

# ХИМИЯ

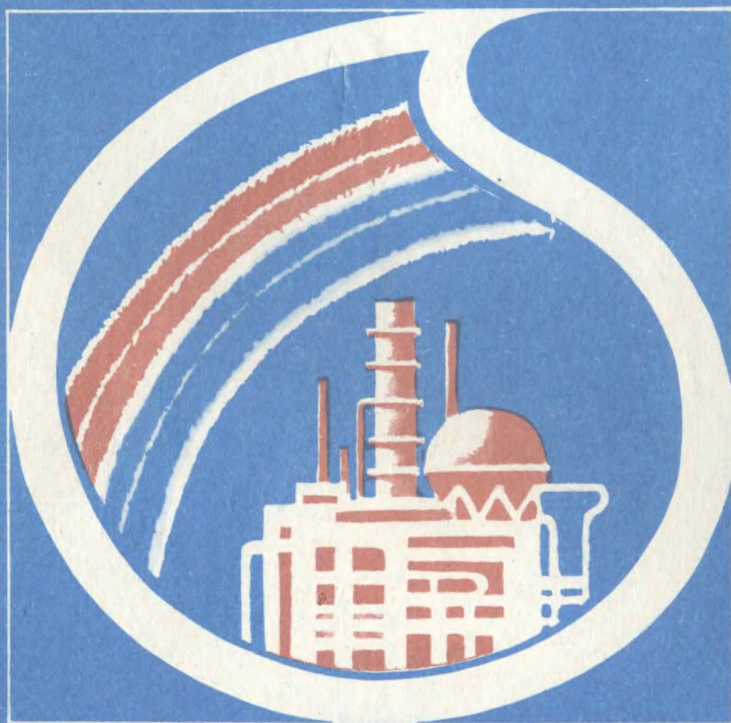
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1984/3

Г.А. Ягодин, Л.Г. Третьякова

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



### ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

# ХИМИЯ

3/1984

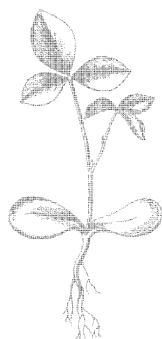
Издается ежемесячно с 1964 г.

Г. А. Ягодин

Л. Г. Третьякова

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Издательство «Звание» Москва 1984



Scan AAW

**ББК 20.1**  
**Я 30**

**ЯГОДИН** Геннадий Алексеевич — доктор химических наук, профессор, член-корреспондент АН СССР, автор более 200 научных работ. Принимает активное участие в работе Всесоюзного общества «Знание».

**ТРЕТЬЯКОВА** Людмила Георгиевна — кандидат химических наук, старший научный сотрудник Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева,

Рецензент: **Виноградов** К. Ф. — член бюро отделения пропаганды химических знаний при Всесоюзном обществе «Знание».

**Ягодина Г. А., Третьякова Л. Г.**

**Я 30** Химическая технология и охрана окружающей среды. — М.: Знание, 1984. — 64 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия»; № 3).  
11 к.

В брошюре освещена роль химии и химической технологии в решении одной из глобальных проблем XX в. — охраны окружающей среды. Показаны возможности химической технологии в разработке принципиально новых безотходных технологических процессов, очистке, обезвреживании и использовании отходов старых промышленных предприятий.

Выпуск рассчитан на лекторов, преподавателей и слушателей народных университетов, читателей, интересующихся проблемой.

1603000000

**ББК 20.1**  
**57 (069)**

© Издательство «Знание», 1984 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В наше время перед человечеством все острее встают так называемые глобальные проблемы, затрагивающие как отдельные страны и регионы, так и мир в целом. Это проблемы войны и мира, обеспечения человечества пищей и энергией, охраны окружающей среды и др.

Глобальные проблемы требуют для своего решения усилий не только отдельных государств, но и усилий, объединенных в международном масштабе. Важная роль в решении глобальных проблем принадлежит науке и технике. Особое место среди них занимают химия и химическая технология. Возможности химии и химической технологии в освоении новых видов энергии, повышении эффективности сельского хозяйства, разработке безотходных технологических процессов, обезвреживании и очистке отходов различных производств беспредельны. Практическое осуществление достижений этих наук ограничивается лишь экономическими, социальными, политическими и другими факторами.

Особенно велика роль химической технологии в решении вопросов охраны окружающей среды. XXVI съезд КПСС уделил большое внимание перестройке индустриального производства на основе создания технологических процессов и схем, не нарушающих экологического равновесия, с тем чтобы антропогенная деятельность стала звеном в естественном кругообороте веществ и энергии в биосфере. Оптимальный вариант такого производства — безотходное производство, главные особенности которого — создание замкнутых циклов веществ и энергии, а также комплексное использование природных ресурсов, исключающее образование каких-либо отходов. Химия и химическая технология — ключевые в решении этих задач, так как именно они способны превратить в ресурсы отходы

не только своих собственных производств, но и других отраслей.

Существенно возрастает роль химии и химической технологии на последнем этапе научно-технической революции, который, по-видимому, станет началом нового периода в развитии земной цивилизации — технологического века. Важнейшими задачами, которые стоят перед народным хозяйством нашей страны и ждут своего решения в ближайшем будущем, являются, как отмечал в речи на июньском (1983 г.) Пленуме ЦК КПСС Ю. В. Андропов, «... внедрение гибкой технологии, позволяющей быстро и эффективно перестраивать производство... широкое применение в промышленности безотходных и энергосберегающих технологий».

Принципиально новые экономически и энергетически выгодные, обеспечивающие гармоническое сосуществование природы и человека технологии уже существуют, однако это только начало большой работы, которая ждет ученых и инженеров нашей страны и всего мира.

## **НЕКОТОРЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

### **Сущность и причины современной экологической ситуации**

Миллионы лет после своего появления на Земле человек поддерживал существование, потребляя готовые, предоставленные ему самой матерью-природой продукты и материалы. Люди были органической частью природы, ее детьми, жили по ее законам, подчинялись ее правилам.

Выращивать новые, неизвестные ранее виды растений и животных человек начал 7—10 тыс. лет назад. Успехи, достигнутые в этих новых видах деятельности, показали способность человека спорить с природой, соперничать с ней. Однако долгое время масштабы деятельности человека были ничтожными по сравнению с природными процессами. Человечество было еще очень малочисленно (8 тыс. лет назад на Земле обитало 5—10 млн. человек — столько, сколько сегодня в одной Москве!), его знание законов природы — примитивно, его технические возможности — крайне ограничены.

Научно-техническая революция XX века стремительно увеличила воздействие человека на природу. Масштабы антропогенной деятельности приблизились к масштабам природных процессов. О, как гордился человек своей мощью, как упивался своим могуществом: «мы не можем ждать милостей от природы...»! Опыяненное успехами научно-технического прогресса, человечество не задумывалось о возможных преградах на своем триумфальном пути покорения природы. Оно привыкло безоглядно пользоваться дарами Земли. Столетиями кладовые ее сокровищ казались неисчерпаемыми, щедрость ее полей, лесов, водоемов — безграничной.

Как долго люди пользовались этой щедростью, слепо веря, что Земля залечит нанесенные ей раны, вырастит уничтоженное, очистит загрязненное! Но пришло время, когда быстро и неудержимо развивающаяся цивилизация неожиданно обнаружила, что уничтожено слишком много, а кое-что испачкано слишком сильно.

Если до начала XX в. деятельность человека на планете носила локальный характер, то уже во второй ее половине она возросла до глобальной. Одним из первых, кто серьезно задумался о происходящих на Земле биологических и геохимических процессах в их взаимосвязанности, был выдающийся советский ученый В. И. Вернадский. Он писал: «Лик планеты — биосфера — химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды.

В результате роста человеческой культуры в XX в. все более резко стали меняться (химически и биологически) прибрежные моря и части океана.

Человек должен теперь принимать все большие и большие меры к тому, чтобы сохранить для будущих поколений никому не принадлежащие морские богатства».

Его слова, сказанные около полувека назад, и сегодня звучат очень актуально и своевременно: «В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление\*.

Исполнительный директор ЮНЕП (программа ООН

---

\* Вернадский В. И. Биосфера (Избранные труды по био-химии). М., Мысль, 1967.

по окружающей среде) доктор М. Толба заявил: «Все организмы вызывают изменения в своем окружении, но только люди обладают достаточной мощью, чтобы стереть с лица Земли все живое, а также уничтожить и само окружение, от которого они зависят». Эту мощь дала человечеству научно-техническая революция, однако развитие научной мысли, оценка изменений, уже произведенных человеком в окружающей среде, оценка будущих изменений остро поставили вопрос о необходимости четкого соотношения антропогенного влияния на природу и ее способности к регенерации.

Иллюзия беспредельного могущества человека и неисчерпаемости природы возникла в значительной степени благодаря огромной пластичности биосферы, ее способности претерпевать глубокие изменения своей структуры при сохранении направления протекания основных природных процессов. «Эта пластичность, — указывается в одном из документов ЮНЕСКО, — дает серьезные козыри в руки человека, так как позволяет ему в широком масштабе преобразовывать биосферу и использовать некоторые ее элементы для своих потребностей. Однако преобразование ограничено известными пределами, зависящими от способа вмешательства и рассматриваемого экологического типа, выход за которые угрожает нарушением динамического равновесия биосферы. На обширных пространствах эти границы уже остались позади, что привело к порче значительной части биосферы, истощению плодородия почв и запасов пресной воды, исчезновению многих видов растений и животных. Человек и человеческое общество являются составной частью биосферы и всецело зависят от ее ресурсов. Охрана биосферы представляет собой жизненно важную задачу человечества».

Приведем несколько примеров, характеризующих масштабы влияния человека на состояние окружающей его среды.

### **Загрязнение атмосферы углекислым газом, пылью, диоксидом серы, тяжелыми металлами**

Известно, что одна из теорий всемирного обледенения объясняла этот грандиозный природный процесс усилением вулканической деятельности, мощным развитием пылевых бурь. Запыление атмосферы уменьшало количество солнеч-

ного тепла, достигавшего поверхности Земли, что и привело к обледенению.

В настоящее время многие ученые озабочены тем обстоятельством, что деятельность человека может вызвать обратный процесс — перегрев земного шара. Связано это опасение с увеличением в атмосфере концентрации углекислого газа.

По имеющимся данным, до 1850 г. концентрация диоксида углерода в атмосфере составляла 265—290 частей на миллион по объему (ч/млн.). В 1978 г. в атмосфере было 330 ч/млн.  $\text{CO}_2$ , а увеличение концентрации за 20 лет составило около 17 ч/млн.

Увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  может повысить температуру низших слоев атмосферы в результате так называемого «тепличного эффекта»:  $\text{CO}_2$  сравнительно хорошо пропускает коротковолновое солнечное излучение, но не пропускает обратно рассеянное поверхностью Земли тепловое излучение. Слой  $\text{CO}_2$  как бы укутывает Землю одеялом, а чем толще одеяло, тем теплее под ним. Это явление таит в себе возможность глобальных климатических изменений.

Пессимистически настроенные исследователи предсказывают в будущем значительное повышение температуры Земли, вызванное «тепличным эффектом». Во всяком случае, Всемирная конференция по климату в 1979 г. предположила, что удвоение концентрации  $\text{CO}_2$  может привести к повышению средней температуры во всем мире на 1,5—3°. Перегрев земной поверхности приведет к интенсивному таянию полярных льдов, что вызовет подъем уровня Мирового океана на 6 м. Человек может устроить всемирный потоп!

Правда, «оптимисты» считают, что в результате неконтролируемого увеличения запыленности атмосферы перегрева не произойдет. Вспомним, что ученые считают причиной охлаждения Земли в ледниковый период усиление деятельности вулканов, выбрасывавших в атмосферу значительное количество пыли. Сейчас человек энергично «помогает» вулканам запылять атмосферу. В результате извержений ежегодно выбрасывается около  $80 \cdot 10^{12}$  г взвешенных частиц, а в результате сжигания ископаемого топлива —  $30 \cdot 10^{12}$  г. Еще  $15 \cdot 10^{12}$  г взвешенных частиц выбрасывают в воздух промышленные предприятия. Количество производимой человеком пыли растет в результате стремительного роста потребления энергии, развития промышленности, быстрого опустынивания территории из-за вырубки

лесов. Запыление атмосферы уменьшает ее прозрачность, изменяет ее отражательную способность. К сожалению, разрабатываемые в настоящее время климатические модели не могут пока дать однозначного ответа, какая из тенденций окажет наибольшее влияние на изменение климата. Трудно предсказать и местные изменения, которые могут быть значительными уже сейчас: ведь источники антропогенного запыления атмосферы сосредоточены в основных индустриальных районах, которые занимают около 1 % поверхности Земли.

Можно упомянуть еще о двух-трех проблемах атмосферы, значительно обострившихся в результате расширения масштабов человеческой деятельности. Одна из них — проблема кислых газов — оксидов азота и сернистого ангидрида. Так, ежегодно на Земле выбрасывается в атмосферу около 150 млн. т диоксида серы. В Советском Союзе, как и во всем мире, наибольшее количество  $\text{SO}_2$  поступает с газовыми выбросами ТЭС — 50 %; цветной металлургии — 15 %; черной металлургии — 9 %; отопления — 9 %; машиностроения — 6 %; в результате трансграничных переносов — 5 %. Для сравнения напомним, что в 1980 г. в СССР было произведено 23 млн. т серной кислоты, что соответствует 15 млн. т  $\text{SO}_2$ . В результате таких гигантских выбросов средняя концентрация  $\text{SO}_2$  в воздухе промышленных городов значительно выше, чем в отдаленных сельских районах и над океаном. Проблема кислых газов усложняется тем, что оксиды серы и азота могут задерживаться в атмосфере до 15 дней. За это время они переносятся ветром на расстояние более 1000 км. Воздушные массы, содержащие пары воды и  $\text{SO}_2$ , охлаждаются, образуя кислые дожди, фактически представляющие собой слабый раствор сернистой и серной кислот. Это явление особенно характерно для Северной Европы и Скандинавских стран, куда из-за особенности розы ветров стекаются воздушные массы, несущие кислоту со всего Европейского континента.

Последние годы характеризуются существенным понижением рН осадков во всем мире. Так, рН дождей в районе Больших Озер (США) изменился от 5,6 в 1955 г. до 4,6 в 1979 г. В связи с этим растет кислотность водоемов — на севере Норвегии озера на площади 13 тыс. км<sup>2</sup> уже остались без рыбы, в озерах на площади 20 тыс. км<sup>2</sup> продуктивность рыбы сильно упала. Таким образом, проблема  $\text{SO}_2$  состоит не только в опасном повышении концентрации

Таблица 1

## Загрязнение окружающей среды металлами (тыс. т/год)

Источники загрязнения	Токсичные металлы				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Цветная металлургия	5,31	21,1	9,6	77,3	116,2
Черная металлургия	0,07	5,9	1,2	50,3	35,0
Сжигание мусора и отходов	1,4	5,3	3,4	8,9	37,0
Всего от антропогенных источников	7,3	32,3	47,4	449,2	314,4

на месте выделения, но и в явлении так называемого «трансграничного переноса». Не случайно, что эта проблема привлекла внимание международной общественности. Она была одним из главных предметов обсуждения на европейском совещании на высоком уровне в рамках Европейской экономической комиссии, созданном в 1979 г. по инициативе СССР.

В последние годы значительно возросли масштабы переработки минеральных ресурсов, что привело к миграции и рассеиванию различных элементов, в том числе тяжелых металлов. Из 77 металлов Периодической системы Д. И. Менделеева уже теперь 52 вовлечены в среду человеческой деятельности, причем не менее 20 из них токсичны и таят серьезную опасность для живых организмов. Масштабы ежегодного загрязнения окружающей среды токсичными металлами можно оценить на основании данных, представленных в табл. 1.

Лишь за последнее десятилетие промышленность и транспорт рассеяли свинца в атмосфере Земли больше, чем за всю ее историю до 1980 г. Все природные источники загрязнения атмосферы металлами (вулканы, лесные пожары и др.) отступают на второй план по сравнению с деятельностью человека: они выбрасывают свинца меньше в 18,3 раза, кадмия — в 8,8 раза, цинка — в 7,2 раза. Выбросы этих металлов всеми вулканами нашей планеты далеко уступают объему, поступающему только от мусоросжигательных печей. Причем антропогенные источники этих вредных металлов, в отличие от природных, сосредото-

точены в наиболее густонаселенных районах. По данным медицинской статистики, это наносит существенный ущерб здоровью населения.

В последние годы в биосферу ежегодно выбрасывается 200 млн. т монооксида углерода (угарного газа), свыше 50 млн. т оксидов азота, более 50 млн. т различных углеводородов, более 250 млн. т мелкодисперсных аэрозолей. Только за счет сжигания угля в различных энергетических установках в окружающую среду поступают некоторые элементы в количествах, значительно превышающих их добычу из природных источников. Так, ртути поступает больше в 8700 раз, мышьяка — в 125 раз, урана — в 60 раз, бериллия — в 10 раз.

На поверхность Земли ежегодно извлекается из недр 350 млн. т железа; 7,4 млн. т фосфора; 5,7 млн. т меди; 2,8 млн. т свинца; 2,5 млн. т бария; 1,5 млн. т хрома; 230 тыс. т урана; 190 тыс. т мышьяка; 79 тыс. т ртути и большое количество ряда других элементов. Кроме того, в биосферу поступило уже 3 млн. химических соединений, никогда не встречавшихся ранее в природе. Ежегодно этот перечень пополняется 1000 новых соединений.

### **Характер загрязнения гидросферы, «вклад» сельского хозяйства, нефть в океане**

Огромную опасность таит в себе загрязнение рек, озер и Мирового океана. Существовавшая ранее практика бесконтрольного сброса отходов в атмосферу, водоемы, отвалы сегодня оборачивается ужасными последствиями. Так, река Рейн (чье название происходит от немецкого слова «чистая») стала сточной канавой Западной Европы — ее воды несут в море ежегодно 24 млн. т вредных отходов промышленных предприятий, минеральных солей, не устраненных очистными станциями, нефтяных продуктов и других отходов.

В США 20 млн. т отходов в виде различных химических веществ ежегодно сбрасывается в озеро Верхнее, а озеро Эри превращено в отстойник сточных вод.

В загрязнение водоемов существенный «вклад» вносит сельское хозяйство. Известно, что 1 т удобрений, внесенных в почву, дает прибавку урожая зерна — 4,3 т, хлопка — 3,9 т, сахарной свеклы — 29 т, картофеля — 26 т. В Японии, где на душу населения приходится всего 0,067 га пахотных земель, внесение больших количеств удобрений является одним из основных факторов, позво-

ляющих прокормить население страны, производить 33 тыс. кал на 1 га обрабатываемой площади — почти втрое больше, чем производят американские фермеры, на 350 % больше, чем в среднем в мире. Внося двойной суперфосфат, институт почвоведения в Индонезии повысил урожай риса на 345 кг/га, а внесение фосфата аммония привело к дальнейшему увеличению урожая до 1232 кг/га.

Количество удобрений, вносимых в почву, непрерывно возрастает, в то время как эффективность их уменьшается. Так, в 1949 г. в США на единицу зерновой продукции было израсходовано в среднем около 11 тыс. т азотных удобрений, а в 1968 г. потребовалось уже 57 тыс. т удобрений, т. е. эффективность воздействия азота на развитие зерновых уменьшилась в 6 раз. Значительная часть удобрений не усваивается растениями, смывается дождями, талыми потоками, сбегает в реки, водохранилища. В последних на обильном питании бурно размножаются водоросли, в особенности коротко живущие синезеленые. При их разложении выделяется большое количество сероводорода, отравляющего водоемы.

В результате загрязнения водоемов особенно тяжелый ущерб наносится рыбному хозяйству. Сброс неочищенных сточных и загрязненных удобрениями вод приводит к уничтожению мест нереста, нагула промысловых рыб и их кормовых баз.

Чрезвычайно тревожны результаты загрязнения водоемов химическими веществами, используемыми для борьбы с вредителями сельского хозяйства. Успехи химии на рубеже XIX и XX веков дали в руки ученых множество способов создания различных, теоретически возможных молекулярных структур. Подобно стихам, некоторые новые молекулы были продуктом радостного процесса созидания. Этот процесс представлял собой, быть может, одну из самых ярких вспышек творческой деятельности человечества. К сожалению, многие из этих новых молекул чужеродны природе и влияние их на жизнедеятельность живых организмов до сих пор неясно. Применение пестицидов, в частности ДДТ, который был синтезирован в 1873 г. и лежал на полке в одной из химических лабораторий Швейцарии до 1939 г., принесло несомненную пользу человечеству. ДДТ мы обязаны победами над малярией, широкое применение ДДТ на Цейлоне за один год снизило смертность людей на 34 %. Однако быстро обнаружились и

вредные последствия его применения — уничтожение полезных насекомых и птиц, появление устойчивых популяций вредителей. Так, в 1964 г. ученые обнаружили по меньшей мере 140 видов насекомых, устойчивых к инсектицидам, 80 из которых являлись переносчиками болезней. Кроме того, пестициды накапливаются в опасных количествах в биосфере. В семидесятых годах на Земле скопилось около 1 млн. т инсектицидов типа ДДТ, способных накапливаться по цепочке «планктон водоемов — рыба — птица». В телах птиц, погибших в результате отравления инсектицидами, концентрация этих веществ в 100 тыс. раз превышала уровень, созданный при распылении над водоемами. Обнаружены инсектициды в количестве более 10 мг/л в жире 12 из 38 видов морских рыб, а следовые количества (мкг/л) ДДТ были найдены в жировых тканях тюленей и пингвинов в Антарктиде.

Б. Коммонер отмечает, что «новые виды инсектицидов становятся все менее эффективными, поскольку у насекомых вредителей вырабатывается иммунитет... Азотные удобрения и синтетические пестициды подобны наркотикам: чем больше их используют, тем в больших дозах они требуются».

Глубокую озабоченность вызывает загрязнение Мирового океана. Помимо загрязнений промышленными стоками неисчислимые беды приносят ему аварии крупных нефтяных танкеров. Грузоподъемность их непрерывно растет, и авария каждого из таких гигантов обращается бедствием для громадных территорий: загрязняются пляжи, гибнут рыбы, птицы, ракообразные, планктоны. Даже одна капля нефти покрывает обширные площади и затрудняет обмен между поверхностью океана и атмосферой. А сколько миллиардов таких капель выплеснуто человеком в океан, если Тур Хейердал сорок дней плыл на «Озирисе» по атлантическим водам, сплошь покрытым нефтяными отходами!

### **Отходы производства на суше: основные источники, проблемы переработки**

Масштабы разрушительной деятельности человека на суше ничуть не уступают приведенным выше данным о загрязнении воздуха и воды. Современная промышленность Земли потребляет ежегодно около 100 млрд. т минерального сырья.

Одной из отраслей, существенно загрязняющей атмосферу, гидросферу и поверхность Земли многочисленными отходами, является черная металлургия. Современный металлургический завод на каждый миллион тонн стали выделяет в окружающую среду: пыли — 100 тыс. т,  $\text{CO}_2$  — 30 тыс. т,  $\text{SO}_2$  — 8 тыс. т,  $\text{NO}_x$  — 3 тыс. т,  $\text{H}_2\text{S}$  — 1 тыс. т,  $\text{HCN}$  — 50 т,  $\text{HCl}$  — 40 т, шламов — 30 тыс. т, шлаков — 800 тыс. т.

Отходы в черной металлургии начинают образовываться уже на стадии горных и горно-обогатительных работ. Это особенно относится к современным, наиболее распространенным способам открытой добычи железных руд, которые уродуют ландшафт, ухудшают состояние воздушной среды, уничтожают плодородный слой земли, создают отвалы попутных пород.

Специфические проблемы ставит перед экологией промышленность синтетических материалов. Искусственные полимеры значительно расширили ассортимент конструкционных, отделочных, упаковочных, медицинских и других материалов. Однако следует обратить внимание на то обстоятельство, что для всех полимеров, синтезируемых живыми организмами, существуют ферменты, обладающие способностью их разлагать. Структуры нейлона и подобных ему синтетических полимеров созданы человеком и не встречаются в живых организмах. Следовательно, в отличие от природных полимеров, синтетические полимеры не имеют своего «двойника» в армии разлагающих ферментов. Биологически синтетические полимеры уничтожить нельзя. Любой кусочек синтетического материала, произведенного на Земле, можно убрать с ее поверхности сжигая и увеличивая загрязнение воздуха, иначе они будут накапливаться в виде огромных гор мусора. А ведь производство синтетических материалов — отрасль химической промышленности, развивающаяся наиболее быстрыми темпами!

Можно назвать еще множество экологических проблем, таких, как проблема синтетических моющих средств — детергентов и других, ждущих своего рационального решения.

### **Определяющая роль науки и техники в ликвидации негативных последствий антропогенной деятельности**

Очевидно, что рост населения, удовлетворение его растущих потребностей требует все более интенсивного развития

промышленности и сельского хозяйства, что будет все в большей степени нарушать естественное равновесие. Приведенный, далеко не исчерпывающий список нарушений этого равновесия показывает всю серьезность и неотложность возникающих проблем. Что же делать? Остановить прогресс?

Как ни странно, такое решение не кажется абсурдным определенному числу крайне пессимистически настроенных ученых. Они предлагают затормозить развитие цивилизации, уменьшить промышленное производство, закрыть часть заводов и фабрик, сократить объем потребления. Одним словом, вернуться назад — к первоначальному безвредному натуральному хозяйству.

Однако остановить научно-технический прогресс нельзя. На Земле ежегодно умирает от голода 30—40 млн. человек. Экономически отсталые народы, не располагая средствами для охраны окружающей природы, не могут в то же время ради ее сохранения отказаться от индустриального роста и получения продуктов питания любыми способами, отдаляющими сегодняшний голод, а современная цивилизация не располагает другими способами достижения материального прогресса кроме развития науки и техники.

«Алармисты» твердят, что все беды окружающей среды есть следствие и даже обратная сторона технического прогресса, что за каждую новую выгоду, полученную от применения техники, природа и человек должны заплатить высокую и часто неоправданную цену.

Однако дело вовсе не в научно-техническом прогрессе, а в социальной организации жизнедеятельности людей. Причина экологического кризиса не в бурном развитии науки и техники, а, напротив, в несовершенстве технологии, складывавшейся в условиях полного пренебрежения к вопросам взаимодействия с окружающей средой, в «экологической отсталости» существующего производства, возникшего и большую часть времени функционировавшего в условиях капиталистического общества с его погоней за прибылью и сверхприбылью.

Напротив, развитие производительных сил в условиях научно-технической революции создает огромные возможности для охраны и рационального использования богатств природы. Общество, способное на деле реализовать достижения науки и техники во всех сферах производства, способное вести хозяйство на плановой, научной основе, имею-

щее возможность тратить определенные, часто значительные суммы на перестройку старого производства и создание новых технологий, отвечающих требованиям современной экологической обстановки, безусловно может решить все проблемы окружающей среды, обеспечить гармоничное существование природы и человека.

Идея о построении общества в условиях полной гармонии между человеком и природой впервые была развита в трудах знаменитого советского ученого, основателя многих современных наук (геохимии, радиохимии и др.) — академика В. И. Вернадского, который показал, что в будущем средой обитания человечества будет так называемая ноосфера, где производство и потребление будут организованы разумно и рационально на основе полной гармонии между обществом и природой. «Ноо» — по гречески разум, т. е. ноосфера — сфера обитания человечества, построенная по законам разума.

Анализ существующей ситуации, расчеты и прогнозы на будущее убедительно показывают, что построение ноосферы невозможно без активного использования достижений науки и техники, в частности химической технологии.

Д. И. Менделеев писал, что в химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье. Можно смело утверждать, что отходы одних отраслей являются потенциальными ресурсами для других. В связи с этим химия и химическая технология являются ключевыми в решении таких коренных проблем охраны природы, как комплексное использование сырья и утилизация отходов. При этом решаются две основные задачи — экономия первичных материалов и уменьшение загрязнения природы.

Эти задачи решаются в двух направлениях: уменьшаются вредные выбросы на старых действующих предприятиях путем замены устаревших процессов и улучшения контроля и санитарной очистки выбросов, а также создаются и внедряются новые — мало- и безотходные технологии.

Учение о безотходном производстве, безотходной технологии является развитием идей В. И. Вернадского о ноосфере. В разработке концепции безотходного производства активно участвуют видные советские ученые академики И. В. Петрянов-Соколов, Н. Н. Семенов, Б. Н. Ласкорин. Ныне термин «безотходная технология» приобрел широкое распространение как у нас, так и за рубежом.

Концепция безотходной технологии в некоторой степени носит условный характер. В точном смысле слова — это идеальная модель производства, в котором полностью отсутствуют какие-либо отходы. Отсюда другое понятие — «малоотходная технология». По мере развития и совершенствования технологических процессов мы все более и более будем приближаться к идеальной безотходной технологии.

И за рубежом, и в СССР многие не верят в возможность осуществления безотходной технологии. Однако анализ положения и перспектив развития главнейших отраслей индустрии показывает большие возможности внедрения безотходных, или, как их еще называют, замкнутых процессов.

Безотходные, малоотходные технологии и замкнутые материальные циклы являются стратегическим направлением в решении проблем окружающей среды, установлении полной гармонии в системе «общество — природа».

Уже в 1976 г. на международном симпозиуме по теоретическим и технико-экономическим вопросам безотходной технологии в Дрездене было показано, что практически во всех отраслях промышленности имеются предприятия, на которых есть примеры безотходных производств.

К настоящему времени выкристаллизовались четыре основных направления, в целом составляющих то, что входит в понятие безотходной технологии:

- разработка и внедрение различных бессточных технологических схем и водооборотных циклов на базе эффективных методов очистки;

- широкое использование отходов в качестве вторичного сырья;

- разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов, исключающих любые виды отходов;

- создание территориально-промышленных комплексов, т. е. экономических районов, в которых реализована замкнутая структура материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

## **ПРОБЛЕМА № 1 — ЧИСТЫЙ ВОЗДУХ**

Чтобы оценить грандиозность задачи, поставленной перед химической технологией в деле переработки отходов, рассмотрим данные о количественном и качественном составе

отходов тех отраслей промышленности, которые наиболее сильно загрязняют окружающую среду: тепловой энергетикой, черной и цветной металлургии, химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Наибольшее количество диоксида серы выбрасывают в окружающую среду энергетические установки, предприятия цветной и черной металлургии; оксидов азота — ТЭС, черная металлургия; угарного газа — черная и цветная металлургия, угольная промышленность.

Возможности и проблемы современной химической технологии в утилизации отходов можно продемонстрировать следующим примером. В отходящих газах предприятий черной металлургии и заводов по производству минеральных удобрений содержится примерно одинаковое количество оксидов азота, однако последние обезвреживают более 80 %  $\text{NO}_x$ , а предприятия черной металлургии — только 0,4 %. Еще хуже обстоит дело с дымовыми газами ТЭС, очистка которых от диоксида серы и оксидов азота практически не осуществляется, в то время как на предприятиях цветной металлургии утилизируется до 44 %  $\text{SO}_2$ .

### **Технологические приемы очистки газовых выбросов от оксидов серы и азота**

Для химика проблемы очистки газовой смеси от диоксида серы не существует. Эта простая химическая реакция хорошо известна любому школьнику. Вопрос в том, чтобы создать экономически выгодные способы концентрирования и поглощения диоксида серы из огромных по масштабам потоков отходящих газов различных производств с последующей их утилизацией в виде необходимых для народного хозяйства кислот или элементарной серы. Трудности в решении проблемы усиливает разнохарактерность газовых выбросов. Эффективность очистки зависит от множества факторов:

- парциальных давлений диоксида серы и кислорода в очищаемой газовой смеси;

- температуры отходящих газов;

- наличия и характера твердых и газообразных сопутствующих компонентов;

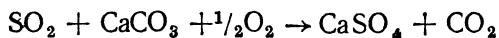
- объема очищаемых газов;

- наличия в близлежащих районах доступного хемосорбента;

потребности в тех или иных продуктах утилизации  $\text{SO}_2$ ; требуемой степени очистки газа.

В нашей стране рекомендовано для промышленного использования несколько технологических схем процессов очистки отходящих газов от диоксида серы.

Известняковый процесс основан на использовании суспензии природного известняка, отличается простотой схемы, малыми капитальными затратами, доступностью и дешевой хемосорбента.



Существенным преимуществом является возможность очистки газа без предварительного охлаждения и обеспыливания. Однако этот процесс не циклический, и его применение ограничено потребностью в гипсе и образованием большого количества неиспользуемого шлама. Применяется для очистки небольших по объему газовых выбросов с низким содержанием  $\text{SO}_2$ .

Циклический магnezитовый метод обладает рядом несомненных достоинств: высокая реакционная способность сорбента, позволяющая очищать газы с небольшим содержанием  $\text{SO}_2$ ; возможность очистки больших объемов неохлажденных газов (в качестве продукта утилизации получается серная кислота или сера).

Разработаны варианты процессов, основанных на применении растворов солей натрия, калия или аммония и позволяющих очищать большие объемы газовых смесей без предварительного охлаждения, практически с любым низким содержанием  $\text{SO}_2$ . Это существенно облегчает эксплуатацию газоочистных установок и повышает надежность их работы.

Рассмотренные технологические схемы являются примером использования абсорбционных процессов, общих и наиболее перспективных для очистки газовых выбросов с различными характеристиками. Разумеется, в зависимости от конкретных условий можно использовать и другие методы, а также сочетания различных методов и схем.

Можно считать, что теоретически вопрос об очистке от кислых примесей отходящих газов химической промышленности, черной и цветной металлургии в принципе решен. Дело за практической реализацией разработанной технологии.

## Решение проблемы очистки дымовых газов ТЭС

Гораздо сложнее проблема снижения выбросов диоксида серы тепловыми электростанциями. Описанные выше абсорбционные методы могут применяться и в этом случае. Так, они используются для очистки отходящих газов на Северодонецкой и Дорогобужской ГРЭС, однако проблема пока далека от решения, так как стоимость создания установок еще очень высока, к тому же они потребляют большое количество энергии.

В Москве содержание  $\text{SO}_2$  в воздухе регулируется путем замены одного вида топлива другим в зависимости от экологической обстановки в данном районе. Теплоэлектростанция мощностью 1 млн. кВт при работе на каменном угле выбрасывает 11 тыс. т  $\text{SO}_2$  в год, на газе—20 т  $\text{SO}_2$  в газовых выбросах. Варьируя виды топлива, можно легко добиться нужной величины предельно допустимого выброса.

Одним из вариантов решения проблемы диоксида серы в выбросах ТЭС является очистка топлива от серы до сжигания.

В настоящее время в промышленном масштабе создана технология очистки от серы нефтепродуктов. Снижение содержания серы на 0,5 % обходится при этом в 3 руб. на 1 т. Очистка дымовых газов электростанций обходится сейчас в 20—40 руб. на 1 кВт в год. Разработка прогрессивной технологии (например, с использованием микробиологических методов), значительно снижающей затраты на очистку жидкого и твердого топлива от серы, способствовало бы решению одной из основных экологических проблем.

Очистка отходящих газов от оксидов азота на предприятиях химической промышленности производится более чем на 80 %. Она основана на их превращении в азот на различных катализаторах. Установки такого типа работают на всех предприятиях химической промышленности, оборудованных современными агрегатами получения азотной кислоты.

Отходящие газы производств азотной кислоты после абсорбционных колонн содержат 0,05 — 0,2 % (об.) оксидов азота. Восстановление природным газом, водородом, оксидом углерода или аммиаком снижает их содержание в очищенном газе до 0,001—0,005 % (об.), что обеспечивает санитарные нормы, принятые в СССР. Кстати, эти нормы в 10 раз ниже установленных в США

(0,03 % об.), Франции (0,05 % об.), Японии (0,03 % об.), Великобритании (0,01 % об.).

На ряде существующих производств азотной кислоты под давлением, а также в разработке и проектировании крупного агрегата мощностью 400—440 тыс. т/год применен метод восстановительной очистки на палладиевом катализаторе. Тепло реакции используется для получения пара. Данный метод очистки органически связан с технологией производства, и затраты на него минимальные. Недостатком метода является безвозвратная потеря оксидов азота.

Интересным способом очистки является адсорбционно-десорбционный метод. В качестве сорбентов используются силикагель или кислотостойкие цеолиты. Остаточная концентрация оксидов азота составляет в этом случае 0,001 % (об.).

К сожалению, дымовые газы ТЭС являются источником загрязнения атмосферы не только оксидами азота и серы, но и другими вредными веществами. Один из таких продуктов сгорания углеродистого топлива — ртуть. Угли различных месторождений содержат от 50 до 500 мг ртути на 1 т. Современная ТЭС средней мощности (1 млн. кВт) сжигает за сутки около 1000 т угля, выбрасывая при этом до 1 кг ртути.

Довольно велика, как ни странно это выглядит на первый взгляд, ответственность ТЭС за загрязнение биосферы радиоактивными веществами. Зола ТЭС, в том числе и летучая ее часть, содержит все изотопы урано-радиевого и ториевого семейства. Исследование воздуха в районе угольной ТЭС в Ундеус-Крик (США) показали присутствие в нем с подветренной стороны всех долгоживущих элементов указанного семейства.

Мы рассмотрели вопросы очистки газовых выбросов в первую очередь потому, что решение проблемы чистого воздуха имеет наиболее всеобщий и неотложный характер. Загрязнение атмосферы очень трудно локализовать. Перемещение воздушных масс не поддается влиянию человека, его трудно предвидеть и невозможно изменить. То, что происходит в одной стране, влияет на состояние атмосферы других стран. Уже сейчас Соединенным Штатам не хватает «собственного» кислорода, и жизнь этой огромной индустриальной страны поддерживается за счет кислорода Мексики и Бразилии.

Не говоря о том, что загрязнение воздуха наносит непосредственный вред здоровью людей, оно наносит

ущерб сельскому и лесному хозяйству, строениям, произведениям архитектуры и искусства. Экономический ущерб, определяемый результатом вредных последствий загрязнения атмосферы, для развитых стран в среднем составляет от 10 до 100 долларов на одного человека.

Активная борьба за сохранение природы и улучшение окружающей среды в последнее десятилетие привела к некоторым успехам в снижении выбросов в атмосферу токсичных веществ. Проведенное в 1977 г. обследование 76 крупнейших городов мира показало, что содержание  $\text{SO}_2$  в воздухе в 56 из них снизилось, в 14 осталось неизменным и только в 6 возросло.

## **ПРОБЛЕМА № 2 — ЧИСТАЯ ВОДА**

Расход чистой воды на Земле составляет 40 % ресурсов устойчивой части речных стоков. При сохранении существующих темпов загрязнения водных бассейнов и предполагаемого роста водопотребления к концу нынешнего века все мировые ресурсы чистых пресных вод могут оказаться исчерпанными. Вода, покрывающая 70 % поверхности Земли, становится одним из дефицитных природных продуктов. Главная причина истощения водных ресурсов — сброс неочищенных промышленных и сельскохозяйственных стоков в общие источники чистой воды. Сброс делает непригодным к потреблению в тысячи раз большее количество воды, чем безвозвратное промышленное потребление.

Многие крупные города, в том числе Вена, до сих пор сбрасывают в Дунай неочищенные бытовые стоки. Значительная часть бытовых стоков Парижа поступает в Сену. Загрязнение рек нельзя охарактеризовать более мягким словом, чем чудовищное. Вода рек промышленно развитых стран Запада не пригодна не только для питья, но и для купания.

Современный уровень техники и технологии очистки сточных вод обеспечивает получение воды практически любой степени чистоты. Следовательно, загрязнение водоемов происходит по причинам экономического, а не технического характера. Необходимо довести затраты на регенерацию сточных вод до уровня, не превышающего затрат на сооружение водозабора, транспортировку воды, водоподготовку и очистку стоков перед сбросом в водоемы.

К сожалению, до сих пор чистая вода рассматривалась как природный дар, не имеющий цены. В настоящее время

во многих экономически развитых странах установлена цена на воду из природных источников. Это, несомненно, будет способствовать внедрению системы оборотного водоснабжения.

### **Водооборотный цикл — наиболее рациональный способ защиты водоемов**

Стоимость очистки сточных вод до ПДК \* даже после значительного разбавления весьма велика. Если принять стоимость 90 %-ной степени очистки за единицу, то очистка на 99,9 %, которая чаще всего и требуется, будет в 100 раз дороже. Стоимость водоочистных сооружений одной из ТЭС в США, мощностью 2,25 млн. кВт, потребляющей 24 тыс. т угля в сутки, составляет треть общей стоимости ТЭС (200 млн. долл.). Поэтому частичная очистка сточных вод, достаточная для их повторного использования в производстве, во многих случаях оказывается дешевле их полной очистки до санитарных норм. В экологическом отношении водооборот также значительно более эффективен, чем прямоточная система водоснабжения.

Чем меньше свежей воды потребляет предприятие на 1 т сырья или продукта, тем экологически совершеннее его система водоснабжения.

Наиболее рационально в нашей стране организовано использование воды в нефтехимической промышленности, в то время как пищевая, легкая промышленность, тепло-

Таблица 2

#### **Кратность использования воды в некоторых отраслях промышленности СССР**

Отрасль	Кратность использования воды $n = \Sigma v_i / v_0^*$
Нефтехимическая	6,96
Химическая	4,77
Черная металлургия	4,66
Пищевая	3,07
Теплоэнергетика	2,24
Легкая промышленность	1,25

\*  $v_i$  — общий объем воды, потребляемый предприятиями;  
 $v_0$  — потребление свежей воды в тех же единицах.

\* ПДК — предельно допустимая концентрация.

энергетика недостаточно ответственно относится к использованию водных ресурсов (табл. 2).

Внимание к вопросам использования чистой воды в мире быстро растет.

И в нашей стране и в других странах мира разрабатываются эффективные очистные сооружения, обеспечивающие многократное использование воды в производстве. Некоторые зарубежные фирмы применяют специальные системы экономического стимулирования мероприятий, направленных на совершенствование существующих и разработку новых, экологически безопасных технологических процессов, способствующих решению проблемы чистой воды. Многие химические корпорации устанавливают высокие премии за такую работу. Так, в результате выполнения программы по экологическому совершенствованию действующих производств фирмы «ЭМ», проходившей под девизом «Предотвращение загрязнений оплачивается», сотрудники фирмы разработали 19 проектов, что позволило предотвратить выброс в окружающую среду около 70 тыс. т вредных веществ и на 1,9 млн. м<sup>3</sup> уменьшить объем сточных вод. Общая экономия от внедрения новых процессов составила 11 млн. долл.

Создание экономически рациональных замкнутых систем водного хозяйства является весьма трудной технологической задачей. Сложный физико-химический состав сточных вод, разнообразие примесей, их взаимодействие друг с другом делают невозможным подбор универсальной схемы.

При создании водооборотной системы прежде всего необходимо определить требования к качеству воды, используемой в технологических процессах. Очень часто оказывается, что возможно многократное использование воды без очистки или с частичной очисткой, в зависимости от требований к качеству воды для различных технологических операций. Существует множество методов оценки загрязнения водоемов, из которых наиболее точным является биотестирование, так как с помощью химических методов невозможно оценить биологический эффект от взаимодействия попавших в воду веществ. Тест-объектами для определения токсичности сточных вод служат чаще всего дафнии или циклопы при анализе пресных вод и артемии — для морской воды. Широко используются различные рыбы.

В США биотестирование рассматривается как основной показатель токсичности промышленных стоков и основание для санкций к предприятиям, загрязняющим водоемы.

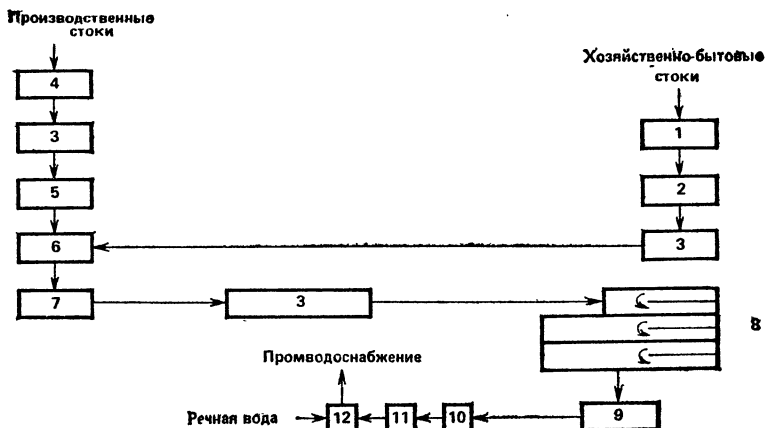


Схема подготовки сточных вод к повторному использованию в системе промышленного водоснабжения:

1 — решетки-дробилки; 2 — песколовки; 3 — отстойники; 4 — приемная камера; 5 — усреднитель; 6 — смеситель; 7 — аэротенки; 8 — биологические пруды; 9 — микрофилтры; 10 — контактные резервуары; 11 — насосная система

В ряде случаев экономически эффективнее оказывается создание замкнутого водного хозяйства не отдельного предприятия кислот и оснований, а крупного комплекса или района.

### **Очистка сточных вод дистилляцией, электродиализом, методом обратного осмоса**

Легче всего удалить из сточных вод органические вещества, труднее — соли. На 9 тысячах действующих в Советском Союзе крупных очистных комплексах из сточных вод извлекается 90 % органических соединений, 20 — 40 % — неорганических, а содержание солей практически не снижается.

Существует несколько методов удаления солей. Наиболее хорошо освоенным и широко применяемым методом является дистилляция. Самые мощные из имеющихся установок такого типа очищают 15—36 тыс. м<sup>3</sup> воды в сутки. Главный их недостаток — большой расход топлива, так как даже лучшие из них тратят на 1 т чистой воды не менее 60—70 кВт·ч электроэнергии.

Тем не менее в Гонконге и Кувейте построены дистилляционные установки большой мощности (180 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

В СССР (г. Шевченко) работает установка производительностью 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут и проектируется установка до 1 млн. м<sup>3</sup>/сут. Себестоимость воды составляет 19—22 коп. за кубометр.

Использование в южных областях для опреснения соленых вод солнечной энергии сдерживается небольшой мощностью установок (20 м<sup>3</sup>/сут) и высокими капитальными затратами.

Определенные технологические, экономические и энергетические преимущества имеет способ вымораживания: не надо проводить предварительную подготовку воды, бороться с накипью; можно использовать дешевые конструкционные материалы. Однако процесс отличается значительной сложностью аппаратного оформления, контроля и эксплуатации по сравнению с другими способами.

Электродиализ основан на направленном переносе ионов диссоциированных солей в поле постоянного тока через селективные мембраны из естественных или синтетических материалов.

При прохождении электрического тока через пакет мембран катионы перемещаются к катоду, анионы — к аноду. Поскольку у катионообменных мембран пропускают только катионы, а анионообменные — только анионы, камеры поочередно обогащаются и обедняются электролитом. В результате исходный раствор электролита удастся разделить на два потока — обессоленный и концентрированный. Метод позволяет разделять не только стоки на чистую воду и концентрированный раствор солей, но и растворы солей можно превратить в кислоты, щелочи и другие составляющие.

Обратный осмос — разделение водных растворов путем фильтрования через полупроницаемые мембраны под давлением — значительно эффективнее электродиализа. Метод имеет и другие существенные преимущества: малые энергозатраты, простота изготовления, монтажа и эксплуатации установок, малые их габариты и др.

За рубежом освоено серийное производство опреснительных установок производительностью до 1 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В 1980 г. методом обратного осмоса в мире обессоливалось 3 млн. м<sup>3</sup> воды в сутки. В нашей стране созданы необходимые условия для широкого внедрения установок обратного осмоса для опреснения соленых вод: налажено производство полупроницаемых плоских мембран, разработана технология гиперфильтрационных полых волокон, раз-

работаны схемы и конструкции опреснительных установок.

Мембранные методы обессоливания значительно эффективнее дистилляции, так как удельные капиталовложения для них в 1,75—2,3 раза меньше, а стоимость воды в 2—2,5 раза ниже. Расход электроэнергии при опреснении вод со степенью минерализации 5 г/л для дистилляции — 60—150 кВт·ч/м<sup>3</sup>; для электролиза — 2—2,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>, обратного осмоса — 1,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Во всех странах мира для обессоливания воды используются иониты. Эти методы остаются основными для приготовления глубокообессоленной воды для ТЭС и АЭС с паровыми котлами высокого, сверхвысокого и критического давления, а также для получения ультрачистой воды для химической, электронной и некоторых других отраслей промышленности.

Основным недостатком общепринятых технологических схем ионообменной очистки является то, что к извлекаемым из очищаемой воды солям прибавляется большое количество солей, образующихся в процессе регенерации ионообменных смол. Кроме того, эти схемы тратят 20—60 % получаемой чистой воды на собственные нужды и требуют тщательной предварительной очистки от органических веществ, необратимо сорбирующихся на смолах и снижающих их обменную емкость.

Поэтому в будущем этот метод будет широко использоваться для извлечения редких металлов и получения глубокообессоленной воды, а не для охраны источников от засоления.

Ни один из рассмотренных методов не является универсальным. Дистилляционное опреснение наиболее целесообразно для сильно минерализованных вод (~10 г/л) на установках, перерабатывающих десятки тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Электролиз и обратный осмос позволяют получать воду относительно низкой стоимости на установках малой и средней (до нескольких тысяч кубических метров в сутки) производительности. Наилучшие результаты достигаются при комбинации методов.

### **Утилизация рассолов и рапы, накапливающихся в системах замкнутого водоснабжения**

Все обессоливающие растворы наряду с очищенной водой дают значительное количество концентрированных растворов солей, рассолов и рапы. Их необходимо перерабатывать, с тем чтобы в дальнейшем получить твердые соли,

которые можно либо использовать, либо безопасно захоронить.

В последнее время в США и Японии построены полупромышленные установки электродиализа для сильно минерализованных сточных вод, которые позволяют получать выделяемые соли в виде товарных продуктов. Внедрение в промышленность биполярных мембран позволяет получать из солей кислоты и щелочи, что является кардинальным решением вопросов утилизации рассолов, получаемых на ионообменных установках.

Решение этой проблемы чрезвычайно важно для успешного внедрения систем замкнутого водоснабжения на промышленных предприятиях, так как накопление солей в любой системе замкнутого водоснабжения неизбежно, и чем больше таких систем будет функционировать, тем острее становится проблема переработки рассолов и рапы.

В нефтеперерабатывающей промышленности нашей страны шесть заводов в маловодных районах работают без сброса сточных вод в водоемы. Сточные воды, содержащие органические соединения, после механической и биологической очистки полностью используются в замкнутом цикле. При этом улучшается качество оборотной воды, существенно уменьшается степень коррозии аппаратов и трубопроводов, образование накипи. Экономический эффект от внедрения такой системы для завода производительностью 12 млн. т нефти в год составляет 147 тыс. руб., при этом эксплуатационные расходы снижаются на 25 %. А высококонцентрированные солевые растворы направляются либо на поля испарения, либо закачиваются в пласты на нефтепромыслах для поддержания пластового давления.

Создание замкнутых систем водного хозяйства — единственный путь рационального использования запасов пресной воды и защиты водоемов от загрязнений сточными водами. В СССР создание водооборотных систем является генеральным направлением в одиннадцатой и последующих пятилетках.

Внимание всех стран мира к вопросам охраны гидросферы в последние годы существенно возросло. По инициативе ООН десятилетие 1981—1990 гг. объявлено десятилетием питьевой воды.

Средний уровень использования воды из систем оборотного и повторного водоснабжения на предприятиях Миннефтехимпрома СССР достиг 91 %, Мингазпрома — 89 %, Минудобрений и Минсельхозмаша — 88 %, Минчермета

СССР — 84 % общей потребности этих предприятий в воде на производственные нужды. Только за последние 2 года объем оборотной и повторно используемой воды в стране вырос на 19 км<sup>3</sup> в год.

Экологическую эффективность оборотного водоснабжения демонстрирует прогноз развития системы водоснабжения США до 2000 г., составленный на основании данных по 10 тыс. заводов, потребляющих 98 % всей воды, идущей на промышленные нужды. По опубликованным данным, внедрение замкнутого водоснабжения снижает расход свежей воды на две трети при увеличении общего водопотребления в два раза. Сброс сточных вод предприятиями химической промышленности США уменьшится к 2000 г. в 10 раз по сравнению с уровнем 1975 г.

### **ПРОБЛЕМА № 3 — ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ**

Чтобы удовлетворить ежегодные потребности каждого живущего на Земле человека в пище, одежде, жилье, обеспечить его культурные и эстетические запросы, используется не менее 20 т различного природного сырья в год. Добыча полезных ископаемых во всем мире удваивается каждые 15 лет, в СССР — каждые 10 лет. Если учесть, что прямой выход в технологической цепи «сырье — целевой продукт» редко превышает 10 %, т. е. из тонны руды получается 100 кг полезного и 900 кг «бесполезного» продукта, становится ясно, каким огромным количеством промышленных отходов сопровождается удовлетворение растущих потребностей населения Земли.

Следует учесть и то обстоятельство, что после использования часть готовой продукции также переходит в отходы. Количество бытовых отходов в расчете на одного жителя стремительно растет и составляло в 1980 г. в Австрии — 270 кг, в СССР — 240 кг, в ФРГ — 234 кг.

#### **Не «отходы», а «продукция незавершенного производства»**

К сожалению, повсеместно распространено отношение к отходам, как к чему-то бросовому, ненужному, тогда как отходы в большинстве случаев являются неиспользованным или недоиспользованным сырьем. В связи с этим ряд ученых предлагает заменить само название «отходы» на другое — «продукция незавершенного производства», как бо-

лее точное по существу и дающее необходимый психологический настрой. Чтобы еще раз подчеркнуть масштабы производства отходов, скажем, что только в Великобритании ежегодные отходы ТЭС составляют 10 млн. т, горнодобывающей промышленности — 50 млн. т, угледобывающей — 60 млн. т. В США ежегодно образуется 3,5 млрд. т твердых отходов. В основном твердые отходы состоят из вскрышных пород горнодобывающей промышленности, отходов обогащения, различных шлаков и шламов, золы ТЭС, фосфогипса, различных горючих отходов нефтепереработки. Все эти отходы содержат большое количество ценных компонентов и не используются только потому, что существующая технология не предусматривает их переработку. Истощение месторождений полезных ископаемых и ухудшение состояния окружающей природной среды заставляют пересмотреть сложившееся веками отношение к промышленным отходам. В настоящее время разработаны методы очистки и переработки разнообразных отходов для извлечения из них ценных компонентов. Это тем более важно, что производство во всевозрастающих масштабах использует комплексные руды, относительно более бедные по содержанию основных элементов. Там, где промышленное использование этих методов в настоящее время невозможно, устраиваются временные хранилища отходов, утилизация которых станет возможной с развитием соответствующих технологических процессов в будущем.

### **Что выгоднее: хранить или перерабатывать?**

Комплексное, рациональное использование природного сырья, полное и экономически оправданное извлечение всех его компонентов, а также утилизация отходов является основным принципом безотходного производства. Все виды природного сырья как минерального, так и органического происхождения содержат несколько ценных компонентов. Полнота их извлечения и использования — категория историческая и зависит от потребностей в них общества и уровня развития техники.

Так, в районах интенсивного развития цветной металлургии нашей страны (Урал, рудный Алтай и др.) ждут своего часа отвалы шлаков старых и действующих заводов, содержащие большое количество ценных элементов: молибдена, кобальта, кадмия, селена, теллура, германия, рения и др.

Строительство и содержание отвалов требует затрат значительных средств. Например, только за сутки работы ТЭС средней мощности (1 млн. кВт) сжигается около 10 тыс. т угля и образуется свыше 1000 т шлака и золы, под отвал которых высотой 8 м требуется площадь более 1 га в год. В то же время золы и шлаки ТЭС являются ценным сырьем для различных отраслей народного хозяйства и прежде всего промышленности строительных материалов.

На предприятиях Минчермета СССР из 600 млн. м<sup>3</sup> ежегодного объема вскрышных пород используется только 13 млн. м<sup>3</sup>. В отвалах накоплено более 440 млн. т доменных и сталеплавильных шлаков. Ежегодно добавляется еще около 26 млн. т шлаков и 250 млн. т отходов обогатительных фабрик.

На предприятиях Минцветмета СССР содержится в отвалах 455 млн. т неиспользованных шлаков и ежегодно образуется еще около 32 млн. т твердых отходов.

На серноокислых заводах накоплено более 28 млн. т пиритных огарков, содержащих до 39 % железа, и ежегодно их образуется еще 5,7 млн. т. Предприятиями, производящими калийные удобрения, накоплено 500 млн. т галитовых отходов. Ежегодно это количество увеличивается еще на 50 млн. т, а намечаемое их использование составляет лишь 6,4 млн. т в год.

В отвалах заводов по производству экстракционной фосфорной кислоты находится 120 млн. т фосфогипса, 100—120 тыс. т различных отходов образуется ежегодно на шинных заводах. Объем утилизации шлаков ТЭС составляет пока 9 % их текущего выхода. Лесозаготовительные предприятия накопили более 160 млн. м<sup>3</sup> древесной коры, причем из 17—18 млн. м<sup>3</sup> ежегодно образующихся корьевых отходов используется лишь около 3,5 млн. м<sup>3</sup>.

Особая сложность рассматриваемой проблемы заключается в том, что предприятия, построенные без учета экологической ситуации, еще длительное время будут функционировать, а в ряде случаев и наращивать производственные мощности. Деятельность этих предприятий невозможно остановить, а их перевод на замкнутый цикл сопряжен с решением ряда сложных технических проблем и необходимостью выделения на их решение значительных средств. Выход из создавшегося положения только один — довести образующиеся отходы до товарной продукции или использовать их как сырье для своего производства или производства других отраслей промышленности. Практи-

ческое осуществление этих задач станет важнейшим фактором снижения загрязнения окружающей среды и повышения степени эффективности использования сырья и энергии.

Поэтому ближайшей задачей на одиннадцатую и двенадцатую пятилетки является организация системы обезвреживания и утилизации отходов производства и потребления.

Сложность решения этих вопросов определяется многотоннажностью отходов, а также тем, что образуются они очень часто в одном районе и на предприятиях одного министерства, а использовать их можно только в другом районе и на заводах другого министерства.

Трудности, связанные с большими объемами образующихся отходов, особенно характерны для горнодобывающей промышленности.

### **Возможности использования отходов горнодобывающих производств**

На предприятиях, занимающихся добычей минеральных рудных и нерудных полезных ископаемых, а также твердого топлива, образуются миллиарды тонн отходов. К отходам горных предприятий относятся вскрышные породы открытой добычи, вмещающие и попутно добываемые породы при шахтной добыче, хвосты обогачительных фабрик, шахтные воды и воды осушения карьеров, газовые выбросы.

На долю твердых отходов горных предприятий приходится 70—75 % общего объема производственных отходов в народном хозяйстве СССР (табл. 3).

Всего на предприятиях этих отраслей образуется более 3,7 млрд. т отходов.

Т а б л и ц а 3

Данные об образовании и использовании отходов горнодобывающих предприятий (1980 г.)

Отрасли	Образовано	Использовано	Уровень исполь- зования, %
	млн. т		
Минчермет	2000	200	10
Минуглепром	1054,7	545,3	51,7
Минцветмет	623,7	28,07	4,5

Практически все твердые отходы горных предприятий могут быть использованы в следующих основных направлениях:

в производстве строительных материалов — цемента, портландцемента, строительного щебня и песка, искусственных пористых заполнителей, кирпича, стекла, керамических изделий и стеновой керамики;

в дорожном строительстве;

в производстве минеральных удобрений;

для извлечения ценных компонентов.

Значительные объемы попутно добываемых пород могут использоваться для закладки выработанного пространства шахт.

По оценке Минстройматериалов СССР, 67 % вскрышных и шахтных пород пригодны для производства строительных материалов.

### **Примеры экономической эффективности использования твердых отходов**

Объемы отходов, образующихся на отдельных железорудных, марганцевых и других месторождениях, позволяют осуществить строительство крупных предприятий по производству щебня мощностью от 1 до 8 млн. м<sup>3</sup>, цемента — 3 млн. т, известковой муки 1,5—7 млн. т, извести — 300 тыс. т, изделий из ячеистого бетона и кирпича — 120—200 млн. шт. в год.

По расчетам института «Союзгипронеруд», годовой экономический эффект от строительства комплекса предприятий на базе горных отходов железорудной промышленности оценивается в размере 120 млн. руб., при этом будет достигнута экономия капитальных вложений в 240 млн. руб. Срок окупаемости 620 млн. руб. капитальных вложений составит 3 года, что значительно превышает этот показатель на предприятиях, работающих на специально добываемом сырье.

В ряде случаев стоимость попутных материалов значительно выше стоимости основных. Например, на Сафоновском месторождении Мосбасса стоимость огнеупорной глины, входящей в состав добываемого сырья, выше стоимости угля. Комбинированную добычу угля и глины можно организовать и в других угольных бассейнах.

Производство нерудных строительных материалов в РСФСР в 1980 г. составило около 600 млн. м<sup>3</sup>, в том числе

Таблица 4

Технико-экономические показатели	Из отходов	Из природного сырья
	руб/м³	
Себестоимость щебня	0,65—3,3	3,5—4,5
Удельные капиталовложения	2,7—9,9	10—15
При сроке окупаемости	3 года	5—6 лет

щебня и гравия 360 млн. м³. По сравнению с 1975 г. производство этих материалов возросло примерно на 20 %, причем почти весь объем прироста был покрыт за счет нового строительства и реконструкции действующих предприятий на базе первичного природного сырья. Капитальные вложения составили более 700 млн. руб.

В то же время на территории федерации объем текущих отходов, пригодных для производства нерудных строительных материалов, составляет 220 млн. м³, т. е. превышает весь прирост за прошедшую пятилетку. Использование этих отходов составило лишь 8 %.

Анализ технико-экономических данных различных предприятий, производящих щебень из отходов, и сравнение их с данными производства из природных материалов показывает высокую экономическую эффективность использования отходов (табл. 4).

Значительная экономия достигается за счет ликвидации отвального хозяйства.

Приведенные цифры убедительно свидетельствуют о высокой эффективности использования попутно добываемых и вмещающих пород для производства заполнителей — щебня, песка и других материалов.

Значительный экономический эффект (кроме экологического) дает использование и других отходов производства и потребления в различных отраслях народного хозяйства. Так, только использование шлаков в 1980 г. позволило сэкономить 27 млн. т цементного клинкера, 24 млн. м³ горных пород, 1,8 млн. т керамзита, 1,5 млн. т известняка, 1,7 млн. т металла, 300 тыс. т агломерата, 230 тыс. т марганцевой руды, 220 тыс. т суперфосфата и 195 тыс. т ферросилиция.

Как видно из сказанного, крупнотоннажные твердые отходы являются серьезным фактором загрязнения окру-

жающей среды и важным источником вторичных материальных ресурсов.

Из-за большого разнообразия состава твердых отходов не существует общих методов их переработки. Достижения химической технологии в их утилизации мы рассмотрим в разделах, посвященных организации безотходных производств в различных отраслях промышленности.

## **БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ — НЕ МИФ, А РЕАЛЬНОСТЬ**

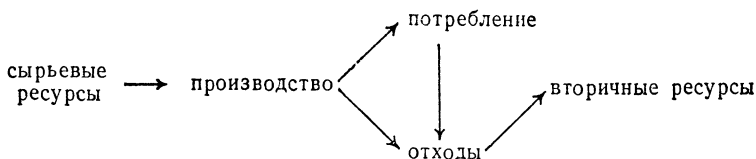
Очистка газообразных и жидких выбросов, переработка твердых отходов направлены на улучшение экологической обстановки на предприятиях, построенных в «доэкологическое» время. Это всего лишь заплаты на прорехи традиционной технологии.

Кардинальное решение проблемы защиты окружающей среды от вредного воздействия промышленных выбросов состоит в разработке и внедрении экологически безопасных, безотходных, а на первое время малоотходных технологических процессов и производств. Принцип безотходного производства реализуется во многих природных экосистемах и позволяет экономно расходовать вещество и энергию, причем отходы одних организмов служат одновременно средой обитания других.

Постановления партии и Советского правительства определили разработку и внедрение малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, утилизацию и переработку отходов как главное, стратегическое направление решения вопросов наиболее рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

По инициативе Советского правительства в ноябре 1979 г. в Женеве на совещании на высоком уровне по охране окружающей среды в рамках ООН была принята Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов, которая определила главные направления решения проблемы взаимодействия окружающей природы и развитого промышленного производства.

В соответствии с Декларацией под безотходной технологией понимается такой принцип функционирования промышленности и сельского хозяйства региона, отрасли, а также отдельных производств, при котором рационально используются все компоненты сырья и энергия в цикле:



и не нарушается экологическое равновесие.

Малоотходная технология является промежуточной ступенью при создании безотходного производства. Под малоотходным производством понимают такое производство, вредные последствия деятельности которого не превышают уровня, допустимого санитарными нормами, но по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на захоронение или длительное хранение.

В настоящее время разработаны принципиальные научно-технические основы безотходной технологии для всех отраслей промышленного производства и практически во всех отраслях уже имеются отдельные примеры мало- и безотходных производств.

## **Возможны ли безотходные ТЭС!**

Значительная часть мировых загрязнений окружающей среды обязана деятельности традиционной энергетики, базирующейся на сжигании ископаемого органического топлива. И это одна из причин, почему человечество настойчиво ищет новые источники энергии, более предпочтительные как с точки зрения эффективности, так и с точки зрения экологии.

Вместе с тем, учитывая огромные масштабы традиционной энергетики и тот факт, что еще многие десятилетия она будет доминировать в большинстве стран, в том числе в СССР, проблема максимального снижения вредного воздействия ТЭС на окружающую среду путем снижения выбросов в гидросферу, атмосферу и на поверхность Земли остается чрезвычайно острой.

Один из путей решения этой проблемы — совершенствование технологии сжигания топлива с тем, чтобы уменьшить образование вредных газов.

Так, применение двухступенчатого сжигания, возврат

дымовых газов в зону горения, сжигание топлива с малым избытком воздуха и комбинация этих методов позволяет снизить выброс оксидов азота в атмосферу в 2—3 раза при сохранении надежности и экономичности процесса. Подавление образования оксидов азота непосредственно в парогенераторах экономически более целесообразно, чем какая-либо очистка от них газовых выбросов. В ближайшее время должно быть организовано серийное производство и переоборудование ТЭС парогенераторами, эксплуатация которых обеспечивает существенное уменьшение выбросов оксидов азота.

Радикальным средством защиты водоемов от загрязнений сточными водами ТЭС является переход на оборотные системы водоснабжения, так как очистить стоки до уровня, допустимого для повторного использования, значительно легче, чем до санитарных и рыбохозяйственных норм. Проекты бессточных ТЭС на твердом и жидком топливе есть. Конечно, это значительно более сложная технология, она требует изменения привычной практики эксплуатации, более высокой культуры обслуживания, но, не преодолевая трудности, ни одну проблему решить нельзя.

Мы уже говорили о некоторых аспектах очистки газовых выбросов ТЭС и проблемах водооборота, поэтому остановимся здесь только на вопросах утилизации твердых отходов. Изучены и частично испытаны в промышленном масштабе несколько способов получения из шлаков и золы ТЭС строительных материалов. Области применения их так обширны и многочисленны, что описать их даже вкратце невозможно. Перечислим только некоторые виды строительных материалов на основе отходов ТЭС:

- наполнители для бетона в дорожном строительстве;
- теплоизоляционные засыпки;
- гидравлические добавки к цементу;
- сырье для получения цементной сырьевой смеси,
- сырье для газобетона и керамзитов;
- выгорающие добавки при производстве глиняного и силикатного кирпича;
- золоситаллы и золошлакоситаллы.

Расчеты показывают, что производство новых строительных материалов с улучшенными строительно-техническими свойствами на основе зол и шлаков ТЭС помимо экологического имеет огромное экономическое значение, так как позволяет резко уменьшить капитальные и текущие за-

траты на строительство и содержание золо- и шлакоотвалов и в конечном счете существенно снизить стоимость получаемой электроэнергии.

Практика работы предприятий, работающих на золе и шлаках близлежащих ТЭС, например Ангарского цементного завода, полностью подтверждает эти расчеты.

### **Атомная и водородная энергетика — блестящие перспективы недалекого будущего**

Более кардинальным решением проблемы безотходной энергетики является переход на использование ядерной энергии, имеющей большие сырьевые ресурсы по сравнению с ископаемым органическим топливом, так как теплотворная способность ядерного топлива в 3 млн. раз больше, что определяет минимальный материальный обмен АЭС с окружающей средой.

Приведенные в табл. 5 данные о потреблении топлива и количестве отходов на электростанции мощностью 1000 МВт, работающей на угле, и АЭС той же мощности с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР), наглядно иллюстрируют экономические и экологические преимущества АЭС.

Решениями XXVI съезда КПСС развитие атомной энергетики в СССР предусмотрено осуществлять еще более быстрыми темпами. К 1985 г. выработка энергии АЭС должна быть доведена до 220—225 млрд. кВт·ч.

В последние годы много внимания уделяют водородной энергетике. Ее экологические достоинства совершенно очевидны, так как при сжигании водорода образуется вода. Ресурсы этого топлива безграничны, кроме того, теплотворная способность водорода в 4 раза выше теплотворной способности угля, однако для практической реализации этой идеи необходимо решить ряд сложных технических и технологических задач. Существующие методы получения водорода электролизом воды и конверсией природного газа экономически невыгодны. Рассматривается возможность использования для получения водорода высокотемпературных ядерных реакторов, а также применения биохимических методов. Большие сложности представляет создание конструкционных материалов, пригодных для работы в водородной среде, а также вопросы техники безопасности. Эксплуатация мощной ТЭС на водороде требует очень высокой культуры производства и надежных

Потребление топлива и количество отходов на электростанции мощностью 1000 МВт, работающей на угле, и АЭС той же мощности с реактором типа ВВЭР (среднегодовой коэффициент использования мощности  $\varphi = 0,77$ )

Показатель	Ед. изм.	ТЭС	АЭС
Расход угля	т/год	2 300 000	0
» кислорода воздуха	»	6 200 000	0
Загрузка диоксида урана (3,5 % обогащения)	»	0	30
Отходы в атмосферу:			
CO <sub>2</sub>	»	8 400 000	0
SO <sub>2</sub>	»	140 000	0
аэрозолей	»	4 500	0
Отходы отработанного топлива (на регенерацию)	»	0	35
Выброс в атмосферу:			
основных загрязняющих веществ	число ПДК	2,01	0,002
загрязняющих микроэлементов	»	2,75	0,0001

систем автоматизации и контроля, чтобы избежать тяжелых последствий возможных взрывов.

Практическое освоение других потенциально возможных и экологически перспективных нетрадиционных источников энергии, например энергии Солнца, морских приливов и отливов, энергии ветра, вулканов, геотермальной энергии и др., — дело довольно далекого будущего, так как в настоящее время отсутствуют надежные инженерные и экономически оправданные решения производства энергии этими способами в крупном промышленном масштабе. Это не исключает, разумеется, целесообразности использования их в максимально возможных масштабах и не снижает их огромной перспективности в будущем.

### Создание безотходных производств в черной металлургии

Производство черных металлов — ведущая отрасль современной индустрии. Сталь и чугун в решающей степени определяют экономический и оборонный потенциал государства. Их производство поражает своими масштабами. Металлургические комбинаты — это целые города, раскинувшиеся на многие десятки квадратных километров, слож-

**Удельные выбросы газообразных и твердых веществ в атмосферу  
на 1 т стали**

Выбросы	1976 г.	1977 г.	1978 г.
Пыль	31,9	30,7	31,9
SO <sub>2</sub>	2,68	2,47	2,20
CO	9,60	9,72	9,50
NO <sub>x</sub>	0,78	0,69	0,66

нейшие по структуре и связям между множеством заводов, цехов и отделений.

В мире ежегодно добывается около 1 млрд. т железной руды и выплавляется более 700 тыс. т стали. Технология черной металлургии складывалась веками. Это одна из отраслей, активно и негативно воздействующих на окружающую среду. На долю предприятий черной металлургии в СССР приходится 15 % всех промышленных выбросов пыли, 8—10 % диоксида серы, 35—40 % монооксида углерода, 15 % окислов азота, 10—15 % общего объема потребления свежей воды и сточных вод и не менее 200 млн. т твердых отходов ежегодно.

Чрезвычайно экологически вредно сопутствующее металлургическому коксохимическое производство, сопряженное с выделением больших количеств пыли, газов, жидких стоков. Стоки коксохимии содержат такие опасные вещества, как аммиак, фенолы, цианиды, роданиды, сероводород, смолы, канцерогенные соединения.

На пути организации безотходного производства черных металлов на базе существующей технологии встают огромные трудности. Однако сделать это совершенно необходимо, так как невозможно даже представить быструю замену гигантской металлургической индустрии какой-либо иной, пусть более современной во всех отношениях технологией.

Опыт, накопленный в СССР, позволяет утверждать, что создание малоотходного производства в черной металлургии вполне возможно. Так, удельные выбросы на 1 т стали существенно уменьшились (табл. 6).

Значительно снизилась запыленность в городах Липецке, Нижнем Тагиле, Новокузнецке, Свердловске, Рустави, Днепропетровске и др. Отмечено снижение концентрации

диоксида серы и угарного газа. Содержание оксидов азота в большинстве городов сохраняется на уровне санитарных норм.

В черной металлургии действует свыше 1500 очистных сооружений производительностью 16 млрд. м<sup>3</sup>/год и почти тысяча водооборотных циклов.

Расход чистой воды на 1 т стали в 1978 г. снизился до 45,2 м<sup>3</sup> по сравнению с 47,5 м<sup>3</sup> в 1971 г., количество сточных вод уменьшилось с 39,6 до 37,1 м<sup>3</sup>.

В целом водное хозяйство предприятий черной металлургии СССР характеризуется достаточно высокой степенью использования воды (более 84 %, а на ряде крупных заводов — 94—96 %). Дальнейшее повышение уровня водооборота до 97—97,5 % обеспечит создание практически бессточных систем водоснабжения. Осуществление полного водооборота тормозится сложностью очистки сильно засоленных, многокомпонентных сбросных вод, содержащих специфические загрязнения: кислоты, щелочи, цианиды, фенолы, соединения хрома и др.

Коренная перестройка предприятий и переход к безотходной технологии затрудняется тем, что выпуск значительной части продукции и наращивание производства осуществляется на предприятиях, сооруженных 30 и более лет назад. Постройка дополнительных очистных сооружений, прокладка новых коммуникаций, организация транспорта связаны с большими трудностями, часто непреодолимыми в условиях развернутого мощного производства. Процесс превращения существующей технологии черной металлургии в безотходную — длительный, сложный, требующий вложения огромных средств и труда. Вот почему исключительный интерес представляет возможность существенного снижения или даже полной ликвидации загрязнений путем создания и внедрения принципиально новых технологических схем и процессов.

Одним из примеров такого процесса в черной металлургии является бескоксовый, бездоменный метод получения железа непосредственным восстановлением железорудных концентратов водородом или конвертированным природным газом, при котором из технологической цепи полностью устраняются стадии, в наибольшей степени ответственные за загрязнение окружающей среды: доменный передел, производство кокса и агломерата. Это позволяет по меньшей мере втрое уменьшить потребность в воде, сократить количество образующихся сточных вод, прак-

тически полностью исключить вредные выбросы в атмосферу.

По этой схеме мелкораздробленный железный концентрат, смешанный с водой, перекачивают с месторождения на металлургический завод по трубам в виде пульпы с помощью насосов. Вода после отделения в специальных отстойниках, возвращается в водооборот. В огромных вращающихся барабанах руду смешивают со склеивающими, связующими веществами и получают гранулированный продукт — окатыши. При грануляции в окатыши добавляют очень небольшое количество извести. Окатыши поступают в шахтную печь, где происходит восстановление оксидов железа водородом или конвертированным газом. Процесс осуществляется при 1000—1100 °С, в результате получают губчатое железо с содержанием основного компонента до 85 %. Полученный полуфабрикат направляют на электродуговую переплавку для получения высококачественной стали.

Опыт производства стали по такой технологии показал, что она обеспечивает резкое снижение выбросов диоксида серы, пыли и других вредных веществ и позволяет утилизировать практически полностью все отходы производства. Шлаков и других твердых отходов в этом процессе почти не образуется.

В Белгородской области на базе высокосортных руд КМА строится крупное промышленное предприятие — Оскольский электрометаллургический комбинат — первый в СССР металлургический комбинат без доменных печей и коксохимического производства. При полном развитии комбината экологический эффект от применения новой технологии по сравнению с традиционной выражается в уменьшении выбросов вредных веществ в атмосферу на 400 тыс. т в год.

Нет сомнений в том, что бездоменный способ получения железа — технология будущего, но уже сейчас необходимо расширять применение этой прогрессивной технологии.

Дальнейшее развитие технологии стали несомненно связано с использованием плазменных процессов. В металлургическом плавильном агрегате в зону высокотемпературной электрической дуги вдувают инертный газ, который, нагреваясь до температуры 30 000 К, образует поток плазмы — нагретого до высокой температуры, частично ионизированного газа. Осуществление металлургических процессов при столь высоких температурах позволяет по-

лучать металлы высокого качества практически без отходов.

Основными твердыми отходами предприятий черной металлургии являются вскрышные породы, доменные шлаки и шламы, сталеплавильные шлаки.

Добыча железной руды открытым способом сопровождается уничтожением огромного количества пахотных земель, поэтому одной из важных задач является культивация земель. Работа эта началась сравнительно недавно, но дает очень хорошие результаты. Нарушенные горными работами земли быстро восстанавливаются и становятся пригодными для сельского хозяйства. Более того, распределение сохраненного почвенного слоя на непригодные земли позволяет вовлечь их в сельскохозяйственное производство и даже повысить урожайность. К настоящему времени в в Советском Союзе рекультивировано около 5 тыс. га земель, использованных для добычи железных руд.

Более 67 % вскрышных пород и отходов обогащения руд вполне пригодно для производства строительных материалов. В 1978 г. в СССР было использовано для этих целей 154 млн. м<sup>3</sup> вскрышных и вмещающих пород и 26,3 млн. м<sup>3</sup> отходов обогащения. Приведем далеко не полный список строительных материалов, которые могут быть получены из вскрышных пород. Мел и мергели используют в производстве белого цемента, воздушной строительной извести, минеральной ваты, стекла и резиновых изделий, пигментов, портландцемента различных марок. Глинистые сланцы можно использовать в качестве добавок при получении портландцементов и в кирпичном производстве. Четвертичные глины и суглинки используют в качестве аглопористого компонента в шихте цементного клинкера, для изготовления кирпича, минеральной ваты и керамзита. Песчаные породы являются сырьем для производства тарного стекла и силикатного кирпича. Каменные материалы используют в качестве нерудных заполнителей в бетонах; огнеупоров, для получения строительного щебня, дорожных оснований, бутового камня.

Прекрасным сырьем для строительной индустрии являются доменные шлаки и шламы. Выход их очень велик и колеблется от 0,4 до 0,65 т на 1 т чугуна. Состав доменных шлаков весьма сложен, в них встречается до 30 химических элементов. Общий выход доменных шлаков на предприятиях черной металлургии СССР составляет 50 млн. т в год. Кроме того, не менее 320 млн. т шлаков находится в старых отвалах.

Основной потребитель шлаков — цементная промышленность — использует более 23 млн. т гранулированного доменного шлака в год. В нашей стране 15 крупных цементных заводов построено в непосредственной близости от металлургических предприятий. Они эффективно используют шлаки для производства цемента, в том числе специальных сортов. Бетоны на их основе обладают прекрасными строительно-техническими свойствами. Их успешно используют при автодорожном и гидротехническом строительстве, благодаря высокой антикоррозионной стойкости и повышенной текучести, что уменьшает усадочные напряжения и склонность бетона к растрескиванию.

Доменные шлаки перерабатывают также с целью получения шлаковой пемзы или термозита. Это пористый материал, широко используемый в качестве наполнителя при изготовлении тепло- и звукоизоляционных материалов. Широкое распространение получил бетон на наполнителе из пористого шлака — шлакопемзобетон.

Доменные шлаки стали применяться для получения ценного материала с поистине уникальными свойствами — шлакоситаллов — представителей нового класса стеклокристаллических материалов. Высокие физико-механические и физико-химические характеристики, в первую очередь износостойкость и химическая устойчивость в сочетании с декоративностью, делают шлакоситалл ценнейшим отделочным материалом для объектов культурно-бытового и промышленного назначения. По данным НИИ ЭС Госстроя СССР, потребность народного хозяйства страны в листовом шлакоситалле и шлакоситалловых плитах на 1980 г. составляла 20 млн. м<sup>2</sup>.

Разработанный в МХТИ им. Д. И. Менделеева новый декоративный материал на основе доменных шлаков — синтетический гранит, или сигран, по своей фактуре напоминает природные камни — гранит, мрамор, яшму, роданит и по своим свойствам полностью удовлетворяет самым высоким требованиям к отделочным материалам.

Некоторые металлургические предприятия СССР довели степень использования металлургических шлаков до 100 %, а на некоторых из них, например заводе «Азовсталь» в г. Жданове, начали переработку шлаков из старых отвалов. Ежегодный экономический народнохозяйственный эффект от использования шлаков на предприятиях Минчермета СССР составляет почти 200 млн. руб.

На этом примере хорошо видно, как вчерашние отходы, отравлявшие окружающую среду и отнимавшие под отвалы сотни гектаров пахотной земли, превратились в ценнейшее сырье.

Из получаемых в СССР 23—25 млн. т сталеплавильных шлаков перерабатывается пока только 25 %. Трудности связаны с непостоянством их химико-минералогического состава и физико-механических свойств. Однако ряд предприятий перерабатывает сталеплавильные шлаки полностью, и нет оснований не распространять этот опыт на другие предприятия.

Основной прирост выплавки стали в одиннадцатой пятилетке будет обеспечен за счет ввода электропечей и конверторов, которые являются экологически более чистыми, чем мартеновские печи (удельные выбросы пыли снижаются в 8 раз, оксидов азота — в 10 раз). Разработана топливно-кислородная продувка конверторов, которая будет внедрена на строящемся цехе Днепропетровского завода им. Дзержинского, при этом вынос пыли уменьшается по сравнению с верхней кислородной продувкой в 10—12 раз.

В производстве ферросплавов все вновь вводимые печи будут работать в закрытом режиме (Зестафонский, Никопольский и Ермаковский заводы ферросплавов), что позволяет сократить выбросы особо токсичной пыли (хром, марганец) в 10—15 раз и утилизировать горючий газ. Одновременно решаются вопросы полного использования шлаков, например извлечение силикомарганца. Внедрение такой технологии на Никопольском и Зестафонском заводах ферросплавов позволит вернуть в производство 70 тыс. т марганцевых ферросплавов.

### **Трудности решения экологических проблем в производстве цветных металлов; достижения и перспективы**

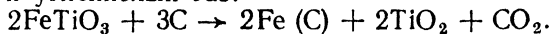
Цветная металлургия отличается от черной чрезвычайно большим разнообразием видов исходного минерального сырья, принципиальным различием производств, используемыми методами и процессами, их аппаратурным оформлением. Выход отходов на единицу продукции в цветной металлургии очень велик. Для получения 1 т металла надо переработать 100—200 т руды, а для некоторых металлов количество сырья достигает тысяч тонн. Оставшаяся часть сырья в большинстве производств не используется и пе-

переходит в твердые и газообразные отходы. С экологической точки зрения очень важно то, что цветная металлургия вовлекает в переработку все более бедное сырье, что неизбежно резко увеличивает количество отходов. Например, содержание меди в перерабатываемом сырье во всем мире значительно уменьшилось. Другой особенностью цветной металлургии является большая токсичность отходов. В них содержатся соединения серы, мышьяка, сурьмы, селена, теллура и других элементов. Токсичны и многие из производимых металлов: свинец, кадмий, ртуть.

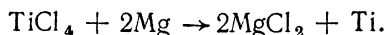
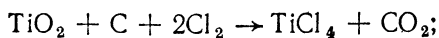
Ежегодно предприятиями цветной металлургии складывается около 800 млн. т твердых отходов, сбрасывается в водоемы более 1 млрд. м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод и выбрасывается в атмосферу около 6,5 млн. т вредных веществ. Однако в десятой пятилетке, несмотря на увеличение объемов производства и значительное ухудшение состава сырья, удалось в основном стабилизировать выбросы вредных веществ в атмосферу и водные бассейны. В одиннадцатой и двенадцатой пятилетках намечено осуществить переход от стабилизации к значительному снижению этих выбросов, однако поступление в окружающую среду твердых отходов (вскрышные и вмещающие породы, хвосты обогащения, металлургические шлаки и пр.) будет увеличиваться.

Прогнозы развития производства цветных металлов в мире не дают оснований надеяться, что в ближайшие годы будут найдены способы радикального уменьшения отходов. В отличие от черной, в цветной металлургии создание безотходного или даже малоотходного производства является делом чрезвычайно сложным, и в настоящее время можно говорить только о частичном решении вопросов безотходной технологии и внедрении ее принципов лишь в отдельных производствах и на отдельных предприятиях.

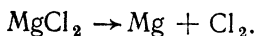
В то же время из-за сложного состава руд, используемых в цветной металлургии, многие процессы, внедряемые в производство, предполагают комплексное их использование. Так, при производстве титана на основе ильменита — титаната железа  $\text{FeTiO}_3$  — последний спекают с коксом, в результате чего образуются железо, двуокись титана и углекислый газ:



Далее процесс продолжают в соответствии со следующей схемой:



Электролиз хлорида магния дает металлический магний и хлор, которые возвращаются в производство:

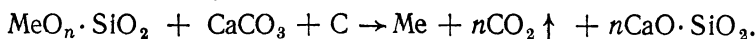


Пример еще одного замкнутого процесса переработка лопарита — минерала, основным компонентом которого является сложный титанотанталониобат тория и редкоземельных элементов.

При хлорировании лопарита образуются  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{TaOCl}_3$ ,  $\text{NbOCl}_3$ ,  $\text{TaCl}_5$ ,  $\text{NbCl}_5$  и хлориды редкоземельных металлов. Температуры кипения всех этих соединений сильно отличаются, что позволяет легко отделить их друг от друга и очистить. В этом процессе обеспечивается комплексное использование сырья и минимальное количество отходов.

В цветной металлургии наиболее широко используют традиционные пирометаллургические процессы, поэтому существенную роль в решении проблемы «безотходности» играет переработка шлаков пирометаллургических процессов. Кроме оксидов кремния, алюминия, кальция, магния, железа и марганца, содержание которых меняется в широких пределах, шлаки цветной металлургии содержат значительное количество меди, никеля, кобальта, цинка, свинца, кадмия, редких металлов. Содержание цветных металлов в них во многих случаях существенно больше, чем в природных рудах. Однако, к сожалению, основная часть образующихся шлаков, не говоря уже о старых отвалах, до сих пор не используется.

В этой связи большой интерес представляет разрабатываемый Институтом металлургии и обогащения АН КазССР процесс карбидотермического обогащения шлаков, который заключается в восстановлении шлаковых расплавов в электропечах смесью кокса и извести. Образующийся карбид кальция взаимодействует с оксидами цветных металлов.



Силикат кальция — прекрасный материал для производства строительных материалов. На основе этой технологии строится завод по переработке медных шлаков старых отвалов.

Другой метод извлечения металлов из шлаков и полу-продуктов цветной металлургии основан на восстановлении оксидных расплавов углеродом, растворенным в жидком чугуна. Способ обеспечивает снижение содержания цветных металлов и железа в шлаке до значений, близких к их содержанию в земной коре.

После извлечения цветных металлов целесообразно перерабатывать шлаки на песок и щебень, потребность в которых для крупных промышленных районов исчисляется миллионами кубических метров.

Общая и очень важная проблема в цветной металлургии — устранение или существенное снижение выбросов в атмосферу диоксида серы, так как на долю цветной металлургии приходится около 20 % общего объема выбросов  $SO_2$ . Кардинальное ее решение возможно лишь при замене существующей технологии принципиально новыми процессами, в которых концентрация  $SO_2$  в отходящих газах была бы достаточна для использования их в производстве серной кислоты.

В современных процессах концентрация  $SO_2$  в сбросных газах не превышает 3,5 %, а иногда составляет лишь десятки доли процента. Предлагаемые методы сбора, улавливания и утилизации  $SO_2$  из газовых выбросов недостаточно экономичны для широкого применения их на практике.

Наиболее яркими примерами новых технологических процессов в цветной металлургии являются различные варианты так называемых автогенных процессов: плавка во взвешенном состоянии, циклонная плавка в жидкой ванне, плавка в кислородно-взвешенно-циклонно-электро-термическом агрегате (КИБЦЭТ-процесс).

К достоинствам всех вариантов автогенных процессов относятся: резкое уменьшение количества отходящих газов, утилизация  $SO_2$  в сернокислотном производстве, снижение потребления углеродсодержащего топлива за счет использования теплотворной способности сульфидов сырья, интенсификация процесса плавки, регулирование состава получаемых продуктов, повышение комплексности использования сырья.

Внедрение комплекса кислородно-факельной плавки для переработки медно-сульфидных концентратов на Алма-лыкском горно-металлургическом комбинате им. Ленина привело к резкому сокращению выброса сернистых газов в атмосферу, что существенно улучшило экологическую

обстановку в г. Алмалык и обеспечило высокую экономичность сернокислотного производства. Только за первое десятилетие работы комплекса получено более 3 млн. т серной кислоты.

На Норильском горно-металлургическом комбинате им. А. П. Завенягина внедрена установка для плавки в жидкой ванне, на которой получены очень высокие показатели извлечения цветных металлов.

Таким образом, в нашей стране отработаны и частично внедрены в производство основные элементы будущей безотходной технологии большинства цветных металлов.

Наиболее подготовлена к переходу на безотходную технологию глиноземная промышленность. Впервые в мировой практике в СССР разработана и осуществлена на ряде глиноземных заводов комплексная безотходная схема переработки нефелинового сырья, являющаяся в свою очередь частью комплексной схемы переработки апатито-нефелинового сырья Кольского полуострова и других месторождений страны. При обогащении апатитов в качестве отходов образуется большое количество так называемых нефелиновых хвостов, которые в течение десятилетий сбрасываются в воды озера Имандра. Советскими учеными разработан способ переработки нефелинов, основанный на их спекании с содой и последующем выщелачивании образующихся алюминатов методом «выкручивания». Из маточного раствора кристаллизацией удается получать раздельно карбонаты натрия и калия. Нерастворимый остаток, так называемый белитовый шлак — двукальцевый силикат (белит) — отличное сырье для цементной промышленности.

На предприятиях, перерабатывающих нефелиновое сырье, осуществлен замкнутый водооборот глиноземного и содового производств, что позволило исключить сброс промышленных стоков в водоемы. Эффективная очистка газов печей спекания и цементного производства завершает схему безотходной переработки нефелинов. По такой схеме работают Волховский, Пикалевский и Ачинский заводы.

В СССР разработан и внедрен в производство способ комплексной и практически безотходной переработки алунитов с попутным получением глинозема, сульфата калия и серной кислоты. На 1 т глинозема производится 1,1 т сульфата калия и 1,2 т серной кислоты. Проводятся исследования по извлечению пентаоксида ванадия и солей галлия.

Схемы комплексного использования полезных составляющих сырья, основанные на пиromеталлургических процессах, доминирующих сейчас в цветной металлургии, сложны, многооперационны и многоперedefельны. Фактически ни одна из операций не приводит к количественному разделению ценных компонентов, «размазываемых» по многочисленным побочным продуктам, переработка которых также сложна и часто недостаточно эффективна. Выход полезной продукции невысок, что помимо серьезного экономического наносит огромный экологический ущерб. Более перспективными в этом отношении являются гидрометаллургические процессы, обладающие следующими важными преимуществами:

применимость к бедным рудам, особенно труднообогащаемым и не поддающимся селективному обогащению;

высокая селективность по отношению к различным компонентам;

возможность эффективной очистки образующихся сточных вод;

непрерывность технологических процессов, легко поддающихся автоматизации контроля и управления;

отсутствие токсических газовых выбросов в атмосферу.

В США и некоторых странах Африки и Южной Америки по меньшей мере одну треть всей меди получают с помощью гидрометаллургии. В СССР весь цинк и кадмий получают по гидроэлектрометаллургической технологии. Разработана и проверена в полупромышленном и промышленном масштабах сорбционно-экстракционная технология переработки никель-кобальтовых, молибденовых, вольфрамовых, редкоземельных руд и концентратов. За последние 10—15 лет на предприятиях цветной металлургии внедрены десятки новых гидрометаллургических процессов, основанных на сорбции и экстракции и обеспечивающих помимо больших экологических преимуществ ежегодную экономию в десятки миллионов рублей.

В 1954 г. впервые в мировой практике промышленность СССР освоила ионообменную сорбцию урана из рудных пульп. Дальнейшее развитие сорбционной технологии позволило организовать высокое извлечение в товарную продукцию не только урана, но и ряда сопутствующих ценных элементов: молибдена, тория, ванадия, редкоземельных элементов (РЗЭ). В настоящее время сорбционная технология широко используется для извлечения золота из руд и вод с чрезвычайно низким содержанием золота и слож-

ностью компонентного состава. Успешно развиваются сорбционные методы извлечения никеля, кобальта, меди, молибдена, вольфрама, ванадия, редкоземельных элементов, германия, висмута и других металлов.

Не меньшее значение в решении проблемы комплексного извлечения металлов из природного сырья имеет широко внедряемая в настоящее время экстракционная технология. В СССР разрабатываются и внедряются комплексные технологические схемы переработки медно-цинковых и медно-никелевых концентратов и полупродуктов. Применяются, например, экстракционные схемы выделения и разделения кобальта и никеля, освоен процесс экстракционного извлечения кадмия. Наибольшее применение экстракционные процессы нашли в технологии редких металлов, где они стали основными операциями. Экстракция в промышленных условиях применяется для извлечения и разделения тантала и ниобия, циркония и гафния, скандия и иттрия, других РЗЭ, таллия, теллура и индия, вольфрама, молибдена и рения. В СССР разработан и применен в промышленности экстракционный способ получения золота высокой чистоты.

Существенно, что в ряде разработанных и внедренных в производство схем экстракционно-сорбционные процессы удачно сочетаются с флотационным обогащением, автоклавным выщелачиванием, электрохимической технологией, пирометаллургией. Не противопоставление, а максимальное использование возможностей каждого метода в зависимости от конкретных условий и задач является залогом успешного решения сложных проблем утилизации сырья в цветной металлургии, приближение ее к экологически безопасному производству. Кардинальным решением этого вопроса является создание замкнутых технологических схем с полным использованием образующихся полупродуктов и отходов как в рамках одного предприятия, так и в масштабах отрасли. Это не исключает, а, наоборот, подчеркивает необходимость и актуальность поиска, разработки и внедрения коротких, безотходных малооперационных технологических схем, основанных на принципиально новых приемах работы. Широкое применение гидрометаллургических процессов, позволяющих при минимальном расходе реагентов селективно выделять ценные компоненты из сложных систем, столь характерных для цветной металлургии, имеет решающее значение для перехода от традиционной к новой, экологически сбалансиро-

ванной технологии. При правильной организации сорбционных и экстракционных процессов реализуются идеальные замкнутые циклы как по реагентам, так и по жидким потокам, что способствует практической реализации безотходной технологии. Для этих прогрессивных методов характерна к тому же высокая экономическая эффективность.

### **Утилизация отходов химической промышленности, примеры безотходных производств**

Химическая промышленность — одна из ведущих отраслей современной индустрии, определяющая научно-технический прогресс в таких важных областях народного хозяйства, как металлургия, машиностроение, энергетика, электронная техника, сельское хозяйство и др.

Среднегодовые темпы прироста продукции химической промышленности значительно опережают темпы прироста продукции всей промышленности СССР.

Список веществ, выпускаемых химической промышленностью развитых стран, состоит из десятков тысяч наименований. В 1970 г. в мире использовалось 300 тыс. химических веществ и ежегодно к ним прибавляется одна-две тысячи новых; 50 веществ производится в количествах, превышающих 1 млн. т/год, а 1500 — в количестве 500 т/год. В Советском Союзе номенклатура химических веществ достигла 70 тыс. наименований и продолжает расти в связи с возрастающими потребностями народного хозяйства.

Химическая промышленность занимает четвертое место среди отраслей, существенно загрязняющих окружающую среду после топливной энергетики, цветной и черной металлургии, автомобильного транспорта. В то же время без продукции химических предприятий в настоящее время невозможно практическое осуществление природоохранных мероприятий. Именно химическая промышленность производит различные реагенты, коагулянты, флоагенты, сорбенты, ионообменные смолы, экстрагенты и другие материалы, без которых невозможна ни очистка сточных вод, ни подготовка питьевой и технической воды, ни осуществление новых технологических схем. Для очистки газов производятся всевозможные поглощающие растворы, сорбенты и катализаторы.

Химическая промышленность потребляет большое количество сырья, воды, энергии. Процессы, осуществляемые

на химических предприятиях, сложны и многостадийны, а номенклатура продукции весьма обширна. Для химического производства характерна чрезвычайная разнородность отходов. Наряду с многотоннажными неорганическими отходами могут быть небольшие количества токсичных органических и неорганических веществ, которые нельзя сбрасывать не только в природные водоемы, но даже в системы биохимической очистки. К ним относятся соли тяжелых металлов, цианиды, некоторые органические соединения, которые уже в количествах 0,1—1 мг/л вызывают отравление микроорганизмов или тормозят процесс ферментации. Все это подчеркивает сложность решения проблемы переработки отходов химической промышленности и создания мало- и безотходных процессов и производств и в то же время диктует его настоятельную необходимость. На природоохранные мероприятия Минхимпром расходует значительные средства, объем которых непрерывно возрастает.

Наиболее многотоннажным производством химической промышленности является производство минеральных удобрений, в том числе фосфорных — из апатитов и фосфоритов. С точки зрения экологии основную проблему при производстве фосфорных удобрений представляет утилизация фосфогипса и фтора.

При сернокислотном методе на 1 т экстракционной фосфорной кислоты образуется от 4,3 до 5,8 т фосфогипса, т. е. объем этого отхода составляет десятки миллионов тонн в год. Проблема использования фосфогипса тем более актуальна, что в настоящее время тратятся значительные средства на его транспортирование и складирование в отвалы (около 4 руб/т), занимающие большие площади, в том числе пахотные земли, отчуждаемые от сельскохозяйственных угодий. В то же время промышленность строительных материалов ежегодно добывает примерно такое же количество природного гипса.

Как показали промышленные испытания, фосфогипс можно использовать в цементной промышленности для получения портландцемента, в качестве минерализатора при обжиге или добавки при помоле клинкера, а также для производства гипсовых вяжущих веществ и изделий из них вместо природного гипса.

На основе фосфогипса можно производить тампонажный цемент высокого качества. Показана возможность исполь-

зования фосфогипса в качестве наполнителя при производстве бумаги.

Возможны и другие пути использования фосфогипса, например для химической мелиорации солонцовых почв. Показано, что использование подсушенного фосфогипса экономически выгоднее, чем природного.

Освоена переработка фосфогипса в сульфат аммония. Кроме того, возможна его переработка в серную кислоту и цемент, хотя это направление нельзя в настоящее время считать перспективным из-за отрицательного воздействия процесса на окружающую среду и недостаточной его экономичности.

Интересен метод совместной переработки фосфогипса и нефелина, позволяющий получать глинозем, серу или серную кислоту, сульфаты натрия и калия.

Практическая реализация в широких масштабах предложенных разработок в соответствии с потребностью в тех или иных продуктах, возможностью транспортировки и другими экономическими и технологическими факторами позволит ликвидировать наиболее значительный по массе отход производства фосфорных удобрений.

Утилизация фтора при переработке фосфоритов, апатитов, содержащих до 3 % этого элемента, имеет важное экологическое и экономическое значение.

Предельно допустимые концентрации фтора в различных средах очень низки и составляют в воде 1,5 мг/л, в воздухе населенных мест 0,005 мг/м<sup>3</sup>, однако имеются данные, что даже при этих низких концентрациях фтор угнетает развитие ряда организмов.

В природе фтор содержится в виде крайне труднорастворимых соединений, тем не менее районы их залегания являются зонами эндемического флюороза. При переработке фосфатов фтор переводится в легкорастворимые и даже летучие соединения, что существенно увеличивает его влияние на живые организмы. Улавливание фтора необходимо не только в целях охраны окружающей среды, но и по чисто экономическим соображениям, так как его получение из плавикового шпата — основного природного источника фтора — не удовлетворяет потребности народного хозяйства. Поэтому утилизация фтора фосфатного сырья, содержащего около 90 % мировых запасов этого элемента, является важной народнохозяйственной задачей.

По действующей в настоящее время технологии фтор

извлекают из газов, образующихся при разложении фосфатного сырья и упаривании фосфорной кислоты. При этом в готовой кислоте остается до 0,6 % фтора.

Обесфторивание экстракционной фосфорной кислоты может проводиться методом осаждения, основанном на взаимодействии фтора в растворе фосфорной кислоты с солями щелочных металлов и образовании труднорастворимых кремнефторидов.

Разработано несколько методов обесфторивания фосфорной кислоты с помощью сорбции и экстракции фтористых соединений из растворов. В качестве сорбентов используют ионообменные смолы. Целесообразно сочетать сорбционный метод с другими способами предварительного обесфторивания для достижения большей глубины извлечения фтора.

Экстракцией фтора триалкиламинами и другими экстрагентами можно очистить фосфорную кислоту до степени, необходимой для производства кормовых и пищевых фосфатов.

Очистка сточных вод и газовых выбросов от фтористых соединений хотя и является довольно сложной и дорогостоящей, хорошо освоена промышленностью и работает удовлетворительно. Разработаны схемы извлечения из фосфатного сырья не только фтора, но и таких ценных компонентов, как редкие и редкоземельные элементы, что обеспечивает комплексную его переработку.

Производство аммиака является ведущим в азотной промышленности. Аммиак в свою очередь служит сырьем для получения азотной кислоты, аммиачной селитры, карбамида и других продуктов. Производство аммиака совершенствуют прежде всего путем повышения единичной мощности агрегатов синтеза. Если в предвоенные годы в СССР эксплуатировались установки производительностью 50—60 т аммиака в сутки, то сейчас в Советском Союзе работают агрегаты мощностью 1360 т/сут и проектируются агрегаты производительностью до 3000 т/сут.

Новые агрегаты синтеза аммиака имеют воздушное охлаждение и являются полностью бессточными установками. Образующийся газовый конденсат после очистки направляется на подпитку водооборотных циклов и для получения питательной воды для котлов. В целом расход воды снижен с 550 до 50—60 м<sup>3</sup> на 1 т аммиака. По старой технологии количество образующихся оксидов азота составляло около 6 т/сут. Агрегаты большой единичной мощности выбрасывают в атмосферу с дымовыми газами очень неболь-

шое количество оксидов азота. Намечаются пути полного исключения этих выбросов.

Анализ состояния технологии в азотной промышленности показывает, что увеличение мощностей агрегатов в сочетании с автоматизацией процессов существенно уменьшает поступление отходов в окружающую среду, приближая производство аммиака к безотходному.

Большие достижения имеются в производстве слабой азотной кислоты, которое не так давно «украшало» пейзажи промышленных городов «лисыими хвостами», выбрасывая в атмосферу оксиды азота.

В настоящее время крупнотоннажные агрегаты синтеза слабой азотной кислоты мощностью 120—380 тыс. т/год оснащаются специальными установками каталитической очистки, входящими в состав агрегата. Содержание оксидов азота в отходящих газах не превышает 0,005—0,008 %.

Значительный прогресс с внедрением элементов безотходной технологии наблюдается в органических производствах, где в качестве отходов образуются большие количества органических и неорганических солей, которые практически не утилизируются, а попадают в сточные воды. В последние 20—40 лет многие реагенты, которые после производственного цикла становились отходами, заменены такими, использование которых не дает побочных продуктов. Так, получение гидроксилсодержащих соединений через стадию хлорирования с последующим гидролизом хлорпроизводных заменяется прямым окислением кислородом. Введение ОН-группы в ароматическое кольцо ранее осуществляли через сульфокислоты. Для этих целей все большее применение находит прямое окисление кислородом. Почти вышли из употребления и такие окислители, как хромовая смесь,  $MnO_2$  и  $KMnO_4$ .

Широко использовавшиеся ранее методы восстановления некоторыми реагентами уступают место каталитическому восстановлению водородом. Следовательно, замена старых классических способов в органических производствах новыми в значительной мере способствует переводу процессов на безотходную технологию.

Однако вредное влияние выбросов экономичнее и целесообразнее предотвращать не с помощью очистных сооружений, а путем создания замкнутых материальных потоков. Наиболее рационально эта проблема решается в рамках территориально-производственных комплексов, которые являются моделью экологически сбалансированного производства.

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ИНЖЕНЕРОВ-ТЕХНОЛОГОВ**

Ухудшение состояния окружающей природной среды настоятельно требует формирования индивидуального и общественного экологического сознания.

Внимание к вопросам влияния производительной деятельности человека на состояние окружающей среды стремительно растет. Книжные магазины заполнены многочисленными изданиями по этому вопросу; в журналах, газетах, теле- и радиопередачах ежедневно освещаются те или иные аспекты охраны природы. Однако проблема взаимодействия человека и окружающей среды очень сложна и многопланова. Она требует действенного внимания к себе, не только обсуждения, но и реорганизации многих жизненно важных производств, экономического стимулирования этой реорганизации, воспитания принципиально нового отношения к возможностям Земли, использованию минеральных ресурсов, воздуха и воды.

Представление о безграничных способностях биосферы перерабатывать отходы антропогенной деятельности, сложившееся за миллионы лет существования на Земле, глубоко укрепилось в сознании человека. Слишком долго цивилизация развивалась под лозунгом «продукт любой ценой», слишком долго критерием прогресса были лишь миллиарды тонн хлеба, стали, нефти, миллионы киловатт энергии, слишком долго мы не думали о миллиардах тонн отходов, миллионах гектаров испорченной земли, сотнях выведенных из строя рек и озер, чтобы надеяться на то, что забота о сохранении окружающей среды уже сегодня станет насущной потребностью каждого человека. Поэтому необходима постоянная и серьезная работа по экологическому воспитанию на всех уровнях. Все ступени образования должны знакомить людей с основными законами экологии, в шутильной форме прекрасно сформулированными Барри Коммонером:

все связано со всем;  
все должно куда-то деваться;  
природа знает лучше;  
ничто не дается даром.

Две организации ООН — ЮНЕСКО и ЮНЕП в 1975 г. приступили к осуществлению совместной программы «Образование в области окружающей среды». Эта программа обращает внимание на то, что образование в об-

ласти окружающей среды является важным компонентом общего образования и заслуживает, чтобы его включили в программы учебных заведений всех типов и уровней. При этом преследуется двойная цель: способствовать более глубокому осознанию населением проблем окружающей среды, а также вызвать у него желание принимать активное участие в мероприятиях по решению этих проблем. Такое образование не может быть чисто познавательным. Оно должно развивать правильное понимание окружающей среды, уважение к ней, чувство ответственности за нее и стремление внести свой вклад в дело защиты и улучшения местообитания человека, выработку им соответствующего поведения в повседневной жизни и на работе.

Очень важно, чтобы знания по охране окружающей среды получали не только лица, являющиеся специалистами в этой области, но и все те, кто обязан принимать решения, оказывающие значительное воздействие на окружающую среду. Имеются в виду администраторы, экономисты, инженеры, а также представители других социальных и профессиональных категорий населения, техники, представители среднего руководящего персонала, квалифицированные рабочие. Долг высших учебных заведений и научных учреждений — оказывать содействие в этой работе.

В рамках осуществления программы ООН были проведены семинары, конференции, заседания рабочих групп. В 1977 г. в Тбилиси прошла международная конференция по вопросам образования в области охраны окружающей среды. В результате проведенных дискуссий были сформулированы следующие задачи экологического образования:

- повышение внимания к общим проблемам окружающей среды;

- сообщение сведений об окружающей среде и ответственности человечества за ее состояние;

- воспитание чувства причастности к проблемам окружающей среды, социальное значение мотивации участия в деле защиты окружающей среды и ее улучшения;

- передача опыта в решении проблем окружающей среды;

- развитие умения оценивать меры по охране окружающей среды и формирование соответствующих программ с учетом экологических, политических, экономических, социальных, эстетических и общеобразовательных аспектов;

- развитие чувства ответственности и настоятельной необходимости разрешения проблем окружающей среды, неотложности незамедлительных действий.

Участники конференции в Тбилиси заявили: «Образование, основанное на достижениях науки и техники, должно играть ведущую роль в расширении знаний и достижений, лучшего понимания проблем окружающей среды... Специалисты в области окружающей среды, так же как и те, чьи действия и решения могут иметь заметное влияние на окружающую среду, должны в процессе обучения обязательно получить необходимые знания и опыт, а также почувствовать свою ответственность за сохранение окружающей среды... образование в области окружающей среды должно вовлекать каждого в процесс активного решения проблем, поощрять инициативу, чувство ответственности и участие в создании лучшего будущего».

Решение вопросов охраны окружающей среды требует нового подхода к воспитанию и обучению инженеров и особенно инженеров-химиков-технологов. Инженер-технолог должен обладать развитым чувством причастности к проблемам окружающей среды, чувством ответственности перед настоящим и будущим человечества, ибо его действия и решения имеют заметное и непосредственное влияние на состояние окружающей среды. Кроме того, инженер-технолог, в отличие от многих других специалистов, может не только поставить вопрос об охране окружающей среды, но и решить его.

Никто не сомневается в том, что работники заповедников, охраняющие редких животных, лесоводы, выращивающие новые леса, гидрохимики, внимательно наблюдающие за состоянием водоемов, являются активными защитниками природы. Но, как справедливо отмечает В. Чивилихин, инженер, создавший технологию или машину, помогающую извлечь максимум пищевого (или какого-либо другого) продукта из данного сырья, — защитник природы не меньший, чем лесовод, вырастивший добрый лес.

Экологическое воспитание и образование должно пронизывать весь процесс формирования техника и инженера. Это не значит, что не нужны специальные курсы по основам экологии или охране природы. Но главное все-таки, чтобы все специалисты, выпускаемые высшей и средней школой, вместе с основательными теоретическими и практическими знаниями получали высокий нравственный заряд и умение решать вопросы охраны природы применительно к области их специализации. Все экологические проблемы совершенно конкретны. Инженер, работающий в цехе серной кислоты, как никто другой, знает, где про-

исходит утечка опасных веществ в окружающую среду, и только он может ее устранить.

В учебные планы Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева, как и многих других химико-технологических институтов страны введены общие и специальные курсы по охране природы; студенты начали принимать участие в научно-исследовательской работе природоохранной направленности, активизировалась общественная деятельность студентов по охране окружающей среды.

Элементы экологических и природоохранных знаний вводятся во все формы учебной работы. На разных этапах обучения студенты получают сведения о началах экологических знаний, экологических понятиях (экологическая ниша, экосистема, биотип, биоценоз и т. п.), предельно допустимых концентрациях, предельно допустимых выбросах, получают навыки прогнозирования последствий природообразующей деятельности человека. Предусмотрено изложение исторических аспектов вопроса, правовых норм и законодательных положений, а также экономических аспектов охраны среды.

В наиболее конкретной форме вопросы охраны окружающей среды нашли свое отражение в курсе общей химической технологии, где основное внимание уделяется природоохранной направленности основных тенденций в развитии химической технологии: создании безотходных и малоотходных производств, использовании вторичных ресурсов, комплексном использовании природного сырья, комбинировании и совмещении производств и др. Важным аспектом обучения является усвоение студентами идеологии безотходного производства, понимание того, что только оптимизация всего цикла «ресурсы — производство — потребление — ресурсы» дает возможность снизить до минимальных размеров отрицательное воздействие и производства и потребления на окружающую среду.

Экологические и природоохранные знания, полученные в общеобразовательных курсах, получают закономерное развитие в курсах специальной подготовки. Так, например, в разделе «Обогащение руд» подчеркивается, что процесс обогащения не только повышает содержание целевого компонента, но и создает основу для комплексного использования руды, а также удаления вредных для окружающей среды веществ. Описание нетрадиционных приемов добычи полезных ископаемых (подземной газификации, подземного

выщелачивания и т. п.) сопровождается сравнением с обычными методами добычи с точки зрения окружающей среды. Изучаются работающие в промышленности мало- и безотходные производства, замкнутые водооборотные циклы и др. Постоянное внимание уделяется тому, что повышение качества изделий, удлинение срока их использования уменьшает отходы потребления, экономит ресурсы и тем самым является важным фактором охраны окружающей среды.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В своей политике в области охраны окружающей природной среды наша страна исходит из жизненной важности этой проблемы не только для советского народа, но и для всего человечества.

В последние годы Советским правительством принят ряд важных и эффективных мер, направленных на решение некоторых проблем окружающей среды.

Основы социалистической концепции рационального природопользования нашли яркое выражение в ряде постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР, а также в законодательстве СССР и союзных республик. Объектами внимания этих постановлений стали озеро Байкал, реки Волга, Урал и другие бесценные сокровища природы нашей страны. Проблеме борьбы с загрязнением окружающей среды было посвящено общее собрание АН СССР. Осенью 1973 г. специальная сессия Верховного Совета СССР заслушала доклад «О мерах по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов» и приняла специальное решение по этому вопросу.

В Советском Союзе введена обязательная государственная экологическая экспертиза проектов всех новых крупных промышленных и сельскохозяйственных объектов. Повышается ответственность плановых, хозяйственных и проектных организаций за научно обоснованное, экологически грамотное проектирование и строительство новых предприятий и реконструкцию действующих. Разрабатываются меры экономического и морального стимулирования природоохранных мероприятий. Делается все возможное, чтобы последующие поколения советских людей пользовались всеми благами и богатствами прекрасной природы нашей страны. Можно привести много примеров того, как

меры, принятые в этом направлении Коммунистической партией и Советским правительством, претворяются в жизнь. Например, перевод электростанций на газовое топливо и вывод более 300 промышленных предприятий, загрязнявших атмосферу вредными выбросами за пределы Москвы, способствовал превращению столицы СССР в один из самых чистых городов мира.

Тем не менее негативное воздействие промышленных отходов на окружающую среду имеет место в нашей стране до сих пор. Причины этого заключаются в следующем. Во-первых, наша промышленность унаследовала и многие годы вынуждена была эксплуатировать технологические схемы, основанные на исторически сложившихся старых методах, несовершенных в экологическом отношении. Долгое время мы не могли реализовать в полном объеме принципы социалистического природопользования. Молодая советская страна должна была ликвидировать унаследованную от царизма экономическую отсталость в предельно короткие сроки. Решая эту жизненно важную проблему, Советское государство вынуждено было допускать в ряде случаев узкоутилитарный подход к использованию природных ресурсов. Во-вторых, в годы Великой Отечественной войны и после ее окончания наша страна какое-то время была вынуждена планцировать производственные задания с минимальными материальными затратами и достигала этого в определенной степени за счет эксплуатации природных ресурсов, часто отступая от оптимального варианта.

Все сложности и противоречия, с которыми сталкивается человечество в области окружающей среды, неразрывно связаны не только с технологическими, но и с моральными, социальными и политическими аспектами. Научные и технические решения целого ряда проблем есть уже сейчас. Нужно только желание, время и средства для их осуществления.

Важнейшим условием успешного преодоления трудностей во взаимоотношениях человека и природы является сохранение прочного мира на Земле, ограничение, а затем и полное прекращение производства вооружений.

Разговоры об охране окружающей среды теряют содержание и смысл перед угрозой мировой ядерной войны. Но и балансирование цивилизации на грани мира и войны в условиях безудержной гонки вооружений существенно ограничивает возможности человечества в решении проб-

лем окружающей среды. Население Земли ежегодно расходует на военные цели 500 млрд. долл. Это составляет две трети совокупного валового национального продукта 60 экономически отсталых стран. Совершенствованием, разработкой и производством средств уничтожения заняты 25 % всех ученых Земли.

В 1985 г. США потратит 340 млрд. долл., а всего в предстоящее пятилетие — 1,7 трлн. долл. на военные цели.

Очевидно поэтому, что осуществление эффективных мероприятий по охране природы во многом зависит от способности человечества противостоять безумию тех, кто толкает его на грань ядерной катастрофы.

В соответствии с учением В. И. Вернадского о ноосфере — разумной сфере обитания человека будущего — высшая форма развития материи на Земле — жизнь — постепенно подчиняет себе другие планетарные процессы. В 1944 г. во время мировой войны, когда проблема «человек — природа» не казалась еще столь актуальной, В. И. Вернадский писал: «Впервые в истории человечества интересы народных масс — всех и каждого — и свободной мысли личности определяют жизнь человечества, являются мерилом его представлений о справедливости...

Идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы. Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим».

## литература

- Бокрис О. М. Химия окружающей среды. М., Химия, 1982.
- Галеев А. М., Курок М. Л. В семинарах по проблемам экологии. М., Московский рабочий, 1980.
- Громов Б. В., Зайцев В. А. и др. Безотходное промышленное производство. Основные принципы безотходных производств. — Итоги науки и техники, т. 9. М., 1981; т. 13. М., 1983.
- Дажо Р. Основы экологии. М., Прогресс, 1975.
- Жаворонков Н. М. — Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева, т. 27, 1982, с. 1807.
- Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств. М., 1982.
- Костандов Л. А. — Наука и жизнь, 1980 № 2.
- Кулешов В. П. Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами. М., Химия, 1979.
- Коммонер Б. Замыкающий круг. Л., Гидрометеиздат, 1974.
- Нуриев З. — Коммунист, 1983, № 15, с. 80.
- Откуда исходит угроза миру. М., Воениздат, 1982.
- Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов. М., Колос, 1977.
- Пасютин Э. — Неделя, 1980, № 20, с. 11.
- Цыганков А. П., Балацкий О. Ф., Сенин В. Н. Технический прогресс — химия — окружающая среда. М., Химия, 1979.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Некоторые последствия воздействия производительности деятельности человека на окружающую среду . . . . .	4
Проблема № 1 — чистый воздух . . . . .	16
Проблема № 2 — чистая вода . . . . .	21
Проблема № 3 — твердые отходы . . . . .	28
Безотходная технология — не миф, а реальность . . . . .	34
Проблемы экологического образования инженеров-технологов	56
Заключение . . . . .	60
Литература . . . . .	63

Геннадий Алексеевич ЯГОДИН  
Людмила Георгиевна ТРЕТЬЯКОВА

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин.

Редактор Г. Г. Карвовский.

Мл. редактор Л. И. Готт.

Обложка художника А. А. Смирнова.

Худож. редактор М. А. Бабичева.

Техн. редактор А. М. Красавина.

Корректор А. И. Новиков.

ИБ № 6475

Сдано в набор 21.01.84. Подписано к печати 16.03.84. Т-03820.

Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная.

Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,58.

Тираж 26 890 экз. Заказ 118. Цена 11 коп.

Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4.

Индекс заказа 844103.

Ордена Трудового Красного Знамени

Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром»

Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии

и книжной торговли

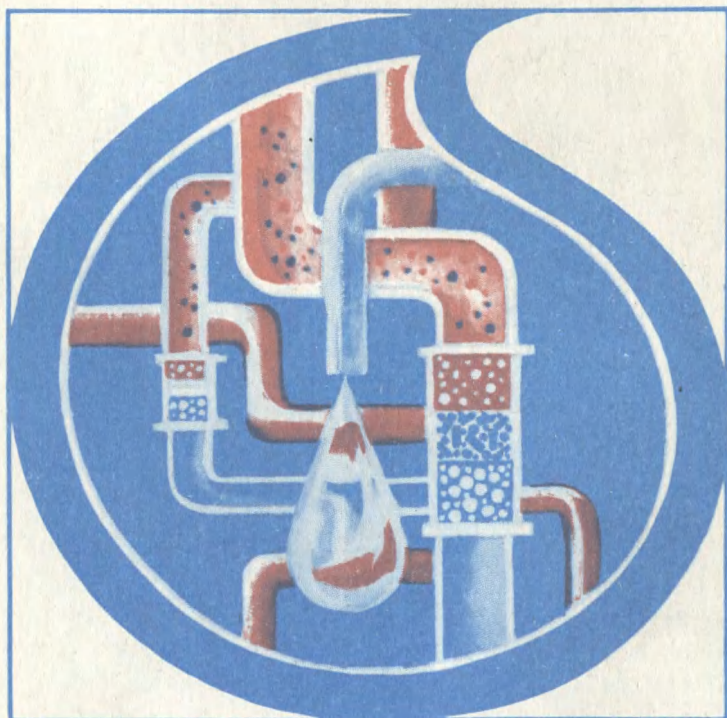
г. Чехов Московской области

## ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание““.

Цена подписки на год 1 р. 32 к.



# ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ