восемнадцати названных элементов двенадцать имеют весьма существенное значение для жизнедеятельности. Среди них два неметалла — хлор и иод — и десять металлов — непременные *s*-элементы (Na, K, Mg, Ca, Zn) и переходные *d*-элементы (Mn, Fe, Co, Cu, Mo), т. е. одна половина металлов отличается постоянной валентностью, а другая — переменной. Эти металлы названы биометаллами или металлами жизни.

Важнейшим свойством переходных биометаллов с точки зрения функционирования живого вещества является их склонность к участию в окислительно-восстановительных процессах, которые, по-видимому, трудно реализуются для ионов Co(II) и Mn(II), тогда как переходы $Fe(II) \rightarrow Fe(III)$ и $Cu(I) \rightarrow Cu(II)$ осуществляются сравнительно легко. Среди переходных биометаллов следует особо выделить молибден, обладающий стабильными высокими степенями окисления (V и VI) и в связи с этим способностью образовывать анионы. Наличие устойчивых степеней окисления V и VI определяет участие соединений молибдена в процессах, связанных с переносом электронов.

Принцип отбора природой десяти металлов жизни не установлен даже приблизительно, но вполне очевидно, что их распространенность не была решающим критерием. Алюминий, входящий в первую тройку наиболее распространенных элементов в земной коре, и титан, член первой десятки основных элементов неживой природы, не являются биометаллами, тогда как молибден, не идущий ни в какое сравнение с этими металлами, по праву отнесен к металлам жизни. Вновь обращаясь к алюминию, отметим, что в живых организмах его в 100 раз меньше, чем кальция, и в 250 раз больше, чем кобальта. Очевидно, что не только распространенность в земной коре, но и содержание в живых организмах не определяет роль и значение металлов в развитии биосферы.

Нормальное существование живых организмов зависит от их обеспеченности всеми элементами, как высокого, так и низкого содержания. Так, например, недостаток меди вызывает полегание злаков, расстройство координации движения у овец. Постоянный дефицит какого-либо элемента может даже привести к значительному изменению живого организма, закреплен-

Период	Группа						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
II	—	Be	—	—	—	—	—
IV	Cu	Zn	—	—	As	Se	Ni
V	Ag	Cd	—	Sn	Sb	Te	Pd
VI	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	—	Pt

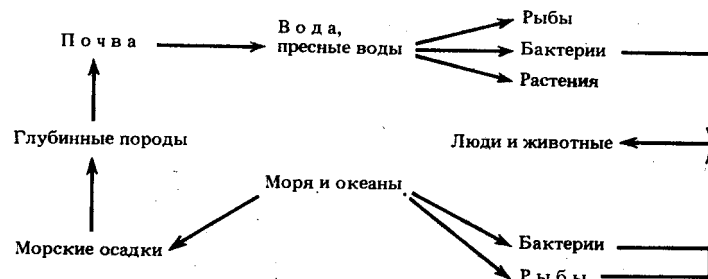
Р и с. 8. Токсичные элементы в периодической системе элементов Д. И. Менделеева

ному в потомках. Особенно ярким примером служат обитатели джунглей Экваториальной Африки, где интенсивное вымывание из почвы солей кальция, столь необходимых для построения скелета, привело к развитию карликовых форм. Здесь живут племена пигмеев, а также водятся жирафы ростом не выше человека.

Не меньшие беды приносит и избыток элементов в почве. Например, избыток меди — металла жизни — может привести к отравлениям и тяжелым заболеваниям, если ее накапливается в организме выше установленного оптимума. Существует определенный порог как по минимуму, так и по максимуму, обеспечивающий нормальное развитие живого вещества.

В результате деятельности человека изменяется баланс различных элементов в окружающей среде. Все элементы природного и техногенного происхождения можно подразделить на токсичные и нетоксичные. Заметим, однако, напомнив пример с медью, что деление это хотя и вполне оправданно, но в определенной степени условно. Все токсичные элементы расположены относительно компактно в периодической системе элементов Д. И. Менделеева (рис. 8). Особо опасны и вместе с тем достаточно широко распространены не только в природных, но и в техногенных объектах ртуть, свинец и кадмий.

Токсичные элементы участвуют в гео- и биокруговороте. Для нас печально то, что этот "круг" разрывается и его тупиком являются животные и человек (рис. 9), в организме которых способны накапливаться токсичные элементы. Они участвуют в круговороте в форме определенных химических соединений, а поэтому необходима не просто информация об избыточном количестве того или иного элемента.



Р и с. 9. Круговорот токсичных элементов в окружающей среде

Важно установить формы существования и основные процессы, протекающие в живом организме. Например, для ртути в биоцикле особенно характерна реакция метилирования, т.е. замещение атомов водорода, металлов или галогенов в органических соединениях метильными группами. В организме основным метилирующим агентом является одна из незаменимых α -аминокислот — метионин $\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$. В результате метилирования образуются метилртуть-катион CH_3Hg^+ и диметилртуть $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, которые способны проникать сквозь клеточные мембраны живого организма, накапливаться в тканях головного мозга и вызывать острые нервно-психические заболевания.

Способностью организмов накапливать определенные химические элементы объясняется различное содержание этих элементов в живом веществе. Оно определяется не только видовой принадлежностью организмов, но и обстановкой в конкретной местности. В районе рудных месторождений можно наблюдать повышенное содержание металлов в организме растений и животных. К аналогичным результатам приводят техногенные загрязнения почвы. Накопление токсичных веществ по цепочке "растение-животное-человек" приводит к отравлению продуктов питания, а через них и человека.

Как видим, не только отравленный воздух и грязная вода, но и загрязнения почвы, литосферы в целом составляют угрозу для человека.

Все объекты окружающей среды находятся в тесном взаимодействии, и все они оказывают воздействие на живое вещество планеты, на человека. Вполне очевидно, что химический техногенез не является единствен-

ным источником деградации природной среды, диском-форта нашей жизни, но его удельный вес чрезвычайно высок, а характер воздействия наиболее опасен.

Возникает вопрос: если химические процессы оказывают такое сильное негативное воздействие на природу, не лучше ли от них вообще отказаться? Ответим сразу: это невозможно. Без химии немыслимы наша жизнь, развитие общества.

Плюс химизация, минус окружающая среда?

Кому угрожает опасность? Вам. Разве вы не видите, что перед вами весы, на одной чаше которых ваше могущество, на другой — ваша ответственность?

Виктор Гюго. Человек, который смеется

Еще раз подчеркнем: основную угрозу для окружающей среды составляет интенсивно развивающееся производство. Воздействие различных химических веществ, выделяющихся в результате его деятельности, нередко оказывается на грани огромных, но не беспредельных восстановительных способностей природы.

Главная задача заключается в правильном предвидении результатов хозяйственной деятельности, нередко приводящей к изменению природной среды и создающей непригодную для жизни техногенную окружающую среду. Необходимо научиться управлять окружающей средой в нужных направлениях.

О вреде опрометчивых поступков

Остановимся только на одном, ставшем хрестоматийным примере недалековидного вмешательства химии в биосферу. Он как нельзя лучше показывает не только роль и значение, но и неоднозначность антропогенного воздействия на природу. На этом примере видна необходимость научно обоснованного предвидения последствий деятельности общества, умения определять те пределы химического воздействия, переступить которые недопустимо.

Печально известный ДДТ (2,2,2-трихлор-1,1-бис-(4-хлорфенил)этан) был получен в 1874 г. Много лет это соединение не привлекало внимания практиков, но положение резко изменилось после того, как в 1937 г. установили его инсектицидные, т.е. токсичные по отношению к насекомым, свойства. ДДТ стали широко применять во всем мире для защиты растений. Общее его количество, использованное для борьбы с вредителями сельского хозяйства примерно за 20 лет, составило не менее 1,5 млн т. Продукт, конечно, не оставался на месте применения, а ветрами, дождями, водными путями неограниченно распространился по поверхности Земли. Весь земной шар оказался в зоне его влияния. На Антарктиду, несомненно, чистейший регион мира, в частности, выпало по крайней мере 25 тыс. т ДДТ. Даже в организмах пингвинов, казалось бы полностью изолированных от цивилизации, были обнаружены его значительные количества.

Вредители сельского хозяйства через некоторое время "привыкают" к ДДТ и приобретают определенный иммунитет. Ныне около 150 насекомых "не боятся" его, другие насекомые повысили порог чувствительности, что заставило увеличить дозу ядохимиката для достижения того же эффекта, а значит, и повысить техногенное давление на природу.

ДДТ не отличается особой избирательностью. Он опасен не только для вредителей сельского хозяйства, но и для полезных насекомых, птиц, рыб, животных и человека. Экспериментально установлены его способность к накоплению в живых организмах и канцерогенные свойства. Если к сказанному добавить, что ДДТ высоко устойчив к воздействию природных факторов, что по крайней мере 75 % попавшего в окружающую среду продукта остается в ней по сегодняшний день и сохраняет свои ядовитые свойства, то привлекательность применения ДДТ становится более чем сомнительной.

Есть и другие мнения о действии этого продукта. Не случайно лауреат Нобелевской премии известный американский биолог Н. Борлоуг назвал сторонников запрещения ДДТ "истеричными природоохранниками". Применение ДДТ защитило примерно 1 млрд человек от заболевания малярией, привело к значительному повышению урожаев хлопка, риса, кукурузы и других сельскохозяйственных культур. Н. Борлоуг считает, что

если не использовать преимущества ДДТ, то мир действительно погибнет, но не от отравления им, как полагают противники ДДТ, а от голода.

Однако с утверждением известного ученого трудно согласиться. Очевидна положительная роль ДДТ в улучшении мировой продовольственной обстановки, но явно перевешивает та чаша весов, на которую положены его негативные свойства: это неселективное высокоустойчивое ядовитое вещество длительного воздействия на живые организмы с трудно предсказуемым дальнodelствием, несомненно наносящее невосполнимый урон чуть ли не всей биосфере. Такой ядохимикат не имеет права на практическое использование. Слишком велика опасность, и она не окупится возможными выгодами. Вот почему в ряде стран, в том числе в Советском Союзе (с 1970 г.), запрещено применение ДДТ в сельском хозяйстве.

Хочется сказать: лучше бы это соединение никогда не синтезировали и тем более не обнаруживали его инсектицидные свойства. А ведь именно за открытие этих свойств в 1948 г. швейцарскому химику П. Г. Мюллеру была присуждена Нобелевская премия. Похоже, теперь ее можно получить, установив способ разрушения ДДТ, так бездумно рассеянного по всей планете.

Приведенный пример, а он далеко не единственный, показывает, как важно правильно и своевременно оценить антропогенное воздействие на природу применяемых химических соединений, определить предел допустимого вмешательства человека в окружающий его мир, чтобы не превысить этот предел, приведя тем самым природу к катастрофическим необратимым изменениям. Необходимы знание закономерностей развития природы, исчерпывающая информация о последствиях техногенного воздействия каждого в отдельности вещества и определенной суммы химических веществ, четкое представление возможного влияния человека на природу. Короче, необходима разработка научных основ охраны окружающей среды.

Оставить природу "неприкасаемой" мы не можем, а поэтому одной из самых важных остается проблема определения предельно допустимого вмешательства человека в природную среду, установления объемов химических продуктов, которые природа способна безболезненно "переварить", сохраняя эффективно действующей

биосферу и обеспечивая удовлетворение социальных и материальных запросов человеческого общества.

Кто же в ответе за природу? Порой несправедливо главной виновницей называют химическую промышленность. Любое производство оказывает техногенное воздействие на окружающую среду. Однако нельзя забывать, что по характеру взаимодействия с окружающей средой, по силе техногенного давления на нее, по возможным последствиям, условиям и интенсивности взаимосвязей с различными объектами окружающей среды отдельные отрасли промышленности оказывают далеко не одинаковое влияние на природу и проходящие в ней процессы.

Это влияние наибольшее у предприятий черной и цветной металлургии, теплоэнергетики, целлюлозно-бумажной и горнодобывающей промышленности, на автотранспорте. Химическая составляющая развития этих отраслей весьма существенна, и именно на их долю приходится основная масса выбросов и твердых отходов всех иных видов. Хотя и далеко не "безгрешная", химическая и нефтедобывающая промышленность в приведенном выше списке занимает последнее место.

Посмотрим глазами химика на основные направления хозяйственной деятельности человека и на ее экологические последствия.

Тысячелетия века металлов

Какая нынче эра? Одни говорят — атомная, другие — космическая, третьи — синтетических материалов, четвертые — электроники и робототехники... А может быть, закончившийся, как считают историки, незадолго до начала нашей эры железный век продолжается и ныне? Если быть верным традиции и называть эпоху по основному материалу, из которого изготавливают орудия труда (каменный, бронзовый век), то нельзя не согласиться, что мы по-прежнему живем в железном веке: железо остается главным материалом современного общества.

Первые сведения о немногочисленных случаях практического применения железа уходят в глубь веков. В 1800 г. его выплавка составила 0,5 млн т, а к концу XIX в. — уже около 3,5 млн т. В наши дни человечество получает и использует по 2 млрд т чугуна и стали, их производство продолжает расти и, по некоторым,

может быть, несколько смелым прогнозам, достигнет к 2000 г. 3 млрд т. Согласитесь, с учетом сравнительно немалого срока (100 лет) рост впечатляющий - почти в 1000 раз! И если черная металлургия наносит вред окружающей среде, а это, увы, так, то при прочих равных условиях он вырос за 100 лет в 1000 раз. Этого нельзя не сказать.

Неуклонно увеличивается выпуск чугуна и стали в Советском Союзе, и, несмотря на успехи материаловедения, создание огромного количества искусственных материалов порой с удивительными уникальными свойствами, нет оснований прогнозировать приближающийся упадок черной металлургии, так как железо и сплавы на его основе по своим свойствам остаются непревзойденными и незаменимыми материалами.

Важная роль железа и сплавов на его основе в современном научно-техническом прогрессе несомненна. Для получения сплавов необходимы самые различные цветные и редкие металлы, широко их применение и в чистом виде. Без них немислимо практически любое современное конструктивное устройство.

Полезные свойства железа люди обнаружили и стали использовать даже раньше овладения способом его выделения из природного материала (оксида). У древних египтян этот металл назывался "вааепере", т.е. "небесного происхождения". "Камнем неба" именовали его копты. Оба названия абсолютно верны: первое железо, с которым познакомился человек, было метеоритного происхождения. Оно действительно падало "с неба" и ценилось очень высоко.

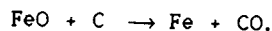
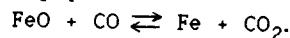
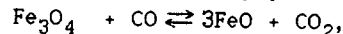
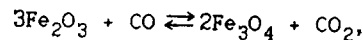
Многие века железо было дороже золота. В "Географии" древнегреческого географа и историка Страбона говорится, что некоторые африканские народы за железо давали слиток золота тяжелее в 10 раз, а в "Одиссее" Гомера описывается приз победителю игр, состоявший из куска золота и куска железа. Наконец, имеются не только письменные, но и вещественные доказательства высокой стоимости железа: в древних скандинавских гробницах обнаружены бронзовые мечи, только острие которых было сделано для упрочения из железа.

В наши дни железо несравненно дешевле не только золота, но и бронзы. Произошло это благодаря успехам технологии, в результате чего этот широко распространенный в природе металл - в земной коре его не

менее $7,75 \cdot 10^{17}$ т, только в районе Курской магнитной аномалии 40 млрд т - стал доступен для человека.

В древности железо выделялось из оксидов в печах небольшого размера - домницах, в которых древесный уголь использовали как источник тепла и восстанавливающий агент. Реакцию восстановления проводили при относительно низких температурах, существенно ниже температуры плавления железа. В таких условиях железо получалось весьма чистым, так как оно в течение всего процесса оставалось в твердом состоянии и почти не насыщалось примесями. Современный процесс выплавки чугуна проводится при температурах, обеспечивающих его получение в жидком состоянии, древесный уголь заменен каменным в виде кокса, при плавке используется флюс - обычно это карбонат кальция и оксид кремния, взятые в определенных соотношениях. Все это существенно изменило технологию, обеспечило работу огромных доменных печей по автоматическому циклу и усилило техногенное давление черной металлургии на окружающую среду. Оно связано с проведением при получении чугуна и стали многочисленных совершенно различных последовательных операций. Из них источниками загрязнения являются: производство кокса и побочных продуктов, обогащение руды, если оно производится, производство чугуна в доменных печах, выплавка стали в кислородных конверторах, дуговых электропечах и мартенах.

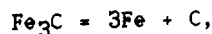
Основой регулирования доменного процесса являются температура и парциальное давление оксида углерода (II) в доменной печи. Восстановление руды происходит в несколько стадий по высоте ее шахты:



Образующееся железо интенсивно насыщается углеродом и превращается в карбид железа Fe_3C , а выделяющийся углекислый газ реагирует с твердым углеродом кокса, вновь восстанавливаясь до оксида углерода (II).

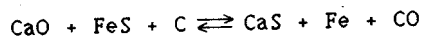
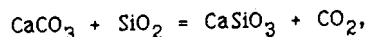
Карбид железа растворяется в жидком железе, образуя твердые растворы - "белый" чугун. При дли-

тельном нагревании карбид железа разлагается:



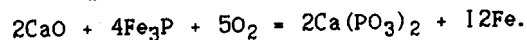
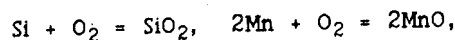
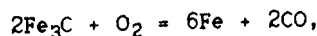
и получается "серый" чугун, в котором углерод растворен в виде α -графита.

Чугун насыщается рядом примесей, присутствующих в руде и коксе. Это прежде всего марганец, кремний, сера и фосфор. Из них сера и фосфор — вредные примеси. Флюс обеспечивает легкоплавкость шлака, а также способствует извлечению из конечного продукта серы

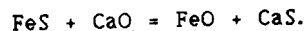


и отчасти фосфора.

Процесс получения стали из чугуна заключается в снижении содержания углерода и окислении примесей кислородом воздуха или оксидами железа при нагревании:



Продукты окисления примесей отводятся в шлак, который, будучи основным, дополнительно связывает серу:



Оксид углерода (II) выделяется в газовую фазу, а от избытка кислорода сталь освобождается добавлением ферросплавов кремния, марганца и реже титана, т.е. сплавов соответствующих элементов с железом.

Так в общих чертах выглядит технология получения чугуна и стали.

При производстве чугуна отходами являются шлак и доменные газы; обработка последних приводит к дополнительному образованию значительных количеств загрязнений в виде сточных вод.

Выплавка стали сопровождается образованием больших количеств пыли (оксиды железа, алюминия, марганца и кремния); кроме того, фторсодержащие руды, используемые в сталелитейном производстве, выделяют небольшое количество фторидов.

Коксохимические предприятия, обслуживающие черную металлургию, выбрасывают в атмосферу и водоемы большие количества фенолов и серосодержащих соединений.

Сталелитейный и особенно доменный процессы оказывают серьезную техногенную нагрузку на все объекты окружающей среды. Прежде всего по этой причине ведется усиленный поиск новых, более экологически приемлемых способов выделения железа из руд.

Еще в конце прошлого века Д. И. Менделеев писал: "Я полагаю, что придет со временем опять пора искать способов прямого получения железа и стали из руд, минуя чугун". Похоже, что это время пришло. В наши дни разработана новая технология восстановления оксидов железа. Новая, хотя предсказал ее почти 100 лет тому назад великий русский ученый, а использовали еще в доисторические времена. Имеется в виду твердофазный метод восстановления оксидов железа. Невольно вспоминается нередко оправдывающееся определение: новое — это хорошо забытое старое. Правда, нельзя не подчеркнуть, что использован лишь принцип, исключая образование жидкой фазы, а оформление его вполне современное.

Новый бездоменный процесс получения железа, вносящий заметный вклад в решение проблем защиты природы от негативного воздействия черной металлургии, основан на низкотемпературном восстановлении железных концентратов водородом или конвертированным газом (смесь оксида углерода (II) и водорода с примесями метана, углекислого газа и азота, полученная при окислительной переработке — конверсии — природного газа), что позволяет получить чистое железо и существенно снизить техногенное воздействие металлургического процесса на окружающую среду. Подобная технология внедрена, например, на Оскольском электрометаллургическом комбинате.

Внедряя и развивая новые технологии, следует помнить, что весь мир продолжает выплавлять чугуны и сталь, а домы — экологически малопривлекательные объекты — погаснут еще не скоро. Вот почему для настоящего и ближайшего будущего остаются очень актуальными проблемы усовершенствования доменных процессов, снижения выбросов в окружающую среду, разработки способов их улавливания и переработки на целевые продукты, определения путей использования твердых отходов.

Доменные газы регенерируются и используются как топливо, а шлак может найти многостороннее применение в строительной индустрии.

Мокрая очистка отходящих газов сталелитейных установок позволяет уловить до 98 % пыли, но появляются новые беды, обусловленные вторичным загрязнением, так как такой способ очистки газов сопровождается образованием большого количества загрязненных сточных вод. Оксид углерода (II), интенсивно выделяющийся при производстве стали, нейтрализуют дожиганием, уменьшая его содержание в отходящих газах.

Сточные воды коксохимических и металлургических предприятий многотоннажны и имеют сложный химический состав. Их очистка требует применения различных химических и физико-химических методов с обязательным внедрением замкнутых циклических систем водопотребления.

Много предстоит сделать, чтобы современная доменная печь вписалась в естественный природный ландшафт.

С наименьшим основанием то же малоутешительное заключение приходится делать, обращаясь к цветной металлургии. Ее предприятия также оказывают очень сильное воздействие на окружающую среду, а прогнозы развития этой отрасли промышленности не дают оснований надеяться, что в ближайшие 15-20 лет будет найдено радикальное решение экологически безвредного процесса выплавки цветных металлов.

Цветные металлы обычно получают из руды, тонна которой содержит полезного вещества в количествах от нескольких граммов до нескольких килограммов. Это обуславливает высокое техногенное давление на литосферу больших количеств твердых отходов, образующихся на стадиях как обогащения, так и выплавки металла. Процесс сопровождается образованием больших

объемов пыли и газа (дыма), содержащих оксиды металлов. Кроме того, выделение цветных металлов чаще всего связано с применением различных токсичных веществ и сами они нередко опасны для человека и окружающей среды.

Многие цветные металлы, в частности медь, свинец и цинк, содержатся в земной коре в виде сложных сульфидных минералов. После добычи и обогащения на плавление в печь поступает концентрат, содержащий до 30 % серы. Почти вся она в процессе выплавки металла выделяется в виде оксида серы (IV) SO_2 . Так газообразные выбросы цветной металлургии обогащаются еще одной малопривлекательной многотоннажной примесью.

Принципиально отлична технология выплавки алюминия: исходное минеральное сырье представлено не сульфидом, а оксидом, содержание металла в нем достигает 20-30 %. Металл получают в индивидуальном состоянии не термически, а электрохимически с использованием фторсодержащего расплава. Производство алюминия осуществляется в две стадии: химическое рафинирование бокситовой руды с целью получения глинозема (Al_2O_3) и получение металла электрохимическим восстановлением.

Основными отходами алюминиевой промышленности являются твердые продукты, газы (фториды, оксиды серы и углерода, углеводороды, высокодисперсные твердые частицы, хлор) и жидкие стоки (щелочной раствор, содержащий алюминат натрия, фторид кальция).

Основные проблемы технологии алюминия, возникающие в связи с охраной окружающей среды, связаны с выбросами фторидов и мелкодисперсных веществ, а также с так называемым красным шлаком, который образуется в больших количествах при получении глинозема и состоит в основном из оксидов железа и алюминия, в меньшей степени из оксидов кремния, титана, натрия и кальция.

Как же "примирить" цветную металлургию с природой? Путей много. Для каждого металла — свой. Однако есть и общие, внедрение которых необходимо на всех предприятиях цветной металлургии. Вот они:

— комплексное использование руд цветных металлов, которые обычно полиметаллически, а перерабатываются нередко только как сырье для получения одного продукта;

- улавливание и переработка газообразных выбросов, содержащих вредные для природы, но в то же время необходимые для промышленности продукты;

- разработка технологий переработки твердых отходов с целью снижения их токсического воздействия и одновременного получения дополнительных сырьевых источников примесных металлов;

- использование многотоннажных отходов обогащения и выплавки металлов в технологии строительных материалов;

- повторное вовлечение в технологический процесс сточных вод после предварительного максимального извлечения примесей и их переработки на целевые продукты.

Обратите внимание: выполнение всех этих рекомендаций обещает не только экологический эффект, но и заметную экономическую выгоду, так как отходы цветной металлургии обычно содержат весьма ценные продукты.

Нельзя сказать, что в этом направлении ничего не делается.

Существенная часть серы металлургических комбинатов улавливается и перерабатывается на серную кислоту.

Резко снижено за последние годы потребление воды за счет внедрения замкнутых водооборотных циклов. Полностью на оборотном снабжении или близком к нему работают, например, Орско-Халиловский металлургический комбинат и Челябинский металлургический завод.

Достигнут немалый экономический эффект и заметно улучшилась экологическая обстановка вследствие комплексной переработки сырья на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом, Балхашском и Норильском горно-металлургических комбинатах.

В цветной металлургии при 12 профилирующих металлах (алюминий, медь, никель, кобальт, свинец, цинк, вольфрам, молибден, золото, ртуть, олово, сурьма) попутно из руд извлекается еще 63 полезных компонента, в том числе благородные металлы, платиноиды, редкие металлы, редкоземельные элементы и др. Из свинцово-цинковых концентратов, кроме цинка и свинца, выплавляют медь, кадмий, висмут, серебро, золото, барий, олово, сурьму, ртуть, германий, индий, селен, теллур, таллий и другие элементы. Много ценных компонентов можно извлечь из медных руд. Так,

медные руды Балхашского горно-металлургического комбината содержат 15 полезных ископаемых, из которых 14 выделяют в виде готовой продукции, цена которой составляет 30 % от общей стоимости производимых комбинатом товаров. Как видим, экологическое совершенствование производства вполне совместимо с повышением его экономической эффективности.

И тем не менее комплексная переработка руд цветных металлов еще не стала непреложным законом: в настоящее время теряется более 15 % меди, 50 % цинка, 45 % серы и 13-14 % благородных металлов. Потребление воды металлургическими предприятиями чрезмерно высокое, газообразные выбросы ("лисы хвосты") остаются непременным атрибутом многих комбинатов цветной металлургии, а горы твердых отходов продолжают расти.

Успехи металлургии несомненны и необходимы человеческому обществу, но нельзя, чтобы ее развитие угрожало существованию этого общества. Нужны дальнейшие разработки и внедрение эффективных мер по защите природы от загрязнений, образующихся при производстве черных и цветных металлов.

Очевидно, в решении этой задачи место химии далеко не последнее. Химический аспект металлургии нами только намечен и далеко не исчерпан полностью, так как получение каждого металла, а сегодня все они фактически являются объектами промышленного использования, основано на специфических реакциях. Их сотни. Только тех, которые находят практическое применение.

Эколого-химический портрет энергетики

Обратимся теперь к другой, может быть, самой важной отрасли промышленности, которая описывается все той же реакцией, использовавшейся еще нашими пращурами.

Ее величество реакция горения

Человек впервые использовал огонь для обогрева, приготовления пищи и защиты от хищников примерно 100-150 тыс. лет тому назад. Так люди начали пользоваться тепловой энергией для практических целей. Реакция горения в наши дни приобрела еще большее

значение, и ее роль в научно-техническом прогрессе трудно переоценить.

Развитие человечества не что иное, как постоянный труд по овладению энергией, которая во все времена определяла мощь и уровень развития общества. Успехи цивилизации — это в первую очередь результат совершенствования способов превращения энергии в необходимые человеку формы, неуклонное увеличение объемов ее потребления. Всех примеров использования энергии просто не перечислить, да они и общеизвестны: от преобразования солнечной энергии, накопленной в древесине, в тепловую энергию туристического костра до получения импульса, способного вырвать многотонный космический корабль из объятий земного притяжения посредством высвобождения энергии молекул ракетного топлива при его горении.

По многим параметрам незаменимым источником энергии является электричество. Энерговооруженность общества растет в первую очередь за счет увеличения производства электроэнергии. Известно много способов ее получения, но основой остается реакция горения. Около 80 % мировой электроэнергии получают на тепловых электростанциях (ТЭС), сжигая органическое топливо. Использование топливно-энергетических ресурсов многообразно и охватывает все стороны деятельности общества: промышленность и сельское хозяйство, транспорт, коммунально-бытовое хозяйство и пр.

Топливно-энергетические ресурсы — это прежде всего нефть, природный газ и уголь. Их состав может быть выражен суммарным уравнением

$$C + H + O + N + S + W + M = 100 \%,$$

где W — влага и M — минеральные примеси. Углерод и водород определяют энергетическую ценность топлива, кислород и азот — балластная составляющая, минеральные примеси образуют золу. Они, так же как и влага, отрицательно влияют на технологии получения энергии. Сера — одна из самых вредных примесей.

Количественное соотношение элементов в органическом топливе различно и зависит не только от типа, но и от места его залегания. Интересные заключения можно сделать на основании усредненного химического состава твердого и жидкого топлива:

Топливо	Элементный состав органической массы, мас. %		
	C	H	O + N
Древесина	50	6,0	44,0
Торф	59	6,0	35,0
Уголь			
бурый	70	5,5	24,5
каменный	82	5,0	13,0
антрацит	95	2,0	3,0
Горючие сланцы	75	10,0	13,0
Нефть	83-87	12-14	0,2-0,3

Примечание. Химическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1988. Т. I, С. 358, 628, 1178; 1990. Т. 2. С. 233, 598.

Наименьшее количество углерода содержится в древесине, и оно увеличивается в зависимости от возраста углей, для которых первой стадией превращения материнского вещества является торф, затем следуют бурый и каменный угли. Самое древнее твердое органическое топливо — антрацит. Обратная зависимость характерна для водорода и кислорода, содержание которых понижается в том же ряду. Временная корреляция в меньшей степени выражена для азота и серы. Мы видим, что в приведенной таблице особое место занимает нефть: она содержит наибольшее количество водорода и отличается высокой энергетической ценностью (C + H) среди горючих ископаемых.

Органическая масса углей — сложная смесь различных высокомолекулярных соединений. Например, бурые угли содержат в основном соединения алифатического ряда, а каменные — конденсированные ароматические структуры, связанные в макромолекулы, причем антрацит практически на 100 % состоит из подобных молекул. В углях также имеются соединения, содержащие серу, кислород, азот и минеральные примеси (кремнезем, глинозем, соли железа и др.).

Нефть — сложная смесь углеводородов трех типов: алканы (C_nH_{2n+2}), циклоалканы (C_nH_{2n}) и арены (C_nH_{2n-6}). В нефти содержатся также в малых коли-

чествах (0,3–7 %) соединения, в состав которых, кроме углерода и водорода, входят кислород, азот и сера. В нефти обнаружено свыше 20 различных элементов: фосфор, ванадий, марганец, хром, кобальт, бор и др. Всего в различных нефтях идентифицировано 805 индивидуальных химических соединений.

Природные горючие газы подразделяются на собственно природные газы, добываемые на чисто газовых месторождениях, попутные газы, растворенные в нефти и извлекаемые из недр вместе с ней, и газы газоконденсатных месторождений. В природных горючих газах содержится до 98 % метана, тогда как в состав попутных газов входит значительное количество его более тяжелых гомологов. Газы конденсатных месторождений, так же как и попутные газы, содержат 5–100 г/м³ углеводородов от C₃ и выше. В качестве примесей в горючих газах содержатся циклические и ароматические углеводороды, небольшое количество азота и аргона, следы гелия и водорода; наконец, нередко присутствие значительных количеств сероводорода, меркаптанов и углекислого газа.

При сгорании основной массы энергетического сырья выделяющиеся газообразные продукты (CO₂ и H₂O) не наносят заметного вреда природе, но беды от малой ее части, представленной примесями, при таких многотоннажных расходах становятся весьма ощутимыми, тем более что особенно быстро растет потребление угля, являющегося по многим параметрам наименее экологически приемлемым топливом.

Теплоэнергетика по общему воздействию на окружающую среду является наиболее экологически опасной отраслью промышленности. Она взаимодействует со всеми объектами окружающей среды – биосферой, литосферой, гидросферой, атмосферой.

Теплоэнергетика наносит труднопоправимый ущерб рекам и озерам, лесам и полям, растениям и животным, оказывает негативное воздействие на здоровье людей.

Влияние теплоэнергетики на литосферу заключается в необходимости хранения золошлаковых отходов, ежегодное мировое накопление которых превышает 200 млн т. В золошлаковых отвалах Советского Союза ныне скопилось до 1,5 млрд т твердой массы, занимающей 150 тыс. га. Вымывание атмосферной влагой и подземными водами из золы и шлаков различных химических соединений приводит к отравлению почв на территориях,

существенно превышающих площадь самого хранилища твердых отходов, а также загрязняет близлежащие водоемы. Сокращения золошлаковых отходов на ближайшее время не предвидится, так как очевиден дальнейший рост расхода органического топлива и особенно наиболее "твердоотходного" – угля. Его потребление предполагается значительно увеличить, что еще больше увеличит техногенное давление на литосферу, если не будут найдены и внедрены в практику оптимальные способы обезвреживания, переработки и использования твердых отходов теплоэнергетики.

Немалые количества твердых отходов образуются также при добыче и обогащении углей, тем более что их наиболее рентабельное извлечение из недр осуществляется открытым способом, когда количество твердых отходов наибольшее. Кроме того, открытый способ сопровождается отчуждением наибольшей площади территорий. Так, например, запасы угля в США оцениваются в 188 млрд т. Из них примерно 14 % поддаются открытому способу добычи. Каждый миллион получаемого таким образом сырья приводит к нарушению естественного ландшафта на площади 18,6 га. Нетрудно подсчитать, что открытая разработка угольных месторождений США будет связана с потерей приблизительно 500 тыс. га земли. Как видим, экология и экономика явно "не стыкуются". Только комплексная переработка твердых отходов, а также максимальное извлечение всех полезных компонентов с последующим использованием твердого остатка в производстве строительных материалов могут обеспечить эту "стыковку".

Существенны техногенные нагрузки теплоэнергетики и на гидросферу, так как эксплуатация ТЭС связана с безвозвратными потерями значительных количеств воды: станция мощностью 1000 МВт требует для испарительного охлаждения более 20 млн м³/год воды, которая не возвращается в оборот. Общие объемы подобных расходов воды нетрудно оценить, зная, что наша страна располагает более чем 80 электростанциями-гигантами мощностью более 1000 МВт, из которых 56 – тепловые.

При повторном использовании воды на угольных ТЭС проблема организации бессточного производства решается лишь частично, так как сохраняются безвозвратные потери, а при очистке оборотных вод системы гидрозолоудаления загрязнения фактически переносятся из сточных вод в золоотвалы, откуда они вымываются в



Р и с. 10. Образование серной кислоты (1) и сульфата аммония (2) при превращении оксида серы (3) в природных условиях

окружающую среду. В данном случае принципиальным решением вопроса экономии и сохранения качества воды является замена гидрозолоудаления пневмозолоудалением, полностью исключающим воду из процессов удаления золы и шлаков из топки печи и их транспортировки в отвал.

С отходящими газами ТЭС в мире уже в 1970 г. в атмосферу поступало до 100 млн т твердых частиц и почти 1 млрд т газообразных продуктов. В наши дни только оксида серы(IV) выбрасывается в окружающую среду примерно 250 млн т. К нему добавляется не менее 300 млн т оксида углерода(II), почти столько же оксидов азота, не менее 50 млн т углеводородов, целый ряд других, меньших по объему газообразных примесей нередко весьма высокого техногенного давления, какой, например, является 3,4-бензпирен.

Самая неприятная составляющая газообразных выбросов ТЭС — оксид серы(IV) SO_2 . О его поведении в природных условиях мы уже говорили (см. с. 32). Оксид серы(IV) выпадает на поверхность Земли в виде кислотных дождей, содержащих в основном растворенные серную кислоту и сульфат аммония, нередко даже вдали от источника выделения (рис. 10). Эти дожди — бич современного сельского хозяйства, всей биосферы. Только на континентальную часть страны с атмосферными осадками выпадает около 15 млн т/год серы в виде ее водорастворимых соединений.

Улавливание серы, содержащейся в органическом топливе, с целью охраны природы лишь одна, но не единственная сторона проблемы. Спасение сельскохозяйственных угодий, рыбопромысловых водоемов, лесов и пастбищ от кислотных дождей обещает не только

экологическую, но и реальную социально-экономическую выгоду. Она проявляется не только в повышении урожаев, сохранении продуктивности растительного и животного мира, всей биосферы. Улучшаются технологические параметры теплоэнергетических установок, появляется возможность получать новые ценные продукты — соединения серы.

Сжигание тонны серы в составе угля вызывает дополнительные расходы по эксплуатации оборудования — примерно 30 руб. Сумма представляется совсем небольшой, но если иметь в виду, что одна ТЭС мощностью 1000 МВт сжигает около 3 млн т/год угля, а его общий расход исчисляется миллиардами тонн и содержание серы в углях некоторых месторождений может превышать 4–5 %, то эта "мелочь" оборачивается огромными затратами.

Не менее важны сырьевые соображения. Сера специально добывают для нужд целого ряда отраслей промышленности, затрачивая на это немалые средства. В то же время в ежегодно добываемых углях Советского Союза содержится более 10 млн т серы, немало ее и в природном газе. Большая часть этого ценного химического сырья сейчас пока еще в буквальном смысле вылетает в трубу. Одна лишь первая очередь Астраханского газоконденсатного комплекса только за 1987 г. выбросила в атмосферу 1 млн т сернистого ангидрида.

Производных серы выделяется в атмосферу все больше и больше, трубы строятся все выше и выше, чем достигается понижение концентрации оксида серы(IV) в газообразных выбросах за счет его разбавления на больших высотах в большом количестве чистого воздуха. Вряд ли такой метод оправдан. Интересы экологии и экономики требуют утилизации серы и переработки ее на целевые продукты. Воздух будет чище, а полезного сырья для других отраслей промышленности больше. Реальный экологический и экономический приемлемый путь заключается в очистке отходящих газов, улавливании их компонентов и направлении после соответствующей переработки в сферу потребления. Эти технологические задачи имеют инженерное и научное решение, которое применяется на практике, правда, далеко еще не везде, где это необходимо. Главная причина последнего в несовершенство современной технологии очистки: из более 60 абсорбционных, хемосорбционных и каталитических методов улавливания

кислых газов ни один не является одновременно достаточно эффективным и экономичным. Поэтому ученым и практикам представляется все более привлекательной не очистка газообразных выбросов ТЭС, а предварительное извлечение серы из нефти и газов, облагораживание углей.

Сера входит в состав углей в трех формах: органическая (химически связанная в виде ароматического полициклического соединения), пиритная, или колчеданная (содержащаяся в пирите — составной части минеральных примесей углей), и сульфатная (сульфаты железа и кальция). В зависимости от формы нахождения в углях сера в процессах десульфурации (обессеривание) ведет себя по-разному.

Десульфурация частично осуществляется при удалении минеральных примесей. Например, в донецких углях на этапе обогащения содержание серы понижается на 15–20 %. Развитие методов обогащения, применение химических реагентов увеличит процент удаленной серы, но следует подчеркнуть, что в этом случае извлекается только пиритная сера.

Более глубокая десульфурация возможна при развитии химических и бактериологических методов, исследовательские и опытные работы по совершенствованию которых широко проводятся у нас и за рубежом.

Химическими методами удаляется главным образом пиритная сера и снижается доля органической серы. Они основаны в первую очередь на растворении примесной серы в растворах различного химического состава при повышенных температурах и давлениях и обеспечивают достаточно высокую степень десульфурации. Например, в процессе Бателла (США) уголь обрабатывают в термоавтоклаве смесью гидроксидов натрия и кальция, что позволяет удалить до 99 % пиритной и около 70 % органической серы. Тем не менее все химические методы пока еще дороже обычных методов обогащения, что, естественно, сдерживает их внедрение в таком многотоннажном производстве, каким является угледобыча.

В последние годы исследуются возможности обессеривания углей микробиологическими методами. Бактериологическое выщелачивание позволяет удалить до 90 % пиритной серы. Его скорость может быть повышена введением катализаторов окисления и поверхностно-активных веществ, однако микробиологическая технология

пока еще остается длительной (до месяца) и трудно оценить перспективы ее широкого внедрения.

Самый интересный путь облагораживания углей заключается в их превращении в жидкие продукты. Этот путь перспективен, потому что уголь дешевле нефти и запасы его больше: угля в подземных кладовых природа "накопила" на сотни лет современного потребления. В то же время нефть и газ остаются в наши дни наиболее удобным источником энергии по многим параметрам и механическая их замена углем трудно осуществима. Еще одна важная сторона применения нефти заключается в том, что почти все транспортные средства в настоящее время используют нефтепродукты и по крайней мере до конца нынешнего столетия положение не изменится. Нефть не только энергетическое сырье, но и сырье для основного органического синтеза, 98 % продукции которого производится на основе углеводородов нефти. В настоящее время около 10 % всей расходуемой нефти идет на эти цели, а к 2000 г. 10–15 % жидкого углеводородного топлива потеряет право называться топливом, так как будет использоваться не для получения энергии, а для производства различных искусственных материалов.

Актуальность проблемы переработки углей и горючих сланцев в жидкое топливо несомненна. Во многих странах мира интенсивно развиваются долговременные программы разработки и внедрения технологий производства жидких углеводородов из твердых горючих материалов.

Сравнив химический состав нефти и твердых горючих ископаемых (см. с. 79), нетрудно определить принцип получения из последних жидких продуктов: в углях по сравнению с нефтью пониженное содержание водорода, а, следовательно, при их переработке необходимо добавить недостающее количество водорода или же уменьшить содержание углерода. В соответствии с этим различают три основных способа превращения твердых горючих ископаемых в смеси жидких углеводородов: термохимическое разложение угля (воздействие органических растворителей в области температур разложения органической массы твердого горючего), газификация (превращение угля в смесь газов при помощи газифицирующих агентов) и, наконец, гидрогенизация — термохимическая обработка угля в присутствии водорода с целью получения жидких продуктов.

Состояние научных исследований на сегодняшний день убедительно показывает, что сочетание процессов гидрогенизации и газификации угля может обеспечить в обозримом будущем получение из угля моторного топлива и органических веществ всех основных видов, производимых в настоящее время из нефтяного сырья.

В связи с тем, что ресурсы нефти ограничены, можно не сомневаться, что технология переработки твердых горючих ископаемых в жидкие продукты вполне оправдывает себя с экономической и сырьевой точки зрения, улучшая одновременно и экологическую ситуацию.

Правда, именно природоохранные вопросы в этом случае, возможно, наиболее трудно решаемы. Дело в том, что производство по получению искусственного жидкого топлива будет перерабатывать огромное количество твердой массы. Относительно небольшому заводу мощностью 1 млн т/год жидкого продукта необходимо переработать за тот же период до 15 млн т угля (в зависимости от его качества). А если иметь в виду, что потребность в производимых продуктах исчисляется сотнями миллионов тонн, то станет понятным, сколь существенны ожидаемые техногенные нагрузки от многотоннажных твердых отходов заводов по производству искусственного жидкого топлива. Ясно, что без рациональной целенаправленной переработки отходов подобные предприятия окажутся экологически несостоятельными. Очевидно также, что необходимые количества угля на долгосрочную перспективу могут давать только мощные месторождения с неглубоким залеганием пласта, позволяющим организовать добычу открытым способом. Тем не менее экологические трудности преодолимы, так же как и сырьевые. В Советском Союзе угольные месторождения Сибири, например Канско-Ачинское, вполне отвечают указанным требованиям.

Применяются также методы обогащения углей, не связанные с глубоким превращением горючего материала. Создаются новые селективные реагенты, способствующие повышению степени разделения минеральной и органической части. Внедряются процессы пенной флотации с применением специальных веществ, новые технологии комплексного обогащения. В Подмосковном угольном бассейне, например на обогатительной фабрике разреза "Климовский", выпускается концентрат бурых углей для энергетических целей и как побочные продукты производства серный колчедан для получения

серной кислоты и глина для керамической промышленности. Так совмещаются экологические и экономические задачи.

В ряде стран уже несколько десятилетий назад приняты законы, запрещающие использование углей с повышенным образованием летучих веществ и большой сернистостью для промышленного и коммунально-бытового сжигания. И сразу же возникла проблема получения малодымного и бездымного топлива, так как только антрацит, ресурсы которого ограничены, отвечает экологическим требованиям по качеству и дымности.

Для получения такого топлива используется брикетирование углей и "мелочи", составляющей до 70 % от извлекаемой из недр массы. Процесс основан на термомеханической обработке углей с применением связующих материалов, в результате чего получаются геометрически правильные и однородные по форме и массе куски. В качестве связующих используются нефтебитумы, каменноугольные смолы и пеки, концентраты сульфит-спиртовой барды, а также комбинированные смеси на их основе. Часто, кроме того, применяют добавки электролитов (хлорид или сульфат натрия и др.), жидкого стекла, сульфитных щелоков и различных эмульгаторов. Последнее позволяет снизить расход основного связующего материала на 30-40 %.

В настоящее время ежегодно в мире производится около 130 млн т угольных брикетов, из них более 80 млн т из бурых углей. В СССР брикетирование не получило достаточно широкого распространения из-за недостатка дешевых и недефицитных связующих веществ. Производится около 9 млн т брикетов преимущественно из молодых бурых углей Украины и Урала. Слабая обеспеченность связующим сырьем характерна и для других стран мира. Важной задачей остается разработка эффективных и легко доступных связующих материалов, особенно на основе отходов других производств.

Экологическое совершенствование теплоэнергетики идет, как видим, по различным взаимодополняющим направлениям.

Во-первых, улавливание, обезвреживание и целевая переработка газообразных выбросов, использование твердых отходов в других производствах и минимизация водопотребления.

Во-вторых, "улучшение" топлива путем предварительного удаления из него вредных примесей или переработки твердого горючего на жидкие продукты. К этому направлению тесно примыкают более радикальные методы, еще не нашедшие широкого практического применения и заключающиеся в принципиальном изменении характера горючего путем, например, организации технологии производства и транспортировки водорода как источника энергии или путем развития энергетики, использующей в качестве топлива метиловый спирт.

Третьим направлением является использование принципиально отличных от реакции горения источников энергии.

Энергетика, не нуждающаяся в углеводородах
Если задаться вопросом: имеет ли современная энергетика альтернативу реакции горения углеводородного сырья, то ответ будет однозначный и самый обнадеживающий: их сколько угодно.

Гидроэнергетика, имеющая многовековую историю, вносит заметный вклад в общемировую энергетическую "копилку", но, во-первых, она экологически далеко не безупречна, а, во-вторых, гидроэнергоресурсы, даже при их 100 %-ном использовании, обеспечат не более 10 % современного энергопотребления, а поэтому они всегда будут играть важную, но лишь вспомогательную роль в мировом энергобалансе и никогда не составят конкуренции основному энергетическому сырью.

Атомная энергетика несравненно перспективней с точки зрения запасов сырья, так как даже при полном вытеснении ею теплоэнергетики (что вряд ли когда-то произойдет) и с учетом значительного роста потребления энергии расщепляющего материала хватит по меньшей мере на 500 лет.

Продолжая хвалить столь ныне непопулярный источник энергии, заметим, что атомные электростанции (АЭС) не расходуют кислорода воздуха, не выделяют в атмосферу диоксида серы и других вредных газообразных продуктов, не угрожают нашему климату, а замкнутые циклы водопотребления позволяют говорить об их безвредности и для гидросферы.

Все эти факторы, а также в 250 000 раз меньшее количество твердых отходов у АЭС, чем у ТЭС, и отно-

сительная дешевизна производимой энергии явились причиной столь бурного развития атомной энергетики.

Начало положила более чем скромная АЭС мощностью 5 тыс. кВт, построенная советскими специалистами в 1954 г. в Обнинске. А в 1990 г. в нашей стране эксплуатировалось 46 энергетических, 11 исследовательских реакторов и 12 реакторов на атомных судах.

Атомные энергетические установки обеспечивают примерно 12 % общей энергетической вооруженности СССР, 20 % — США и 70 % — Франции. 16 % энергетических потребностей мира обеспечивают 416 ядерных реакторов общей мощностью 195 млн кВт, эксплуатируемых в 26 странах.

В то же время Швеция, имеющая 12 реакторов, вырабатывающих более половины потребляемой ею электроэнергии, объявляет о прекращении строительства новых АЭС, принимает программу сворачивания атомной энергии и заявляет, что через 20 лет она "потушит" последний атомный реактор. Мы знаем, что Швеция не одинока в своем стремлении отказаться от услуг ядерного горючего.

В чем же дело? Ответ сегодня знают все. Слишком опасны аварийные ситуации на атомных реакторах. Печально памятные черные дни Чернобыля убедительно подтвердили это мнение.

Любое предприятие не гарантировано от аварийных ситуаций. АЭС не представляет исключения. Разница только в том, что слишком велика цена катастрофы на атомном реакторе. И главное ее выражение не в рублях (хотя их и не мало), а в человеческих жизнях сегодняшних и, может быть, еще не родившихся людей, в нанесении окружающей среде тяжелейшего ущерба, устранить который полностью мы не в состоянии.

История атомной энергетики насчитывает всего лишь чуть более 30 лет. За это время она испытала три крупные катастрофы (1957 г. — Великобритания, 1979 г. — Соединенные Штаты Америки, 1986 г. — СССР) и сотни более мелких. Нет абсолютной уверенности в полном исключении подобных событий.

Это самый главный, но не единственный упрек атомным станциям. Объемы отходов АЭС и ТЭС несравнимы в пользу первых, но они несравнимы и по степени вредного воздействия на все живое. Чрезвычайно опасные радиоактивные отходы не подвергаются обезвреживанию.

Оно может быть достигнуто только многолетним их хранением вплоть до естественного распада радиоактивных элементов и превращения отходов в безвредные продукты. Еще раз подчеркнем, что очень сложное и дорогое решение этой многофакторной инженерной проблемы все-таки не гарантирует абсолютного исключения аварийных ситуаций с трудно предсказуемыми, но, несомненно, тяжелыми последствиями.

Где же выход? Предать атомную энергетику анафеме или все же развивать ее, обеспечив гарантированную безопасность? Все человечество и особенно наше общество с его естественным "чернобыльским синдромом" разделилось на два конфликтующих лагеря: яростных, но не всегда реалистичных противников АЭС и более осторожных, но настроенных более конструктивно ее сторонников.

Необходимость развития энергетики, не говоря о путях этого развития, очевидна. Также очевидно, что по экологическим, экономическим и сырьевым соображениям человечеству, в том числе и Советскому Союзу, не обойтись без услуг атома. В этом реальная перспектива нашего развития.

Чисто "запретительная" стратегия характерна в нашем обществе для движения "зеленых". Она основана на решении вопроса: быть или не быть атомной энергетике, той или иной АЭС, в пользу "не быть" без определения альтернативы атомным станциям, вне внимания к путям развития энергетики как основы повышения жизненного уровня. Конечно, ряд АЭС нужно и должно закрыть, что, кстати, частично уже сделано. В их числе, например, Одесская и Минская АТЭС, Крымская, Краснодарская и Армянская АЭС. Нельзя, однако, огульно запрещать их вообще, без учета экономических тенденций развития общества.

Ситуация не тупиковая, а просто очень сложная. Есть ли способ уменьшить риск бессмысленных и чреватых опасностью затрат, избавить людей от страха, избежать необратимого разрушения природы? Мы слишком быстро и без достаточного "запаса прочности" развивали атомную энергетику. Может быть, следует согласиться с мнением народного депутата СССР писателя Ю. Щербака о необходимости "...остановиться, отдышаться, объявить на какое-то время мораторий, лет на десять, чтобы разобраться"? Теперь необходимо "подтянуть" науку и технику до уровня, максимально

исключающего риск при работе АЭС. С другой стороны, нужна полная открытость в стратегии развития атомной энергетики.

Ядерным реакторам типа РБМК, еще работающим в нашей стране, но уже доказавшим свою малую надежность, не место в советской энергетике. Путь избавления от них мы уже знаем, так как известно, что, в принципе, можно создать такой ядерный реактор, который при повышении мощности сверх установленного максимума сам себя заглушит. В нем невозможны самопроизвольное развитие реакции деления ядер урана и последующий взрыв с выбросом радиоактивных осколков. В настоящее время ученые успешно работают над созданием конструкции подобного реактора, называемого "внутренне безопасным ядерным реактором". При малейшем отклонении от заданного режима ядерная реакция в нем немедленно прекращается. Если бы в Чернобыле стоял такой реактор, то единственным последствием аварии была бы его остановка.

Дальнейшее повышение безопасности АЭС требует их удаления с поверхности нашей планеты. Подземные атомные электростанции, идея которых была активно поддержана академиком А. Д. Сахаровым, должны стать реальностью. Экономия здесь не уместна. Пусть атомная энергия станет дороже, пусть замедлятся темпы ее развития, зато несоизмеримо возрастет надежность АЭС и исчезнет из нашего сознания образ атома-убийцы, уничтожающего человека и окружающую его природу. Нельзя на это жалеть ни времени, ни денег.

Непросто отказаться от услуг атомной энергии по многим причинам. Одна из них заключается в том, что к 2010 г. мы можем достичь критического соотношения потребления и воспроизводства кислорода, если будем развивать только энергетику, основанную на сжигании углеводородного топлива. Нельзя не строить атомных установок, но их размещение и качество должны гарантировать, что никогда и ни при каких обстоятельствах не повторится Чернобыль.

Несколько слов о радиоактивных отходах. Единственное, что мы можем сделать с ними, это спрятать от всего живого. Надежно и на долгие годы. Известны и внедрены достаточно эффективные технологии хранения таких отходов. Ныне эксплуатируемое хранилище использует метод выдерживания отработавших стержней атомных реакторов под многометровым слоем воды.

Сегодня оно заполнено только на 5 %, и его емкостей хватит до конца следующего века. Создается подземное хранилище уже для радиоактивных отходов будущего тысячелетия. По своим геологическим и инженерно-технологическим параметрам оно гарантирует, что по меньшей мере 15-20 тыс. лет продукты радиоактивного распада не попадут в окружающую среду. За этот срок все радиоактивные элементы распадутся на безвредные вещества. Сейчас разрабатывается иной метод захоронения, прошедший опытно-промышленное испытание. Он основан на отверждении отходов, их выдерживании в специальных хранилищах 30-40 лет с последующим удалением в глубокие слои Земли.

Созданные технологии и успешно развиваемые в этой области научные исследования позволяют надеяться на высокую степень надежности хранения радиоактивных отходов, исключая загрязнение человека и природы.

Естествен вопрос: коль скоро мы знаем много альтернатив реакции горения углеводородного топлива, почему сохраняется приверженность атомной энергии и не используются иные нетрадиционные ее источники, способные избавить нас от страха перед расщепляющимся атомом? Дело в том, что нетрадиционная энергетика, кроме атомной, еще переживает стадию эмбрионального развития. Она или, по разным причинам, слишком маломощна, или же не так близка к промышленному внедрению.

Термоядерная энергия безопаснее и эффективнее атомной. Здесь, как и в атомной энергетике, источником тепла является ядерная реакция, но если на АЭС осуществляется реакция разложения тяжелых ядер, то термоядерная реакция представляет собой синтез ядер гелия из ядер водорода. Если при делении тяжелых ядер превращается в энергию примерно 0,1 % их массы, то процесс $4\text{H} = \text{He}$ (основной источник энергии Солнца) сопровождается превращением 0,7 % исходной массы в энергию.

В земных условиях для синтеза ядер гелия лучше использовать дейтерид лития (гидрид лития, в котором водород заменен его изотопом — дейтерием). При делении ядер 1 т урана высвобождается 10 Мт ($1 \text{ Мт} = 8 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$) энергии, тогда как 1 т материала, участвующего в ядерном синтезе, способна выделить порядка 60 Мт, что соответствует энергии взрыва 60 млн т обычного взрывчатого вещества (тринитротолуола) и

примерно в 10 раз превышает общую мощность бомб, взорванных за время второй мировой войны.

Наш разговор не о бомбах. Просто в таком исчислении легче сравнить энергетику двух ядерных процессов, потому что человек овладел синтезом ядер гелия в нерегулируемом варианте (водородная бомба), но он не умеет осуществить управляемую реакцию термоядерного синтеза. Добейся мы этого — и человечество получит практически неисчерпаемый источник энергии (тяжелая вода рек, морей и океанов) с высоким экологическим рейтингом. Однако овладение ею в промышленных экономически приемлемых масштабах — перспектива не сегодняшних дней. Слишком много установила природа запретов на путях осуществления управляемого термоядерного синтеза. Электростанции, использующие в качестве топлива тяжелый водород и его соединения, — наше будущее не самых ближайших лет и даже десятилетий.

Атомная и ядерная энергетика, основанная на использовании энергии ядерных процессов, уводит нас от традиционной реакции горения, хотя, может быть, в силу привычки или в знак особого уважения к этой реакции, сделавшей нас сильными и могучими, терминология осталась прежней. Мы говорим о ядерном горючем, горении атомного топлива в ядерном котле и т. д., понимая, что реакция распада урана или синтеза ядер гелия ничего общего с окислительно-восстановительной реакцией горения не имеет, кроме того, что в обоих случаях идет процесс превращения вещества (на молекулярном или атомном уровне) с выделением энергии.

Солнечная энергия извергается мощным потоком на нашу Землю. Солнце будет гореть миллиарды лет, и миллиарды лет на поверхность нашей планеты будет поступать энергия в виде тепла и света. Этой энергии мы с вами, как и все живое на Земле, обязаны жизнью. Мы ее используем в жизненных процессах, постепенно начиная применять в бытовых и технологических целях. Солнечная энергетика экологически почти безупречна и идеальна с точки зрения сырьевого обеспечения, но масштабное ее развитие в силу ряда причин — удел не самого ближайшего будущего, хотя уже в наше время известно немало примеров практического использования солнечных лучей.

Энергия ветра и морских волн, океанических приливов-отливов и недр Земли, тепловая энергия Мирового океана и подземных вод и многие другие

источники могут найти применение в энергетике будущего. Рассказ об этих неисчерпаемых источниках энергии достоин специальной большой книги. Мы же ограничимся лишь перечислением, тем более что упомянутые источники энергии не связаны напрямую с протеканием химического процесса, а, кроме того, находятся лишь в стадии научных разработок или ограниченного практического применения. Ожидает ли их широкое промышленное внедрение и когда это произойдет – вопрос, на который ответить нелегко. Можно сделать лишь самое общее заключение: скорее всего, да, но не очень скоро.

Из всего обилия неисчерпаемых источников энергии человечество, надо полагать, выберет для собственных нужд в будущем энергию, выделяющуюся при ядерном синтезе, осуществляемом в земных установках (термоядерная энергия) или в небесном реакторе (солнечная энергия). Эти практически неисчерпаемые источники энергии навсегда уничтожат призрак энергетического кризиса, обеспечат оптимальное взаимодействие энергетики с окружающей средой. Однако случится это лишь в следующем столетии и, вернее всего, далеко не в самом его начале. Реакция горения еще долго сохранит свое главенствующее значение в мировой энергетике, а поэтому, усиленно развивая научные исследования в области преобразования энергии нетрадиционных источников, следует обратить наибольшее внимание на экологическое, экономическое и сырьевое совершенствование современной ТЭС – химического реактора для получения энергии.

Уместно вспомнить утверждения некоторых ученых о том, что, откажись человек от использования, например, ископаемых углеводородов – нефти, угля и т.п., цивилизация рухнет и мы снова вернемся в каменный век. Может быть это слишком пессимистично, но от истины недалеко.

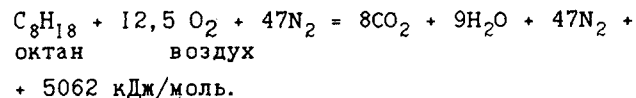
Практически исчерпав тему взаимодействия теплоэнергетики и окружающей среды, мы тем не менее еще далеки от окончательного рассмотрения экологических проблем реакции горения. Эта реакция широко используется не только в стационарном варианте, но и в "бегущих", "летающих" и "плавающих" энергетических установках. О самых экологически опасных среди них – автомобилях – наш дальнейший рассказ.

Автомобиль - реактор на колесах

Дитя цивилизации, чудо XX в., троянский конь технического прогресса... Как только не называют современный автомобиль! Эти названия отражают не только восхищение успехами автомобилестроения, но и все возрастающие опасения в отношении возможных негативных экологических последствий, вызванных этими успехами.

Наше обращение к автомобилю является продолжением энергетической темы, потому что, как и ТЭС, это тоже химический реактор, отличающийся только тем, что здесь тепловая энергия окислительно-восстановительной реакции преобразуется не в электрическую, а в механическую, вращающую колеса.

Основной агрегат автомобиля – двигатель внутреннего сгорания, представляющий собой химический реактор пульсирующего типа. Топливо для двигателя внутреннего сгорания – бензин или дизельное топливо, полученное в результате переработки нефти, – состоит в основном из углеводородов. При полном его сгорании образуются углекислый газ, вода и выделяется тепло. Для одного из компонентов бензина – октана эта реакция выглядит следующим образом:



Азот не участвует в реакции, но нагревается при горении воздушно-бензиновой смеси и таким образом влияет на энергетику процесса.

Без специальных подробностей, в чисто химическом аспекте воздействие отработавших газов автомобиля на живые организмы сводится к следующему:

– максимальные энергетические показатели двигателя достигаются в условиях избытка топлива, но при этом из-за недостатка кислорода воздуха часть углеводородов бензина не окисляется до конца, что приводит к образованию элементарного углерода (сажи) и оксида углерода (II), оказывающего вредное воздействие на здоровье человека даже при низких концентрациях вследствие более активного по сравнению с кислородом взаимодействия с гемоглобином крови;

- в состав бензина входят алканы нормального, изомерного и циклического строения, ароматические соединения, ненасыщенные углеводороды с двойными и тройными связями. Эти соединения, попадающие в атмосферу вследствие испарения, а также продукты неполного сгорания топлива, взаимодействуя с оксидом азота, образуют токсичные продукты в составе смога - вредного для людей тумана, образование которого характерно для крупных городов;

- в условиях высоких температур, развиваемых в цилиндре двигателя, азот окисляется кислородом воздуха до оксида азота (II), вызывающего общую слабость, головокружение и тошноту;

- сера, содержащаяся в бензине, окисляется до оксида серы (IV), нарушающего процессы дыхания и способствующего повышению кислотности атмосферных осадков;

- при горении бензина в условиях недостатка кислорода и высоких температур образуются ароматические углеводороды, среди которых наиболее опасны полициклические производные, обладающие канцерогенными свойствами, особенно 3,4-бензпирен;

- на стадии воспламенения топлива, а тем более при пуске двигателя или его работе без нагрузки, т.е. в условиях избытка кислорода, осуществляется синтез альдегидов, оказывающих наркотическое действие на центральную нервную систему;

- для устранения преждевременного воспламенения воздушно-бензиновой смеси в бензин добавляются антидетонаторы, наиболее эффективным среди которых является тетраэтилсвинец $(C_2H_5)_4Pb$, вводимый в бензин в смеси с дибром- и дихлорэтанами в целях превращения образующегося в камерах сгорания оксида свинца в летучие галогениды. Неизбежное попадание последнего в атмосферу весьма опасно вследствие возможного накопления свинца в крови и тканях человека и животных, в плодах растений, листьях деревьев, чуть ли не во всех живых организмах.

Вредное влияние химических соединений, образующихся в составе отработавших газов, проявляется не только по отношению к человеку, но распространяется на всю окружающую природную среду.

Вот что такое автомобиль с эколого-химической точки зрения и вот почему "дитя цивилизации" XX в. все больше становится похожим на чудовищного монстра.

ра. Количество автомобилей на планете растет, оно уже превзошло полумиллиардный рубеж. Объем же газообразных выбросов увеличивается чуть ли не в геометрической прогрессии, потому что загруженность дорог и особенно улиц городов автомобилями приводит к снижению скоростей, машины часто останавливаются и трогаются с места, двигатели работают без нагрузки (холостой ход). А именно в этих режимах наблюдается повышенное выделение в окружающую среду вредных веществ.

Ясно, что совершенствование автомагистралей, внедрение рациональных схем движения в черте города, улучшение конструкции двигателя внутреннего сгорания и организация строгого контроля качества его работы по экологическим параметрам обещают некоторое снижение уровня загрязнения атмосферы. Остановимся, однако, на более радикальных, с нашей точки зрения, мероприятиях, основанных на совершенствовании способов очистки отработавших газов.

На первом этапе борьбы за снижение токсичности выбросов первостепенное значение придавалось разработке механических методов. Это направление, давшее определенный эффект, фактически исчерпало себя, и в наши дни главное внимание уделяется химическим методам очистки отработавших газов.

Основной задачей этих методов являются: окисление оксида углерода (II) и углеводородов в избытке кислорода воздуха, восстановление оксида азота (II) до элементного азота (окисление NO в NO₂ нежелательно).

Особенность очистки заключается в необходимости проведения реакции в условиях быстрого продвижения по системе двигателя внутреннего сгорания низкоконцентрированных, изменяющихся по составу газов. Это одно, но не единственное затруднение. Осложняет решение задачи и чрезвычайное разнообразие химических продуктов. Необходимость осуществления процесса в условиях движущегося объекта (автомобиля), исключающих применение объемных и тяжелых, чувствительных к нагрузкам и вибрациям конструкций, усугубляет трудности.

При добавлении к газообразным продуктам, выходящим из рабочего цилиндра двигателя, избытка воздуха в специальных реакторах проводят термическое доокисление непрореагировавших углеводородов и оксида углерода (II). Применение в этих реакторах дорогостоя-

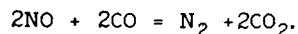
щих материалов, повышенный расход горючего делают метод термоокислительной очистки отработавших газов, приводящий к удалению далеко не всех вредных примесей, не столь уж привлекательным.

Более приемлемой является каталитическая очистка, хотя очень сложно приготовить катализатор, надежно работающий в условиях очистки отработавших газов автотранспорта. Этот катализатор должен обладать высококоррозийной поверхностью, обеспечивающей быстрое проникновение газа в глубину пор; не плавиться и сохранять каталитические свойства при высоких температурах, так как реакции окисления сильно экзотермичны, что приводит к быстрому разогреву всей системы; не отравляться солями свинца, фосфором и серой, присутствие которых в реагирующей смеси неизбежно; не снижать активности вследствие механического закрытия пор макрочастицами (сажа, пыль, дым и др.); не разрушаться при трении и вибрациях, возникающих при движении автомобиля. Эти требования более сложны по сравнению с обычно предъявляемыми к промышленным катализаторам. Их необходимо разрабатывать специально.

Установлено, что оксиды меди, хрома, марганца и кобальта одинаково эффективны в качестве катализаторов при окислении углеводородов и оксида углерода (II), тогда как оксид ванадия пригоден только при окислении углеводородов. Хорошие результаты показали смешанные катализаторы, содержащие оксиды меди, кобальта и ванадия, нанесенные на подложку из оксида алюминия.

Очень продуктивны катализаторы окисления углеводородов и оксида углерода (II), содержащие благородные металлы — платину и палладий — на подложке из оксидов кремния или алюминия. Однако они отравляются соединениями свинца и поэтому могут "работать" только в автомобилях, потребляющих бензин, свободный от этих соединений; кроме того, такие катализаторы очень дороги.

В целом каталитические способы более эффективны и выгодно отличаются от термических экономией горючего. Что касается оксида азота (II), то его целесообразно восстанавливать "собственным" оксидом углерода (II), присутствующим в отработавших газах:



Введение дополнительного количества воздуха обеспечивает окисление непрореагировавшего оксида углерода (II). Реакции для обоих соединений протекают на одном катализаторе. Наиболее активные катализаторы: металлические сплавы или смеси оксидов металлов на носителе.

Очистку трехкомпонентной смеси (оксид углерода (II), оксиды азота и углеводороды) легче всего осуществить с использованием набора катализаторов: первый реагирует с NO и CO, а второй после дополнительного введения воздуха способствует окислению оставшегося оксида углерода (II) и углеводородов.

Предлагаемые системы очистки делают автомобиль значительно дороже, снижают его мощность и повышают расход горючего. Все это сдерживает внедрение очистных устройств, тем более что в разрабатываемых вариантах отработавшие газы освобождаются не от всех вредных примесей. Задача химиков заключается в создании гетерогенных катализаторов, способных в ограниченном объеме окислить различные химические соединения при кратковременном контакте с ними. При этом катализатор должен быть дешевым и длительное время сохранять работоспособность.

Решив эту задачу, мы еще не сделаем отработавшие газы автомобиля безопасными для природы и человека, так как в них остается свинец, образующийся при разложении антидетонаторов. Из них первым по времени практического внедрения (1923 г.) и по эффективности действия является тетраэтилсвинец. Он же наиболее экологически неприемлемая примесь горючего автомобилей.

Автомобильный бензин, получаемый прямой перегонкой нефти (фракция, выкипающая при температуре не выше 205 °C), в основном состоит из алканов и представляет собой горючее с низкими детонационными характеристиками. Они количественно определяются так называемым октановым числом, которое принято равным нулю для *n*-гептана, весьма подверженного детонации, и равным 100 для изооктана (2,2,4-триметилпентан) — углеводорода, стойкого к детонации. Если конкретное топливо и смесь *n*-гептана с изооктаном имеют одинаковые детонационные свойства, то содержание последнего (в процентах по объему) определяет октановое число рассматриваемого топлива. Чем оно выше, тем лучше эксплуатационные качества бензина. Именно с помощью

тетраэтилсвинца и увеличивают октановое число.

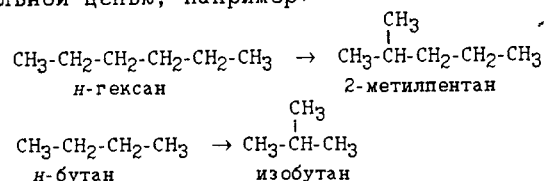
Механизм антидетонационного действия алкилов свинца до конца не установлен. Очевидно, тетраэтилсвинец, поступая в цилиндр в виде паров, смешивается с топливной смесью и вследствие возрастания температуры распадается с образованием частиц твердого оксида свинца. Эти частицы блокируют активные атомы кислорода, которые инициируют реакцию, приводящую к взрыву. Дибром- и дихлорэтаны действуют как раскислители и, вступая во взаимодействие с оксидом свинца, образуют летучий хлорбромид свинца, выносящийся из цилиндров отработавшими газами.

Недостатки применения тетраэтилсвинца — негативное действие на всю биосферу, более быстрый износ двигателя и невозможность применения каталитической системы очистки отработавших газов вследствие ее отравления антидетонатором. Вот почему, несмотря на все достоинства тетраэтилсвинца, применение его нежелательно.

Возможны два пути повышения октанового числа горючего без помощи тетраэтилсвинца.

Первый основан на риформинге (450–540 °C), обеспечивающем каталитическое превращение циклических углеводородов и некоторых алканов в ароматические углеводороды. Дальнейшее повышение октанового числа достигается превращением алканов в ароматические производные в процессе гидрокрекинга — процесса переработки нефти в присутствии водорода в относительно мягких условиях (30–140 атм, 260–450 °C) с использованием катализаторов. Недостатки полученного таким путем бензина заключаются в снижении выхода жидкого продукта и в высоком содержании ароматических углеводородов, негативно воздействующих на окружающую среду и способствующих образованию смога.

Альтернативной технологией может быть процесс изомеризации алканов, приводящий к получению соединений с разветвленной цепью, имеющих более высокие октановые числа, чем исходные углеводороды с нормальной цепью, например:



Этот способ повышения октанового числа бензина связан со значительными капитальными затратами на организацию очистных сооружений.

Второй путь повышения качества бензина заключается в применении антидетонаторов, не уступающих или по крайней мере приближающихся по свойствам к тетраэтилсвинцу, но не обладающих его отрицательными качествами.

Достойными соперниками тетраэтилсвинца оказались некоторые карбонилы переходных металлов.

Пентакарбонил железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$, декакарбонил марганца $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ и тетракарбонил никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$ не слишком уступают по антидетонационным свойствам тетраэтилсвинцу, но первые два соединения недостаточно устойчивы, последнее чрезвычайно ядовито. Отрицательные качества пентакарбонила железа усугубляются его превращением при горении бензина в оксид железа (III), который оседает на стенки цилиндра и резко ускоряет износ двигателя.

Диизобутиленпентакарбонил железа $[\text{Fe}(\text{CO})_5]_3[\text{C}_8\text{H}_{16}]_5$, возможно, составит конкуренцию тетраэтилсвинцу, но пока нет окончательных данных о его влиянии на двигатель и окружающую среду.

Циклопентадиенилтрикарбонил марганца (ЦТМ) $\text{C}_5\text{H}_5\text{Mn}(\text{CO})_3$ и метил-ЦТМ $\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4\text{Mn}(\text{CO})_3$ — высокоэффективные, в достаточной степени устойчивые и нетоксичные антидетонаторы. Последний как более дешевый, чем ЦТМ, начинает вытеснять тетраэтилсвинец.

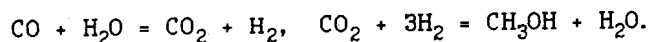
Перспективны, но пока находятся в стадии разработки и испытаний другие производные карбониллов марганца.

Все перечисленные методы — окислительные и восстановительные процессы в системах очистки отработавших газов, исключение тетраэтилсвинца из состава горючего — еще не привели к достаточной экологизации автотранспорта, и поэтому ученые и практики обращают все большее внимание на проблему радикальной замены топлива. Уже достаточно широко в двигателях городского транспорта используется природный газ. Его преимущества с экологической точки зрения состоят прежде всего в том, что сгорание легких угле-

водородов, составляющих это топливо, происходит более полно, чем углеводородов бензина.

Интересной альтернативой бензину представляется метиловый спирт, полностью сгорающий до углекислого газа и воды.

В настоящее время в промышленных масштабах реализовано два варианта синтеза метанола из водорода и оксида углерода (II): при высоком давлении (250-350 атм) на цинкхромовых оксидных катализаторах и при низком давлении (50-100 атм) на медьсодержащих оксидных катализаторах. Исходным сырьем служит газобразная смесь оксида углерода (II) и водорода, полученная при переработке твердого горючего или природного газа. На медьсодержащих оксидных катализаторах синтез метилового спирта, очевидно, идет через стадию образования оксида углерода (IV):



Обе реакции экзотермичны и протекают с уменьшением объема, т.е. максимальной степени превращения способствуют низкие температуры и высокие давления.

В Советском Союзе и за рубежом уже пущены и успешно эксплуатируются установки с единичной мощностью 700 тыс. т/год. До недавнего времени метанол использовался главным образом для производства различных органических производных, промышленно необходимых в технологии полимерных материалов, однако в настоящее время все более заметна роль в производстве моторных топлив. В ФРГ и других странах 7-15 % метилового спирта добавляют к бензину с целью экономии последнего. Полная же его замена метиловым спиртом сдерживается необходимостью конструктивных изменений в двигателе и еще недостаточными объемами промышленного выпуска подобного горючего, доступность которого определится технологическими успехами в производстве водорода из воды. Если же в качестве углеродсодержащего компонента удастся использовать углекислый газ, избыток которого накапливается в атмосфере, то технология метанола существенно удешевится, полностью освободившись от органического топлива.

Хочется нарисовать фантастическую картину. В мощных электролизерах, использующих "дармовую" солнеч-

ную энергию, осуществляется электролитическое разложение воды с целью получения водорода. Он поступает в огромные каталитические синтез-реакторы одновременно с углекислым газом, извлекаемым из воздуха. Образующийся метиловый спирт стекает по трубам в подземные хранилища и по мере надобности расходуется как моторное топливо. Земля не обезображивается угольными карьерами и нефтепромыслами, вода и воздух не загрязняются отходами нефтеперерабатывающих заводов, а нужды автотранспорта полностью удовлетворяются экологически чистым топливом. Картина будет неполной, если не добавить еще одну "мелочь": из атмосферного воздуха извлекается избыток углекислого газа, чем снижается парниковый эффект, и мир избавляется от угрозы глобального изменения климата. Фантастика? В какой-то мере — да. Однако подобная возможность энергетического обеспечения автотранспорта еще 15 лет тому назад обсуждалась в солидной научной монографии, опубликованной в Соединенных Штатах Америки.

Как топливо будущего рассматривается и гидразин, достоинства которого определяются неисчерпаемостью и дешевизной сырья: азот из воздуха и водород из воды. К недостаткам следует отнести канцерогенность самого гидразина и выделение им аммиака при разложении.

Наконец — водородное топливо. Его впервые "применил" Жюль Верн в своих научно-фантастических романах. В 30-е годы водородное топливо "перекочевало" из фантастической литературы в научную. В наши дни очень серьезно обсуждается эта проблема. Двигатель не будет подвержен большим конструкционным изменениям. Водородное топливо в 10 раз калорийнее бензина, а в атмосферу выбрасываются только пары воды. Если оно будет применено, то, по-видимому, не раньше, чем истощится природное органическое топливо и будут созданы термоядерная и солнечная энергетики, способные обеспечить дешевой энергией технологию разложения воды.

А, возможно, это не произойдет, и экологическое совершенствование автомобиля пойдет по иному пути.

Обсуждая самые различные виды топлива, мы все время оставались в пределах привычной для автомобиля схемы преобразования энергии: окислительно-восстановительная реакция — тепловая энергия — механическая энергия. Вполне возможен отход от традиционных

представлений и обращение к другой схеме: окислительно-восстановительная реакция — электрическая энергия — механическая энергия. Изменив только один этап, мы приходим к новому типу двигателя — уже не автомобиля, а электроавтомобиля.

Первый электроавтомобиль, использовавший энергию гальванических элементов, был создан в 1837 г. Изобретение свинцовых аккумуляторов (1859 г.) дало толчок электроавтомобильному буму, но, достигнув апогея, этот бум к началу нашего века сошел почти на нет, проиграв в соревновании с автомобилем. Аккумулятор, способный обеспечить энергией небольшой отрезок пути и нуждающийся в регулярной подзарядке, не выдержал конкуренции с двигателями внутреннего сгорания.

И тем не менее, возможно, мы будем свидетелями нового электроавтомобильного бума. Особенно перспективен электроавтомобиль — экологически чистый транспорт — в городских условиях, где загазованность воздуха максимальна, а дистанции перевозок сравнительно невелики. Уже созданы и испытаны в реальных городских условиях электроавтомобили, имеющие запас хода 100-150 км. Для города чаще всего этого вполне достаточно.

Главная задача — создание более энергоемких аккумуляторов. Известно много перспективных разработок, среди которых наиболее многообещающая — натрий-серный аккумулятор, способный обеспечить пробег 500 км с одной подзарядкой, которую можно проводить в ночное время, когда нагрузка электросети минимальна.

Заметим: аккумулятор является "копилкой" электроэнергии и в электроавтомобиле она лишь преобразовывается в механическую энергию. Вариант "окислительно-восстановительная реакция — электрическая энергия — механическая энергия", строго говоря, реализуется только в электроавтомобиле, снабженном химическим источником тока, в котором энергия химической реакции непосредственно превращается в электрическую энергию. В этом случае транспортное средство расходует в 3-4 раза меньше топлива, но потребность в нем сохраняется, а значит, в какой-то мере остаются нерешенными до конца экологические проблемы.

Замена двигателя внутреннего сгорания электромотором возможна различными путями, нелегкими и длительными. К 2000 г. США планируют иметь 8,6 млн электроавтомобилей. Число кажется солидным, но если иметь в виду, что общий автопарк страны к тому времени

приблизится к 200 млн автомобилей, то очевидно, что и к началу века электроавтомобиль еще не будет серьезным конкурентом автомобилю с двигателем внутреннего сгорания.

Да, автомобиль победил электроавтомобиль в экономическом, энергетическом и техническом соревновании, но он не выдержал экологического "испытания". Ставить крест на автомобиле еще рано, но кажется, что пик использования бензинового двигателя внутреннего сгорания уже позади. Постепенно будут изменяться химический состав топлива, а также принципы преобразования энергии. Человечество добьется экологически чистого транспорта. Это неизбежно.

Все рассмотренные варианты имеют право на реализацию, что, вероятно, и будет осуществлено в большем или меньшем объеме. Перспективнее всего, вероятно, водородное топливо и электроавтомобиль. Хотя это и не бесспорно.

Нарисовав эколого-химический портрет автомобиля, мы не упомянули о других видах транспорта, а значит, и не рассмотрели во всем объеме взаимодействие транспорта с окружающей средой. Однако названо и оценено самое экологически "непрестижное" и самое распространенное средство передвижения и перевозки грузов. Ведь 95 % загрязнений атмосферы всеми видами транспорта приходится на долю автомобилей, огромная масса которых сконцентрирована в наиболее плотно населенных местах — городах и промышленных зонах.

Все же и другие виды транспорта не "без греха".

Железнодорожные магистрали протяженностью примерно 1,5 млн км, опоясывающие земной шар, наносят значительный ущерб литосфере. Строительство и эксплуатация железных дорог связаны с деградацией значительных площадей земли, выведением ее из сельскохозяйственного оборота.

Воздушный транспорт, как уже отмечалось, устрашает своим непомерным кислородным "аппетитом", который в перспективе может оказаться слишком обременительным для атмосферы. Кроме того, не исключено его негативное воздействие на озоновый слой Земли.

Морские лайнеры и особенно нефтеналивные суда угрожают "здоровью" всего Мирового океана из-за опасности сброса в его акваторию нефти, особенно сильном в случае морских катастроф, которые полностью исключить невозможно.

Но в любом случае главным "обвиняемым" остается автомобиль. Его экологическое "укрощение" — важнейшая природоохранная задача, решать которую призваны конструкторы и, конечно, химики.

Заканчивая экологическое рассмотрение энергетической проблемы, хочется еще раз подчеркнуть, что наше внимание было направлено в первую очередь на самую главную, но не единственную ее сторону — химическую. Обращение к иным аспектам может лишь усилить, но не изменить общего вывода: энергетика и природа — плохо сочетающиеся понятия и экологическая ситуация настоятельно требует кардинальных мер по внедрению в практику технологий преобразования и потребления энергии, сохраняющих окружающую среду. Более того — способствующих повышению ее качества.

Ничто не противоречит такой возможности, хотя на этом пути много еще научных и технических вопросов, еще больше — организационных. Их решение — дело не простое и не быстрое, однако в этом деле нам нельзя опоздать, если мы всерьез озабочены благополучием нашего дома и хотим заслужить благодарность потомков, а не их проклятия.

Рассмотрев такие важные отрасли промышленности, как металлургия и энергетика (включая ее использование в автотранспорте), мы далеко не исчерпали всех направлений практической деятельности человека, химизация которых достигла весьма высокого уровня.

Химия в нехимических производствах

Существуют иные отрасли, не связанные напрямую с химией. Однако можно с полным основанием говорить об их химизации в современных условиях, так как в этих отраслях используются искусственные материалы, совершенствование технологии происходит благодаря внедрению химических методов и применению химических реагентов. Предприятия этого типа — прямые и косвенные источники химического техногенеза. Практически любое из них не обходится без услуг химии, и полный перечень источников химического загрязнения должен содержать чуть ли не все отрасли промышленности и сельского хозяйства, транспорта и сферы коммунально-бытовых услуг.

Машиностроительный комплекс как основа технического перевооружения всех отраслей промышленности должен развиваться прежде всего в направлении роста производительности станков и агрегатов, снижения их массы при сохранении прочности (металлоемкость), обеспечения длительного и надежного функционирования в условиях ужесточающихся режимов работы (увеличение рабочих нагрузок и температур, повышение агрессивности сред и т.п.). В решение этих задач наибольший вклад вносят новые материалы, заменяющие, улучшающие и дополняющие традиционные.

В машиностроении находят широкое применение пластические массы и синтетические смолы, лакокрасочные покрытия и резиновые изделия, композиционные и керамические материалы, сплавы новых видов и вещества особой чистоты.

Химизация отраслей машиностроительного комплекса способствует внедрению ресурсосберегающих технологий и увеличению выпуска готовой продукции, интенсификации процесса и повышению качества станков и механизмов, снижению трудовых затрат, материалов и энергии. Искусственные материалы применяют с целью восполнения недостатка природных материалов, а также замены традиционных материалов более эффективными, получаемыми химическим путем. При этом внедряют в производство новые вещества с такими потребительскими свойствами, какими не обладают традиционные материалы, что открывает новые возможности для технического совершенствования изделий.

Большая половина перспективной потребности машиностроения приходится на крупнотоннажные полимерные продукты: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и его сополимеры, фенолформальдегидные смолы и материалы на их основе.

Отрасли машиностроения по объемам использования полимерных материалов и их роли в техническом совершенствовании продукции можно разделить на три группы:

- электротехническая промышленность, где полимерные материалы традиционно применяются практически во всех возможных деталях и операциях, а их объем составляет 40 % от общего потребления в машиностроительных отраслях;

- приборо- и станкостроение, радиоэлектроника и производство электробытовой техники, транспортное и

сельскохозяйственное машиностроение, на долю которых приходится около 50 % используемых в машиностроении полимерных материалов, но возможен дальнейший значительный рост удельного веса искусственных материалов в выпускаемых изделиях;

— тяжелое и энергетическое, нефтяное и газовое, угольное и химическое машиностроение, в которых потребление полимерных материалов невысоко (2,5-3,5 %), но их специфические свойства очень важны для технического прогресса этих отраслей.

Химизация отраслей машиностроительного комплекса не ограничивается использованием искусственных материалов. Сам процесс изготовления машин нередко связан с применением различных химических веществ. Например, поверхностно-активные вещества позволяют существенно улучшить режим и качество холодной обработки металлов, увеличивать скорость резания, повышать сохранность режущего инструмента, обеспечивать высокую степень обезжиривания металлической поверхности и т. д.

Говоря об экологических последствиях химизации машиностроительных отраслей, нужно отметить, что более 20 % пластмасс и синтетических смол, выпускаемых в Советском Союзе, используются в машиностроении. Справедливо считать, что именно такая доля "вины" перед природой предприятий по производству полимерных материалов приходится на машиностроительный комплекс. Утилизация, безопасное хранение и переработка огромной массы полимерных материалов, входящих в состав пришедших в негодность машин, — важная составляющая современных природоохранных проблем машиностроения. Наконец, специального решения требует вопрос об исключении негативного воздействия на окружающую среду химических соединений, используемых в технологии машиностроения. Последнее достигается прежде всего внедрением замкнутого водооборота, что уже осуществляется на передовых предприятиях страны. Так, на Волжском автомобильном заводе эксплуатируется мощная ионообменная установка производительностью 500 м³/ч, проводится очистка сточных вод гальванических цехов, что обеспечивает организацию бессточного процесса.

Строительная индустрия — одна из наиболее материалоёмких отраслей промышленности. Строительство использует до 20 % металлопроката, более 25 % пило-

материалов, почти 60 % стальных труб и свыше 85 % цемента, а также 10 % пластмасс и синтетических смол, производимых в стране. Как видим, получение большинства из перечисленных материалов так или иначе связано с химическим процессом.

Применение пластмасс и синтетических смол увеличилось в производстве строительных материалов за последнее десятилетие примерно в 2 раза.

Дальнейшая химизация строительства осуществляется за счет наращивания мощностей по производству искусственных материалов. Намечено увеличить выпуск строительных полимерных материалов за 1985-2000 гг. с 5,5 до 19-21 т на каждый миллион рублей, затраченный на строительные работы. По мнению специалистов, и этот уровень химизации строительства еще не будет соответствовать оптимальному, но уже обеспечивает высвобождение до 400 тыс. работников, занятых на строительстве, сокращение расхода металла более чем на 3 млн т, цемента на 12-15 млн т и топливно-энергетических ресурсов приблизительно на 8 млн т.

Важно дополнительно подчеркнуть, что организация производства предполагаемых количеств полимерных материалов окупится в 3-4 раза быстрее, чем ввод в эксплуатацию предприятий, производящих эквивалентное количество традиционных строительных материалов.

Оценить "вклад", который вносят в загрязнение окружающей среды пластмассы, применяемые в строительной индустрии, нетрудно: он составляет около 10 % от общего объема твердых, жидких и газообразных отходов всех заводов страны по производству пластмасс и синтетических смол.

Сама технология строительства, насыщенная в наше время большим количеством механизмов и транспортных средств, создает определенное техногенное давление на окружающую среду, но наибольший вред природе наносят заводы строительных материалов, и в первую очередь цементные.

К активным загрязнителям атмосферы относятся неорганические вяжущие материалы (цемент, известь, гипс), керамические, стеклянные и другие плавленные изделия, кровельные и гидроизоляционные материалы.

Цементные заводы — мощный источник загрязнения атмосферы пылью, содержащей оксиды кремния, алюминия, кальция, магния и железа, уголь, гипс, асбест

и ряд других продуктов. Окрестности цементных заводов еще нередко представляют собой безжизненную желто-серую пустыню, протянувшуюся на многие километры, где нет растительности. В то же время из-за отсутствия эффективной очистки выбросов страна ежегодно теряет цемента на сумму 7 млн руб. Совершенствование пылеулавливания может дать в год до 400 тыс. т высококачественного цемента и 1,5 млн т цементного сырья, уберечь природу от разрушения, сохранить жизнь и здоровье людей.

Эти предприятия являются также сильными загрязнителями лито- и гидросферы по иным причинам: в производстве цемента и бетона расходуется огромное количество твердых природных материалов, а заводы, производящие цемент мокрым способом, железобетонные конструкции, силикатный кирпич и керамические гипсолитовые и органо-волоконные плиты, потребляют много воды, загрязняя близлежащие реки и водоемы. На приготовление, например, 1 м³ бетона затрачивается 200–300 л воды, а при получении 1 м³ органо-волоконных плит расходуют 7–9 т пара.

Для сохранения атмосферы, гидро- и литосферы от воздействия быстроразвивающейся строительной индустрии необходимы совершенствование технологии пылеулавливания с использованием эффективных химических реагентов, внедрение методов переработки неметаллических отходов и способов водоочистки с переводом предприятий на замкнутые водооборотные циклы, использование неочищенных стоков других предприятий в особо водоемких технологических процессах, замена природного сырья иными материалами, ныне не находящими практического применения.

Агропромышленный комплекс включает три сферы производства: производство средств производства (машиностроение) для сельского хозяйства, производство растительной и животной продукции, сбыт и переработку этой продукции. В соответствии с этим различают три направления химизации агропромышленного комплекса и связанных с ними природоохранных мероприятий.

В сельскохозяйственном машиностроении проблемы химизации и охраны окружающей среды практически не отличаются от проблем, характерных для всего машиностроительного комплекса, и решаются аналогично.

Сельскохозяйственное производство – сфера основной деятельности агропромышленного комплекса. В 1988 г. оно обеспечивало 47,7 % объема продукции, поглотило более 70 % основных производственных фондов и трудовых ресурсов, использовало 557,5 млн га сельскохозяйственных угодий, в том числе 227,7 млн га пашни.

Отличительными чертами послевоенного сельскохозяйственного производства всего мира, как и Советского Союза, являются его широкая индустриализация и всеобъемлющая химизация. Химия в сельском хозяйстве применяется для повышения продуктивности растительного и животного мира.

Основа органических соединений, входящих в состав растений, – углерод, водород и кислород; источником этих элементов являются атмосферный углекислый газ и почвенная влага. Таким образом, большая часть "строительного материала" поставляется растениям не почвой, а атмосферой. Ясно, что для нормального развития растений необходим чистый воздух, не содержащий значительных количеств загрязнений. Однако качество почвы также очень важный фактор.

Лишь три уже упомянутых элемента составляют основную массу растения, всего же их более 70, причем 16 являются абсолютно необходимыми. В отличие от углерода, водорода и кислорода остальные извлекаются из почвы. Это в первую очередь азот, фосфор, калий, магний, кальций и в меньшей степени сера. В почве обычно ощущается недостаток первых трех элементов, пополнение которых и составляет главную заботу человека.

Азот входит в состав белков и большинства органических соединений. Фосфор в растениях представлен как органическими, так и неорганическими соединениями. Различны и их физиологические действия: первый главным образом способствует росту растений, а второй ускоряет их созревание. Калий в форме катиона выполняет роль стимулятора образования сахаров и других углеводов, а также повышает устойчивость растений к неблагоприятным природным условиям и различным болезням.

Кроме девяти перечисленных элементов, растения обязательно содержат сотые или даже тысячные доли процента семи микроэлементов: бор, молибден, медь, цинк, марганец, железо и кобальт. Малое содержание

не свидетельствует о незначительности их роли. Они, выполняя функции катализаторов, обеспечивают протекание реакций обмена веществ, без которых невозможно нормальное развитие и существование растений. В почвах может не хватать микроэлементов, и введение их небольших количеств (от 2 до 20 кг/га) способствует снижению сроков созревания, росту урожаев и улучшению качества продукции.

Таким образом, основное направление химизации сельскохозяйственного производства — применение разнообразных удобрений с целью обеспечения растений недостающими химическими элементами, что повышает урожай и его качество.

Сформировав с помощью химии идеальную почву, мы тем не менее можем прийти к печальному результату, так как растения подвержены различным болезням, их рост ограничивают сорняки, а плоды, корни и стебли поедают вредные насекомые, гусеницы, личинки, грызуны. Борьба с этими явлениями составляет второе, не менее важное направление химизации сельскохозяйственного производства.

Наконец, третье направление участия химических веществ в производстве продуктов питания представлено разнообразными материалами, в первую очередь полимерными (в виде пленок, стройматериалов и т.п.).

При самом оптимальном использовании полей и пастбищ весьма ограничена возможность вовлечения новых земель в сельскохозяйственный оборот вследствие роста народонаселения и урбанизированных зон, мощного развития промышленности, транспорта и горных разработок, а также из-за усиливающегося процесса эрозии. Повышение плодородия почв — реальный путь успешного решения проблемы по обеспечению населения планеты продуктами питания. Решить эту проблему можно только с помощью минеральных удобрений, содержащих в первую очередь соли азота, фосфора и калия, что позволяет резко повысить урожаи основных сельскохозяйственных культур. Наибольший эффект оказывают первые дозы удобрений, вносимые в почву. На определенном уровне прирост урожая прекращается, а затем возможен даже его спад. Это эффект "переудобрения", т.е. внесения в почву большего количества удобрений, чем необходимо в соответствии с ее характером.

Огромный экономический эффект использования удобрений несомненен, однако он сопровождается и отрицательными явлениями. В первую очередь это связано с вредным воздействием удобрений и их составляющих на окружающую среду. В случае "переудобрения" даже при строгом соблюдении технологии внесения удобрений в почву, агротехнических сроков значительная часть водорастворимых удобрений вымывается из почвы талыми, дождевыми и грунтовыми водами и "доставляется" в реки, водоемы, а затем и в Мировой океан. В водах накапливаются вещества, вызывающие бурное развитие растительности, загрязняющей водоемы, в результате чего они превращаются в безжизненные болота, лишенные кислорода.

Правильное, научно обоснованное применение удобрений — задача не только экономическая, но и в меньшей степени экологическая. Химизация сельского хозяйства не должна сопровождаться ухудшением качества окружающей среды.

Выпуск минеральных удобрений неуклонно растет и в 1989 г. составил 34,3 млн т. Этот рост, в свою очередь, приводит к повышению техногенной нагрузки на окружающую среду. Она проявляется при производстве удобрений и связана с добычей и переработкой природного сырья в усвояемые растениями формы.

Только минеральными удобрениями не обойтись. В сельском хозяйстве всего мира также широко применяются пестициды (лат. *pestis* — зараза, *caedo* — убиваю) — химические средства борьбы с микроорганизмами, растениями и животными, вредоносными или нежелательными с точки зрения экономики или здравоохранения. Средства борьбы с насекомыми называют инсектицидами, с высшими растениями — гербицидами.

Потери сельскохозяйственной продукции в мире вследствие жизнедеятельности вредителей приближаются к 1 млрд т/год. Пестициды, уничтожая их, избавляют нас от подобных потерь. Важно подчеркнуть, что применение пестицидов дает наибольший экономический эффект по сравнению с другими направлениями химизации сельского хозяйства.

Экологический же эффект их применения весьма негативен. В мире ежегодно от отравления пестицидами (из-за несоблюдения правил их применения) погибает 14 тыс. человек, а бездумное и безграничное использова-

ние пестицидов отрицательно сказывается на здоровье более чем 700 тыс. человек.

Мировой ассортимент пестицидных препаратов насчитывает в настоящее время более 100 тыс. наименований, а для их производства используется около 900 химических соединений, большая часть которых обладает вредным воздействием на человека, в том числе таким особо опасным, как генетическое. Необходимость большого количества различных пестицидов не вызывает удивления, если иметь в виду, что продукции сельского хозяйства угрожает не менее 8 тыс. различных грибов, свыше 10 тыс. насекомых, около 2 тыс. червей, различные грызуны.

Наибольшую угрозу представляют пестициды, проявляющие мутагенный эффект. Сотни видов насекомых и клещей приобрели, например, устойчивость (адаптировались) к действию хлор- и фосфорорганических инсектицидов. Генетическая же адаптация популяций человека к воздействию возрастающего загрязнения мутагенами (пестицидами) невозможна, и нужны незамедлительные меры, чтобы предотвратить поступление в окружающую среду биологически активных мутагенов. В этой ситуации очень важен правильный прогноз генетических последствий загрязнения окружающей среды.

Для человека наиболее опасно накопление достаточно стойких хлорорганических пестицидов типа ДДТ и препаратов диенового ряда, которые способны сохраняться длительное время в почве и во всех объектах окружающей среды, попадая в конце концов в пищу человека и животных. В СССР установлены строгие правила применения этих препаратов. Меры по упорядочению применения хлорорганических пестицидов приняты во многих странах мира.

Не менее вредны для человека и животных пестициды, содержащие токсичные металлы. В Европе практически не используют ядохимикаты, содержащие кадмий, селен и свинец, а в Австралии вообще запрещено непосредственное применение на полях любых пестицидов. Органические соединения ртути пока не исключены из сельскохозяйственного производства, так как им еще не найдено равноценной замены при протравливании семян.

Устранение вредного влияния пестицидов зависит, с одной стороны, от успехов в области синтеза и технологии эффективных препаратов селективного действия,

которые оказывали бы минимальное воздействие на все полезное живое. С другой стороны, очень важно разрабатывать, усовершенствовать и внедрить оптимальные методы применения пестицидов в сельском хозяйстве.

Новые селективные пестициды должны легко и быстро разлагаться во внешней среде с образованием простейших безвредных соединений. Немаловажна также разработка наиболее рациональных с точки зрения воздействия на окружающую среду методов внесения пестицидов в почву. Например, применение гранул и капсулированных продуктов предпочтительней опыления, особенно когда оно проводится с использованием авиации.

С помощью минеральных удобрений и пестицидов можно обеспечить получение высоких урожаев, создать условия для решения продовольственной проблемы в нашей стране. В то же время нельзя забывать, что в самых оптимальных условиях лишь 50-60 % вносимых минеральных удобрений усваивается растениями, а вторая их половина поступает в природную среду, оказывая на нее большое техногенное давление. Нужен комплекс научно-технических и организационных мероприятий по минимизации загрязнения почвы — важнейшего природного ресурса, определяющего в значительной степени богатство страны.

Оценивая состояние и перспективы использования в сельском хозяйстве минеральных удобрений и пестицидов, следует подчеркнуть, что в Советском Союзе, как и во всем мире, растениеводство в большей степени подвержено химизации, чем животноводство. Кроме того, четко прослеживается тенденция опережающего роста производства пестицидов по сравнению с производством минеральных удобрений.

Нельзя не остановиться еще на одной стороне химизации сельскохозяйственного производства, заключающейся в применении самых разнообразных искусственных материалов. Это, например, полимерные пленки для теплиц и открытого грунта, различные эмульсии, клеи, латексы и другие химические продукты, применяющиеся для восстановления верхнего слоя почвы. С точки зрения экологии здесь нужно упомянуть не только о производстве полимерных материалов, но также и о необходимости их утилизации и уничтожения.

Наконец, если говорить о конечной стадии деятельности агропромышленного комплекса — сбыте и переработке, то и в этом случае приходится констатировать,

что экономически эффективная химизация может сопровождаться экологическими осложнениями. Правда, в этом случае они минимальны, хотя печально известные факты применения недостаточно проверенных добавок, например консервантов, не один раз будоражили общественность всего мира.

Химизация агропромышленного комплекса поставила целый ряд проблем перед синтетической химией, химической технологией, агрохимией и биологией. И все-таки нельзя не подчеркнуть, что это проблемы в большей степени организационные, чем научные. Слишком много еще примеров беспечного хранения различных химических веществ, включая сильнотоксичные, бездумного их применения в ущерб природе и без пользы для людей.

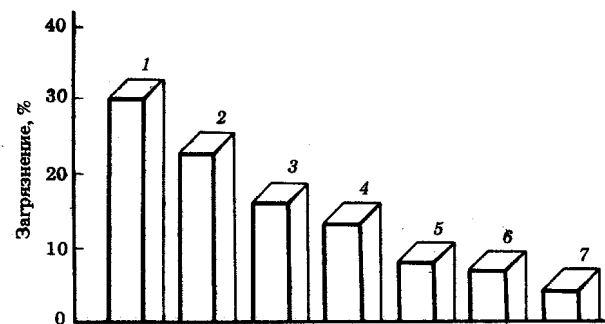
Продуманная, научно обоснованная технология химизации агропромышленного комплекса еще не всегда и не везде стала привычной нормой. "Доброе дело, — писал Л. Н. Толстой, — совершается с усилием, но когда усилие повторено несколько раз, то то же дело становится привычкой". Привычку эту, если ее еще нет, надо прививать. Услуги химии, оказываемые сельскому хозяйству, огромны, нужно только уметь разумно ими пользоваться. На благо человеку, но не во вред природе.

От производств, где роль химии велика, но проявляется не всегда в явной форме, хотя и определяет значительную долю успеха, перейдем к отраслям промышленности, в которых химическое превращение вещества присутствует "на законном основании".

Промышленность по превращению вещества

Обратимся к технологиям, о химизации которых говорить не приходится. Они — сплошная химия. Рассматривая химическую промышленность в широком аспекте, мы, так же как и в случае машиностроения и сельского хозяйства, можем говорить о едином комплексе. Химико-технологический комплекс — это химическое машиностроение, химическая и нефтехимическая промышленность, производство по получению минеральных удобрений.

Химическое машиностроение не имеет особых отличий с точки зрения экологии от других направлений деятельности машиностроительного комплекса, а поэтому



Р и с. 11. Загрязнение атмосферы различными отраслями промышленности

1 - теплоэнергетика, 2 - автотранспорт, 3 - черная металлургия, 4 - производство строительных материалов, 5 - цветная металлургия, 6 - нефтепереработка, 7 - химическая промышленность

обратимся непосредственно к предприятиям, выпускающим химическую продукцию. Для них характерны высокая материало- и энергоемкость, чрезвычайное разнообразие используемых химических продуктов, среди которых немало вредных для природы и человека, принципиальная возможность 100 %-ного использования отходов в других отраслях промышленности, выпуск продукции, которая либо в процессе потребления, либо по истечении срока пользования и при дальнейшем хранении чаще всего оказывает негативное воздействие на окружающую среду и требует специальных методов ее защиты.

Химическая промышленность объединяет предприятия и производства, применяющие химические методы переработки вещества и выпускающие химические продукты. Мы уже не раз подчеркивали, что не химическая промышленность является главным поставщиком загрязнений (рис. 11), но нельзя не сознаться, что именно для нее характерны выбросы, наиболее опасные для природной среды, человека, животных и растений.

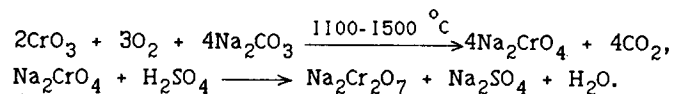
Вот почему на первый план выдвигается проблема установления степени экологической дозволенности выпуска и потребления химической продукции. Конечно, это не означает стремления к сворачиванию химической промышленности. Наоборот, она стабильно развивается опережающими темпами. Причины такой тенденции очевидны и обусловлены отсутствием альтернатив материалов, производимых химической промышленностью. Она обеспечивает пополнение недостатка природных мате-

риалов искусственными, нередко более эффективными; замену традиционных материалов синтетическими продуктами, обладающими лучшими эксплуатационными качествами; использование новых веществ с такими сочетаниями свойств, которые открывают новые возможности технического совершенствования изделий.

Рассматривая экологические проблемы развивающейся химической промышленности, следует обратить внимание на то, что не только новые процессы и материалы, но и издавна используемые создают в наши дни новую экологическую ситуацию в окружающем мире. Последнее происходит из-за чрезвычайно быстрого роста объемов производства.

Промышленность крупнотоннажных неорганических веществ — это в первую очередь давно осуществляемые производства серной и азотной кислот, аммиака и бихромата, карбоната и гидроксида натрия. Однако если до войны, например, серной кислоты выпускали примерно 1,5 млн т/год, то в 1989 г. ее производство достигло 28,3 млн т/год, т.е. выросло почти в 20 раз. Аналогичная картина наблюдается для всей химической продукции.

Количественный рост объемов производства этой продукции не мог не привести к качественным изменениям во взаимодействии с природой. Например, с давних времен и в наши дни **бихромат натрия** $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ получают из оксида хрома по реакциям:



При концентрировании конечного раствора выделяется кристаллический бихромат натрия. Естественно, маточный раствор практически невозможно полностью освободить от продуктов реакции. Совсем немного, всего лишь 15 кг бихромата натрия на 1 т готовой продукции остается в растворе. Когда-то нас это не очень волновало, так как небольшие количества соединений хрома, попадавшие в водоемы, естественно разбавлялись водой до ничтожно малых концентраций, которые не ощущали природа и человек. Иная картина складывается в наши дни. Современный мировой выпуск бихромата натрия составляет 1 млн т/год, а, значит, ежегодно в водоемы попадает 15 тыс. т весьма токсичного

хромосодержащего продукта. А это уже далеко не безопасно!

Примерно то же самое наблюдается и в производстве **гидроксида натрия** NaOH , или каустической соды. Его получают электролизом раствора хлорида натрия с ртутным катодом. Самые тщательные меры предосторожности не позволяют полностью избежать потери ртути. Они незначительны в расчете на 1 т готовой продукции, но в масштабе страны, выпускающей более 3 млн т/год каустической соды, становятся заметны и могут создать значительное техногенное давление ртути на окружающую среду.

Химическое производство чаще всего не образует значительных количеств твердых отходов, и его воздействие на литосферу невелико. Более существенно влияние на гидросферу и атмосферу.

Применение воды в химической промышленности чрезвычайно обильно и многообразно. Она может выступать в качестве продукта реакции, реакционной среды или промывной жидкости. Любой из путей ее использования сопровождается контактом с исходными, промежуточными и конечными продуктами. Ясно, что в этих процессах неизбежно загрязнение воды, а следовательно, и нежелателен ее прямой сброс в окружающую среду. Кроме того, ограниченность запасов гидроресурсов в конкретной местности накладывает свои ограничения на одноразовое использование воды, так как многие химические технологии связаны с очень высоким ее расходом. Вот только один пример, который позволит оценить "водолюбие" химических технологий и его последствия.

Карбонат натрия Na_2CO_3 , или кальцинированную соду, потребляют в больших количествах промышленность, сфера коммунально-бытовых услуг, сельское хозяйство. Его мировое производство достигло 20 млн т, причем четвертая часть выпуска приходится на Советский Союз.

Кальцинированную соду получают по методу Сольве, внедренному еще в 1863 г. Простота технологического оформления процесса делает этот метод весьма привлекательным, тем более что он основан на использовании таких широко доступных продуктов, как хлорид натрия и известняк. Более чем вековое господство метода Сольве в наши дни подвергается серьезному сомнению по экологическим соображениям. Завод мощностью 600 т

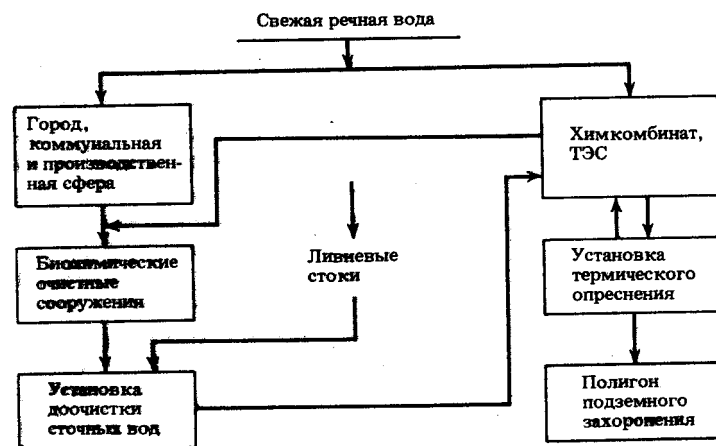
готовой продукции за один день образует 1 тыс. т (!) отходов, из них 850 т – жидких. Общий объем отходов оценивается в 200 млн м³/год, а с учетом перспектив расширения содовой промышленности при сохранении существующей технологии он составит 300-350 млн м³/год. Огромный расход гидроресурсов, образование вокруг содовых заводов рукотворных морей грязной, ни на что не пригодной воды делают эти заводы экологически несостоятельными в первую очередь с точки зрения сохранения качества гидросферы.

Что касается атмосферы, то химическая промышленность загрязняет ее большим количеством газообразных веществ в виде основных продуктов, полупродуктов, готовой продукции и отходов.

Экологизация химических предприятий не знает единого рецепта. Введение агрегатов повышенной мощности с многофазовой рециркуляцией газовой смеси позволяет избавиться от кислотных дождей сернокислотного производства. Использование давления и палладиевого катализатора обеспечивает очистку газов от оксидов азота и позволяет ликвидировать печально известные "лисы хвосты" – непереносимую составляющую заводов, выходящих азотную кислоту.

Совершенствование существующей технологии не всегда обеспечивает успех, и, например, в случае бихромата натрия необходимо ее принципиальное изменение с переходом на безрастворные методы (возможным вариантом является химико-металлургический процесс). Производство же кальцинированной соды требует замены не только технологии, но и сырья. Использование нефелинов, составной части апатито-нефелинового сырья, позволило наладить выпуск кальцинированной соды высокого качества без образования жидких отходов. Наконец, для получения каустической соды электролиз как технологический прием должен сохранить свое значение, но применение ионообменных мембран избирательной пропускной способности позволит исключить применение ртути, а значит, и ее попадание в водоемы.

Там, где расход воды остается высоким, основным путем "примирения" с природой является организация водоподготовки и замкнутых циклов водопотребления. Хорошим примером такого производства является Первомайское ПО "Химпром" (УССР) – крупный промышленный комплекс, потребляющий большое количество воды и



Р и с. 12. Замкнутое водопотребление на Первомайском ПО "Химпром"

расположенный в местности с ограниченными гидроресурсами, где сброс сточных вод в окружающую среду недопустим. В замкнутом водообороте комбината (рис. 12) полностью исключен сброс сточных вод в водоемы, а расход свежей воды предусматривает только пополнение безвозвратных потерь, не превышающих 5 % от общего количества воды, находящейся в производственном и хозяйственном цикле.

Производство малотоннажных веществ – подотрасль химической промышленности, приобретающая особое значение в эпоху научно-технического прогресса и оказывающая огромное воздействие на развитие ядерной энергетики, электронизации производства, культуры и быта, освоение космоса и глубин океана, охрану окружающей среды.

Ее продукцией пользуются сельское хозяйство и пищевая промышленность, машиностроительный и химико-технологический комплекс, теплоэнергетика и здравоохранение, легкая и строительная индустрия, а также научные учреждения и предприятия по выпуску предметов бытовой химии, самый широкий круг организаций, решающих проблемы охраны окружающей среды. "Малая" химия выпускает чистые и сверхчистые вещества, специальные конструкционные материалы и катализаторы, химические добавки и биохимикаты, коагулянты и клеи, красители и химические реактивы, химико-фармацев-

тические и биохимические препараты, консерванты пищи и продукты новой биотехнологии, поверхностно-активные вещества и средства защиты растений.

Приведенное перечисление ни по направлениям применения, ни по виду продукции, конечно, не исчерпывает всего многообразия малой химии, которая так названа в силу относительно небольших объемов выпускаемой продукции. Такое название не означает ее малой роли в химизации современного производства, скорее наоборот. Она отличается высокой экономической, научно-технической и социальной эффективностью.

Отличительные особенности малотоннажной химии — обширный и быстро меняющийся ассортимент. В настоящее время в СССР выпускается 12 тыс. наименований реактивов и высокочистых веществ, 700 марок красителей, химикатов-добавок и текстильно-вспомогательных продуктов, сотни видов лекарственных препаратов, а общий список продуктов насчитывает более 100 тыс. наименований. Это обуславливает частую перестройку производства и значительную стоимость его продукции, тем более что она обычно представляет собой химические вещества сложной структуры с высокими и специальными показателями, получаемые с помощью методов тонкой химической технологии и прецизионных механико-химических процессов.

Мы свидетели настоящего бума малотоннажной химии в индустриально развитых странах, не избежать его и нам, так как слишком очевидны выгоды применения ее продукции. Однако не всегда очевидна экологическая безопасность производства и потребления продуктов малой химии. Во всех отраслях химико-технологического комплекса, а особенно в малой химии, остается еще много проблем экологического характера. Экология, биология, агрономия и медицина нередко не поспевают за технологией. Есть способ производства продукта, есть реальный эффект его применения. Нельзя, однако, не учитывать его "далекодействие". Нельзя рисковать жизнью и здоровьем людей. Нельзя ставить природу под угрозу необратимых изменений.

Все сказанное не означает тем не менее призыва к сворачиванию малотоннажной химии, без развития и совершенствования которой невозможно оптимальное решение социально-экономических вопросов.

Успехи синтетической химии, химической и биохимической технологии способствовали созданию большого

количества новых продуктов и материалов, обладающих очень высокими потребительскими свойствами. В то же время результаты их воздействия на природу и человека изучены недостаточно. Сейчас это важнейшая задача, решать которую можно и нужно при условии тесного сотрудничества ученых и практиков самых различных профессий.

Развитие общества диктует необходимость дальнейшего увеличения объемов и расширения ассортимента химических продуктов, создаваемых человеком. Делать это следует, однако, с большой долей осторожности.

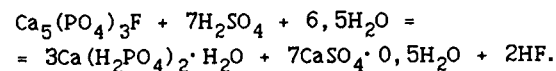
Производство минеральных удобрений основано на химической переработке природного сырья в водорастворимые, усваиваемые растениями соединения.

Больше всего вопросов экологического характера возникает в фосфорной промышленности, предприятия которой могут нанести вред литосфере, гидросфере и атмосфере.

Сырьем для производства фосфорсодержащих минеральных удобрений являются апатитовые и фосфоритовые руды. Наиболее практически важны минералы апатитовой группы $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}$ ($\text{X} = \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{OH}^-$ или $0,5 \text{CO}_3^{2-}$). В природе наиболее распространен фторапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и гидроксиапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. В части этих молекул кальций может быть замещен стронцием, барием, магнием, марганцем, железом, а также сочетанием трехвалентных редкоземельных элементов с щелочными металлами.

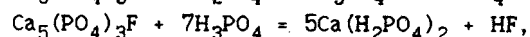
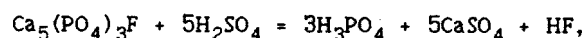
Земля наша не обделена фосфорным сырьем. Советский Союз располагает крупнейшими месторождениями апатита — сырья для производства фосфорных удобрений.

В основе этого производства лежит процесс разложения нерастворимых фосфатов серной кислотой:



В получаемом продукте (простой суперфосфат) содержится примерно 20 % усваиваемого растениями оксида фосфора (V) P_2O_5 .

Возможна организация технологии с предварительным отделением фосфорной кислоты:



что освобождает получаемый продукт (двойной суперфосфат) от балластного сульфата кальция и увеличивает содержание P_2O_5 до 40-55 %.

Возможны и другие варианты сернокислотной технологии, но неизменным, важным с экологической точки зрения остается следующее:

- процесс осуществляется в водной среде и, следовательно, сопровождается образованием значительных количеств сточных вод;

- даже самые богатые фосфорные руды (Хибинское месторождение) содержат не более 40 % P_2O_5 , тогда как в более бедном сырье этот показатель уменьшается в 1,5-2 раза, т.е. при добыче и переработке минерального сырья неизбежно образование больших количеств твердых отходов;

- производство фосфорных удобрений сопровождается образованием на 1 т P_2O_5 4-6 т так называемого фосфогипса (в пересчете на сухое вещество) — пастообразного продукта, содержащего в основном гидраты сульфата кальция и воду;

- при взаимодействии с серной кислотой фосфорных концентратов содержащийся в них фтор выделяется в виде фтористоводородной кислоты, дальнейшее превращение которой приводит к образованию тетрафторида кремния и гексафторокремниевой кислоты;

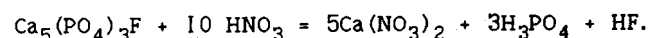
- соединения фтора распределяются между жидкой, твердой и газообразной фазами, причем под твердой фазой понимается как готовая продукция, так и фосфогипс.

Не трудно заметить, что промышленность фосфорных удобрений не щадит ни землю, ни воздух, ни воду. В нашей стране уже накопилось 150-170 млн т фосфогипса, занимающего до 20 км² территории. Ежегодно к этому количеству будет добавляться до 20 млн т, и к концу века общегосударственный объем твердых отходов фосфорной промышленности утроится.

Только создание и внедрение в промышленность технологии, обеспечивающей переработку десятков миллионов тонн фосфогипса на целевые продукты, позволит безбоязненно развивать производство минеральных удобрений.

Более радикальным путем представляется создание новых технологий, вообще исключающих образование отходов. Интересен с этой точки зрения, например, плазменно-химический метод фиксации азота, проводимый параллельно с разложением фосфорного сырья (взаимодействие кислорода и азота воздуха в процессе термического разложения апатита в плазме). Такая технология обеспечивает получение комплексного азот-фосфорного удобрения, а в виде твердых отходов — оксида кальция, который широко применяется во многих областях. Однако реализация этого метода связана с крайне высокими энергетическими затратами. Не вдаваясь в технологические подробности, отметим, что все-таки этот метод, несомненно, перспективен из-за отсутствия трудноутилизируемых отходов фосфогипса.

Другим вариантом экологического совершенствования производства фосфорных удобрений является замена серной кислоты азотной:

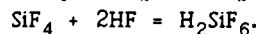
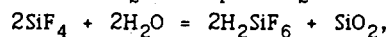
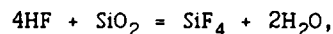


Различные модификации такой технологии — азотно-карбонатная, азотно-сульфатная, азотно-фосфорнокислотная — позволяют получать удобрения с любым соотношением питательных веществ. Готовая продукция представляет собой комплексное минеральное удобрение, содержащее не только фосфор, но и азот. Создаются более благоприятные условия для извлечения попутных полезных компонентов из минерального сырья, а энергетические затраты минимальны, так как реакция с участием азотной кислоты сопровождается выделением тепла. И конечно, самое главное — вместо фосфогипса (по сернокислотной технологии) здесь образуется нитрат кальция — соединение, широко используемое в практике.

Как видим, азотнокислотная технология весьма заманчива по многим параметрам. Однако, во-первых, замена серной кислоты азотной в многотоннажном производстве минеральных удобрений является сложной и многофакторной задачей по организационным, экономи-

ческим и технологическим соображениям. Во-вторых, сырьевая и производственная сернокислотная база, особенно в связи с ужесточающимися требованиями охраны окружающей среды, совершенствованием методов утилизации газообразных выбросов теплоэнергетики и цветной металлургии, развивается таким образом, что выпуск серной кислоты может даже превысить ее огромные расходы. С этой точки зрения нежелательно исключение из числа потребителей серной кислоты заводов минеральных удобрений, использующих ее небольшие количества. Тем не менее экологические преимущества могут постепенно "перевесить" сырьевые и экономические недостатки, а поэтому по крайней мере на вновь строящихся предприятиях, очевидно, следует отдать предпочтение азотнокислотной технологии.

В любой из рассмотренных технологий производства фосфорных удобрений неизбежно выделение фтористого водорода. Об этом экологически очень опасном соединении следует поговорить особо. Фтористый водород взаимодействует с кремнийсодержащими соединениями, присутствующими в концентрате, образуя тетрафторид кремния, который далее реагирует с водой и новыми порциями фтористого водорода. Конечным продуктом всех этих превращений является гексафторокремниевая кислота:



В результате таких превращений фтор, содержащийся в апатите, распределяется следующим образом: приблизительно половина переходит в газовую фазу, а другая половина распределяется между готовой продукцией (удобрения), отходами и сточными водами.

Самое опасное для природы и человека — наличие фторсодержащих соединений в газовой фазе, однако эти соединения легче всего улавливаются, обезвреживаются, более того — перерабатываются в полезные продукты. Основными фторсодержащими компонентами газовой фазы являются тетрафторид кремния и фтористый водород. Их улавливают водными растворами, из которых выделяют различные фториды, необходимые для производства черных металлов, алюминия, ядерного горючего, органи-

ческих производных, редких элементов, полимеров с уникальными антикоррозионными и теплофизическими свойствами, целого ряда других практически важных материалов.

В получаемых удобрениях, а также в жидких и твердых отходах фтор присутствует главным образом в виде гексафторокремниевой кислоты, ее солей и продуктов гидролиза. Сточные воды обычно нейтрализуют известию, избавляя водоемы от фторпроизводных. Их дальнейшая переработка не оправдана по технологическим и экономическим соображениям, в связи с чем ценные фторсодержащие соединения теряются безвозвратно.

В рудах фтор находится в составе труднорастворимого соединения, обладает малой подвижностью и поэтому не оказывает какого-либо заметного воздействия на окружающую среду. При сернокислотном и азотнокислотном разложении, переводя сырье в продукты, усваиваемые растениями, мы одновременно превращаем фтор в более подвижные формы. Основная его часть входит в состав водорастворимых соединений. Вместе с удобрениями они попадают в почву, вымываются подземными водами и атмосферными осадками, загрязняют землю, реки и озера. Под влиянием тех же природных факторов из фосфогипса, находящегося в отвалах, также идет постепенный процесс распространения фтора в гидросфере и литосфере, вследствие чего разрушению подвергаются территории, размер которых существенно превышает размер хранилища отвалов.

Пути избавления твердых отходов производства фосфорных удобрений от фтора разнообразны. С одной стороны, создание технологий, обеспечивающих максимальное, в идеале полное его выделение в жидкую и газообразную фазы при производстве удобрений, с другой — разработка и внедрение способов извлечения фторсодержащих соединений из твердых отходов. Полученные результаты подтверждают реальность как того, так и другого направления, однако пока они еще не стали широким достоянием промышленности.

Промышленный выпуск минеральных удобрений, а значит, и их техногенное давление на окружающую среду растут ускоренными темпами. В настоящее время 1 га пашни получает более 100 кг удобрений, но из этого количества недостаточно для полной компенсации азота, фосфора и калия, извлекаемых вместе с сельскохозяйственными продуктами из почвы.

Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность — многотоннажное производство органических и неорганических соединений на основе нефтяных фракций, природного газа и газов нефтепереработки. Эта отрасль — крупнейший потребитель атмосферного кислорода, воды и топливно-энергетических ресурсов, в связи с чем она представляет большую опасность для окружающей среды.

Первичная переработка нефти (перегонка) приводит к получению различных нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут). К процессам вторичной переработки относятся методы, приводящие к структурным изменениям содержащихся в нефти углеводородов (крекинг, риформинг, полимеризация, изомеризация и др.).

В технологии нефтепереработки обычно осуществляется более десяти операций. Большинство из этих операций являются источниками загрязнения атмосферы, среди которых главные — процессы извлечения серы и регенерации катализаторов.

Технологические операции	Возможные выбросы
Система подготовки сырья (включая обессоливание)	Углеводороды
Каталитический крекинг	SO ₂ , NO _x , аэрозоли, углеводороды, альдегиды, аммиак
Каталитический риформинг	Углеводороды, аммиак, сероводород
Каталитический гидрокрекинг	CO, NH ₃ , H ₂ S
Ощелачивание	Практически отсутствуют
Улавливание легких фракций	То же
Каталитическая гидрогенизация	CO, NH ₃ , H ₂ S
Производство водорода	Отсутствуют
Удаление асфальта из растворителей	"
Гидросульфуризация остаточной нефти	Только при регенерации катализатора
Выдув асфальта	Отсутствуют, если проводится очистка газов
Коксование	Коксовая пыль, выбросы из водных резервуаров для гашения извести
Складирование и смешение	Легкие углеводороды
Система обогрева аппаратов	Аэрозоли, SO _x , CO, углеводороды, альдегиды
Обработка сточных вод	Углеводороды
Система сброса давления и факелы	"

Примечание. Калверт С., Инглунд Г. М. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1988. С. 195.

Многие из упомянутых загрязнителей не являются следствием превращения исходного сырья, а выделяются из него в "первозданном виде" и составляют сильную техногенную нагрузку на обширный регион, расположенный в сфере влияния нефтеперерабатывающего комплекса. Именно поэтому проблемы охраны окружающей среды становятся прежде всего чисто инженерной задачей, и в этом случае необходимо в первую очередь усовершенствовать конструкции нагревателей, котлов, резервуаров для хранения продукции. Любой шланг, фланец, насос, соединения компрессоров, емкостей и т. п. могут оказаться источниками загрязнения. В этом случае совершенствование используемой аппаратуры приобретает особое значение. Так, например, стандартный сварной резервуар для хранения продукции, изготавливаемый одной из американских фирм, за год теряет 14,55 т углеводородов, если он снабжен одинарным механическим затвором, тогда как применение двойного механического затвора ободного типа эти потери снижает до 0,731 т. Ясно, что в этом случае инженерное решение обеспечивает не только значительный экологический, но и экономический эффект.

Необходимо для нефтехимического сырья получают в результате физической и физико-химической переработки нефти и горючих газов с выделением мономеров: алкенов C₂-C₄, диенов C₄-C₅, ароматических производных C₆-C₈ и других углеводородов. Их современное мировое производство в конце 80-х годов достигло 120-140 млн т, для чего ежегодно расходуется 250-300 млн т продуктов нефте- и газопереработки, или около 10 % всей перерабатываемой нефти. Ясно, что при таких значительных объемах даже самые минимальные потери нефти, газа и получаемых продуктов существенно повышают содержание в окружающей среде различных углеводородов, в том числе канцерогенных.

Получаемые при переработке нефти мономеры являются исходными продуктами для промышленного производства различных полимерных материалов: химических волокон, синтетического каучука, пластических масс, синтетических смол и поверхностно-активных веществ.

Полимерные материалы включают несколько сотен видов, тысячи подвидов и марок. Их мировое производство выросло в 70-е годы более чем на 80 %, а за первые пять лет 80-х годов — примерно вдвое и в

1987 г. составило 102 млн т (синтетические смолы, пластические массы, химические волокна и нити), или 265 % от выпуска 1970 г., обогнав темпы роста выплавки стали более чем в 2 раза. Аналогичная картина характерна и для Советского Союза. Естественно, что с этим связан и рост отходов потребления пластмасс. Необходимость их переработки диктуется не только экологической ситуацией, но и задачами преодоления истощения природных ресурсов, ослабления энергетического кризиса.

Полимеры стали неперменной составляющей всей промышленности и сельского хозяйства, прочно вошли в наш повседневный быт. В разных странах используют под различными названиями сотни марок пластмасс и синтетических смол, химических волокон и нитей, а также синтетических каучуков. Темпы роста их производства просто не сопоставимы с темпами роста черной и цветной металлургии — традиционных поставщиков основных материалов для промышленности.

К началу 90-х годов мировое производство искусственных материалов примерно в 3 раза обогнало производство алюминия и почти на порядок превысило выплавку меди, а в недалеком будущем оно, очевидно, достигнет уровня производства стали. И это при том условии, что не так уж давно (1960 г.) стали вытеснялись в 35 раз больше, чем пластических масс.

Если принять стоимость 1 кг углерода, содержащегося в угле, за единицу, то в бензоле она будет равна 15, синтетических смолах — 90, лаках — 125, красителях — 375, синтетических волокнах — 1500. Вот почему десятая часть нефти и газа, потребляемая человечеством в качестве сырья для производства различных искусственных материалов, оказывается дороже всего остального продукта, используемого как энергетическое сырье.

Эти материалы обеспечивают изготовление более 10 тыс. резиновых деталей для современных самолетов. Без них невозможно одеть 5 млрд людей и "обуть" 500 млн автомашин. 100 т пластмассовых труб экономят в строительстве 500 т металла и 275 т топлива. 1 т полимеров в машиностроении заменяет 6–10 т легированной стали, 5 т цветных металлов, 1,5–2 т алюминия, в 2,5–4 раза снижает трудоемкость изготовления изделий. Применение полимерных клеев повышает качество ремонта, позволяет отказаться от трудоемких

сварочных работ, требующих значительных затрат энергии, обеспечивает экономию десятков тонн черных и цветных металлов.

Таким образом, столь важная для всего современного мира проблема ресурсо- и энергосбережения не может быть решена без применения полимерных материалов.

Можно продолжить перечисление преимуществ искусственных материалов, а можно просто посмотреть вокруг и увидеть, что со всех сторон нас окружают полимеры и жизнь без них немыслима. В дальнейшем их будет еще больше.

Синтез исходных мономеров, так же как и последующая их полимеризация с целью получения искусственных материалов, сопровождается образованием газообразных, жидких и твердых отходов. Уменьшение объемов этих отходов зависит в первую очередь от совершенствования технологии нефтехимического синтеза, от степени углубленной переработки исходного сырья. В настоящее время на 1 т продукта нефтехимического синтеза расходуется 3–5 т сырой нефти, что явно выше теоретически необходимого. К сожалению, аналогичная картина завышенного расхода сырья характерна и для нефтепереработки.

Установки процессов нефтехимического синтеза являются мощными источниками выделения углеводородов в атмосферу. Для уменьшения углеводородных выбросов применяют их дожиг.

Сточные воды лучше всего обезвреживаются при их локализации в соответствии с характером загрязнителя. В этом случае методы биохимической очистки оказываются наиболее эффективными.

Твердые отходы скапливаются на заводах в виде нефтешлаков. Их объем в стране ежегодно увеличивается на 550 тыс. т, а общее количество приближается к 6 млн т. Кроме того, чрезвычайно важной становится проблема рациональной и экологически безопасной утилизации и переработки изделий, изготавливаемых из продукции нефтехимической промышленности, пришедшей в негодность. Эта проблема настолько серьезна, что мы специально остановимся на ней несколько позже.

Ясно, что необходима и неизбежна дальнейшая химизация всех направлений производственной и бытовой деятельности общества. Понятно, что осуществить ее в

полном объеме, немедленно и для всех отраслей промышленности вряд ли возможно. В этой связи выделяют приоритетные направления химизации: агропромышленный и топливно-энергетический комплекс, машиностроение, приборостроение и строительная индустрия. В наши дни неуклонно повышается удельный вес химических процессов при изготовлении предметов потребления, изделий медицинского, бытового и культурного назначения. Комплексная программа химизации народного хозяйства в СССР предусматривает два этапа: 1986-1990 гг. — ускоренная химизация сельского хозяйства, топливно-энергетического комплекса и производства предметов потребления, а также максимальная замена натурального волокна химическим; 1990-2000 гг. — увеличение эффективности использования минеральных удобрений и других средств химизации сельского хозяйства, повышение темпов развития производства пластмасс и химических волокон, максимальное обеспечение ведущих отраслей промышленности продукцией малотоннажной химии, чистыми и особо чистыми веществами.

Еще раз подчеркнем, что химическая промышленность развивается опережающими темпами. Так, например, при общем увеличении темпов роста промышленной продукции в СССР за 1970-1988 гг. в 2,4 раза этот показатель для химической промышленности равен 3,2. Такое быстрое развитие химико-технологического комплекса, в свою очередь, обостряет проблему создания экологически чистых предприятий и продуктов. В то же время не следует впадать в крайность и опасаться любого, даже самого минимального попадания загрязнений в окружающую среду. Определенное их количество можно безбоязненно сбрасывать в водоемы и атмосферу, размещать на поверхности Земли.

Совершенно стерильное производство, если и не утопия, то по крайней мере перспектива не столь близкого будущего. Можно сточные воды очистить до состояния дистиллированной воды, полностью удалить и обезвредить газообразные примеси, поступающие в атмосферный воздух, избавиться от твердых отходов, добиться 100 %-ного извлечения всех компонентов исходного сырья и... тогда готовая продукция окажется дороже любого драгоценного металла. В то же время, как мы уже отмечали, природа обладает огромными восстановительными способностями; она может безболез-

ненно воспринимать определенные техногенные нагрузки, и задача состоит в установлении величин этих предельных нагрузок, при которых промышленность может выводить в окружающую среду определенные объемы загрязнений, не нанося ей непоправимого ущерба.

Достоинства и недостатки нормирования загрязнений

Реалии современного производства обусловили необходимость установления допустимых норм химического воздействия на объекты окружающей среды. Этим целям служат введенные в практику современной трудовой деятельности человека предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязнений. Они, естественно, различны для атмосферы, гидро- и литосферы.

Под предельно допустимой концентрацией понимают такую концентрацию химического соединения, которая при ежедневном воздействии на организм человека в течение всей его жизни не вызывает каких-либо патологических изменений или заболеваний, обнаруживаемых современными методами исследования, а также не нарушает оптимальных биологических условий жизни человека.

Нетрудно увидеть, что в самом определении заложены недостатки применения норм ПДК. Они, как правило, обеспечивают безопасность окружающей среды для здоровья населения, опираясь на научные знания и методы исследования, существующие на сегодняшний день. А это еще не означает действительной безопасности.

"Современные методы исследования" не позволяли жителям Древнего Рима установить, что свинцовые трубы построенного ими водопровода сильно загрязняют воду токсичным металлом. По тем же причинам не так уж давно свинцовая посуда и свинцовые белила находили широкое применение в промышленности и быту, а кадмий не казался чрезвычайно ядовитым металлом. Можно утверждать, что и в наши дни мы не знаем всех возможных негативных воздействий известных химических веществ.

Сказанным еще не ограничиваются недостатки ПДК. Известно, что многие живые организмы устойчивее нас ко многим ядовитым веществам, другие же, наоборот, более чувствительны. Придерживаясь норм ПДК для по-

добных веществ, мы нанесем вред некоторым видам животного и растительного мира, что в конечном итоге не может не отразиться и на человеке. Следовательно, необходимо установить ПДК не по санитарно-гигиеническим, а по экологическим параметрам, т.е. для всей экосистемы в целом. Пока, однако, для подобного нормирования мы не имеем необходимого объема информации.

Наконец, вспомним, что человечеству известно не менее 8 млн химических соединений. Из них по крайней мере 500 тыс. находят промышленное использование, среди которых около 40 тыс. оказывают неблагоприятное воздействие на человека, а 12 тыс. — токсичные вещества. В окружающей среде обнаружено более 55 тыс. химических соединений, в том числе 450 канцерогенных. Вполне очевидно, что и эти цифры сильно занижены. Они, скорее, отражают уровень наших знаний, чем фактическую обстановку.

У человечества просто не хватает сил и возможностей идентифицировать многообразные химические продукты, попадающие в результате его деятельности в атмосферу, гидросферу и литосферу, а тем более установить степень их воздействия на организм человека (а лучше на всю экосистему) и максимальные количества, не наносящие ущерба его здоровью. Лишь только наиболее опасные и самые многооточные (по выбросам) химические вещества имеют установленные нормы ПДК. Так, например, в нашей стране установлены для водоемов ПДК 959 химических соединений, для воздуха ПДК 170 веществ, а в пищевых продуктах контролируется концентрация 15 элементов. Справочники последних лет охватывают около 3 тыс. неорганических и органических соединений, нормируемых в атмосфере, гидросфере и почве, причем в этом случае приводятся как официально установленные ПДК, так и рекомендуемые советскими и зарубежными учеными, но пока по ряду причин не подтвержденные законодательными актами.

Как видим, существующее нормирование загрязнений не гарантирует 100 %-ное качество окружающей среды, хотя оно представляет собой серьезный барьер для проникновения вредных веществ в окружающий нас мир.

В Советском Союзе содержание химических веществ в окружающей среде начали контролировать еще в 1925 г., когда определили первые ПДК рабочей зоны,

т.е. предельно допустимые концентрации не на все время жизни человека, а на период его рабочего стажа с учетом нахождения под данным воздействием не более 41 ч в неделю. ПДК для атмосферного воздуха впервые установлены в 1949 г., для воды — в 1950 г., а для почвы и продуктов питания — только в последнее десятилетие. Нельзя не подчеркнуть, что наша страна первая приступила к нормированию загрязнений, оно у нас одно из самых жестких в мире. Но значит ли это, что оно обеспечивает наибольшую безопасность?

Ответ на этот вопрос мы найдем, вновь возвратившись к проблемам автотранспорта. По Москве в целом ПДК превышены в 4–8 раз, а при плохой погоде бывает и в 10–12 раз. На главных транспортных магистралях столицы уровень загрязнений выше нормы в 20 раз и больше. Выброс от автомобилей увеличивается ежегодно на 30–40 тыс. т и составляет в наши дни 50 % от величины общего загрязнения воздуха, тогда как в 142 городах, в том числе в Киеве, Тбилиси, Алма-Ате, Владивостоке и других городах Союза, автомобильные выбросы составляют более 80 % газообразных загрязнений.

А как же наши стандарты на отработавшие газы автомобиля? Они лучшие в мире! У нас ПДК выброса оксида углерода (II) ниже 3,5 %, чего нет ни в одной стране мира. Она составляет 1,5 % CO для нового автомобиля и 3 % в момент эксплуатации. Однако нет реальных возможностей для выполнения такого жесткого стандарта, и на практике благие пожелания превращаются в фикцию. ПДК — это только "закон", а ведь его еще нужно исполнять, что делается далеко не всегда.

Обеспечить действенность ПДК на транспорте может решение четырех основных проблем:

1. Необходимо широко использовать нейтрализаторы выхлопных газов. Наша промышленность не выпускает их в достаточном количестве, но даже если бы производство нейтрализаторов было налажено, то это ничего бы не изменило, так как свинцовые выбросы мгновенно выводят их из строя.

2. Нужно отказаться от этилированного бензина. Эту проблему начали решать, и к 1995 г. планируется довести выпуск неэтилированного бензина до 40 %. Однако к этому времени выпуск только легковых автомобилей должен удвоиться, составив, по предварительным оценкам, 2,3 млн штук/год. Таким образом, абсо-

лютное количество используемого этилированного бензина вряд ли уменьшится.

3. Необходим выпуск приборов для определения токсичности отработавших автомобильных газов. Потребность в газоанализаторах исчисляется десятками тысяч.

4. Следует обеспечить оптимальный режим протекания реакции в двигателе внутреннего сгорания. Имеется в виду создание условий, сводящих к минимуму остановки автомобиля.

Основные проблемы, решение которых может сделать реальными наши ПДК на отработавшие газы автомобиля, имеют химическое происхождение, а затруднения, как видим, не столько естественнонаучные, сколько организационного, инженерно-технического и экономического характера. Пока мы их преодолеем, наша "гордость" жесткими стандартами остается беспочвенной.

К сожалению, пример с автотранспортом, может быть, наиболее впечатляющий, но не единственный.

Предельно допустимые концентрации являются стандартом качества окружающей среды. Этот стандарт должен быть научно обоснован, чтобы избежать завышения, способного нанести вред здоровью, но его нельзя и излишне занижать, так как это приведет к неоправданно высоким затратам на поддержание уровня ПДК в окружающей среде.

Для контроля загрязнений, поступающих в окружающую среду, также применяют отличные от ПДК формы нормирования: допустимое остаточное количество (ДОК), ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ), ориентировочно допустимая концентрация (ОДК). Два последних вида нормирования нередко объединяют под названием "временная допустимая концентрация" (ВДК). Кроме того, для каждого конкретного предприятия вводится нормирование на выброс химических веществ — предельно допустимый выброс (ПДВ), постоянно совершенствуется экспертиза вновь строящихся объектов, с учетом вредности определяется санитарно-защитная зона между промышленным предприятием и населенным пунктом. Все это служит единой цели — минимизации вредного воздействия производства на окружающую среду.

Следует признать, что огромная работа по нормированию загрязнений, требующая усилий ученых самых

различных профессий, далека от завершения. Да и вряд ли оно когда-нибудь наступит, так как темпы ежегодного введения новых химических соединений в сферу промышленного, сельскохозяйственного и бытового потребления существенно обгоняют темпы исследований по их нормированию.

В то же время нельзя забывать, что представление о полной безвредности химических соединений, содержащихся в количествах, не превышающих ПДК, весьма условно. ПДК лишь устанавливает тот уровень загрязнений, который на уровне современных знаний считается безвредным для здоровья человека. Она не является нормой в прямом смысле этого слова. Норма для человека, для всей экологической системы — абсолютно чистый воздух и вода, почва и продукты питания.

В наше время химизации подвержены самые различные направления человеческой жизни и трудовой деятельности. И если она осуществляется в ряде случаев по формуле: "плюс химизация, минус окружающая среда", то виновата в этом не химия, а люди, ее использующие. Современное состояние химической науки и практики дает возможность реализовать иной принцип: "плюс химизация, плюс окружающая среда".

Коренным направлением экологизации современного производства, насыщенного химическими процессами и материалами, является радикальное совершенствование и принципиальное изменение технологий, создание производственных циклов, исключающих проникновение загрязнений в окружающую среду, использование химических материалов, не нарушающих равновесие, установившееся в природе, и не создающих для нее угрозу.

Веками развиваемая и культивируемая технология не выдержала экологического испытания. Конец XX в. характеризуется формированием нового отношения к производству, при котором природоохранные критерии приобретают все большее и большее значение.

Современное экологически чистое производство. Каким оно должно быть?

Идеал, к которому стремится человечество

Я понял одну нехитрую истину.
Она в том, чтобы делать так называемые чудеса своими руками.
А. С. Грин. *Алые паруса*

Что это за идеал? Речь идет о производстве, максимально удовлетворяющем потребности людей, оптимально вписывающемся в окружающую среду и не причиняющем ей вреда. А существует ли идеал? Да, существует как общетеоретическая концепция. Разработаны принципы, основы и определены ее цели. Нередко в средствах массовой информации сообщается о достижении этого идеала, хотя чаще всего имеется в виду лишь приближение к нему на некоторых передовых предприятиях.

Технологии рекомендует природа

Человечество непрерывно совершенствует способы воздействия на природу. Усложняются методы и увеличиваются масштабы этого воздействия. Материалы подвергаются все более глубокой переработке, им нередко придаются новые "неприродные" или даже "антиприродные" свойства. Развитие технологии часто осуществляется при полном пренебрежении к природе. Инженерно-технологическое решение, обеспечивающее достижение конкретной цели, и экономический эффект — два параметра, определяющие право данного производства на существование. Такое отношение к технологии складывалось веками, и оно, собственно говоря, исключало из рассмотрения вопросы взаимодействия производства и общества с окружающей средой. Вследствие этого технология сформировалась как многоотходный процесс.

Человек, извлекая из природного сырья полезный компонент, весьма произвольно трактовал само понятие "полезный". Многокомпонентный продукт, образовавшийся в результате многовекового геологического процесса, рассматривался как однокомпонентное полезное ископаемое. Разрабатывалась технология, обеспечивавшая более или менее полное извлечение единственного полезного компонента сырья, а основная масса при-

родного продукта удалялась в отходы. Они-то и являются главной составляющей техногенного давления на окружающую среду.

Борьба за сохранение природы является, таким образом, в первую очередь борьбой с отходами. Потребности современного человека обеспечиваются расходом 20–30 т/год различных видов минерального сырья, из которых в лучшем случае 2–3 %, а то и 1 % переходят в конечную продукцию. Следовательно, при существующей технологии пятимиллиардное население планеты должно "производить" не менее 100 млрд т производственных отходов. К этому количеству следует прибавить немалую толику отходов потребления, среди которых только, например, бытовые отходы индустриально развитых стран Запада составляют более 13 млрд т, и их объем увеличивается в 10 раз быстрее роста населения. Не многим отлична картина и для нашей страны, дающей в год примерно 60 млн т твердых бытовых отходов. И с каждым годом их становится больше на 5 % при увеличении численности населения на 0,7 % (1989 г.). Лавина отходов, многие из которых весьма токсичны, обрушивается на человечество, на природу, "долготерпение" которой не бесконечно.

Где же выход из создавшейся обстановки? Известный эколог Б. Коммонер почти афористично ответил на этот вопрос: "Природа знает лучше".

Многое человек "подсмотрел" у природы. Крылья, гусеницу, многие другие механизмы и приборы человек изобрел, увидев аналогию в живой природе, оценив ее целесообразность и преобразив в техническое решение. Нельзя не заметить, однако, что люди, к сожалению, не всегда прислушивались к советам природы.

Жизнь на Земле, существующая миллиарды лет, обусловлена процессами, сопровождающимися образованием значительных количеств отходов. И в то же время в целом ее развитие подчиняется законам безотходного цикла. Одно не противоречит другому, так как все отходы перерабатываются природой и находят свое место в организации новой жизни. Осуществляется естественный биогеохимический круговорот вещества. Так в природе реализуется принцип безотходного производства, позволяющий экономно расходовать вещество и энергию, при котором отходы одних организмов служат средой обитания других. Этот принцип давно известен биологу, но инженер обычно "не замечал" его, и толь-

ко в наши дни он положен в основу современных представлений о путях развития производства.

Отходное — малоотходное — безотходное

Еще 20-30 лет тому назад проблема растущего количества отходов казалась не столь уж существенной. Тем более их объемы мало беспокоили практиков в более ранние периоды развития производства. Однако уже тогда многие ученые, перспективно мыслящие инженеры, может быть, скорее интуитивно, чем на базе строгих расчетов, понимали несостоятельность такого пути развития технологии. Высказывания Д. И. Менделеева столетней давности о том, что совершенствование производства возможно только тогда, когда оно не дает отходов, вполне созвучны сегодняшним представлениям о путях совершенствования производственных технологических процессов.

Идея о безотходной технологии в современном представлении сформулирована академиками Н. Н. Семеновым, И. В. Петряновым-Соколовым и Б. Н. Ласкориным. Она получила не только всесоюзное, но и мировое признание. Проблемы безотходной технологии впервые были всесторонне обсуждены на Научно-техническом симпозиуме стран — членов СЭВ по теоретическим и технико-экономическим вопросам малоотходной и безотходной технологии (Дрезден, 1976 г.).

В работе семинара Европейской экономической комиссии ООН (Париж, 1976 г.) был использован опыт дрезденского симпозиума, обсуждены и развиты основные его положения. На Общеευропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды (Женева, 1979 г.) принята специальная Декларация о малоотходной и безотходной технологии, содержащая определение понятия "безотходная технология". По предложению советских ученых, на семинаре Европейской экономической комиссии ООН по малоотходной технологии (Ташкент, 1984 г.) принята новая формулировка, официально признанная Организацией Объединенных Наций как современное представление о безотходной технологии: «Безотходная технология — это такой способ производства продукции (процесс, предприятие; территориально-производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энер-

гия в цикле "сырьевые ресурсы — производство — потребление — вторичные сырьевые ресурсы", таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования».

Обратите внимание: в определении нет "нулевого варианта". Оно как бы допускает какое-то минимальное безвредное для природы количество отходов, предусматривая по аналогии с природным процессом сознательно регулируемый и организованный человеком технологический круговорот сырья, продукции и отходов. Как и в природных экосистемах, безотходное производство практически замкнуто, но не изолировано, так как максимально (но не полностью, что, естественно, ограничено вторым законом термодинамики) используются энергетические ресурсы. Важно отметить и концепцию безотходного производства, сохраняющего сложившееся экологическое равновесие, т.е. предполагается возможность нанесения определенного ущерба природе, но не выше допустимого уровня.

Таким образом, безотходное производство, строго говоря, им не является. Видимо, это стало одной из причин почти одновременного появления другого понятия — "м а л о о т х о д н а я т е х н о л о г и я", цели и задачи которой очевидны: создание производства с минимальным количеством отходов, вредные воздействия которых не выше допустимого санитарно-гигиенического уровня. В малоотходном производстве часть отходов остается неиспользованной и направляется на длительное хранение.

С этой точки зрения безотходная технология — идеальная модель, на которую ориентировано современное производство. Она во многих случаях пока не может реализоваться во всем объеме, и здесь оправдывает себя максимальная малоотходность. Важнейшей задачей является приближение к идеалу — безотходности — во все большей и большей степени. Безотходная технология является по смыслу производством, работающим по технологическому процессу, не исключающему отходы, но обеспечивающему полную их утилизацию. Наш путь в направлении "отходное → малоотходное → безотходное" закономерен и неизбежен.

Как установить степень приближения к безотходному производству? Очевидно, что она определяется эффективностью использования в технологических процессах сырья и материалов, но тем не менее единого критерия

нет. Различные отрасли вводят соответствующие, несколько различающиеся, но служащие одной цели показатели, отражающие степень приближения к безотходной технологии.

Так, в цветной металлургии используется коэффициент комплексности — доля извлекаемого полезного компонента (%), а в химической промышленности — коэффициент безотходности, который определяется по уравнению

$$K_0 = f K_M K_3 K_a$$

Здесь f — эмпирический коэффициент пропорциональности, K_M и K_3 — коэффициенты полноты использования материальных и энергетических ресурсов; K_a — коэффициент соответствия предприятия экологическим требованиям.

Очевидно, что в идеале коэффициент безотходности должен быть равен 100 %, однако предложено считать величину 90–98 % соответствующей безотходному производству, а 75–90 % — малоотходному. Достижение этих показателей — нелегкий процесс, требующий принципиально нового подхода к технологическому процессу.

Безотходная технология: достижения и перспективы

В нашей стране, так же как и во всем мире, интенсивно развивается технология очистки вредных жидких, твердых и газообразных выбросов, что позволяет улучшить экологическую обстановку в городах и промышленных центрах, во всей природной среде. И все-таки таким способом не может быть решена проблема защиты биосферы от непрерывно развивающегося производства. Если нынешняя технологическая структура останется без изменений, то, согласно прогнозу, даже в случае замедленного роста производства уровень загрязнений к 2000 г. окажется значительно выше нынешнего.

Реальный выход только в безотходной технологии. Ее принципы неординарны и отличны почти для каждого производства, но тем не менее существуют некоторые задачи, решение которых обязательно для любого предприятия, развивающегося на основе безотходности.

Комплексная переработка сырья — главная проблема современной экологически безвредной технологии.

Отходы производства — это неиспользованная или недоиспользованная часть сырья, которая либо в "первозданном" виде, либо, что чаще, определенным образом переработанная и приобретающая новые свойства, не имевшиеся у природного сырья, сбрасывается в окружающую среду, способствуя снижению ее качества и деградации.

С большими трудностями сталкивается, например, горнодобывающая промышленность. Отвалы горных пород — огромная масса дешевого и нередко нужного человеку, но вредного для природы продукта. Газообразные выбросы обогатительных фабрик могут содержать до 30–40 % полезных компонентов, многие из которых токсичны.

Еще большие сложности возникают при решении вопроса комплексной переработки руд цветных металлов. Оценивая пути и перспективы внедрения безотходной (малоотходной) технологии в цветную металлургию, следует иметь в виду, что объемы ее твердых отходов, приходящиеся на единицу готовой продукции, в десятки и даже сотни раз выше, чем в черной металлургии, и в тысячи раз больше, чем в других отраслях. Они наиболее токсичные и трудно утилизируемые. С другой стороны, сложность организации безотходного цикла в цветной металлургии заключается в том, что почти каждое ее предприятие требует собственной технологии. Общих рекомендаций, какие, например, возможны в черной металлургии, здесь не существует. Цветная металлургия — это огромное разнообразие металлов, процессов, оборудования и приборов. И даже получение одного металла может быть связано с различными технологиями. Так, например, медь можно получать из медных, медно-цинковых, медно-никелевых, свинцово-медно-молибденовых концентратов. Каждое исходное сырье требует своей технологии, своего набора реагентов. А если сравнивать различные металлы, то способы их выделения могут вообще не иметь ничего общего. Сравним, например, электрохимическое выделение алюминия и пирометаллургическое получение свинца. Десятками металлов занимается цветная металлургия. Они различны по химическим свойствам, сырью и способам извлечения из руд. Почти любой природный продукт,

используемый для извлечения цветного металла, полиметаллический, так что еще и поэтому проблема комплексности его переработки стоит наиболее остро.

Обращаясь к алюминию, мы сталкиваемся с примером, когда благодаря комплексной переработке промышленности получила принципиально новое сырье. Имеется в виду технология переработки апатито-нефелиновых руд, разработанная в нашей стране и не имеющая аналогов в мировой практике. Крупнейшее в мире Хибинское месторождение этих руд содержит 13 % апатита и 30-40 % нефелина — алюмината натрия и калия сложного состава, который долгое время не находил применения и сбрасывался в отвал, отчего страдали почва, воздух, воды озера Имандра.

Ценность комплексной технологии заключается в том, что с помощью флотации из руды получают два концентрата — апатитовый (сырье для фосфорной промышленности) и нефелиновый (алюминийсодержащий продукт). Из нефелина получают глинозем Al_2O_3 , а также соду Na_2CO_3 , поташ K_2CO_3 и портландцемент, что обеспечивает комплексное использование всех компонентов нефелина и организацию безотходного (малоотходного) производства. Заметим, что другие страны для получения глинозема — сырья алюминиевой промышленности — используют только боксит. Не случайно разработанная технология удостоена Ленинской премии и запатентована в Англии, Италии, Мексике, США, ФРГ, Швеции, Японии и других странах. Ее экологические и экономические достоинства в следующем. Резко уменьшается объем твердых отходов. Все жидкие отходы производства рециркулируют, а газообразные выбросы не загрязняют воздух выше норм ПДК. Так обеспечивается комплексное использование всех компонентов апатито-нефелинового сырья, ликвидируется многоотходное производство, создается новая минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности.

Комплексная технология переработки апатито-нефелиновых руд внедрена на предприятиях Пикалевского объединения "Глинозем", на Волховском алюминиевом заводе, а также на крупнейшем в стране Ачинском глиноземном заводе. Последний базируется не на хибинском сырье, а на рудах Кия-Шалтырского месторождения Сибири. Оно обеспечивает не только интенсивно развивающуюся алюминиевую промышленность Сибири, но и ее строительную индустрию.

Говоря о комплексной переработке полиметаллических руд, остановимся на технологии, внедренной на Челябинском электролитно-цинковом заводе, на котором вместо традиционных пирометаллургических процессов широкое применение нашла гидрометаллургия — извлечение металлов водными растворами химических реагентов. Совершенствование печей кипящего слоя и применение при воздушном дутье газообразной смеси, обогащенной кислородом, снизило содержание серы в продуктах обжига и повысило извлечение цинка. Образующаяся сера, в свою очередь, перерабатывается на серную кислоту по схеме двойного контактирования, что позволило уменьшить выбросы сернистого ангидрида в атмосферу в 9-10 раз.

Из отходов производства индия — одного из товарных продуктов, выпускаемых заводом, сорбционным методом извлекается галлий, раньше выбрасывавшийся со сточными водами. Их количество сокращено благодаря внедрению циклов замкнутого водоснабжения, что резко уменьшило проникновение загрязнений в гидросферу и сократило потери ценного сырья. Реконструированная система газопылеудаления позволила в 10 раз снизить содержание пыли в выхлопных газах и сберечь сотни тонн цинка в год. Резко снизив количество отходов на многих стадиях технологического процесса, повысив комплексность используемого сырья, Челябинский завод стал малоотходным предприятием с высоким коэффициентом комплексности, при этом существенно уменьшилось его техногенное давление на окружающую среду.

Комплексная переработка сырья в химической промышленности, отходы которой чаще всего наиболее токсичны и в то же время представляют собой ценнейшее сырье, является генеральной линией стратегии отрасли. И в этом случае ее реализация возможна в первую очередь на основе внедрения безотходной (малоотходной) технологии.

Комплексное использование энергетических ресурсов — еще одно важное требование к безотходному производству, которое существенно увеличивается при использовании так называемых вторичных энергетических ресурсов, ежегодный объем которых только в нашей стране эквивалентен 100 млн т топлива.

В химической промышленности немалые резервы энергии заключены в самом процессе, если он проходит с

выделением тепла. Использование этого тепла позволяет, например, снизить удельный расход энергии при получении аммиака в 8 раз.

Энергозатраты резко снижаются при использовании каталитических процессов, которым, бесспорно, принадлежит первое место в создании новых технологий. Достаточно сказать, что даже сейчас 85 % промышленных процессов, на долю которых приходится 70 % всей химической продукции, являются каталитическими. С точки зрения комплексного использования энергетических ресурсов особый интерес представляет разработка сопряженных каталитических процессов, когда энергия, выделяющаяся в одной реакции, используется для стимулирования другой. Катализ должен сыграть важную роль в создании малозергоемких производственных систем переработки твердых топлив на водород, оксид углерода (II), искусственное жидкое топливо и нефтепродукты.

Достижения химической науки обеспечивают комплексное использование энергии не только в химической промышленности, но и в такой наиболее энергоемкой отрасли, какой является металлургия. Здесь замена пирометаллургического процесса выделения металла его сорбционным извлечением в раствор с помощью органических реагентов (гидрометаллургия) позволяет полностью исключить из технологии самый энергоемкий процесс — плавку исходного продукта.

Еще большего эффекта можно ожидать от микробиометаллургии. Микробиометаллургия — процесс извлечения металлов из руд с помощью некоторых микроорганизмов. В некоторых странах осуществляется много-тоннажное микробиологическое извлечение меди с помощью хемолитотрофных (буквально — "поедающие скалы") микроорганизмов. Эти микроорганизмы живут в воде и поддерживают свою жизнедеятельность за счет ферментативного окисления меди, переводящего ее в раствор. Масштабы такого самого молодого металлургического процесса весьма внушительны: в США более 10 % общей добычи меди осуществляют с помощью микроорганизмов. Энергозатраты в этом случае минимальны.

Ресурсо- и энергосбережение становится в наши дни неременной составляющей успеха безотходного производства на всех этапах его развития, включая потребление.

Эффективность черной и цветной металлургии в значительной степени обесценивается непомерно тяжелыми станками, агрегатами и машинами, огромными потерями металла при обработке деталей, низкой степенью утилизации стружки, лома и пришедшего в негодность оборудования, недостаточным использованием полимерных материалов в машиностроении и других отраслях производства.

О потерях в сельскохозяйственном производстве говорить не приходится. Все о них знают. Ясно, что здесь резервы ресурсо- и энергосбережения огромны.

Политика экономии ресурсов в промышленности и сельском хозяйстве неразрывно связана с поведением каждого члена мирового сообщества. Мы должны понять и признать тезис: природу не сохранить без ограничения потребления. Принцип "каждому по потребности" может быть реализован только в экологически грамотном, высоко интеллектуальном обществе, добровольно и сознательно регулирующем потребление на уровне, который обеспечивает сохранение качества окружающей среды.

Строжайшее не только ресурсо-, но и энергосбережение создает условия для реализации безотходного (малоотходного) производства на всех уровнях его развития.

Не секрет, что, производя на душу населения в 2 раза меньше электроэнергии, чем в США, мы используем ее в промышленном производстве значительно больше, заметно отставая в то же время по производительности труда, объему выпускаемых товаров и их качеству. Не лучше обстановка и в сельском хозяйстве, где расход электроэнергии в 3,5 раза выше по сравнению с США.

Разрабатываемая в СССР Энергетическая программа предусматривает рост энергосбережения к 2000 г. в 1,4-1,5 раза, что обеспечит существенную экономию топливно-энергетических ресурсов и, несомненно, положительно скажется на экологической обстановке. Это, однако, не означает стремления к значительному снижению выработки электроэнергии.

Международная комиссия по энергетическому развитию пришла к выводу: лучший способ экономии материальных ресурсов — использование электроэнергии. К сказанному можно добавить, что это и лучший способ экологизации производства, увеличения степени его

безотходности. В странах Западной Европы, США, Канаде и Японии за последние 15 лет расход энергоресурсов оставался постоянным, а уровень потребления электроэнергии неуклонно рос в строгом соответствии с ростом валового национального дохода. Это один из наглядных примеров возможностей политики ресурсосбережения.

В Советском Союзе предусматривается увеличение к 2000 г. объема вырабатываемой электроэнергии в 1,5 раза, что обеспечит нормальное экономическое развитие общества. Нельзя, однако, забывать, что, если мы не выполним запланированного энергосбережения, электроэнергии понадобится не в 1,5, а в 2-2,5 раза больше, а это приведет к большому расходу сырья, большим техногенным нагрузкам как на стадии добычи полезных ископаемых, так и в процессе их преобразования в энергию, большим тепловым и химическим выбросам, большому объему жидких и твердых отходов.

Так ресурс- и энергосбережение, оставаясь экономической задачей, приобретает все более явно выраженный экологический характер. Здесь, как нигде, тесно переплетаются научные, организационные, экологические и нравственные проблемы.

Замкнутые водооборотные циклы соответствуют основному принципу безотходного производства — цикличности материальных потоков.

Даже самая глубокая очистка сточных вод, связанная с большими затратами средств, материалов, энергии и человеческого труда, не гарантирует полного восстановления их качества, а потребности в воде возрастают почти во всех производствах. Поэтому перевод предприятия на бессточный режим обеспечивает значительный выигрыш в качестве окружающей среды. Отработанные технологические воды в этом случае не отводятся в поверхностные или подземные водоемы, а после соответствующей очистки возвращаются в производственный цикл. Такая очистка не предусматривает достижения уровня ПДК и поэтому достигается существенно меньшими усилиями, сброс промышленных вод становится минимальным, а в идеале может быть сведен к нулю, что обеспечивает сохранность всех объектов окружающей среды, и в первую очередь гидросферы.

Эта сторона безотходного (малоотходного) производства уже имеет значительные достижения. Так, на Верх-Исетском металлургическом заводе впервые в отечественной и зарубежной практике разработана и вне-

рена замкнутая система мощностью более 400 тыс. м³/сут. Полностью на оборотном водоснабжении или близком к нему работают Орско-Халиловский металлургический комбинат, Калининский и Рязанский заводы искусственного волокна, Волжский автомобильный завод.

Наиболее рационально в нашей стране организован расход воды в нефтехимической промышленности. Средний уровень оборотного и повторного водоснабжения на ее предприятиях достиг 91 % при кратности использования воды, равной семи.

В химической промышленности этот показатель ниже и не превышает пяти, однако резервы замкнутого водопотребления далеко не исчерпаны.

Первомайское ПО "Химпром" — крупное многоотраслевое производство с большим расходом воды. Предприятие расположено в густонаселенном районе Украины с ограниченными водными запасами. Ясно, что сброс в таких условиях сточных вод в природные водоемы создавал угрозу здоровью населения и мог очень быстро привести к деградации гидроресурсов на обширной близлежащей территории. Благодаря системе замкнутого водопотребления сейчас полностью исключен сброс в открытые водоемы всех вод промышленных и бытовых стоков Первомайского промышленного узла. Для производственных нужд используются только очищенные промышленные и городские сточные воды. Это при том, что выпускается такая "водолюбивая" продукция, как хлор и каустическая сода, пластмассы и химические средства защиты растений, синтетические моющие средства и различные продукты органического синтеза.

Важно подчеркнуть, что в этом случае исключается и опасность так называемого вторичного загрязнения, связанного с образованием отходов, возникающих при очистке сточных вод. Здесь ионообменный метод с порционной регенерацией смол позволяет получить концентрированные растворы, перерабатываемые на жидкие удобрения или используемые (в смеси с фосфорсодержащими добавками) для получения гранулированных сложных удобрений.

Таким образом, очистные установки могут не просто осуществлять функции экологического барьера для гидросферы, но и повышать экономическую эффективность предприятий и их безотходность.

Внедрение замкнутых водооборотных циклов помогло наметить пути создания газооборотных технологий. Это

вполне реальная задача развития цикличности материальных потоков. Так, например, в корпусах обогащенных фабрик асбестовых комбинатов можно использовать воздух после его очистки в рукавных фильтрах до уровня ПДК. В этом случае исключается аэрозольное загрязнение атмосферы частицами асбеста, снижается количество отходов производства, выпускается дополнительная продукция и экономится энергия, расходуемая на отопление корпусов в зимнее время.

Внедрение новых технологических процессов получения традиционных материалов, исключая или сильно сокращающих стадии, которые связаны с образованием наибольшего количества отходов, обеспечивает наиболее быстрый переход производства в безотходный (малоотходный) режим.

Вновь возвращаясь к металлургическим процессам, напомним, что веками складывавшаяся технология производства черных металлов в наши дни становится экологически неприемлемой. Полное ее "примирение" с природой возможно только при принципиальном изменении процесса — при внедрении принципа безотходности. На уже упоминавшемся нами Оскольском электрометаллургическом комбинате — первенце советской черной металлургии, не имеющем доменных печей и коксохимических производств, при использовании метода прямого восстановления железа из железорудных концентратов втрое уменьшился расход воды, резко снизилось количество сточных вод, практически полностью были исключены вредные выбросы в атмосферу, образование шлаков и других твердых отходов. Строго говоря, это еще не безотходное производство, но приближение к нему очень большое.

Азотнокислотная переработка фосфорных руд (см. с. 125) не менее яркий пример приближения к безотходному производству путем создания принципиально нового технологического процесса. В этом процессе исключено образование твердых отходов, фтор переводится из твердой фазы в жидкую, что существенно облегчает его обезвреживание и утилизацию, повышена комплексность использования сырья и снижены энергетические затраты.

Внедрение технологических процессов переработки отходов — очень важная составляющая создания безотходного (малоотходного) производства, и мы о ней специально поговорим несколько позже. Сейчас только

отметим, что очень редко удается организовать такой технологический процесс, при котором полностью исключалось бы образование отходов. Принципиально новые ресурсосберегающие технологии обычно позволяют довести их количество до минимума, но не ликвидировать полностью. В производственном цикле компоненты сырья последовательно перерабатываются в полезный продукт. Отходы, ранее загрязнявшие природную среду, превращаются во вторичные ресурсы, которые в большинстве случаев используются не на месте образования, а в других производствах. В связи с этим большое значение приобретает межотраслевое кооперирование и, следовательно, наиболее эффективна организация безотходной технологии не на одном предприятии, а в рамках определенного региона.

Рациональное размещение промышленных предприятий создает благоприятные условия для кооперирования различных производств с целью комплексной переработки сырья и утилизации отходов и тем самым способствует созданию безотходного производства. Так, карбамид и аммиак лучше всего производить на заводах, расположенных рядом. Тогда отходы одного производства могут быть сырьем для другого.

При условии полной безопасности атомную энергетику целесообразно совмещать с различными технологическими процессами, использующими вторичные энергетические ресурсы ядерного топлива, — получение аммиака, метанола, стали, цемента и других энергоемких продуктов. Что касается производств с большим количеством неметаллических отходов, то их необходимо кооперировать с заводами строительных материалов вследствие чрезвычайной многотоннажности последних.

Так мы подходим к реализации идеи о безотходной технологии, но в рамках не одного предприятия, а всего территориально-производственного комплекса (ТПК), что более реально осуществимо. Эти комплексы как основная хозяйственная единица позволяют с наибольшей эффективностью использовать сырьевые ресурсы, снижать экономические затраты, организовывать производство таким образом, чтобы отходы одного предприятия использовались как вторичное сырье, т. е. создавать безотходную технологию всего ТПК.

В нашей стране формируются и развиваются Южно-Таджикский, Каратау-Джамбульский, Тимано-Печорский, Кольский, Саянский, Канско-Ачинский, Экибас-

тузский, Курский и другие территориально-производственные комплексы. Среди них особое место принадлежит последнему — мощному комплексу Курской магнитной аномалии, где открытым способом ведется добыча практически неисчерпаемых запасов железной руды и используются разнообразные строительные ресурсы. Очень сложную экологическую обстановку создает то, что регион Курского ТПК расположен на высокоплодородных черноземных почвах и весьма ограничен водными ресурсами. Здесь комплексная переработка сырья, внедрение безотходной (малоотходной) технологии приобретают особое значение и требуют осуществления целого комплекса природоохранных мероприятий.

Говоря о ТПК как объединениях, в которых легче всего реализовать безотходное и малоотходное производство, работающие по замкнутому циклу, следует тем не менее предостеречь от гипертрофированного роста промышленных регионов. Необходимо заблаговременно устанавливать предел концентрации производства в них, научно обоснованный экологический оптимум отраслевой структуры.

При формировании ТПК нельзя не учитывать возможности возникновения синэргического эффекта, т.е. увеличения степени вредности вследствие взаимодействия веществ, производимых различными производствами. Так, например, совместное размещение нефтеперерабатывающих заводов и предприятий по производству азотных удобрений вследствие фотохимического взаимодействия выбросов этих двух производств приводит к образованию сильнодействующих токсичных веществ. Раздельное размещение этих заводов экологически более целесообразно. Угрозу для природы может также представлять ТПК, содержащий несколько независимых предприятий, не связанных друг с другом процессами переработки отходов.

Учет всех возможных негативных явлений, понимание того, что размещение производства и охрана окружающей среды взаимообусловлены и взаимосвязаны, несравненно большие возможности комплексной переработки сырья и утилизации отходов в условиях больших территориально-производственных объединений являются хорошей основой для развития безотходной (малоотходной) технологии в масштабах крупных промышленно развитых регионов.

Экологизация производства — многоэтапный, длительный процесс. Его начальная стадия предусматривает лишь усовершенствование технологии, что должно привести к экономии природных ресурсов, сокращению вредных выбросов, развитию и модернизации очистных сооружений, минимизации отходов. Высшая стадия включает системы комплексного безотходного производства со специальными комбинатами по переработке всех промышленных и бытовых отходов в материалы, пригодные для усвоения природой или для хозяйственного использования, с максимальным расширением производственных связей на основе замкнутого природно-технического комплекса.

Такое производство будущего, ориентированное на решение проблемы охраны окружающей среды в глобальных масштабах, получит ускоренное развитие при совместных усилиях ученых и инженеров всех стран мира.

В Советском Союзе проводится большой объем научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ на основе двусторонних и многосторонних соглашений. Особенно плодотворно международное сотрудничество СССР с соседними странами. В сентябре 1986 г. в Будапеште состоялась Международная научно-техническая конференция, отметившая, что создание и внедрение безотходных технологических процессов является стратегическим направлением охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Оценивая основные пути экологизации современного производства на базе внедрения безотходных (малоотходных) технологий, следует специально подчеркнуть, что для установления новых отношений между человеком и природой необходимо в первую очередь привлечь достижения химической науки и практики. Полагаю, приведенные примеры, а они далеко не единственные, убедили читателя, что именно химия способна обеспечить создание безотходных (малоотходных) циклов, процессов, исключаящих отходы или превращающих их во вторичное сырье. Так проявляется исключительная роль химии в охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов.

Многоотходные технологические процессы, сложившиеся в обстановке, исключавшей интересы природы, а значит, и общества, обречены и не имеют перспективы

в условиях научно-технического прогресса, бурного развития науки и техники. Они не имеют права на существование в условиях обострения экологических проблем, когда решение этих проблем необходимо во имя спасения человечества. Как вымерли динозавры, не сумев приспособиться к изменяющейся природной среде, так должна уйти в небытие многоотходная технология, не соответствующая темпам развития общества и мировой экологической обстановке. "Техногенный динозавр", созданный человеком, им же должен быть и уничтожен. Производство, не наносящее ущерба окружающей среде, чистейший воздух, прозрачная вода, плодородная почва, обильный животный и растительный мир в соседстве с ныне самыми вредными предприятиями — чудо, которое мы должны совершить своими руками. "Борьба за существование" между многоотходной и безотходной технологией, конечно, закончится в пользу последней.

Мы уже не раз подчеркивали, что организация безотходного производства во всех исключительно отраслях человеческой деятельности, на всех предприятиях — длительный процесс, требующий самостоятельных решений чуть ли не для каждого производства, а также коренной его реконструкции, солидных экономических и материальных затрат.

В то же время нельзя продолжать увеличивать нагрузку на природу. У нас не осталось времени "на раскачку". Слишком близко подошли мы к роковой черте. Вот почему, считая повсеместное внедрение безотходной технологии генеральной линией развития производства, следует уделять максимальное внимание иным возможностям ослабления антропогенного давления на природу. В первую очередь это совершенствование методов очистки жидких и газообразных выбросов современных промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых предприятий. Развитие методов газо- и гидроочистки — один из важных этапов на пути к созданию безотходного производства, на пути к идеалу.

Ступени к успеху

...хотеть недостаточно, надо действовать.

И. В. Гёте. Афоризмы и мысли

Проблема очистки жидких и газообразных выбросов промышленных предприятий возникла не сегодня. Люди понимали недопустимость отравления воздуха помещений, в которых они работают, реки, возле которой живут, и воду, из которой пьют. Именно поэтому можно говорить о солидном "стаже" химико-технологического процесса очистки газообразных выбросов и сточных вод. Он имеет достаточно мощное научно-техническое обоснование, подкрепленное технологическим и аппаратным оформлением. Сложность, однако, заключается в том, что не бывает абсолютно идентичного природного сырья, а значит, нет и одинаковых загрязнений, вследствие чего практически для каждого предприятия при едином общем подходе необходимо разрабатывать собственную технологию, отличающуюся если не принципиально, то по крайней мере в деталях.

Никак не облегчает задачу и то, что жидкие и газообразные выбросы — это обычно многокомпонентная система, в состав которой входят самые различные химические вещества. Многообразие свойств этих веществ не позволяет предложить какую-то единую реакцию для очистки.

Для примера можно обратиться к уже неоднократно упоминавшимся оксидам азота и серы. Очень часто эти чрезвычайно распространенные и многотоннажные загрязнения одновременно присутствуют в газообразных выбросах. Для их очистки необходимо использовать диаметрально противоположные реакции: оксиды азота лучше всего восстанавливать, оксиды серы — окислять. На практике состав "букета" выбросов значительно сложнее, что характерно для газообразных и тем более для жидких выбросов. Организовать технологию их очистки весьма сложно, а в ряде случаев задача оказывается неразрешимой. Вот почему в технологических процессах следует придерживаться принципа как можно более быстрого отделения загрязнителей, исключения их последующего смешения друг с другом, так как в

этом случае существенно легче обеспечить условия для обезвреживания и утилизации.

Добавляет трудностей и тот факт, что в промышленный и бытовой обиход чуть ли не ежедневно поступают совсем новые материалы, требующие и новых методов очистки выбросов.

Понимая все это, мы все же не отказываемся от рассмотрения как отдельных примеров, так и общих принципов и подходов. Их развитие на основе современных достижений химии дает возможность установить принципиальные пути очистки жидких и газообразных выбросов до уровней, не наносящих вреда человеку и природе, или — в зависимости от поставленной задачи — до концентраций, позволяющих использовать очищенный воздух и воду повторно.

Воздух, которым мы дышим

"Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов природной среды" — так записано в Законе СССР об охране атмосферного воздуха. На эту тему можно говорить много. Повторим лишь, что воздух ничем нельзя заменить и охрана воздушного бассейна — важнейшая общепланетарная задача современности.

Атмосферу с другими объектами окружающей среды объединяет способность поглощать определенное количество загрязнений без существенного ущерба для качества воздуха, которым мы дышим. Отличает же от них — глобальная и очень тесная взаимосвязь отдельных ее частей.

Конечно, очень трудно выделить какой-то участок абсолютно изолированной гидросферы. Через поверхностные воды, подземные источники, Мировой океан, наконец, через ту же атмосферу водные ресурсы планеты связаны и взаимозависимы. Даже литосферу, наиболее "консервативную" в этом смысле часть природной среды, нельзя рассматривать как совокупность отдельных независимых территорий. Ущерб, нанесенный определенному участку гидро- или литосферы, в значительной степени остается некоторое время локальным и только постепенно, быстрее или медленнее, в зависимости от силы воздействия и природных факторов, приобретает общепланетарный характер. Иное дело — атмосфера.

Как и чем загрязняется воздух

Перечислить все химические продукты, техногенно попадающие в атмосферу, очень трудно, однако можно выделить основные. Это оксиды углерода (II) и углерода (IV), оксид серы (IV) и оксиды азота, углеводороды, свинец, ртуть, мышьяк и токсичные тяжелые металлы, легколетучие химические продукты и реагенты, радиоактивные изотопы.

Источниками загрязнения атмосферы могут быть: природные, промышленные и бытовые процессы, а также материалы, изготовленные человеком, на стадии их хранения и потребления. В соответствии с этим возможна общая классификация загрязнений по характеру их образования.

Загрязнения естественного происхождения — минеральная и органическая пыль, газообразные вещества, образующиеся в результате различных геологических процессов жизнедеятельности организмов, и т.п. Природные источники загрязнений практически постоянны по количеству и качеству, мало подвержены влиянию человека и фактически не наносят вреда природе.

Загрязнения, образующиеся при выработке энергии, составляют основную группу техногенных загрязнителей атмосферы. К ним относятся газообразные продукты, образующиеся при сжигании топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, производства электроэнергии, получения энергии в различных двигателях, включая двигатели внутреннего сгорания.

Загрязнения, образующиеся в технологических процессах, различны в разных отраслях вследствие специфичных для каждой из них технологий, сырья и определенного ассортимента выпускаемой продукции. Они являются специфическими и для каждого конкретного предприятия в зависимости от принятой на нем технологии, состава сырья, характера производимой продукции и т.п.

Состав газообразных выбросов в атмосферу предприятий химической промышленности в первую очередь определяется номенклатурой товарных продуктов:

Выпускаемые продукты	Возможные выбросы
К и с л о т а	
азотная	NO, NO ₂ , NH ₃
серная (нитрозная)	NO, NO ₂ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , Fe ₂ O ₃ (пыль)
серная (контактная)	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , Fe ₂ O ₃ (пыль)
соляная	HCl, Cl ₂
щавелевая	NO, NO ₂ , C ₂ H ₂ O ₄ (пыль)
сульфаминовая	NH ₃ , NH(SO·NH ₄), H ₂ SO ₄
уксусная	CH ₃ CHO, CH ₃ COOH
Фосфор и фосфорная кислота	P ₂ O ₅ , H ₃ PO ₄ , HF, Ca ₅ (PO ₄) ₃ F (пыль)
Сложные удобрения	NO, NO ₂ , NH ₃ , HF, H ₂ SO ₄ , P ₂ O ₅ , HNO ₃ , пыль удобрений
Карбамид	NH ₃ , CO, (NH ₂) ₂ , CO (пыль)
Аммиачная селитра	CO, NH ₃ , HNO ₃ , NH ₄ NO ₃ (пыль)
Жидкие углеаммиакаты	NH ₃
Хлористый кальций	HCl, H ₂ SO ₄ , CaCl ₂ (пыль)
Жидкий хлор	HCl, Cl ₂ , Hg
Хлорная известь	Cl ₂ , CaCl ₂ (пыль)
Полихлорвиниловые смолы	Hg, HgCl ₂ , NH ₃
Продукты электролиза хлористого натрия	Cl ₂ , NaOH, Hg
Тетрахлорэтилен	HCl, Cl ₂
Ацетон	CH ₃ CHO, (CH ₃) ₂ CO
Аммиак	NH ₃ , CO
Метанол	CH ₃ OH, CO
Капролактан	NO, NO ₂ , SO ₂ , H ₂ S, CO
Оксид титана (IV)	Ильменит, TiO ₂ , FeO, Fe ₂ O ₃
Ацетилен	C ₂ H ₂ , сажа
Карбофос	SO ₂ , P ₂ O ₅ , H ₂ S, пыль карбофоса
Водород (конверсия CO и CH ₄)	CO
Катализаторы	NO, NO ₂ , пыль катализаторов
Искусственные волокна	H ₂ S, CS ₂
Минеральные пигменты	Fe ₂ O ₃ , FeSO ₄
Суперфосфат	H ₂ SO ₄ , HF, пыль удобрений
Аммиачная вода	NH ₃

Примечание. Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. М.: Высш. шк., 1988. С.126.

Радиоактивные загрязнения бывают природного происхождения (как следствие естественной радиоактивности, существующей в природе постоянно) и техногенного. Последние образуются при добыче ядерного горючего, эксплуатации установок и двигателей, а также в результате аварий.

Испытания ядерного оружия представляют наибольшую опасность для человека, будущих поколений и всей живой природы, тем более в случае их проведения в открытых средах.

Опасность ядерного взрыва связана с тем, что он сопровождается:

- выделением радиоактивных изотопов, которые выносятся в атмосферу на высоту 30 км и более, а затем распространяются в виде радиоактивной пыли на громадные расстояния;

- образованием радиоактивных элементов с продолжительным периодом полураспада (стронций-90 - 25 лет, цезий-137 - 33 года), представляющих страшную угрозу для человека и всего живого мира;

- образованием потока нейтронов, которые, достигнув земной поверхности, преобразуют элементы почвы, сообщая ей радиоактивность;

- повышением температуры в месте взрыва атомной бомбы до 20 млн градусов, водородной - до 100 млн градусов, что приводит к образованию в верхних слоях атмосферы оксидов азота с последующим их выделением на поверхность Земли в виде азотной кислоты HNO₃; резко снижает фотосинтетическую деятельность листьев растений; убивает микроорганизмы почвы, которые связывают атмосферный азот, и делает почву бесплодной. Еще большую угрозу для природы представляет ядерная война, опасность которой, увы, не исключена на 100 %.

Загрязнения как результат жизни людей включают газообразные выделения в атмосферу из канализационных и отопительных систем, мусоропроводов, от автомобильных покрышек, систем коммунального отопления и различных хранилищ бытовых отходов.

Сам процесс дыхания человека также способствует загрязнению атмосферы. Все человечество планеты в течение года поглощает из атмосферы 644736 млрд л кислорода и выделяет почти столько же (559640 млрд л) углекислого газа. Ежедневно человек выдыхает около 10 тыс. л воздуха, насыщенного парами воды и содер-

жащего 40 % CO_2 . Для города с населением 5 млн человек можно, следовательно, говорить о дополнительном источнике углекислого газа объемом 20 млрд л. В глобальном масштабе это, конечно, не существенно, но для больших городов следует учитывать техногенную нагрузку, обусловленную жизнедеятельностью людей.

О городах следует поговорить особо.

Город как экологически опасный объект

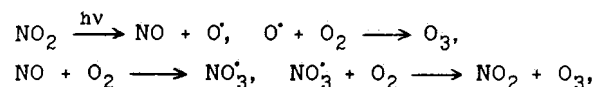
Мы говорим об охране воздушного бассейна как общепланетарной задаче, а состояние его оцениваем тем не менее в связи с локальными источниками загрязнения. К ним в первую очередь относятся города с большой плотностью населения, с развитой инфраструктурой, с насыщенной сетью автодорог и большим промышленным потенциалом. Промышленность, транспорт, коммунально-бытовая сфера особенно обостряют проблему чистого воздуха именно в городах. И чем крупнее город, тем сильнее угроза отравления воздуха. Таким образом, оставаясь глобальной, эта проблема становится проблемой крупных городов.

Еще три с небольшим десятилетия тому назад в городах Западной Европы, США и Японии главную угрозу для атмосферы представляли котельные и промышленные установки, теперь — автотранспорт. Только в США ежегодно 30 тыс. человек умирает от заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды, источником которого является автомобиль. В наших городах автомобили еще буквально несколько лет тому назад "не претендовали" на первое место по загрязнению атмосферы. Ныне они его достигли, и выбросы автотранспорта составили в 1988 г. около 36 млн т. Наибольший абсолютный объем таких выбросов отмечен в Москве (более 840 тыс. т/год), Ленинграде (около 370 тыс. т/год), Ташкенте (310 тыс. т/год). Без экологизации автотранспорта ни в одной стране не может быть решена проблема чистого воздуха в городах.

Страшный бич крупных городов — смог (от англ. smoke — дым, fog — туман). Он образуется из природного тумана и техногенных выбросов в атмосферу. Смог возникает из-за наличия в воздухе частиц сажи, пепла, продуктов сухой перегонки, капелек жидких химических веществ, а также в результате реакций, протекающих в

природных условиях во влажном воздухе при участии техногенных продуктов.

Первоначально предполагалось, что в Лондоне и других городах умеренного климата смог образуется под воздействием сернистого газа, выделяемого теплоэнергетическими установками. В теплом же климате появление смога, называемого лос-анжелесским, стимулируется фотохимическими реакциями



которые приводят к повышению концентрации озона в атмосфере. Изначально источником смога в этом случае является автомобиль с его "шлейфом" оксидов азота. Однако лос-анжелесский смог наблюдается и в городах умеренного климата, а его причиной могут быть не только оксиды азота, выделяемые двигателями внутреннего сгорания, но и оксид серы(IV), поступающий в атмосферу из труб теплоэнергетических установок.

Смогу подвержены Нью-Йорк и Чикаго, Детройт и Лос-Анджелес, другие крупные города США. Синяя его дымка хорошо известна восьмимиллионной столице Мексики — Мехико, а закат солнца в Сан-Паулу — крупнейшем городе Бразилии — отличается особым очарованием из-за почти непрерывного смога. Очень красиво и ... смертельно опасно для людей, страдающих легочной недостаточностью.

Не избавлены от смога и советские города. Он наиболее частый "гость" Алма-Аты и Еревана.

Мы остановились только на двух газообразных техногенных продуктах, угрожающих современному городу. Читателю известно, что их гораздо больше. Не перечисляя всех, заметим только, что один легковой автомобиль в сутки может выбросить в атмосферу города примерно 6 г оксидов азота и 30 г еще более токсичного оксида углерода(II), а автомобилей в городах — тысячи, и не только они отравляют воздух города.

Нельзя забывать и того, что не только газообразные, но и твердые продукты в виде аэрозолей, дыма вносят заметный вклад в техногенное загрязнение города. Широко известна шутка: "Одно из двух: или люди сделают так, что в воздухе станет меньше дыма, или

дым сделает так, что на Земле станет меньше людей". Зло и, увы, очень похоже на правду. А ведь от общего объема загрязнения атмосферы аэрозоли составляют не более 10 %.

Воздух станет еще хуже, если не получат серьезного ускорения и совершенствования уже начавшиеся процессы научного и инженерно-технического решения проблем очистки газообразных выбросов до норм, действительно соответствующих уровню ПДК. Это должно стать первым шагом в борьбе за абсолютно чистый воздух городов и всей планеты.

Как очищают воздух

Очистка газообразных выбросов основана на применении сорбции, конденсации и каталитического превращения вредных примесей. Широко используются два вида сорбции: абсорбция (поглощение загрязнений жидкостью) и адсорбция (поглощение загрязнений твердыми веществами). Абсорбция чаще всего осуществляется водой, но она возможна и различными растворителями. При адсорбции в качестве твердых пористых адсорбентов применяют широкий набор веществ, в том числе активированный уголь, силикагель, алюмогель и др.

Конденсационные методы основаны на испарительных процессах с удалением загрязнений в газообразную или твердую фазу.

Катализ позволяет превратить вредные вещества в безопасные продукты при проведении реакции в оптимальных условиях.

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и не лишен недостатков.

Сорбционные методы обеспечивают извлечение больших количеств загрязнений с достаточно высокой степенью очистки, однако они имеют и серьезные недостатки. Эти недостатки таковы: в случае абсорбции — сложность технологического оборудования процесса и его периодичность, а при адсорбции — высокая стоимость регенерации сорбента и связанная с этим невозможность организации непрерывного процесса.

Конденсационные методы весьма эффективны, но сложны по технологическому оформлению. Они обеспечивают высокую степень очистки, однако связаны с большими энергетическими затратами.

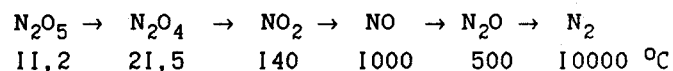
Серьезный недостаток как сорбционных, так и конденсационных методов заключается в том, что они приводят к образованию так называемых вторичных загрязнений, т.е. продуктов десорбции или конденсации, что затрудняет, а нередко и исключает возможность их практического использования.

Большие возможности заложены в каталитических процессах, особенно при использовании гетерогенного катализа газофазных реакций. Они обеспечивают высокую степень очистки при длительной стабильной работе катализатора в условиях непрерывно осуществляемого процесса, приводящего к образованию безвредных продуктов или соединений, которые находят самостоятельное промышленное применение.

Более детально оценить достоинства и недостатки каждого из методов позволят приводимые ниже примеры очистки газообразных выбросов от некоторых типичных загрязнений.

Оксиды азота удаляют из газообразных выбросов, используя все три упомянутых метода.

Степень окисления азота, а значит, и состав его кислородных соединений в значительной степени определяются их термической устойчивостью:



Таким образом, в природных условиях в равновесном состоянии могут находиться молекулы N_2O_5 и N_2O_4 , а также некоторое количество молекул NO_2 .

Абсорбционным методом принципиально нельзя добиться полного извлечения оксидов азота из газовой фазы, так как при взаимодействии оксида азота (IV) с водой, кроме азотной кислоты, образуется новый оксид:



Применение органических растворителей более эффективно, и, например, с помощью трибутилфосфата удаётся снизить содержание оксидов азота в газообразных выбросах до величин порядка 0,005 %.

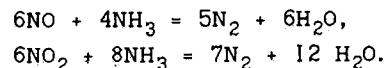
При адсорбции чаще всего используют силикагель, активированные угли, торфощелочные сорбенты и цео-

литы. Процесс не может быть непрерывным, так как необходима периодическая регенерация сорбента. Серьезные нарекания вызывает и малая селективность адсорбентов вследствие их способности поглощать не только оксиды азота, но и влагу, а также другие газообразные примеси.

Каталитические методы наиболее перспективны. При их использовании возможна реализация реакций окисления, разложения и восстановления оксидов азота. Две последние реакции превращают оксиды в элементный азот, и, таким образом, связанные соединения азота безвозвратно теряются. Вот почему с экономической точки зрения предпочтительней процессы их окисления. При каталитическом окислении оксидов азота озоном до азотного ангидрида с последующим поглощением водой удается полностью переработать их в азотную кислоту — ценное сырье химической промышленности. Тем не менее все шире применяются более технологичные, хотя и менее экономичные реакции восстановления.

В качестве восстановителей могут использоваться водород, природный газ, оксид углерода(II), другие газообразные продукты. В качестве катализаторов применяются разнообразные металлы, как благородные, так и неблагородные. Последние могут использоваться и в виде оксидов. Активность благородных металлов при восстановлении водородом уменьшается в ряду: $Ru > Os > Rh > Ir > Pt > Pd$, а в случае неблагородных металлов она определяется легкостью восстановления их оксидов. Соответствующие ряды активности установлены для других восстановителей. Полнота восстановления оксидов азота водородом до элементного азота обеспечивается значительным избытком водорода, необходимым для предварительного связывания кислорода газовой смеси.

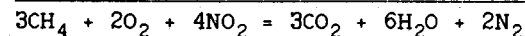
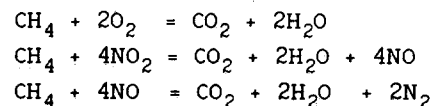
Взаимодействие оксидов азота с аммиаком — вредный побочный процесс при производстве азотной кислоты — становится целевой реакцией при очистке газообразных выбросов:



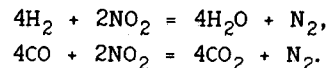
Здесь при очистке газообразных выбросов от оксидов азота процесс идет с минимальным расходом аммиа-

ка при низких температурах, так как окисление последнего оксидами азота — термодинамически более выгодный процесс, чем окисление кислородом воздуха. В этом основные преимущества аммиака как восстанавливающего агента в технологии очистки газообразных выбросов, содержащих оксиды азота.

Интересные возможности открываются в связи с использованием в качестве восстановителя природного газа (т.е. углеводородов), который, правда, расходуется не только для восстановления оксидов азота, но и на связывание кислорода:



Процесс очистки сопровождается выделением тепла и образованием в результате побочных реакций значительных количеств оксида углерода(II) и водорода, которые принимают участие в восстановлении оксида азота(IV):



Каталитическое восстановление оксидов азота углеводородами — высокотемпературный процесс, что создает трудности для обеспечения длительной работоспособности катализаторов. Эти трудности преодолимы, и природный газ, так же как и аммиак, получает все более широкое применение в практике промышленной газоочистки.

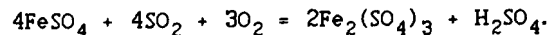
О к с и д ы с е р ы(IV) извлекают из газообразной смеси сорбционными, химическими и каталитическими методами.

Сорбционные методы подразделяются на "мокрые" и "сухие". "Мокрые" методы — поглощение оксида серы(IV) растворами оксида или гидроксида кальция, магния, щелочных металлов и аммония при комнатной температуре. "Сухие" методы — взаимодействие диоксида

серы с известняком, оксидами кальция или цинка. Они позволяют получить газ с повышенным содержанием SO_2 , который можно использовать в стандартной технологии получения серной кислоты, и одновременно очистить газообразные выбросы от вредной примеси.

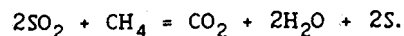
Химические методы основаны на взаимодействии загрязненного оксидом серы(IV) газа с различными твердыми и жидкими реагентами, при этом получают удобрения, а также сульфаты и сульфиты.

Окисление сернистого ангидрида можно осуществить кислородом воздуха в водных растворах в присутствии ионов металла (обычно ионов железа), играющих роль катализатора:

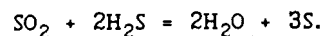


Такой путь очистки и утилизации позволяет непосредственно превратить сернистый ангидрид в серную кислоту. Степень очистки и концентрация полученной серной кислоты будут самые высокие при применении в качестве катализатора пиролюзита, а также при использовании в качестве окислителя кислородно-озоновой смеси.

Восстановление сернистого ангидрида до элементной серы выгоднее его окисления. Одним из активных и дешевых восстановителей является природный газ (метан):



Возможным восстановителем может быть сероводород, который в процессе реакции также превращается в серу:



Оксиды алюминия, железа, меди, хрома и марганца служат катализаторами этих процессов, экологические преимущества которых заключаются в одновременной очистке газов как от оксида серы(IV), так и от сероводорода.

Тот же эффект достигается при использовании оксида углерода(II). При этом в составе катализаторов обязательно присутствует оксид алюминия, в качестве его активаторов рекомендуются оксиды никеля, хрома, меди, марганца, молибдена или железа.

При внедрении газоочистки в производственный процесс важно иметь в виду, что газообразные выбросы, содержащие оксид серы(IV), соответствуют двум характеристикам: технологические газы с высоким (более 5–7 %) содержанием SO_2 , основным источником которых является цветная металлургия, и выбросы, образующиеся при работе теплоэнергетических установок (менее 1 % SO_2). Это обуславливает различные подходы к технологии очистки: высококонцентрированные газы лучше очищать каталитическими методами, низкоконцентрированные – сорбционными.

Очистка отходящих газов цветной металлургии с получением серной кислоты приобрела широкое практическое применение и дает экологический и экономический эффекты. В то же время проблема обезвреживания выбросов теплоэнергетических агрегатов еще далека от оптимального решения и, несмотря на обилие методов улавливания оксида серы(IV), ни один из них не может быть признан идеальным для ТЭС.

Р т у т ь в промышленных газообразных выбросах образуется главным образом при разложении амальгам (сплавов со ртутью) и при электролизе хлорида натрия. В соответствии с санитарными нормами 1 м³ воздуха вблизи предприятия не должен содержать больше 0,0003 % ртути, а, значит, производственные газы подобных предприятий необходимо очищать с особой тщательностью.

Ртуть из газов поглощается активированным углем, причем его активность резко возрастает после предварительной обработки реагентами, окисляющими ртуть. Для этого можно, например, использовать хлор или мегаллоидные соединения. Основной недостаток угольно-адсорбционного метода – низкая скорость пропускания газа, что приводит к необходимости сооружать громоздкие установки с толстым слоем адсорбента.

Интересен путь очистки газов от ртути, основанный на ее способности образовывать амальгамы с такими металлами, как индий, таллий, свинец, цинк, серебро, золото и др. При пропускании газа через гранулы этих металлов содержащаяся в нем ртуть образует амаль-

гаму, из которой впоследствии извлекают ртуть вакуумной дистилляцией. Снижение расхода металла достигается его нанесением на подложки. Ими могут быть оксид алюминия, силикагель, активированный уголь, а также цеолиты.

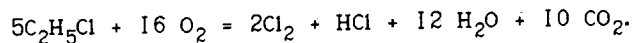
Жидкими поглотителями ртути являются растворы различных окислителей, таких, как хлор или гипохлорит. Простым орошением газов водой можно улавливать ртутьсодержащие соединения, но не металл, так что в этом случае достигается лишь частичная очистка.

Интересным комбинированным методом могут быть улавливание металлической ртути пористым графитовым анодом, ее дальнейшее анодное окисление и получение нелетучего комплекса.

Хлорорганические соединения очень опасны для окружающей среды. Их применение в нефтеперерабатывающей, авиационной и строительной промышленности, электротехнике, сельском и коммунальном хозяйстве делает неизбежным их попадание в атмосферу.

Очистка газообразных выбросов от органических производных хлора основана на применении каталитических и сорбционных методов. Первые заключаются в разложении соединений до простых с последующим обезвреживанием или промышленным использованием образующихся хлористого водорода и хлора.

Преимущества каталитического окисления хорошо прослеживаются на примере улавливания хлористого этила. Он полностью сгорает в присутствии кислорода:



Реакция осуществляется при 700-1100 °C, что в сочетании с высокой агрессивностью газов делает ее трудноосуществимой в промышленных масштабах. Применение катализаторов позволяет снизить температуру процесса до 350-400 °C и обеспечить полное окисление хлористого этила. Недостатки каталитических методов, так же как и термических, заключаются в разложении ценного продукта, каким является хлористый этил.

Сорбция, позволяющая вернуть хлористый этил в технологический процесс, предпочтительнее. Однако ей также присущи существенные недостатки: ощутимые потери сорбента, получение при десорбции хлористого

этила, загрязненного трудноудаляемыми примесями, и, что самое главное, наличие в отходящих газах сорбционной очистки до 8-10 % кислорода, что может привести к образованию взрывоопасных смесей, выгоранию и деструкции сорбентов.

Как видим, и в этом случае мы далеки от оптимального способа очистки газообразных выбросов, однако, надо полагать, с экологической точки зрения предпочтение следует отдать каталитическому методу и на его усовершенствование должны быть направлены усилия технологов.

Главный вывод, какой мы можем сделать на основании рассмотрения методов очистки газообразных выбросов, заключается в том, что необходимы дальнейшие научные разработки и промышленные испытания новых реагентов и процессов, обеспечивающих создание более экологически, технологически и экономически оправданных способов извлечения и утилизации вредных веществ, которые исключали бы нанесение ущерба атмосфере. В других случаях достаточны лишь определенная доработка известного метода в приложении к конкретному предприятию и квалифицированное внедрение этого метода.

При всем разнообразии химических свойств загрязнителей, а значит, и методов их выделения все-таки наиболее перспективными представляются каталитические методы с их широким выбором реакций и реагентов, способностью обеспечить высокую степень очистки, возможностью организации непрерывного процесса, наибольшей вероятностью получить в качестве продукта очистки вещество, имеющее собственную практическую ценность.

Обеспечив чистоту воздуха, мы тем не менее не исключим до конца химический техногенез, источником которого являются современные предприятия, так как они загрязняют не только воздух, но и воду.

Вода для людей, заводов и полей

Человеку для питья и приготовления пищи достаточно 2,5-3 л воды в сутки, а потребляет он ее в современном высоко урбанизированном обществе значительно больше. Например, на одного жителя Москвы в сутки приходится более 600 л воды и расход ее неук-

лонно растет. В целом же среднемировые цифры составляют 150 л для горожанина и 50 л для сельского жителя. Не это, однако, определяет основной расход воды и не рост населения является главной причиной увеличения ее потребления. На бытовые нужды людей тратится не более 5 % от общего водопотребления.

Огромное количество воды используют сельское хозяйство, промышленность и энергетика, причем основная масса приходится на сельское хозяйство, в котором до 90 % составляют безвозвратные потери.

Наша страна располагает огромными запасами пресной воды, в том числе наиболее удобными практически для всех направлений потребления речными водами, среднегодовой сток которых составляет 4740 км³, или более 10 % мирового стока. В Советском Союзе также достаточно высоки эксплуатационные запасы подземных вод. Их сток составляет более 1020 км³.

Однако эта благоприятная картина существенно меняется, если обратиться к общей структуре водных ресурсов и их распределению по территории. СССР уступает многим странам по обеспеченности осадками, почвенной влагой, полному речному и подземному стоку на единицу площади суши. Кроме того, отрицательно действует и то, что три четверти речного стока страны обеспечивается сильно зависящими от колебаний климата и времени года поверхностными водами (паводковые) и только одну четверть составляют надежные подземные воды. Наконец, немаловажным фактором является то, что распределение водных ресурсов далеко от оптимального: в Европейской части страны, где проживает 80 % населения, имеется высокий промышленный потенциал, концентрированное сельское хозяйство, речной сток не превышает 25 %, тогда как на Азиатскую часть, потребности которой в воде существенно ниже, приходится 75 %.

Мы говорим о расходе сотен миллионов тонн нефти и угля, железной руды и бокситов, апатитов и сырья для строительной промышленности, но нельзя забывать, что самым крупнотоннажным сырьем промышленности является обычная вода. Это главное, причем специфичное технологическое сырье современной индустрии. Может быть, не совсем правомочно ее называть сырьем, потому что за редким исключением вода не входит в состав готовой продукции. Ее функции иные — обеспечить необходимые условия для протекания технологического процесса.

Вода может выступать в качестве реакционной среды (гидрометаллургия, гальваника, большинство процессов химической промышленности и др.) или обеспечивать определенные этапы технологии (в теплоэнергетике, металлургии, машиностроении и др.). В конце технологического цикла качественно измененная вследствие загрязнения вода подлежит удалению.

Сточные воды образуются в больших количествах в первую очередь на предприятиях нефтеперерабатывающей, металлургической, нефтехимической, химической, целлюлозно-бумажной, энергетической и пищевой промышленности. В последние годы заметно возрос объем сточных вод сельского хозяйства.

Наиболее вредные стоки возникают при проведении химических процессов, промывке продуктов, очистке газообразных систем. Высоким уровнем загрязнения характеризуются также воды, поступающие с горных выработок, образующиеся на теплоэлектростанциях при удалении золы, собираемые с нефтеналивных судов и цистерн. В общий поток сточных вод заметный вклад вносят предприятия неорганического, органического и микробиологического профиля, жидкие отходы которых часто очень токсичны и многокомпонентны. Последнее существенно осложняет их очистку.

Даже самая совершенная очистка не позволяет полностью освободить воду от загрязнений. Нередко их количества остаются выше норм ПДК, и тогда приходится очищенные стоки разбавлять чистой пресной водой до достижения санитарно-гигиенического уровня. Путь, конечно, не лучший, но часто неизбежный. Для обезвреживания 1 м³ сточной воды необходимо свежей воды: в городском хозяйстве — 10 м³, в сельском хозяйстве — 15 м³, теплоэнергетике — 3 м³, промышленности — 25 м³, орошаемой земледелии — 2 м³. Ясно, что подобная операция сильно повышает расход пресной воды. Очевидно также, что чем выше степень очистки, которую позволяет достичь современная технология, тем меньше расход воды, используемой для разбавления.

В процессе производства 1 т бумаги расходуется 150 м³ воды, синтетического волокна — от 2500 до 5000 м³. На выплавку 1 т чугуна необходимо 200 м³ воды, никеля — 4000 м³. На орошение 1 га посевов затрачивается 12-14 тыс. м³ воды, а при выращивании некоторых сельскохозяйственных продуктов расходуется до 400 м³ на 1 т готовой продукции.

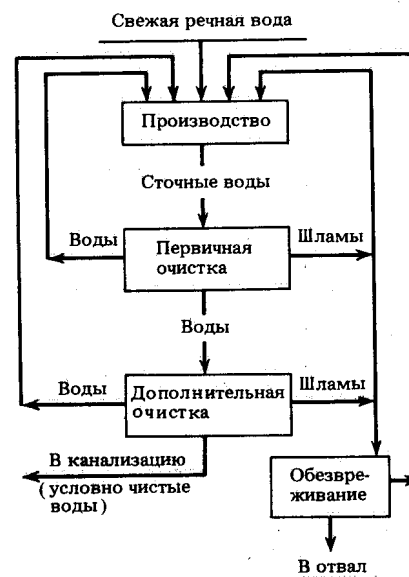
Несмотря на огромные расходы воды, нам тем не менее не угрожает в обозримом будущем ее нехватка. Более реальна значительная потеря ресурсов пресной воды вследствие сброса недостаточно очищенных сточных вод в природные резервуары. Именно поэтому охрана гидроресурсов, рациональное их использование немислимы без внедрения во все производства высокоэффективной современной технологии водоочистки.

Важной ее составляющей является водопотребление по замкнутому циклу, в процессе которого не требуется такая тщательная очистка сточных вод перед повторным использованием, какая необходима при их сбросе в природные водоемы. Это и понятно: в первом случае вода очищается настолько, чтобы она не наносила вреда технологическому процессу, во втором — здоровью человека.

С точки зрения экологии и экономики выгоднее очищать воду не до конца, но направлять в замкнутый цикл, нежели добиваться более тщательной очистки и сбрасывать ее в окружающую среду. Нельзя, однако, забывать, что бессточные производства пока скорее исключения, чем правила, и поэтому остаются актуальными обе задачи: разработка и внедрение очистки сточных вод до уровней, соответствующих как технологическим, так и санитарно-гигиеническим нормам. В первом случае их сброс в окружающую среду должен быть полностью исключен, а чистая вода должна компенсироваться только в количествах, обеспечивающих компенсацию безвозвратных потерь, обусловленных испарительными и другими процессами. Во втором — очищенные воды через канализационную систему после соответствующего разбавления, если это необходимо, сбрасывают в природные водоемы (рис. 13).

Первым этапом очистки сточных вод является их освобождение от твердых частиц. Здесь применимы такие простейшие приемы, как отстаивание и фильтрование, а также флотация (получение системы "частица — воздушный пузырек" и ее удаление с образовавшейся пеной), коагуляция (укрупнение дисперсных частиц и их механическое удаление), флокуляция (укрупнение взвешенных частиц с помощью высокомолекулярных соединений).

Флотация, коагуляция и флокуляция связаны с применением химических реагентов. Если учесть большие



Р и с. 13. Схема очистки сточных вод на предприятии, сбрасывающем их в природные водоемы

объемы сточных вод, то расход этих реагентов может быть значительным, что не всегда оправдано экологически и экономически. Поэтому заманчивы физические методы безреагентного укрупнения частиц, что можно осуществить, обрабатывая сточные воды, например, магнитным полем или ультразвуком. Интересно, что эти методы

оказывают многостороннее воздействие. Так, например, ультразвуковое колебание интенсифицирует не только отстаивание и фильтрование, но и такие процессы, как окисление, сжигание и другие, применяемые в дальнейшей очистке сточных вод.

Несколько слов о биохимической очистке, которая обычно осуществляется сразу после удаления из сточных вод твердых частиц. Она основана на способности микроорганизмов использовать многие органические и некоторые неорганические вещества (сероводород, аммиак, сульфиды, нитриты и др.) для питания в ходе своей жизнедеятельности. Поглощаемые химические соединения частично разлагаются до простых веществ (вода, углекислый газ и др.). Другая их часть расходуется на образование биомассы.

Для биохимической очистки используются аэробные (нуждающиеся в кислороде) и анаэробные (существующие в отсутствие свободного кислорода) микроорганизмы. Первые при участии кислорода воздуха с помощью ферментов осуществляют окислительно-восстановитель-

ные реакции, а также реакции синтеза. Для вторых характерны реакции брожения. Различают спиртовое, пропионовокислое, молочнокислое, метановое и другие виды брожения. Соответственно конечными продуктами будут спирты, кислоты и газообразные вещества.

Биохимическая очистка — один из наиболее дешевых, надежных и широко применяемых методов очистки сточных вод. Его недостатки: малая скорость процесса и высокая чувствительность микроорганизмов к токсичным для них соединениям.

Химические и физико-химические методы очистки сточных вод основаны на тех же процессах, какие используются в газоочистке, но с необходимыми изменениями, обусловленными иным агрегатным состоянием очищаемого объекта. Кроме того, широкое применение находят методы, специально разрабатываемые для сточных вод. Это, например, ионный обмен, экстракция, обратный осмос и ультрафильтрация, осадкообразование и электрохимическая очистка.

Адсорбция используется для удаления растворенных органических веществ (фенолы, пестициды, ароматические соединения, поверхностно-активные вещества, красители и др.), в меньшей степени — неорганических. Наиболее универсальным адсорбентом являются активированные угли.

Ионный обмен основан на способности твердых материалов — ионитов, практически нерастворимых в воде и органических растворителях, к ионному обмену между жидкой и твердой фазами. В качестве ионитов используют различные природные неорганические и органические материалы: цеолиты, глинистые продукты, полевые шпаты, различные слюды, гуминовые кислоты почв и углей. Большое практическое значение приобрели специально синтезируемые искусственные ионообменные смолы с развитой поверхностью. Ионообменная очистка позволяет освободить сточные воды от многих металлов (цинк, медь, хром, свинец, никель, ртуть, кадмий и др.), а также от соединений мышьяка, фосфора, производных циана, радиоактивных продуктов.

Адсорбция и ионный обмен могут сопровождаться регенерацией поглощаемых материалов, но нередко ограничиваются их удалением из раствора. То или иное окончание очистки обусловлено экологическими и экономическими соображениями. Главным недостатком ионного обмена и тем более адсорбции следует считать

возможность вторичного загрязнения. При очистке сотен тысяч кубических метров воды могут получаться сотни или даже тысячи тонн грязного твердого продукта, который снова нужно очистить или направить на длительное безопасное хранение. Вот почему оптимальным является вариант, когда регенерация сопровождается образованием продуктов, имеющих собственную товарную ценность.

Экстракция основана на извлечении вещества в другой слой, не смешивающийся с очищаемым раствором. Экстракция позволяет удалить из сточных вод фенолы, масла, органические кислоты, ионы металлов, другие примеси. В качестве экстрагентов обычно используются различные органические вещества. Для каждой примеси может быть подобран собственный селективный экстрагент.

Физико-химические методы адсорбции, ионного обмена и экстракции получили наибольшее развитие в практике очистки сточных вод, так как они чаще всего обеспечивают максимальный экологический, экономический и технологический эффект.

Обращаясь к чисто химическим методам, следует прежде всего остановиться на процессах окисления, восстановления и нейтрализации.

Окисление химическими соединениями широко используется для обезвреживания неорганических и органических соединений. В окислительной очистке сточных вод хорошо себя зарекомендовали хлор и его производные, перманганат натрия, бихромат калия, пероксид водорода, кислород воздуха и озон.

К и с л о р о д в о з д у х а применяется в случае легкоокисляющихся соединений, таких, как сульфиты, гипосульфиты, гидросульфиты, сульфиды, этилмеркаптан и гидразингидрат.

О з о н в виде озono-кислородной или озono-воздушной смеси с концентрацией озона до 3 % используется для очистки сточных вод от нефтяных продуктов, сернистых и цианистых соединений, фенолов, поверхностно-активных веществ, кремнийорганических соединений, пестицидов, соединений мышьяка и канцерогенных ароматических соединений. Озон токсичен и малорастворим в воде, а поэтому газы после прохождения через сточную воду необходимо подвергать очистке или использовать их в замкнутом цикле. Из-за высокой стоимости озона целесообразно применять озони-

рование сточных вод только в сочетании с другими методами очистки.

Хлорные окислители (элементный хлор, гипохлориты натрия и кальция, хлорная известь, диоксид хлора) применяются в целлюлозно-бумажной промышленности, при производстве синтетического каучука и ядохимикатов. С их помощью можно добиться полного окисления токсичного продукта, хотя нередко их используют лишь для того, чтобы снизить концентрацию этого продукта до уровня, позволяющего направить воду на биохимическую очистку. Эффективная очистка достигается только при избытке хлорного окислителя, который потом следует разлагать, для чего необходим восстановитель. Эта неизбежная операция сопряжена с двумя недостатками: дорожает процесс очистки и увеличивается солевой состав очищенных сточных вод. Дополнительных затрат требует также аппаратура, которую необходимо изготавливать из коррозионно стойких материалов. При всем этом хлорные окислители далеко не универсальны. Наибольший эффект достигается при очистке с их помощью сточных вод от серо- и фосфорсодержащих загрязнений, органических продуктов, гидразингидрата и аминов.

Пероксид водорода выгодно отличается от хлорных окислителей тем, что не вызывает изменения солевого состава сточных вод, однако он неустойчив и менее эффективен при окислении сложных органических соединений.

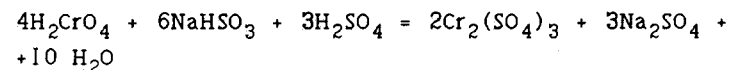
Оксиды и гидроксиды металлов переменной валентности (никеля, кобальта, железа, меди, марганца и др.) легко окисляют многие органические соединения с образованием в основном карбонатов, азота и воды.

Разнообразие химических соединений, используемых в окислительной очистке сточных вод, иногда позволяет добиться полного разложения токсичных продуктов. Однако в ряде случаев сила окислителя оказывается недостаточной, и тогда этот метод становится только первым этапом для дальнейшей, более глубокой очистки.

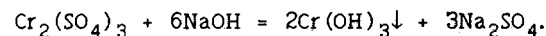
Радиоактивные вещества занимают особое место в окислительной очистке сточных вод. Радиационное окисление основано на действии ионизирующего излучения на обезвреживаемое соединение с получением ионов и возбужденных молекул, кото-

рые затем участвуют в реакциях. Этот метод оказывается наиболее надежным, например, при разложении таких серьезных загрязнителей, какими являются поверхностно-активные вещества. Радиационная обработка сточных вод не лишена недостатков. Главный заключается в том, что ее опасно применять при обезвреживании многокомпонентной системы, так как не исключено образование под действием излучения новых устойчивых соединений, которые по токсичности могут оказаться даже опаснее первоначальных загрязнителей. Применение радиационного окисления требует, таким образом, тщательного установления состава сточных вод, постоянного его контроля и исчерпывающей информации о радиохимическом поведении всех соединений, подвергавшихся облучению.

Восстановление применяется при очистке сточных вод от соединений ртути, хрома и мышьяка. Хром(VI) восстанавливают до хрома(III)



с последующим осаждением гидроксида хрома(III) в щелочной среде:



Нейтрализация сточных вод особенно эффективна в том случае, если на одном предприятии имеются кислые и щелочные отходы. Их смешение приводит к обезвреживанию тех и других. Если в процессе производства образуются кислые газы и щелочные сточные воды, то без дополнительных затрат на реагенты легко осуществить нейтрализацию растворов с одновременной глубокой очисткой отходящих газов.

Электролиз сточных вод с использованием нерастворимых анодных материалов позволяет осуществить катодное восстановление ионов свинца, олова, ртути, меди, мышьяка и хрома, которые могут быть переработаны в полезный продукт с одновременным достижением высокой степени очистки воды. Так, например, при восстановлении соединений хрома его концентрация в воде снижается с 1000 до 1 мг/л.

Для разрушения органических веществ используют как катодное восстановление, так и анодное окисление. Некоторые соединения, например нитробензол и тринитротолуол, обезвреживают в две стадии: на катоде нитросоединения восстанавливают до аминов с последующим их анодным окислением до нетоксичных соединений.

Одним из вариантов электрохимической очистки является э л е к т р о д и а л и з, при котором в электролизаторе, снабженном анионо- и катионообменными мембранами, под действием электродвижущих сил разделяют анионы и катионы. Метод широко применяется при опреснении сточных вод. С его помощью сточные воды очищают также от соединений фтора, хлора и радиоактивных продуктов. В последнем случае активность удается снизить на 99 %.

Интересно использование электрохимических процессов в безреагентном варианте коагуляции и флотации. Э л е к т р о к о а г у л я ц и я основана на применении растворимых (стальных и алюминиевых) анодов. При электролизе металл анода переходит в раствор, взаимодействует с гидроксид-ионами, в результате чего образуются молекулы гидроксида металла, агрегирующие в хлопья и вызывающие интенсивную коагуляцию загрязнителей сточной воды. Э л е к т р о ф л о т а ц и я связана с образованием в процессе электролиза большого количества пузырьков газа (анод — кислород, катод — водород), которые, поднимаясь на поверхность, флоатируют взвешенные частицы, обеспечивая тем самым очистку от твердых продуктов.

Электрохимическими методами обычно не удается очистить воду до норм ПДК, и их применение более оправдано в сочетании с другими способами очистки. К недостаткам следует также отнести высокие энергетические затраты и возможное загрязнение воды новыми веществами, образующимися при электролизе.

Термическая очистка сточных вод используется для уничтожения особо вредных загрязнений, обезвреживания сильно минерализованных стоков. Метод позволяет получить условно чистую воду, т.е. воду, пригодную для оборотного водопотребления.

В ряду термических методов особое место занимает термоокисление, подразделяющееся на жидкофазное, парофазное каталитическое окисление и пламенный, или "огневой", метод. Последний эффективен при обезврежи-

вании небольших количеств сточных вод, содержащих высокотоксичные вещества, очистка от которых иными методами не дает желаемого результата. Он также удобен при наличии горючих отходов, которые не находят применения и могут быть использованы как топливо при "огневой" очистке сточных вод.

Большой набор методов очистки сточных вод позволяет выбрать наиболее экологически и экономически целесообразный путь для каждого конкретного случая, любого технологического процесса. Самые общие рекомендации можно свести к следующему:

- суспензированные и эмульгированные примеси можно удалять отстаиванием, флотацией, фильтрованием и центрифугированием при достаточно крупных частицах, тогда как мелкодисперсные и коллоидные примеси требуют коагуляции, флокуляции, электрохимического осаждения;

- неорганические соединения хорошо выделяются из сточных вод дистилляцией, ионным обменом, обратным осмосом, ультрафильтрацией, реагентным осаждением, электрохимическими методами;

- органические соединения можно сконцентрировать и выделить из сточных вод ионным обменом или реагентными методами, но очистка от них хорошо осуществляется и флотацией, экстракцией, адсорбцией, термоокислением и другими окислительными методами (биологическое окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление);

- газ и пары следует выделять из сточных вод отдувкой, нагревом или реагентными способами;

- особо токсичные вещества лучше всего обезвреживать термоокислением.

В настоящее время на предприятиях страны во все более широких масштабах внедряются схемы локальной очистки взамен ранее применявшихся сложных и многостадийных очистных установок суммарного потока сточных вод. Это упрощает технологию водоочистки, позволяет утилизировать ценные компоненты, снижает удельные нормы водопотребления, а в ряде случаев полностью исключает сброс сточных вод в водоемы.

Развитие технологии водоочистки значительно улучшает состояние водного бассейна страны, положительно отражается на качестве всех объектов и элементов окружающей среды. Разработка, внедрение и совершен-

ствование замкнутых циклов водопотребления является важным этапом создания безотходного (малоотходного) производства. За счет систем оборотного водоснабжения промышленностью в 1988 г. сэкономлено 72 % свежей воды. Необходимо, чтобы в разрабатываемых технологиях были сокращены потребности в чистой воде, а в перспективе — исключено использование питьевой воды для промышленных целей. И это вполне реально.

Рассмотрение методов очистки жидких и газообразных выбросов показывает, что в оптимальном варианте загрязнители превращают в полезный продукт, в других случаях их обезвреживают и возвращают в природную среду. Нередко загрязнители только концентрируют, в результате чего снижаются объемы вредных выбросов, но не исключаются полностью. Такие методы оправданы экономически и технологически, но они могут привести к образованию больших количеств вторичных отходов (отходов очистки), чаще всего представленных твердым продуктом.

Нельзя также забывать и о многотоннажных первичных твердых отходах. Техногенный пресс на литосферу не уменьшается даже при самой хорошей организации газо- и водоочистки.

Вопрос: куда девать отходы — остается первостепенным.

Отходы: похвальное слово и дело

В природе нет ничего бесполезного.
М. Монтень. Опыты

Об отходах мы уже говорили неоднократно. Интонация обычно была негативная. Это и понятно: все беды природы от отходов. Техногенная нагрузка любого предприятия определяется количеством отходов и степенью их токсичности. Снижение качества окружающей среды обусловлено воздействием отходов на ее объекты и элементы. Борьба с ними — основная составляющая экологизации современного производства. Но какая борьба?

Позволим себе, может быть, весьма приблизительную аналогию. Преступника можно уничтожить, можно изоли-

ровать от общества, а можно и перевоспитать и сделать полезным членом общества. Последнее — самое трудное, но и наиболее эффективное средство оздоровления общества. А почему "весьма приблизительную"? Именно отходы угрожают природе. Их можно уничтожить (превращение оксидов азота в элементный азот), можно изолировать и, затрачивая иногда немалые средства, хранить безопасно для природы (захоронение радиоактивных отходов), а можно обезвредить, переработав в необходимый людям продукт (получение серы и серной кислоты из газообразных выбросов предприятий цветной металлургии). Ясно, что последний путь борьбы с отходами наиболее целесообразен. Это отвечает экологическим, экономическим и сырьевым интересам общества, так как отходы производства не что иное, как неиспользованное или недоиспользованное по тем или иным причинам сырье, нередко обладающее токсичными свойствами.

О том, что вредные отходы можно превратить в полезное сырье или в целевой продукт, упоминалось уже не раз. Пора поговорить об этом специально.

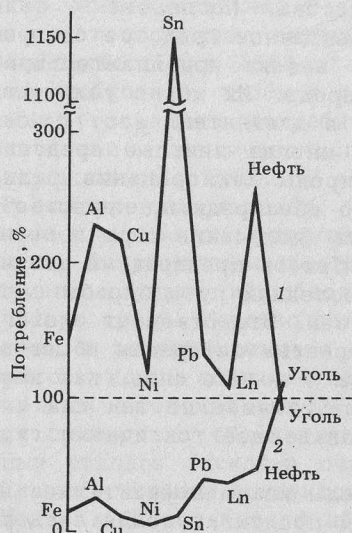
Неиспользуемые богатства недр

Все необходимое людям человек берет у природы, перерабатывая и преобразовывая естественный материал в необходимые предметы.

Если исключить из рассмотрения предприятия пищевой промышленности, основное сырье для которых производится на поверхностном слое Земли, мы вправе говорить, что практически любое производство использует материал, извлекаемый из ее недр.

Состояние минерально-сырьевой базы имеет решающее значение для развития промышленности. Полезным ископаемым, являющимся невозобновляемыми природными ресурсами, принадлежит особое место в современном производстве. Экономический и технический потенциал любой страны в значительной мере зависит от количества и качества полезных ископаемых, от развития минерально-сырьевой базы.

Месторождения полезных ископаемых неординарное явление. Необходимо было сочетание во времени и пространстве значительного количества благоприятных природных факторов, обеспечивших концентрирование в



Р и с. 14. Потребление некоторых полезных ископаемых в промышленно развитых капиталистических (1) и развивающихся (2) странах

одном месте того или иного вещества. Ясно, что подобные скопления нужного человеку продукта являются скорее исключением, чем правилом, и что количество месторождений не беспредельно. Кроме того, следует иметь в виду, что их распространение по земному шару хотя и подчиняется определенным закономерностям, но отличается неравномерностью.

США, Канада, Австралия и ЮАР имеют значительное количество ресурсов минерального сырья всех основных видов, и только Советский Союз обеспечен всеми важнейшими ресурсами в необходимых объемах. Эти пять стран доминируют не только по запасам, но и по производству минерального сырья.

Специалисты полагают, что существующая обстановка в ближайшее время не изменится и пять указанных стран сохраняют первенство в развитии минерально-сырьевой базы мира при колоссальном росте потребления полезных ископаемых, который в развитых капиталистических странах в значительной степени компенсируется сырьем, добываемым в развивающихся странах (рис. 14).

Перспективы и тенденции развития минерально-сырьевой базы — тема особая, интересная и многообразная. По многим причинам мы не намерены специально на ней останавливаться. Позволим себе лишь несколько замечаний, важных с точки зрения обсуждаемых проблем.

Горное производство — наиболее многоотходно, причем при традиционном отношении к минеральному сырью

количество отходов неизбежно должно возрастать. Эту многоотходность, казалось бы, диктуют сама природа и возросшие потребности общества.

Отходы возникают на всех стадиях извлечения полезного ископаемого из минерального сырья. Наибольшие их количества в виде пустой породы образуются при добыче и обогащении руды. Содержание в ней полезного компонента колеблется (в зависимости от характера месторождения и типа извлекаемого из недр материала) от долей процента до десятков процентов. Очевидно, что часть руды также неизбежно превращается в отходы при получении целевого продукта.

Тенденции развития минерально-сырьевой базы таковы, что в наши дни все большее значение приобретают крупные месторождения с низкой концентрацией полезного компонента. Совсем недавно месторождение, в руде которого содержание меди составляло 1 %, не интересовало практиков и только содержание 4 % делало его промышленно полезным. Теперь добывают из недр и перерабатывают сырье, в котором 0,6–0,8 % меди. Только по этому параметру количество отходов должно увеличиться в медно-рудной промышленности в 5–10 раз. Медь не является исключением. Аналогичные изменения требований к содержанию полезного компонента в сторону его значительного уменьшения характерны и для других металлов.

Резкое увеличение количества отходов связано не только с ухудшением качества используемого сырья, но и с изменением технологии его извлечения из недр. Все больше используется открытый способ добычи. Он особенно экономически целесообразен при добыче бедных неглубоко залегающих руд. Однако при этом экономика (при сохраняющейся технологии добычи и переработки) вступает в противоречие с экологией. Разработка месторождения открытым способом сопровождается изъятием больших площадей нередко весьма ценных плодородных земель. Увеличивается количество пустой породы, растет объем отходов.

Немаловажным фактором, действующим все в том же направлении (увеличение количества отходов горного производства), является и рост потребления минерального сырья. Он существенно обгоняет рост народонаселения. Каждые 7–8 лет удваиваются количества полезных ископаемых, используемых человеком.

При сформировавшихся объемах добычи полезных ископаемых, темпах развития минерально-сырьевой базы актуальным становится вопрос обеспеченности человечества минеральным сырьем на перспективу. Геохимики утверждают, что и в наше время идет формирование новых месторождений, однако вряд ли это имеет для нас даже отдаленное практическое значение, если учесть, что этот процесс исчисляется миллионами и даже миллиардами лет. Мы располагаем только тем, что уже создано природой. Запасы минерального сырья ограничены. Новые месторождения и особенно новые технологии обещают их увеличение, но они не бесконечны, и человечество очень быстрыми темпами приближается к истощению земных недр.

Добывая все больше и больше минерального сырья, мы все в большей степени работаем на производство отходов, поскольку не более 1-2 % природного продукта переходит в конечное изделие, а все остальное превращается в отходы. Например, на предприятиях черной металлургии ежегодно скапливается 600 млн м³ вскрышных пород, а при добыче угля эта цифра достигает 1 млрд. Общее количество отходов по стране оценивается в 5 млрд т/год, причем примерно две трети приходится на твердые отходы горных предприятий. Даже если просто ежегодно 5 млрд т отходов складировать, то затраты, связанные с размещением такой огромной массы вещества, а тем более изъятие больших площадей земли никак нельзя оправдать. Тем более что хранение твердых отходов не всегда оправдано и экологически, так как немалая часть их обладает определенными токсическими свойствами. Важное значение имеет и эко-номико-сырьевая ценность отходов.

Миллиарды тонн отходов, ежегодно образующихся на планете, содержат в своем составе много продуктов, нужных людям, но ими не используемых, точнее, используемых пока в ограниченном объеме.

Наша теплоэнергетика ежегодно дает более 100 млн т золошлаковых отходов, из которых лишь около 10 % находят дальнейшее применение. Планируется к 2000 г. переработать около 50 млн т отходов ТЭС, но и это только 50 % современного годового выхода золошлаковых отходов. Ожидается мощное развитие именно угольной энергетики, производящей наибольшее количество твердых отходов. Кто знает, не окажемся ли мы, выполнив намеченное, опять тем не менее где-то вблизи

все тех же 10 %? И это при условии не самого оптимального использования золы и шлаков (дорожное строительство, сельское хозяйство и производство строительных материалов), так как в них "упрятана" по меньшей мере четвертая часть существующих в природе металлов, большинство из которых необходимо современному обществу.

Подобных примеров не перечислять. Мы используем отходы лишь в минимальных количествах, причем чаще всего, перерабатывая их, сохраняем старые привычки, идя по проторенной, но не самой лучшей дороге. Долгие годы к полиметаллическому сырью сохранялось отношение как к продукту одного полезного ископаемого. Теперь этот взгляд перенесен на отходы, которые, будучи многокомпонентными, пока в лучшем случае используются как однокомпонентное вторичное сырье. Твердые отходы могут и должны стать источником нашего богатства.

В равной степени все сказанное относится к жидким и газообразным отходам, объемы которых меньше.

Рассматривая проблемы создания безотходного производства, мы подчеркивали необходимость минимизации отходов, но в то же время и ставили задачу их переработки, потому что отходов, как видите, не избежать. Образование отходов не есть следствие только плохой технологии, как это иногда склонны утверждать не в меру горячие их противники. Они — обязательная составляющая любого производства, причем объем отходов будет расти, сколь ни становись совершенной технология. Если специально обратиться к твердым отходам, то сказанное в первую очередь справедливо для горных и горнообогатительных предприятий, теплоэнергетики, неуклонно повышающей удельный вес твердого горючего, металлургии и сферы коммунально-бытовых услуг.

Только создание мощной промышленной базы по переработке отходов обеспечит сохранение качества окружающей среды и позволит существенно укрепить и развить минерально-сырьевой потенциал страны.

Упрек в недостаточном использовании отходов вполне справедлив, но нельзя забывать, что промышленность их переработки и утилизации (она уже существует во многих странах мира, в том числе в нашей стране) делает лишь первые шаги. Она — дитя современного научно-технического прогресса, сопровождающегося резким увеличением как техногенного давления на природу,

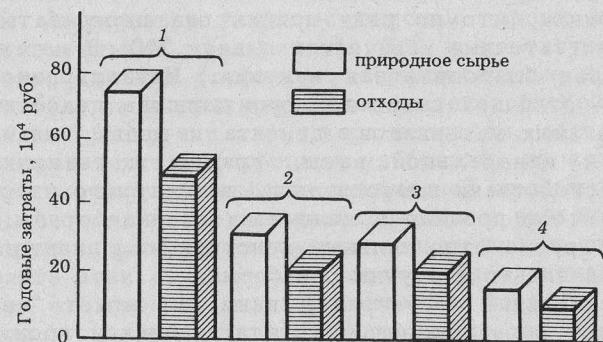
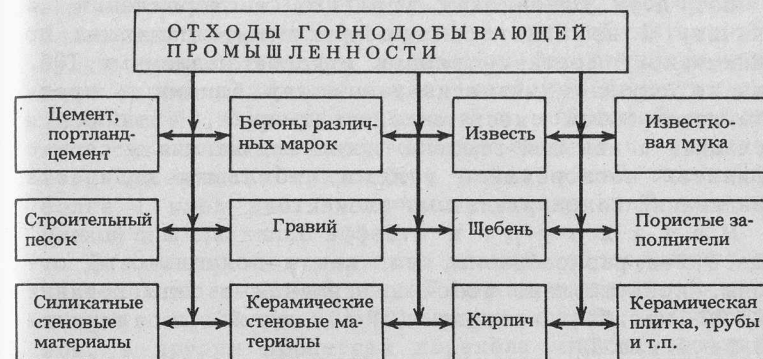
так и потребления минерально-сырьевых ресурсов. Ее проблемы – тесное переплетение экологических, сырьевых и экономических проблем. Ее успехи определяются в значительной степени научными и инженерно-технологическими достижениями в области химической технологии, способной определить не только методы переработки отходов, но и наиболее оптимальные варианты их использования.

Строительные материалы из отходов

Где скорее всего могут найти применение твердые отходы? Чтобы ответить на этот вопрос, заметим, что значительную их часть составляют так называемые нерудные материалы, наиболее широко используемые в строительстве, которое является самой материалоемкой отраслью промышленности, потребляющей миллионы и даже миллиарды тонн природного нерудного сырья.

Отходы горнодобывающей промышленности – многотоннажное и дешевое сырье для строительной индустрии. Они в значительной массе (до 70 % ежегодно образующихся вскрышных и шахтных пород или более 2 млрд т) пригодны для производства строительных материалов самого широкого диапазона: от щебня и гравия до специальных цементов высокосортных марок (рис. 15).

Проблема использования отходов горнодобывающей промышленности не ставит особенно сложных задач перед технологией. Конечно, такие отходы несколько отличаются от природного сырья строительной индустрии и предварительная их переработка в зависимости от характера отходов конкретного горного или горно-обогатительного предприятия необходима, но она не столь существенна. Труднее решаются организационные и экономические вопросы. Если отходы и место их потребления находятся на значительном расстоянии друг от друга, то транспортировка такого многотоннажного и дешевого сырья может оказаться нерентабельной. Тем не менее при рациональной организации перевозки и переработки твердых отходов горнодобывающего комплекса на строительные материалы можно не только улучшить экологические показатели производства, но и получить реальную выгоду (рис. 16).



Р и с. 15. Строительные материалы, получаемые из отходов горнодобывающей промышленности

Р и с. 16. Годовые затраты на производство строительных материалов из природного сырья и отходов для некоторых экономических районов страны

1 - суммарные затраты, 2 - Северо-Запад, 3 - Урал, 4 - УССР

Отходы теплоэнергетики и металлургии – побочные продукты, образующиеся при сжигании твердого топлива, при выплавке черных и цветных металлов.

Химический состав золошлаковых отходов ТЭС, работающих на твердом горючем, зависит от природы используемого горючего.

Нет двух одинаковых угольных месторождений, а значит, и не может быть полностью совпадающих по химическому составу твердых отходов различных ТЭС. Однако они по химическому составу близки и представляют собой смесь оксидов кремния, алюминия и кальция, в меньшей степени железа, магния и серы с примесью несгоревшего угля и небольших количеств соединений самых различных элементов.

М е т а л л у р г и ч е с к и е ш л а к и еще более разнообразны, но, как и золошлаковые отходы, представляют собой в основном оксиды кремния (28-32 мас. %), кальция (27-40 мас. %) и алюминия (3,6-9,5 мас. %).

И те и другие шлаки по химическому и фазовому составу соответствуют природному сырью, используемому строительной промышленностью.

Напомним, что по ряду причин она перерабатывает еще недостаточные количества шлаков ТЭС. В металлургии более благоприятная картина. Металлургические шлаки — отличное сырье для производства целой гаммы строительных материалов: цемента и щебня, шлаковой пемзы и минеральной ваты, гравия и знаменитого своими свойствами шлакоситалла, из которого изготавливают особо прочные и химически стойкие трубы, панели и другие строительные конструкции, электроизоляторы и электровакуумные приборы.

Строительная индустрия в наши дни может "поглотить" все образующиеся в металлургическом производстве шлаки, но существуют трудно преодолимые препятствия.

Эти шлаки перед употреблением в производстве цемента необходимо подвергнуть активированию, для чего следует их расплавить и быстро охладить, получая гранулы. Использование такой технологии для уже хранящихся в отвалах шлаков малоперспективно из-за высокой энергоемкости процесса и образования новых загрязнителей.

Необходима тесная кооперация доменного и цементного процессов. В этом случае можно избежать излишних энергетических затрат, используя огненно-жидкие шлаки сразу после отделения чугуна. Их обрабатывают в специальных грануляционных установках, находящихся рядом с домной. Около металлургических комбинатов сооружают цементные заводы, вырабатывающие на базе гранулированных доменных шлаков цемент

высокосортных марок. На основе такой кооперации в ближайшее время шлаки черной и цветной металлургии будут перерабатываться полностью. Это позволит улучшить строительно-технические свойства цемента, снизить до 40 % расход топлива в цементной промышленности, избежать строительства заводов по производству цемента из природного сырья общей стоимостью более 1 млрд руб., получить значительный экономический и социальный эффект.

До сих пор мы говорили о шлаках, образующихся при переработке железной руды, однако немалые их количества получают и при выплавке стали, ферросплавов, в других процессах передела черных металлов. Здесь также резервы этого сырья как строительного материала далеко не исчерпаны.

Отходы химической промышленности по количеству значительно уступают отходам горных и горно-обогатительных предприятий, ТЭС и металлургических заводов, однако фосфорные, сернокислотные и содовые производства в этом отношении наименее благоприятны.

Ф о с ф о г и п с — твердые отходы, образующиеся при производстве фосфорных удобрений, являются наиболее крупнотоннажными в химической промышленности. Большое количество уже накопленного и ежегодно образующегося фосфогипса заставляет ученых и практиков уделять этим отходам самое пристальное внимание, тем более что простое складирование 1 т фосфогипса обходится в 4 руб. Нетрудно посчитать экономические убытки, имея в виду ежегодное образование на предприятиях фосфорной промышленности до 20 млн т твердых отходов, которые усугубляются серьезными экологическими потерями.

Наши надежды на избавление от фосфогипса путем изменения технологии переработки фосфорных руд таким образом, чтобы она не была связана с образованием больших количеств твердых отходов, вполне обоснованны. Это, однако, не снимает с повестки дня вопроса переработки фосфогипса: нужно же что-то делать с миллионами тонн уже образовавшихся отходов. Кроме того, новые технологии производства фосфорных удобрений по ряду причин не появятся завтра и мы еще не год и не два неизбежно будем увеличивать объемы твердых отходов, а значит, и техногенное давление на окружающую среду.

Фосфогипс представляет собой сульфат кальция (гипс), загрязненный небольшими количествами исходного вещества и продуктами реакции. Его химический состав зависит от состава используемого сырья и принятой технологии переработки. Например, фосфогипс Воскресенского ПО "Минудобрения" содержит (в мас. %):

CaO - 31,8	SiO ₂ - 0,79	K ₂ O + Na ₂ O - 0,12
SO ₃ - 44,6	Al ₂ O ₃ - 0,42	Нерастворимый - 1,20
H ₂ O - 19,6	Fe ₂ O ₃ - 0,33	остаток
P ₂ O ₅ - 0,87	F - 0,24	

По составу он соответствует сырью для производства строительных материалов и применяется в технологии вяжущих на основе оксида и сульфата кальция, но отличается от природного продукта наличием ряда примесей, а также значительного количества воды. При использовании фосфогипса вместо природного нерудного сырья необходимы предварительное удаление и нейтрализация нежелательных примесей, а также обезвоживание.

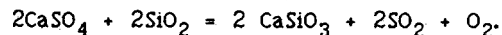
Технология сушки и грануляции фосфогипса заключается в его промывании и фильтрации на барабанных вакуум-фильтрах, дегидратации до CaSO₄ · 0,5H₂O и на 60 % до CaSO₄ при 900 °С, грануляции шихты в барабанном грануляторе.

В Советском Союзе технология получения строительного вяжущего из фосфогипса разработана еще в конце 50-х годов. Дальнейший научный поиск ведется и в наши дни. Уже работают установки по производству вяжущего в Воскресенском ПО "Минудобрения", по получению гранулированного фосфогипса на Гомельском химическом заводе, по сушке фосфогипса в Сумском ПО "Химпром". Предприятия по выпуску фосфорных удобрений перерабатывают на собственных установках и направляют потребителю небольшую часть твердых отходов. Связано это в первую очередь с тем, что затраты на предварительную обработку фосфогипса превышают затраты на добычу природного сырья в 2,5-3,5 раза.

За рубежом при обилии разрабатываемых технологий известно лишь небольшое число работающих установок. Надо полагать, что причины одни и те же: низкая рентабельность переработки фосфогипса. Ее повышение возможно прежде всего при более глубокой химической

переработке фосфогипса, при извлечении серы с возвратом образующейся кислоты в технологический цикл производства фосфорных удобрений. При термическом разложении фосфогипса выделяется оксид серы(IV), пригодный для получения серной кислоты, а твердая фаза соответствует по составу портландцементу. При этом фосфогипс необходимо предварительно очистить от фтора и фосфора, что заметно снижает технологические и экономические показатели подобной переработки твердых отходов.

Новым направлением является термическая плавка при 1450-1500 °С гранулированного фосфогипса:



Здесь можно использовать неочищенный продукт. В шихту вводят кварцевые отходы и отходы обогащения сернокислотного сырья (флотоколчедан), последние — для связывания кислорода и получения дополнительных количеств оксида серы(IV). Фтор и фосфор не переходят в газовую фазу, а удерживаются в шлаке, который может быть использован в цементном производстве.

Приведенные примеры не единственные варианты переработки фосфогипса для получения серной кислоты. Известны, например, разработки, упрощающие технологию путем получения не оксида серы(IV), а элементной серы. Все методы, предполагающие использование фосфогипса для производства серной кислоты, пока не выдерживают "испытания рублем" и требуют новых научных и инженерно-технических решений или по крайней мере принципиальных усовершенствований.

Интересен способ переработки фосфогипса, не требующий высоких температур. Он основан на конверсии с выделением сульфата аммония:



Растворимость карбоната кальция примерно в 140 раз ниже растворимости сульфата, и поэтому в водном растворе реакция практически нацело сдвинута вправо. Различают жидкостную ((NH₄)₂CO₃), газо-жидкостную ((NH₄)₂CO₃ + CO₂ + NH₃) и газовую (CO₂ + NH₃) конвер-

сию. Первая получила наибольшее распространение и внедрена в ряде стран (Индия, Япония, Пакистан, Турция, Италия, США), хотя по энергозатратам предпочтительней газо-жидкостный процесс.

Оценивая переработку фосфогипса методом конверсии с экологической точки зрения, укажем, что здесь фактически не устраняются отходы, а лишь изменяется их характер и задача утилизации фосфогипса заменяется задачей утилизации фосфомела и сульфата аммония. Правда, найти области применения последних значительно легче.

Термические методы утилизации и конверсия отходов в современном решении остаются экономически невыгодными, так как продукция из природного гипса обходится дешевле. Однако в перспективности этим методам отказать нельзя, тем более что они определяют способ комплексной переработки фосфогипса с извлечением всех его полезных компонентов, включая примеси малых концентраций. В концентратах апатитов содержатся такие достаточно дефицитные и дорогостоящие вещества, как соединения фтора, стронция и редкоземельных металлов.

Фтор, как уже отмечалось, распределяется между всеми технологическими продуктами производства фосфорных удобрений, однако значительная его часть попадает в фосфогипс. В нем фтора не так уж много, но его "хватает" для нанесения существенного экологического ущерба обширным районам вокруг хранилища отходов. В то же время извлечение всего фтора из отечественного фосфогипса эквивалентно примерно половине мирового потребления плавикового шпата — основного полезного фторсодержащего ископаемого — минерального сырья, остро необходимого для современной промышленности, запасы которого в природе, по прогнозам, истощатся в самое ближайшее время.

К стронцию и редкоземельным элементам экологических "претензий" практически нет: их количества в твердых отходах ничтожны в сравнении с общей массой фосфогипса, а вредное воздействие на окружающую среду пренебрежимо мало. Иное дело — экономические и сырьевые соображения: выделение этих элементов позволит обеспечить нашу промышленность чрезвычайно необходимыми материалами и тем самым повысить рентабельность утилизации фосфогипса.

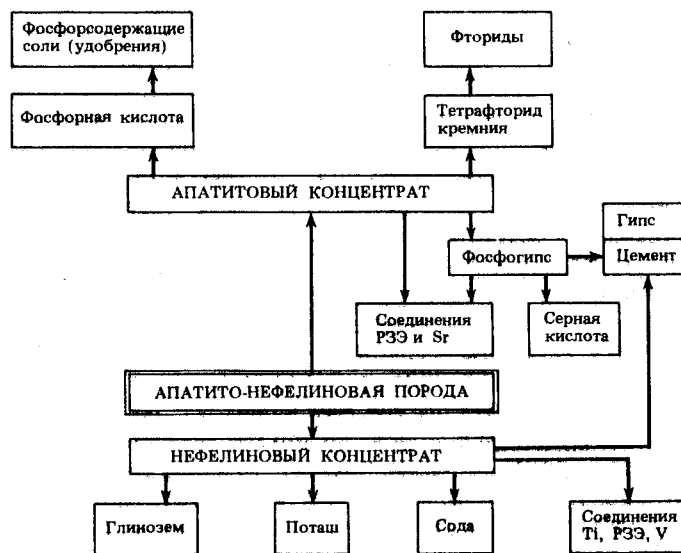
Если получать из фосфогипса концентраты фтора, стронция и редкоземельных элементов, а после этого основную массу отходов направлять на производство строительных материалов (сразу, а лучше после выделения серы), то экономическая эффективность переработки отходов фосфорной промышленности существенно повышается и она становится рентабельной.

Известные в этом направлении научные и опытно-промышленные разработки позволяют определить пути извлечения соединений фтора, стронция и редкоземельных элементов при термической или конверсионной переработке фосфогипса, которая, в свою очередь, обеспечивает получение сырья для сернокислотного и цементного производства. Так реализуется безотходная технология на основе полной утилизации полезных компонентов фосфогипса.

На примере технологии переработки фосфогипса хорошо видно, что комплексное использование минерального сырья как важнейшее условие создания безотходного (малоотходного) производства окажется таковым, если будет обеспечена комплексная же переработка получающихся отходов, потому что создание технологии, вообще исключающей их образование, возможно далеко не всегда. Кроме того, нужно что-то делать с уже образовавшимися отходами. По этим причинам, отдавая должное новым малоотходным технологиям, нельзя забывать о разработке способов комплексной переработки отходов на целевые продукты. В создавшейся обстановке это направление химической технологии должно получить и уже получает приоритетное развитие.

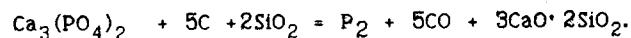
Гранулировать фосфогипс и направлять его на дорожное строительство уже хорошо с точки зрения эколога, но не очень дальновидно. Только его комплексная переработка позволит говорить о действительно экологически безопасном и экономически целесообразном использовании всех богатств, которые запаса природа в апатито-нефелиновых рудах (рис. 17).

Рассказ о твердых отходах фосфорного производства будет неполным, если не вспомнить, что наряду с основной технологией сернокислотного разложения минерального сырья заметное место занимает также термический способ, позволяющий перерабатывать любое, в том числе низкосортное, сырье с получением чистой



Р и с. 17. Принципиальная схема комплексной переработки апатито-нефелиновых руд с полной переработкой отходов

фосфорной кислоты из предварительно выделенного элементного фосфора:



В этом процессе образуются шлаки (огненно-жидкие расплавы), состоящие в основном из оксидов кальция, кремния, алюминия, железа и фосфора. Только на Чимкентском ПО "Фосфор" их ежегодный объем приближается к 2 млн т. Нетрудно заметить, что по составу фосфорные шлаки соответствуют сырью строительной индустрии. Их недостатки те же, что и у фосфогипса: наличие фтора (по принятой технологии он переходит главным образом в шлак), фосфора и серы, которые можно удалить при обработке расплавленных шлаков водой с последующим получением шлаковой пемзы, находящей широкое применение в производстве строительных материалов.

Пиритные огарки — это твердый остаток после выделения серы из сульфида железа (пирита

или черного колчедана) — природного продукта, содержащего 53,5 % серы и 46,5 % железа. В реально получаемом флотационном колчедане концентрация полезного компонента (серы) составляет 32-40 %. Пиритные огарки содержат главным образом железо (40-63 %), а также серу (1-2 %), медь (0,33-0,47 %), цинк (0,42-1,35 %), свинец (0,32-0,58 %), драгоценные металлы (10-20 г/т) и другие примеси. Из них можно выделить много ценных продуктов, но в настоящее время пиритные огарки используются только в цементной промышленности как минерализующая добавка к портландцементной шихте.

Диастеллерные шламы — твердые отходы содового производства, которых накопилось в стране более 50 млн т, — содержат в основном соединения кальция: карбонат (50-65 мас. %), гидроксид (4-10 мас. %), сульфат (5-10 мас. %) и хлорид (5-10 мас. %), а также до 10 мас. % глинистых материалов и кварца. В смеси с кварцевым песком эти шламы являются хорошим вяжущим для производства кирпича, в чем и видится реальная возможность утилизации твердых отходов содовой промышленности.

Приведенные примеры вряд ли оставляют место для сомнений в том, что крупнотоннажные твердые отходы, являясь источником серьезной угрозы окружающей среде, в то же время могут быть ценным вторичным сырьем строительной индустрии. Разнообразие их составов не позволяет создать единый технологический процесс, пригодный для любого вторичного нерудного сырья, а нередко присутствие несвойственных природному продукту примесей усложняет его осуществление. Все эти затруднения преодолимы. Современное производство строительных и дорожных материалов использует миллионы тонн твердых отходов. Объемы их переработки будут постоянно расти, что соответствует экологическим требованиям сегодняшнего дня и сырьевой обстановке. Хотя, говоря о последней, невольно вспомнить вывод, сделанный при оценке эффективности переработки фосфогипса: она наибольшая в случае выделения из отходов всех полезных компонентов, потому что даже при довольно низких концентрациях примесей прирост продукции за счет их выделения может быть заметным вследствие больших объемов перерабатываемых отходов.

Убедиться в правильности этого вывода легче всего, обратившись к проблеме выделения металлов из твердых отходов.

Металлы из отходов

Металлы вполне справедливо считают одними из древнейших материалов человечества. С неменьшим основанием о них говорят как о важнейших материалах современности, без которых невозможен научно-технический прогресс.

Отдавая должное искусственным материалам, тем не менее вспомним, что освоение космоса и достижения электроники, развитие транспорта и электротехники, будущее развитие термоядерной энергетики и сверхпроводников, а также многих других не названных здесь отраслей технической и научной деятельности человека немыслимы без использования металлов.

В наш век их потребление возросло многократно, расширились области применения и ассортимент, в связи с чем обострилась и проблема обеспеченности сырьем. Новые месторождения металлических руд чаще всего расположены в дальних, трудно осваиваемых районах. В промышленности внедряются технологии переработки все более и более бедного сырья. В то же время огромные, постоянно растущие запасы металлов скапливаются в виде самых различных отходов. В экономически развитых районах формируются новые "месторождения", созданные не природой, а человеком.

Строго говоря, практически любая руда полиметаллическа, но очень часто в глазах потребителя она остается монокомпонентным сырьем. При таком подходе все другие ее составляющие, кроме основной, уходят в отвал.

В железных рудах в качестве примесей содержатся титан, ванадий, кобальт, никель, медь, золото и платина; в титановых — железо, ванадий, редкоземельные элементы; в оловянных — медь, свинец и цинк; такие редкие металлы, как осмий, рений и галлий, встречаются в медных рудах, а германий и уран — в углях и горючих сланцах. Извлечение этих примесей выгодно не только для промышленности, но и для здоровья людей. В тех же медных рудах, кроме упомянутых элементов, возможно присутствие высо-

котоксичных кадмия и селена. Выделение этих элементов из отходов делает последние более безопасными при хранении.

Оценивая отходы как источник металлов, мы вновь обращаемся прежде всего к твердым отходам, применение которых столь перспективно в строительной промышленности. Не отказываясь от такого их использования, позволим себе оговорку: в любом случае разумнее сначала извлечь металлы, а потом отдать нерудное сырье строителям. Попытаемся примерами подтвердить ее состоятельность.

Пиритные огарки, как мы уже упоминали, по своей природе относятся к полиметаллическим отходам. С сырьевой и технологической точки зрения из них наиболее целесообразно выделять железо и медь, хотя не следует исключать и более комплексный подход при дальнейшем развитии технологии их переработки. Содержание меди в пиритных огарках близко к ее концентрациям в бедных медных рудах, ныне потребляемых промышленностью.

Хлорирующий обжиг пиритных огарков позволяет извлекать до 95 % меди, значительную часть благородных металлов и почти полностью обессеривать остаток.

Несмотря на высокое содержание железа в пиритных огарках, его нельзя непосредственно применять при выплавке чугуна из-за высокого содержания серы. В технологии хлорирования пиритные огарки полностью освобождаются от нее, и поэтому после агломерации и брикетирования их направляют в доменную плавку.

Подобная утилизация пиритных огарков, обеспечивающая получение 4,5 кг меди (при содержании в них меди примерно 0,5 %) и 900 кг железного агломерата из 1 т отходов, конечно, выгоднее их использования в цементной промышленности.

Еще более эффективна высокотемпературная возгонка хлоридов цветных металлов под действием хлористого водорода. Продукты хлорирования пиритных огарков улавливают водой и получают суспензию, после фильтрования которой из раствора выделяют медь и цинк, а из осадка — золото, свинец и серебро. Твердый продукт, оставшийся после хлорирования, содержит примерно 65 % железа. Это прекрасное сырье для получения чугуна.

Твердые отходы горючих ископаемых — золы углей, горючих сланцев и нефтей — так-

же полиметалличны и содержат практически все встречающиеся в природе металлы, концентрация которых может достигать заметных величин. Известны, например, бурые угли, содержащие до 1 кг урана в 1 т, и золошлаковые отходы с концентрацией стронция, цинка и германия до 10 кг/т. Обычно в горючих ископаемых и их золах концентрация металлов, за исключением алюминия и железа, невысока и, как правило, меньше 0,1 %. Тем не менее объемы образующихся отходов таковы, что только, например, в ежегодно сжигаемых энергетических углях германия в 20 раз больше, чем его мировое потребление.

Общих геохимических закономерностей, позволяющих прогнозировать использование тех или иных угольных отходов как сырья для получения определенных редких или цветных металлов, не выявлено. В то же время установлены регионы, для углей которых характерно повышенное содержание некоторых металлов по сравнению с их средней концентрацией по стране. Так, в углях Украины оно наблюдается для никеля и кобальта, в углях Урала — для хрома, никеля, кобальта, меди и золота, в углях Казахстана — для меди, свинца, цинка и серебра.

В малозольных углях обычно больше золота, серебра, меди, свинца и цинка, а в некоторых высокозольных фракциях, являющихся отходами обогащения углей и не используемых как горючее, в процессах обогащения в 14 раз увеличивается содержание серебра, хрома, галлия, молибдена и некоторых других редких и цветных металлов. Однако чаще всего металлы накапливаются не в отходах обогащения, а в угольных концентратах, и, значит, в конечном итоге они оказываются в золошлаковых отходах ТЭС, а не в отходах обогатительных фабрик.

В отличие от углей угольные сланцы содержат в больших количествах рений, молибден, ванадий, медь и уран.

Указанные особенности распределения редких и цветных металлов в различных углях, продуктах обогащения, золошлаковых отходах и горючих сланцах служат неплохим ориентиром для установления перспектив использования конкретных отходов горючих ископаемых в качестве источников этих металлов.

Из всех присутствующих в горючих ископаемых металлов наибольшее промышленное значение (реальное



Р и с. 18. Металлы твердых горючих ископаемых и их поведение в процессе горения

или потенциальное) имеют германий, уран, галлий, молибден, серебро, золото, ртуть и рений, тогда как наиболее экологически опасны в первую очередь мышьяк, бериллий и ртуть. Заметьте, экологические и технологические параметры совпадают не по всем элементам, хотя нельзя забывать, что, в принципе, угрозу для окружающей среды составляет гораздо большее количество металлов, содержащихся в золошлаковых отходах (рис. 18).

Нетрудно предложить общие методы выделения металлов, содержащихся в углях и их отходах: экстракция, сорбция и ионный обмен, с помощью которых можно обеспечить коллективное или селективное концентрирование микропримесей. Труднее эти методы использовать при таких малых концентрациях, которые характерны для угольных отходов, учитывая также огромные объемы перерабатываемых твердых продуктов и потребляемых растворов.

В этой связи обнадеживающие перспективы видятся в специальной технологии сжигания горючего и улавли-

вания отходов. В зоне окислительного горения топочной печи возможно развитие таких температур, при которых многие металлы-примеси образуют летучие соединения, концентрирующиеся на частицах золы, выносимых из зоны горения воздушным потоком. Они концентрируются в двух фракциях: крупно- и мелкодисперсной. Металлами обогащается последняя. Ее целесообразно направлять на переработку с целью выделения металлов, тогда как крупнодисперсную золу следует возвращать в топку для дополнительного получения мелкодисперсной фракции. Такая технология позволяет существенно сократить количества перерабатываемых материалов, а значит, и уменьшить объемы растворов. Правда, она не решает вопроса утилизации высоколетучих рения и ртути. Здесь необходимы иные подходы, основанные, вероятно, на применении жидких поглотителей и твердых сорбентов.

При всем богатстве наших недр обстановка с некоторыми цветными и редкими металлами остается напряженной. Она не просто складывается, например, для алюминия, хотя по содержанию в земной коре он и занимает среди металлов первое место.

Дело в том, что основная масса алюминия сконцентрирована в а л ю м о с и л и к а т а х, а исходным материалом для наиболее простого и дешевого метода получения глинозема (Al_2O_3) — сырья электролитической выплавки алюминия — являются бокситы (оксиды и гидроксиды алюминия, загрязненные примесями). Бокситов же в недрах Земли несравненно меньше, чем алюмосиликатов.

В нашей стране особенно ощущается недостаток бокситового сырья. По прогнозам специалистов, качественные бокситы будут израсходованы в ближайшие 30–40 лет. В связи с ожидаемым снижением темпов роста алюминиевого производства, с увеличением сырьевых запасов за счет вовлечения в производство бокситов заниженного качества и освоения труднодоступных для разработки районов, возможно, алюминиевого сырья хватит еще на 30–40 лет, но в любом случае обеспечение алюминиевой промышленности бокситами ограничено.

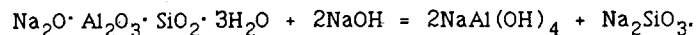
Наряду с этим известно много минералов, которые можно рассматривать как алюминийсодержащее сырье: нефелин, серицит, лейцит, каолинит и др.

Многие из них в значительных количествах содержатся в самых различных промышленных отходах и, в частности, в отходах горнодобывающих предприятий, золах ТЭС, вмещающих породах руд некоторых цветных металлов, отходах производства апатитовых концентратов.

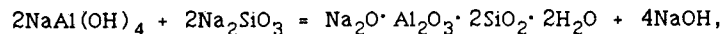
О хибинских нефелинах мы уже рассказывали. Не так давно они не находили практического применения и наносили серьезный ущерб легко уязвимой природе Севера. Сейчас более одной пятой отходов флотации апатитового сырья перерабатываются с получением нефелинового концентрата. Пока в силу скорее организационно-экономических, чем научно-технических, причин остальная часть отходов не используется. При полной же их утилизации можно получить более 2 млн т глинозема, свыше 600 тыс. т поташа и 20–25 млн т цемента.

Неиспользованными остаются и возможности Коунрадского месторождения (Казахская ССР) медных руд, при переработке которых миллионы тонн серицитов, содержащих до 40 % оксида алюминия, идут в отвал.

Интересно, что технология, разработанная советскими учеными для хибинских апатито-нефелиновых руд (см. с. 144), используется фирмой "Монтекатуна Эдисон" для переработки лейцитов Италии. Следовательно, метод может быть распространен на другие виды алюминийсодержащего сырья, включая различные алюмосиликатные отходы. Сдерживают его более широкое внедрение сравнительно высокие энергозатраты в процессах спекания. Значительно меньшей энергоемкостью отличается гидрохимическое разложение. С помощью гидроксида натрия (калия) переводят основные компоненты алюмосиликатов в раствор:

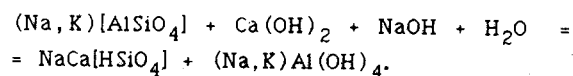


Однако продукты реакции, взаимодействуя между собой, образуют водонерастворимый гидроалюмосиликат натрия (калия):



и, таким образом, наблюдается лишь перекристаллизация исходного продукта с образованием термодинамически устойчивых в данных условиях соединений.

Для связывания кремния в малорастворимое соединение добавляют, например, гидроксид и проводят выщелачивание нефелина в автоклаве:



Гидрохимический способ исключает высокотемпературный процесс спекания и обеспечивает переработку алюмосодержащих отходов по малоотходной технологии. Он позволяет получать высокосортный боксит из нефелинов хибинских руд, нефелиновых пород и высококремнистых бокситов Казахстана, нефелиновых концентратов Красноярского края, доменных шлаков, зол экибастузских углей, других отходов и низкосортных алюминийсодержащих продуктов. Такой способ в применении к местным материалам активно прорабатывается в США, Великобритании, Румынии, Германии, Венгрии и Чехословакии.

Наряду с гидрохимическим разложением в технологии небокситового сырья все большее значение приобретает метод спекания.

Обсуждая перспективы использования отходов как источников металлов, необходимо также остановиться на проблеме утилизации отходов потребления, потерявших свою потребительскую ценность как изделия, но не как металлосодержащие продукты. Это специальный и очень важный вопрос, на котором мы тем не менее не будем останавливаться подробно, так как он скорее организационно-экономический, чем технологический. Ясно, что переработать металлический лом в готовое изделие не составит особого труда, очевидно также экономическое преимущество использования отходов по сравнению с природным материалом.

Вот только один пример. В настоящее время в стране собирается примерно 50 млн т металлического лома и отходов черных металлов, что эквивалентно такому же количеству стали, для выплавки которой потребовалось бы более 100 млн т железной руды и 65 млн т коксующегося угля. Переплавка лома по сравнению с выплавкой стали при полном металлургическом цикле уменьшает загрязнение атмосферы на 86 % и гидросферы на 76 %, а объем отходов сокращается на 97 %. Налицо

большой экологический эффект и экономия природных ресурсов.

В целом производство черного металла из лома обходится в 25 раз дешевле, чем его получение из руд. Не менее впечатляющие эколого-экономические показатели характерны для цветных и редких металлов.

Тем не менее по разным причинам тысячи тонн отходов черных и цветных металлов, к сожалению, не стали для нашей промышленности вторичным сырьем.

Нельзя обойти молчанием еще один источник различных металлов. Он находится... на мусорных свалках.

Сырье из бытовых отходов

Твердые бытовые отходы — так называют то, что в обиходе именуется более коротко и менее привлекательно — мусор.

Проблема транспортировки, хранения и утилизации твердых бытовых отходов приобрела в наши дни важное природоохранное значение. Под свалки приходится занимать наиболее ценные пригородные зоны. Это чаще всего земли, изымаемые из сельскохозяйственного оборота. Ветер и ливневые воды неизбежно расширяют радиус действия мощных и весьма опасных источников антропогенного загрязнения, какими являются свалки.

Рост населения в городах вызывает увеличение объемов бытовых отходов, доля которых в общей массе твердых отходов заметно выросла за последние годы.

В Москве около половины всех твердых отходов (рис. 19), вывозимых на свалки, составляют бытовые (имеется в виду их оценка по массе, тогда как по объему, учитывая малый насыпной вес — 0,2 т/м³, они существенно преобладают над промышленными). В среднем на каждого жителя столицы приходится около 300 кг бытовых отходов в год. Это количество за 10 лет увеличивается примерно в 1,5 раза. Рост, конечно, не беспредельный, и когда-то он замедлится и даже может прекратиться, достигнув какого-то "предела насыщения". Пока же этого не произошло. И если сейчас количество бытовых отходов Москвы оценивается в 2,5 млн т/год, то к 2000 г. их ожидаемый годовой объем может составить примерно 4,5 млн т. В целом же по стране количество бытовых отходов оценивается



Р и с. 19. Твердые отходы г. Москва

примерно в 60 млн т. По прогнозам демографов, к началу XXI в. 80 млн человек будут жить в крупных городах с не менее чем полумиллионным населением. Только в этих городах объем бытовых отходов достигнет 24 млн т.

В промышленно развитых странах количества бытовых отходов колеблются в пределах 200-500 кг/год на человека: США — 520, Франция — 300-360, Голландия — 165-190, Канада — 380, Англия — 240-300, Испания — 200.

Их образуется значительно больше в крупных городах: например, для Нью-Йорка и Чикаго годовой объем бытовых отходов на душу населения в 2 раза выше, чем в среднем по стране.

Твердые бытовые отходы отличаются многокомпонентностью и различным составом, однако примерно 70 % из них составляют пищевые отходы и бумага (в %).

Компоненты твердых бытовых отходов	СССР	США	Англия	Канада	Япония	Испания
Пищевые продукты	33	23,9	27,0	10,0	30,3	40-50
Бумага	40	31,1	30,0	70,0	40,6	15-20
Металлы	4,5	9,5	9,0	5,0	2,3	3,5-5
Стекло	6	9,7	8,0	5,0	5,5	2,5-6
Полимеры	2	3,4	3,0	-	10,8	3-8
Текстиль	6	1,4	3,0	-	2,5	-
Зола	-	-	-	5,0	-	-
Прочие	8,5	21,0	19,0	5,0	8,0	35-10

Примечание. Цыганков А. П., Сенин В. Н. Циклические процессы в химической технологии. М.: Химия, 1988. С. 167.

С точки зрения охраны окружающей среды все бытовые отходы необходимо перерабатывать с полной утилизацией или обезвреживанием. Если рассматривать отходы не только по количеству, но и по ценности отдельных компонентов, то их можно расположить в ряд: пищевые отходы — металлы — бумага — стекло. Остальные компоненты можно не извлекать, так как они не имеют большого значения — так считают экономисты и технологи, но не экологи, для которых характерен более широкий подход.

Таким образом, бытовые отходы — особый вид вторичного сырья, в составе которого только по Москве ежегодно концентрируется свыше 100 тыс. т металлов, из них более 10 тыс. т цветных. Этот источник металлов не истощается и в отличие от природных месторождений постоянно пополняется новыми порциями сырья.

Выделяются три основных направления промышленной переработки твердых бытовых отходов:

- отбор металлов и других энергетически балластных фракций с последующим сжиганием остатка и утилизацией тепла для производства электроэнергии или теплоснабжения;

- сухая перегонка (пиролиз) после предварительного отбора только металла с получением жидкого или газообразного топлива, а также сопутствующих продуктов;

- отбор металла, стекла, пластмасс и текстиля с

получением органической массы, пригодной для производства животноводческих кормов и органических удобрений.

В мире насчитывается свыше тысячи мусоросжигающих заводов. Сжигание бытовых отходов с утилизацией только энергии нерентабельно, но его продолжают использовать во многих странах мира главным образом как эффективный способ переработки городского мусора. Считается, и это действительно так, что экологическая рентабельность в этом случае покрывает экономические убытки. Тем не менее еще значительная часть бытовых отходов вывозится на мусорные свалки. Конечно, термическая переработка отходов не приводит к полному их уничтожению. Какое-то количество твердого вещества в виде золы и шлаков остается, но, во-первых, по массе и тем более по объему их несравненно меньше, чем исходного обрабатываемого продукта, а во-вторых, и это не менее важно, остаток после высокотемпературного воздействия оказывается абсолютно биологически безвредным и может храниться на свалках без угрозы для человека и окружающей среды.

С учетом экономических недостатков термического метода переработки широким фронтом ведутся исследования по созданию новых технологий и оборудования для переработки бытовых отходов с извлечением всех ценных компонентов.

В нашей стране разработаны технология и основные нестандартные агрегаты для механизированного извлечения из бытовых отходов пяти компонентов: макулатуры, полимерной пленки, черных и цветных металлов, пищевых отходов (с приготовлением из последних корма для скота). Подобный завод может переработать в год 200 тыс. т мусора и выпустить 7,5 тыс. т черного металла, около 1 тыс. т цветного металла, 1,6 тыс. т полимерной пленки и около 5 тыс. т сухого корма. Прибыль от реализации полученных ценных компонентов составит не менее 4 млн руб./год, а общая народнохозяйственная эффективность — 8,5 млн руб./год.

Так усилиями технологов и конструкторов явно непроститное сырье — мусор может превратиться в ценные продукты, а город — избавиться от твердых бытовых отходов.

Увы, путь к этому не близок и не легок. Ведь сейчас в стране функционируют только девять мусоросжигающих заводов и еще три строятся. Да и они еще далеки от той технологии, какую мы только что описали.

Построить мусоросжигающий завод, конечно, дороже, чем оборудовать свалку. Кроме того, наши заводы не имеют системы очистки газов, выделяющихся при сжигании мусора. Так что курортные города Пятигорск и Сочи, имеющие подобные заводы, пока освободились от быстрого "расползания" свалок только за счет ухудшения качества воздуха. И все-таки мусоросжигающие заводы с современной системой пыле- и газоочистки, утилизацией всех компонентов сжигаемой массы — самый надежный путь борьбы с твердыми бытовыми отходами. Неслучайно в Японии сжигается 70 % мусора (у нас, к сожалению, примерно только 3 %).

После разговора о столь необычных отходах вполне уместно вспомнить и о несколько необычном использовании некоторых из них.

Отходы для очистки отходов

Главный недостаток химических и физико-химических методов очистки сточных вод — необходимость использования различных реагентов и материалов, что приводит к значительному удорожанию процесса. В настоящее время основное внимание обращено на поиск дешевых веществ, способных обеспечить высокую степень очистки при минимальных затратах. Особенно заманчиво использование "бросовых" материалов, стоимость которых определяется только затратами на их подготовку к применению в технологии водоочистки. Такими материалами могут быть различные отходы производства и потребления. Они являются наиболее экономически выгодными реагентами водоочистки. В настоящее время идет интенсивный поиск и накопление данных по использованию химических, коагуляционных, сорбционных, фильтрующих и других свойств отходов. Уже можно говорить о создании и развитии нового направления в области технологии очистки сточных вод, так же как и о новых областях применения отходов. Надежда на высокую экологическую и экономическую эффективность подобных технологий вполне обоснована.

Ранее упоминалась возможность взаимной нейтрализации щелочных и кислых вод (см. с. 177). Этот процесс реализован в промышленных масштабах и является ярким примером использования отходов производства для улучшения качества окружающей среды при минимальных затратах. В настоящее время начинают также находить применение для нейтрализации щелочных стоков отходящие газы, содержащие углекислый и сернистый газы. В подобных процессах происходит не только нейтрализация сточной воды, но и высокоэффективная очистка отходящих газов от вредных примесей.

Использование углекислого газа в очистке сточных вод предпочтительней по сравнению с применением серной или соляной кислот по следующим соображениям:

- резко снижается стоимость очистки и даже удается получить экономический эффект при реализации образующихся карбонатов;
- исключаются затраты энергии на перемешивание;
- благодаря плохой растворимости углекислого газа уменьшается опасность переокисления сточных вод;
- образующиеся продукты нейтрализации (карбонаты) находят большее практическое применение, чем сульфаты или хлориды.

Осуществление процессов нейтрализации в системах "газ-жидкость" особенно перспективно на предприятиях теплоэнергетики. Мы знаем, что в составе дыма ТЭС содержатся большие количества сернистого, а также углекислого газа и других кислых компонентов. С другой стороны, при гидрошлакоудалении получают значительные объемы щелочных сточных и оборотных вод, которые подлежат нейтрализации перед сбросом или повторным употреблением. Доказана в промышленных условиях возможность обезвреживания этих вод с помощью дымовых газов. Процесс, правда, затруднен образованием солей, плохо поддающихся выделению, однако эти трудности преодолимы. Детальная разработка подобной технологии и ее промышленное внедрение обещают высокий экономический и экологический эффект.

Интересна возможность использования отходящих газов, содержащих SO_2 , для очистки сточных вод от соединений хрома (VI). При восстановлении ионов хрома (VI) до хрома (III) в щелочной среде гидроксид хрома (III) выпадает в осадок при одновременном резком уменьшении содержания диоксида серы в отходящих

газах. Гидроксид хрома (III) может быть использован как товарный продукт.

Лучше всего применять твердые отходы в сорбционной технологии водоочистки.

Твердые отходы, образующиеся при производстве стали и алюминия, можно с успехом использовать для удаления из сточных вод фосфатов.

Масла, нефть и нефтепродукты перспективно удалять из сточных вод с помощью пиритных огарков, шлака, кокса, золы, шлама, а также рисовой шелухи, сена, стружки и опилок. Последние перед употреблением следует обработать гидрофобным раствором.

Получение из ильменита диоксида титана, самого крупнотоннажного пигмента, мировое производство которого достигло 2,5 млн т, связано с образованием больших количеств твердых отходов (3,6 т сульфата железа (II) на 1 т готовой продукции). Эти отходы дают неплохие результаты при их применении в качестве коагулянтов вместо обычно используемого сульфата аммония. Причем можно очищать воды самого различного последующего назначения вплоть до их использования в качестве питьевых.

Стружки, металлические опилки, окалина и травильные растворы могут найти применение при коагуляционной очистке сточных вод от активных красителей. Различные промышленные отходы обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к поверхностно-активным веществам и синтетическим красителям, причем нередко они даже более эффективны, чем традиционно используемые сорбенты.

При очистке сточных вод от редких и цветных металлов экономически оправданы сорбционные методы, использующие дешевые природные материалы (глинистые продукты, торф, бурые угли и т.п.). Они, однако, обычно обладают низкой сорбционной емкостью, что вызывает их значительный расход. Последнее, в свою очередь, существенно снижает экономические преимущества подобных сорбентов, а кроме того, создает нежелательные техногенные воздействия на окружающую среду. Использование в аналогичных случаях отходов производства, конечно, предпочтительней.

Прокаленный при 400-800 °C красный шлам, образующийся при производстве алюминия из бокситов (см. с. 75), может сорбировать редкие и цветные металлы из сточных вод. С помощью этого сорбента удастся ос-

вободиться от примесей на 98 %. Шлаки медно-никелевых производств пригодны для приготовления эффективных сорбентов, используемых при очистке промышленных стоков предприятий цветной металлургии.

Сточные воды, содержащие не более 10 кг/л хрома, фтор, фосфаты, щелочи, масла и нефтепродукты, поддаются очистке с помощью пиритных огарков. Их применение, однако, затруднено возможностью вторичного загрязнения вследствие выщелачивания вредных веществ из подобного сорбента.

До 98 % сильнотоксичного металла, каким является кадмий, можно удалить из сточных вод с помощью обычных древесных опилок, предварительно обработанных щелочью. Еще более активны ионы кадмия поглощаются кукурузными початками.

Особенно интересна возможность применения в качестве сорбентов резиновой крошки, изготовленной из автомобильных шин и других отслуживших промышленных резиновых изделий, а также кокса, образующегося при пиролизе резины. Экологическая и экономическая целесообразность использования подобных сорбентов более чем очевидна. С их помощью удается снизить концентрацию редких и цветных металлов в сточных водах вплоть до уровня ПДК. По сорбционным свойствам они не уступают некоторым природным и искусственным материалам (например, клиноптилолиту и смоле КУ-2х8).

Все большее и большее количество различных промышленных отходов и отходов потребления получает весьма высокую оценку как потенциальные эффективные сорбенты в технологии очистки сточных вод от редких и цветных металлов, от других примесей. К сожалению, пока еще мало изучены, например, термодинамика и кинетика процессов, происходящих на подобных сорбентах. Не всегда разработаны до конца условия проведения сорбции, исключающие вторичное загрязнение отходами и вымываемыми из них продуктами. В сорбционной технологии остается открытым вопрос утилизации или обезвреживания отходов после их использования, так как при этом объемы твердого продукта обычно сохраняются практически неизменными, а степень их отрицательного воздействия на природу в лучшем случае остается той же, а скорее всего, и повышается из-за токсичных свойств сорбированных веществ. Его приходится решать отдельно для каждого конкретного случая и сорбента.

Целесообразность использования отходов для борьбы с отходами более чем очевидна. В процессах водоочистки они не без пользы для природы находят как бы промежуточное применение (материалы для сорбентов) с последующим направлением в более материалоемкие технологии (например, строительная индустрия).

Здесь мы, таким образом, сталкиваемся с еще одним примером комплексного использования твердых отходов, но основанного уже не на их многокомпонентном составе, а на разнообразии технологических свойств.

Отходы химической промышленности, короткоживущие изделия и вечные материалы

Отличительной чертой химической промышленности является обычно высокая стоимость сырья. Затраты на него составляют до 60-70 % себестоимости выпускаемой продукции. Рациональное использование сырья, минимизация его потерь в заключительной степени определяют рентабельность производства и его экономические показатели.

В то же время жидкие и газообразные выбросы химических предприятий чаще всего отличаются высокой степенью негативного воздействия на природу, что предопределяет требование максимальной их изоляции и исключения проникновения во внешнюю среду.

Таким образом, экономические и экологические факторы "заставляют" внедрять высокoeffективные методы улавливания и утилизации исходных веществ, полупродуктов и готовых материалов.

Что касается твердых отходов, то они, собственно говоря, не отличаются чем-то особенным и по отношению к ним сохраняются общие уже обсужденные требования: необходима комплексная переработка с полным использованием всего твердого продукта как вторичного сырья.

Специфичность твердых отходов химической промышленности в другом: ее продукция накапливается в значительных количествах отходов потребления, отличающихся высокой устойчивостью к воздействию внешних факторов.

Поливинилхлорид получают в два этапа:

- образование винилхлорида (мономер) из ацетилена и хлористого водорода или оксохлорированием этилена;
- полимеризация мономера эмульсионным или суспензионным методом, а также в массе.

Синтез мономера из ацетилена обычно не сопровождается образованием загрязненных вод, тогда как при использовании в качестве исходного сырья этилена сточные воды обогащаются дихлорэтаном, четыреххлористым углеродом и другими органическими соединениями. Из них выделяют остатки сырья и направляют его на повторную переработку.

Одним из основных достоинств пластмасс является их чрезвычайная устойчивость к воздействию природных факторов. Толстенная стальная труба, если не приняты специальные меры защиты, относительно быстро под влиянием влаги, кислорода воздуха, тепла и света проржавеет и в конечном итоге полностью превратится в оксид железа. Хрупкий на вид полиэтиленовый мешочек, брошенный в лесу, или пластмассовая труба, уложенная в дренажную систему, и через сотни лет останутся неизменными.

Эти преимущества искусственных материалов при их использовании оказались и главным их недостатком при утилизации. Удивительный парадокс: "вечные" материалы широко используются в изделиях кратковременного и даже разового потребления. Разнообразная тара, упаковка, посуда, пленка для защиты растений, бытовые предметы, автомобильные шины и т.п. очень быстро превращаются в отходы и, если не подвергаются специальной переработке, сколь угодно долго сохраняются в природной среде, занимая значительные площади городских и пригородных зон, отводимых для их хранения.

Естественной среде не чужды высокомолекулярные соединения. Их способны синтезировать и живые организмы (целлюлоза, белок, крахмал и др.). Для всех подобных полимеров природа создала "противовес" - ферменты, их уничтожающие. Синтетические полимерные материалы, созданные человеком, не имеют аналогов в живой природе, а значит, и не существует организмов, способных их разрушить. Это бесценное качество искусственных материалов оборачивается большой бедой при их превращении в отходы потребления.

Следует признаться, что мы не знаем экологически целесообразного способа их уничтожения. Может быть,

хранить на свалках? Но для этого необходимо исключить из хозяйственного оборота большие площади, тем более что при хранении полимеры не только не разрушаются, но и не уплотняются, сохраняя первоначальные большие объемы.

Сжигать? Затрачивая средства на создание высокотемпературного коррозионно-стойкого оборудования для уничтожения полимерных отходов, мы, удаляя их с поверхности Земли и направляя в атмосферу, лишь перераспределяем загрязнения. Ведь при горении пластмасс образуется много газообразных веществ, среди них такие чрезвычайно опасные, как цианистый водород, фосген, оксиды азота, галогенводороды и др.

Неудачи в борьбе с полимерными отходами привели ученых и практиков к мысли о необходимости изменения основных свойств пластмасс: следовало создать материалы, разрушающиеся под воздействием природных факторов. Однако подобные полимерные материалы оказались загрязнителями длительного воздействия. Разлагаясь, они освобождают территорию, занятую под хранилища, но загрязняют почву и воду токсическими веществами. Идея саморазлагающихся пластмасс не оправдала себя.

Уничтожение пластмасс не только не приводит к экологическому эффекту, но оно неприемлемо и с точки зрения экономики.

Необходима целевая переработка отходов потребления полимерных материалов. Ее осуществление наиболее рационально термическим или каталитическим крекингом и пиролизом либо прямым использованием в качестве исходного сырья.

Непосредственно полимерные отходы используют, добавляя их после помола в исходное сырье.

Ресурсы вторичного полимерного сырья растут с каждым днем, а объем их переработки не превышает примерно 7 %. Связано это в первую очередь не с отсутствием потребности в них и не с нерешенными технологическими проблемами, а с недостатками организации сбора вторичного сырья.

Резиновые отходы - это пришедшие в негодность автомобильные шины, радиотехнические детали, резиновая обувь, латексные изделия, большая масса других самых различных предметов промышленного и бытового назначения, потерявших свою потребительскую ценность. Основное количество резиновых отходов (свыше 90 %) приходится на изношенные шины. Они с

точки зрения долговечности ненамного уступают полимерным материалам, почти не подвергаясь биологическому разложению при хранении в природных условиях.

В мире производится в год около 10 млн т натуральных и синтетических каучуков, из которых 9 млн т расходуется на производство шин, а утилизируется ежегодно только около 1 млн т.

В Советском Союзе проблема хранения и утилизации старых автомобильных шин пока еще не приобрела столь сильной остроты, как это наблюдается в промышленно развитых странах. Тем не менее уже в наши дни ее необходимо решать возможно скорей и эффективней, так как быстро увеличивается автомобильный парк, а значит, неуклонно растет количество резиновых отходов. Так, например, в 1989 г. произведено 51,9 млн штук автомобильных шин и примерно 20 млн штук велосипедных. Они, естественно, в недалеком будущем, по истечении срока эксплуатации, окажутся в отходах и если не будут переработаны, то окажут заметную техногенную нагрузку на окружающую среду.

Наметилось несколько путей утилизации шин, отработавших свой срок.

Самым заманчивым кажется возможность их реставрации. Однако по многим причинам далеко не все поддаются ремонту, обеспечивающему получение доброкачественного изделия. Огромная масса шин при таком методе утилизации остается неиспользованной. Все другие способы переработки требуют предварительного получения резиновой крошки (регенерата).

Регенерат можно использовать в качестве топлива, которое по теплотворной способности (27-29 МДж/кг) соответствует углю. Его сжигание, например, в цементных печах дает возможность без ущерба для окружающей среды значительно снизить стоимость цемента за счет экономии топлива. Пиролиз регенератора позволяет получать продукты, используемые взамен природного сырья в производстве синтетического каучука. Возможно применение регенерата, как уже отмечалось, и в технологии очистки сточных вод от редких и цветных металлов. Без глубокой физико-химической переработки он находит применение при изготовлении резиновой фанеры, различных изоляционных покрытий, изделий строительной и строительного-дорожной индустрии, герметизирующих материалов, амортизационных прокладок и т.п.

Нет ограничений в использовании резиновой крошки.

Потребности в ней выше ее современного производства и сырьевых возможностей.

Некоторые страны добились значительных успехов в использовании вторичных ресурсов. Например, Япония опередила по этому показателю ФРГ в 2 раза, а Францию и Италию в 4-5 раз, но даже в этой стране используется только 40 % автомобильных шин и 15 % пластмасс. Во всех странах мира остается еще огромное количество неиспользованных полимерных и резиновых отходов.

В настоящее время существенно расширяются исследования в области регенерации вторичных ресурсов. В нашей стране создана специальная государственная программа по вторичным ресурсам. Особое внимание обращено на сбор и переработку полиэтилена. Московским ПО "Полимер", Пензенским заводом "Полимер" и другими предприятиями страны производится около 3 тыс. т/год пленки из вторичного полиэтилена для укрывания сельскохозяйственных кормов. В 1985 г. переработано 30 % изношенных шин, а в 1990 г. намечено довести эту цифру до 75 % (880 тыс. т). Задание на 2000 г. предусматривает их 100 %-ное использование. Хранилища автомобильных шин должны исчезнуть.

Экологизация производства — сложный, но неизбежный процесс, который должно пройти — и чем раньше, тем лучше — общество. Эффективность нашего развития определяется в первую очередь успехами в организации безотходной (малоотходной) технологии. Главное — ликвидация отходов. Они — будь то проникающие в атмосферу токсичные газы, сбрасываемые в реки загрязненные сточные воды или размещаемые на поверхности Земли твердые отходы — создают основное техногенное давление.

Совершенствование технологии способствует уменьшению объемов отходов, но не исключает их полностью. Более того, во многих случаях неизбежно наращивание количества отходов, как, например, в горнодобывающей промышленности или угольной энергетике. Их также становится все больше и больше в сфере сельскохозяйственного и бытового потребления.

Таким образом, отдавая должное улучшению основного технологического процесса по всем направлениям, следует признать, что важнейшим остается вопрос целенаправленной переработки отходов. Лучше всего он

решается при многоотраслевом кооперировании производств различного профиля.

Твердые отходы обычно существенно отличаются по физико-химическим свойствам и структуре от исходного природного сырья. Они, кроме того, характеризуются чрезвычайным разнообразием, и поэтому не только каждый тип отходов, но нередко одни и те же отходы разных предприятий требуют собственной технологии переработки. Это создает дополнительные трудности и ставит большое количество новых задач в первую очередь перед химической технологией.

Важная сторона проблемы переработки отходов — экономика. Проблемы экономии, бережного отношения к природным богатствам, ресурсосбережения в значительной степени могут быть успешно решены только при эффективной работе предприятий по переработке отходов.

Вполне очевидно, что в наши дни уровень технологии в первую очередь определяется конечным объемом перерабатываемых отходов сырья: чем технология ближе к идеальной пока схеме "сырье—производство—отходы (производства, потребления)—вторичные ресурсы—сырье", тем выше ее экологические и экономические показатели.

Необходимы:

- совершенствование или принципиальное изменение технологического процесса для сокращения или полного исключения отходов производства;

- комплексное извлечение из минерального сырья всех полезных компонентов и включение их в данный или смежный технологический процесс;

- улавливание газообразных и жидких выбросов, их обезвреживание и получение вторичного сырья или готовой продукции;

- развитие технологий переработки твердых отходов, обеспечивающих производство новых изделий или сырьевых материалов;

- организация сбора, сортировки на составляющие компоненты, хранения и обезвреживания отходов потребления с дальнейшим их использованием в качестве вторичного сырья.

На первых страницах книги мы заговорили об отходах. В конце книги пришли к ним же. Потому что, научившись производить много отходов, человек оказался перед угрозой превращения Земли в общепланетную мусорную свалку, где ему не будет места.

Обоснованный оптимизм

Я верю, что жизнь едина и мир един. Все проблемы среды обитания тесно переплетены. Демографический взрыв, нищета, невежество, болезни, загрязнение планеты, накопление ядерного оружия, биологические и химические способы массового уничтожения — все это составляет единый порочный круг. Каждая из этих проблем важна и требует неотложного решения и решать их поочередно — пустое дело.

Индира Ганди. *Моя истина*

Доказывать еще и еще раз значимость нормализации взаимоотношений человечества с природой вряд ли необходимо. Она очевидна. Если мы не устраним кризисные ситуации в природе, то природа устранил нас.

Охрана окружающей среды в наши дни приобрела глобальные масштабы и решать ее необходимо усилиями людей всей планеты. Однако это не единственная всеобщая проблема современного мира.

Обеспечение продуктами питания и минеральными ресурсами, демографическая обстановка и мирное освоение космоса, борьба с болезнями и наркоманией — все это в современных условиях стало глобальными проблемами, успешное и исчерпывающее решение которых возможно только при участии всех государств и народов. Во главе этих проблем стоит самая важная, не терпящая отлагательств задача: сохранение мира на Земле, устранение угрозы ядерной войны, полная ликвидация оружия, способного уничтожить планету как единую экологическую систему.

Ни одна из глобальных проблем не может быть решена изолированно от других. В этом еще одна, но не единственная трудность, с которой сталкивается человечество, столь долго "покоряющее" природу.

Важность сохранения окружающей человека среды стала понятна людям всей планеты только в последние десятилетия. Нужно также подчеркнуть, что эта проблема связана с любой профессиональной деятельностью человека. При современной все более узкой специа-

лизации, глубокой дифференциации теоретических и профессиональных знаний эффективность работы человека — будь то наука, промышленность или сельское хозяйство — в значительной степени определяется его всесторонним экологическим образованием, уважением и любовью к природе.

Не случайно во Всемирной хартии природы, одобренной 37-й сессией Генеральной Ассамблеи ООН в 1982 г., записано: "Природу необходимо уважать и не нарушать основные ее процессы". И дальше: "Знания о природе следует широко распространять всеми возможными средствами ... Следует предпринимать постоянные усилия в целях углубления знаний о природе путем проведения научных исследований и распространять такие знания без каких-либо ограничений".

Химия занимает одно из главных мест в системе научного экологического образования, потому что с превращением веществ, а значит, и с выделением загрязнителей связаны самые различные виды деятельности человека. В то же время чаще всего именно она определяет наиболее оптимальные пути охраны окружающей среды, варианты целевой переработки отходов и их многократного использования в сфере производства и потребления, способы очистки жидких и газообразных выбросов, методы контроля. Вот почему химические знания в этом направлении необходимы всем и каждому.

В этой книге автор стремился к тому, чтобы если не исчерпать все стороны химического аспекта охраны окружающей среды, что просто невозможно, то хотя бы рассмотреть основные, пробудив тем самым читательский интерес. Если это произошло, то задачу можно считать выполненной. Будем надеяться на это, а в заключение немного поговорим о будущем.

Особую озабоченность о сохранении природы для себя и будущих поколений люди начали проявлять в конце 60-х годов. Появилось понимание того, что мир оказался на грани экологического кризиса. Публикации того времени на экологические темы, написанные писателями и учеными разных стран, абсолютно не похожие на бестселлеры, становились ими, в считанные дни исчезали с прилавков магазинов, активно обсуждались самой широкой аудиторией, включая людей, казалось бы весьма далеких от нужд природы и ее проблем.

Такая общепланетарная озабоченность не могла не вызвать ответную реакцию таких же масштабов. 5 июня

1972 г. в Стокгольме состоялась Конференция ООН по проблемам окружающей человека среды. На ней была выработана общая концепция охраны окружающей среды.

Уместно задаться вопросом: что достигнуто за эти годы, улучшилось ли здоровье планеты? Отдалились ли мы, а если да, то насколько, от угрозы экологического кризиса? Ослабилось ли техногенное давление на природу? Произошло ли заметное и необратимое повышение качества окружающей среды? Уменьшилось ли количество газообразных и жидких выбросов в окружающую среду? Сократились ли объемы твердых отходов? При определенных положительных сдвигах общий ответ все-таки будет отрицательным.

Полный анализ причин сложившейся обстановки мог бы составить специальную и очень объемистую книгу. Мы остановимся очень кратко только на одной из причин. Она — в устойчиво сохраняющихся приоритетах экономики над экологией. Последнее в различных формах проявляется практически в любой стране.

Далеко, однако, не просто найти разумные экологические решения, которые удовлетворят всех и с которыми все будут безоговорочно согласны.

Мировое общественное мнение заставило ученых, инженеров, бизнесменов и государственных деятелей обратить самое серьезное внимание на природоохранные проблемы и перестать жалеть средства на "убыточные" экологические мероприятия. Тем более что эти мероприятия обещают в будущем значительную, трудно исчисляемую в долларах или рублях выгоду, а при экономически продуманных, научно обоснованных технологиях эта выгода становится реальностью и сегодняшнего дня. Постепенно экология завоевывает лидерство, а технология, не соответствующая требованиям охраны окружающей среды, становится не только морально осуждаемой, но и невыгодной со всех точек зрения. Вновь обратимся к Всемирной хартии природы: "... деградация природных систем в результате чрезмерного потребления природных ресурсов и злоупотребления ими, а также неспособность установить надлежащий экономический порядок между народами и государствами ведут к разрушению экономических, социальных и политических структур цивилизации".

Для нас важно прежде всего состояние природы Советского Союза, а если иметь в виду громадную терри-

торию нашего государства, его акваторию, многомиллионное население, мощный промышленный потенциал, то вполне очевидно, что экологическая ситуация в СССР не может быть безразличной всему миру.

Загрязнение среды в ряде регионов нашей страны стало принимать опасные масштабы. Над многими крупными городами загрязнение атмосферы существенно превышает допустимый уровень. Состояние водных ресурсов грозит тяжелейшими последствиями для растительного и животного мира. Происходит деградация почв, наносится вред здоровью людей, ставится под вопрос полноценность будущих поколений.

Мы многие годы полагали, что наше общество застраховано от тупиковых экологических ситуаций, пока не увидели, а правильнее сказать, пока не захотели увидеть, что проблема взаимодействия человека и природы не только не миновала нас, но, наоборот, имеет тенденцию к усилению.

Всеобщее огосударствление средств производства централизует экономику в таких масштабах, каких не знало никакое другое общество. И если в этих условиях нет мощного противодействия хозяйственной деятельности, наносящей вред природе, он, этот вред, оказывается максимальным и наиболее разрушительным. Нельзя также не учитывать психологический фактор, когда все созданное человеком и природой воспринимается как всеобщее достояние и в то же время как чужое и одновременно ничье. В таких условиях люди привыкли к тому, что природа никому конкретно не принадлежит и делать с ней можно что угодно. Это и создает психологическую почву для самого жестокого антиприродного поведения.

В нашей стране на проблемы взаимодействия человека с природой в последнее время обращено самое пристальное внимание. Значительная доля проводимых научных исследований приобрела природоохранный характер, любая новая технология испытывается прежде всего на "экологическую прочность". Многие, что еще совсем недавно представлялось вершиной нашего развития, сегодня осуждено в силу именно экологического несовершенства.

В наши дни сформировалось мощное экологическое движение, уверенно заявившее о себе на первых съездах народных депутатов СССР и сессиях Верховного Совета СССР. Вряд ли кто может назвать точную цифру общественных организаций, представляющих движение

"зеленых", охватившее буквально всю нашу страну. Не случайно буквально через день-два после отмены внеочередным III Съездом народных депутатов СССР (март 1990 г.) статей 6 и 7 Конституции СССР и признания многопартийности первыми заявили о себе как об альтернативной партии именно "зеленые".

Затраты на охрану окружающей среды в нашей стране в 1988 г. составили 11 млрд руб., что соответствует примерно 1,7 % от валового национального дохода (630,8 млрд руб.), это на 14 % больше затрат предыдущего года. Однако на "исправление" экологической обстановки в стране требуется гораздо больше средств.

В индустриально развитых странах финансирование мероприятий по охране окружающей среды обычно превышает 5 % от валового национального дохода. Практически все они из года в год увеличивают денежные и интеллектуальные затраты на природоохранные мероприятия, в законодательстве все чаще учитываются интересы природы как интересы всего общества, совершенствуются технологии очистки жидких и газообразных выбросов, переработки твердых отходов, развиваются ресурсосберегающие малоотходные технологии. Мнение экологически мыслящих людей во всем мире стало реальным противовесом хищническому истреблению природы.

Оценивая экологическую ситуацию в нашей стране, нельзя не отметить некоторые положительные сдвиги. Здесь не обойтись без цифр, которые взяты из впервые опубликованного в конце 1989 г. Национального доклада о состоянии природной среды в СССР.

В 1986-1989 гг. ежегодно восстанавливалось в среднем 156 тыс. га земель, тогда как в 1981-1986 гг. - 146 тыс. га. Выброс вредных веществ в атмосферу от стационарных установок в 1986-1988 гг. уменьшился в целом по стране на 6 млн т, или на 10 %, и составил в 1988 г. 62 млн т, за 1985-1988 гг. снизились средние концентрации пыли, сернистого газа, аммиака, хлора, сероводорода в воздухе. К 1988 г. почти на три четверти сокращено использование воды на производственные нужды, в год вводятся сооружения по очистке сточных вод суточной производительностью 5,7 млн м³ (против 5,4 млн м³ в 1981-1985 гг.), мощность оборотно-повторного водоснабжения в 1988 г. достигла

274 км³. Снижены потери при добыче полезных ископаемых и повышена комплексность их использования.

Конечно, сдвиги не столь велики, как хотелось бы, но важна определенно наметившаяся тенденция в сторону экологизации общества.

В нашей стране завершается работа по формированию долгосрочной государственной программы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, разрабатывается соответствующий закон.

Особое внимание обращается на международное сотрудничество — важный фактор обеспечения экологической стабильности. На прошедшем в Москве Глобальном форуме по защите окружающей среды и развитию в целях выживания (январь 1990 г.) с новой силой прозвучал призыв к ученым и общественным деятелям мира объединить усилия для сохранения и спасения планеты. Этих целей способно достичь общество, имеющее не только высокий научно-технический потенциал, но и обладающее высоким уровнем общечеловеческой морали и нравственности.

Всенародная озабоченность в нашей стране состоянием городов и рек, лесов и полей, морей и озер, бескомпромиссное осуждение всего, что наносит вред природе и человеку, несомненны. Успехи науки в разработке малоотходных технологий, способов очистки жидких и газообразных выбросов, методов переработки отходов очевидны. Оптимизм нынче не в моде. И все-таки все перечисленное вселяет надежду на преодоление кризисных ситуаций, избежать которые своевременно мы не сумели, укрепляет веру в то, что после нас Земля останется цветущей и плодоносной, населенной счастливыми и благодарными потомками, живущими в гармонично развивающейся природной среде. Хочется верить, что призыв пророка Иереми: "Я ввел вас в землю плодоносную, чтобы вы питались плодами ее и добром ее, а не вошли и осквернили землю мою и достояние мое сделали мерзостью" — хотя и с опозданием, но будет услышан христианами и магометанами, иудеями и буддистами, атеистами и верующими, людьми всей планеты, имя которой ЗЕМЛЯ.

Рекомендуемая литература

- Алекин О. А., Ляхин Ю. И. Химия океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 343 с.
- Безотходное производство: Экономика, технология, управление / Балацкий О. Ф., Еременко Б. В., Зайцев В. А. и др. М.: ВИНТИ, 1987. Т. 17. 165 с.
- Беспаятов Г. П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л.: Химия, 1985. 528 с.
- Бримблхум П. Состав и химия атмосферы: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 352 с.
- Додматовский Ю. А. Автомобиль за 100 лет. М.: Знание, 1986. 235 с.
- Защита атмосферы от промышленных загрязнений / Гринфилд С., Аткинс П. Р., Геретт Р. В. и др.: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1988. Ч. 1. 760 с.; Ч. 2. 712 с.
- Колварт С., Инглунд Г. М. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1988. Т. 1. 760 с.; Т. 2. 712 с.
- Колбасов О. С. Окружающая среда под охраной закона. М.: Знание, 1989. 64 с.
- Ласкорин Б. Н., Чалов В. И. Безотходное производство в металлургии. М.: Металлургия, 1988. 71 с.
- Моисеев Н. Н. Экология человечества глазами математика. М.: Мол. гвардия, 1988. 254 с. (Эврика).
- Научно-технический прогресс и экономика минеральных ресурсов в промышленном производстве / Под ред. В. А. Мартынова, К. Х. Опенлендера. М.: Экономика, 1987. 264 с.
- Национальный доклад о состоянии природной среды в СССР // Природа и человек. 1989. № 12. С. 6-9, 11-17, 20-23, 26-28.
- Опаловский А. А. На краю периодической системы. М.: Химия, 1985. 224 с.
- Охрана природы: Справочник / Под ред. К. П. Митрюшкина. М.: Агропромиздат, 1987. 269 с.
- Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989. 512 с.
- Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. М.: Высш. шк., 1988. 272 с.
- Фурман Ф. М. Малая химия: Эффективность производства и потребления продукции. М.: Химия, 1989. 136 с.
- Химия окружающей среды: Пер. с англ. / Под ред. Дж. О. М. Бокриса. М.: Химия, 1982. 672 с.
- Цыганков А. П., Сенин В. Н. Циклические процессы в химической технологии. М.: Химия, 1988. 320 с.
- Шпирт М. Я. Безотходная технология: Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986. 255 с.
- Ягодин Г. А., Раков Э. Г., Третьякова Л. Г. Химия и химическая технология в решении глобальных проблем. М.: Химия, 1988. 175 с.

Содержание

Почему "глазами химика"?	3
Ретроспектива и современность	6
От первобытного человека до наших дней	6
Несколько слов о терминологии	11
Демография и экология	13
Три агрегатных состояния планеты	16
Атмосфера — скафандр для Земли	17
Гидросфера —местилище основного элемента Аристотеля	38
Литосфера — твердая оболочка Земли	53
Биосфера — самая молодая и самая динамичная часть Земли	60
Плюс химизация, минус окружающая среда?	66
О вреде опрометчивых поступков	66
Тысячелетия века металлов	69
Эколого-химический портрет энергетики	77
Химия в нехимических производствах	106
Промышленность по превращению вещества	116
Достоинства и недостатки нормирования загрязнений	133
Идеал, к которому стремится человечество	138
Технологию рекомендует природа	138
Отходное — малоотходное — безотходное	140
Безотходная технология: достижения и перспективы	142
Ступени к успеху	155
Воздух, которым мы дышим	156
Вода для людей, заводов и полей	169
Отходы: похвальное слово и дело	180
Неиспользуемые богатства недр	181
Строительные материалы из отходов	186
Металлы из отходов	196
Сырье из бытовых отходов	203
Отходы для очистки отходов	207
Отходы химической промышленности, короткоживущие изделия и вечные материалы	211
Обоснованный оптимизм	217
Рекомендуемая литература	223