

ХИМИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ЭПОХУ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

*Д. И. Мычко, кандидат химических наук,
доцент кафедры неорганической химии Белгосуниверситета*

В истории развития человечества XX век был уникален с точки зрения накопления и решения противоречивых фундаментальных проблем. С нарастающей быстротой в прошлом веке шли интегративные процессы всех сфер общественной жизни. В третье тысячелетие человечество вступило как единое целое. Объединение народов шло за счет техники, экономики, роста торговли, развития коммуникаций (транспорт, средства массовой информации), мобильности и преобразующей способности человека. Земля стала восприниматься как «общий дом», «лодка в бушующем океане», «островок во Вселенной». Это принесло и принципиально новые проблемы, которые также оказались общими для всех людей, т.е. глобальными.

XX век был временем очарования выдающимися достижениями науки и техники, новыми технологиями и продуктами, способными удовлетворить все более и более утонченные потребности человека. Он подарил человечеству космос, атомную энергию, телевидение, компьютер, пластмассы, синтетические волокна, огромное количество новых лекарственных препаратов, пестициды (средства повышения урожайности) и многое-многое другое. Казалось бы, это должно было обеспечить человечеству счастье. Однако время надежд сменилось разочарованием. И сомнение в благости научно-технического прогресса стало нарастать по мере дальнейшего развития этого процесса.

В современном лексиконе все чаще стали встречаться такие словосочетания, как «экологическое бедствие», «экологическая катастрофа». Это не дань моде, а результат обеспокоенности человечества, ощущающего на себе давление экологических проблем. Мог ли представить себе

человек начала второго тысячелетия, дерзнувший «подражать творчеству Бога», что его потомки будут лишены возможности вдохнуть чистого воздуха, напиться воды из родника и упиваться ароматом лугов, так как воздух будет насыщен вредными газами, вода — содержать опасные вещества, а цветы покроются радиоактивной пылью?

Научно-технический прогресс привел к тому, что в процесс производства оказалась вовлеченной практически вся биосфера планеты. Масштабы и степень воздействия на нее стали так велики, что могут сравниться с естественными природными процессами.

Близкой к катастрофической оказалась ситуация, связанная с истощением природных ресурсов. Нынешнее поколение поставлено перед выбором: либо уподобиться Хроносу, пожирающему своих детей, либо перераспределить и ограничить свои потребности в пользу будущих поколений.

В поиске новых идеалов развития цивилизации. Осознание ответственностью угрозы Земле и всем ее обитателям стало сейчас настолько всеобъемлющим, консолидирующим и влиятельным, что явилось побудительным мотивом к поиску новой модели развития цивилизации. В связи с этим появился новый термин «sustainable development», который позднее был зафиксирован в документах конференции ООН по окружающей среде и развитию, проходившей в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро с участием глав государств и правительств. Сейчас еще дискутируют, как лучше перевести этот термин на русский язык: *устойчивое* или *допустимое развитие*. Однако дело не в самом термине, а в том смысле, который вкладывается в понятие, так как с решением этой конференции связывают начало сознательного поворота нашей цивилизации на новый путь развития и термин символизирует его идеал. Этот идеал требует баланса между развитием мировой экономики, решением социальных проблем и сохранением окружающей среды [1].

Основные положения концепции устойчивого развития базируются на простой и очевидной идее, высказанной госпожой Г. Х. Браундтланд, премьер-министром Норвегии: удовлетворение потребностей нынешнего поколения должно осуществляться таким образом, чтобы не ограничивать и не подвергать опасности возможность удовлетворения потребностей будущих поколений.

Но почему этим идеалом должно стать развитие? Одна из существующих концепций объясняет возникновение экологических проблем чрезмерным потреблением. Действительно, приоритет материальных потребностей поставил наше общество в очевидное противоречие с ограниченностью природных ресурсов. Природа уже не в состоянии переносить тяготы нарастающей комфортности нашей жизни. Однако маловероятно, что в ближайшем будущем человечество согласится уменьшить свои потребности, что

означало бы отказ от цивилизации. Эти устремления всегда учитывались религиями и идеологиями, призывавшими к воздержанию во имя будущего. В то же время увеличение потребления неизбежно ввиду экспоненциального роста народонаселения, которое только к 2050 г. должно составить 8,2 млрд человек. Поэтому только развивающееся общество сможет обеспечить свое существование.

Каким быть этому развитию? Сейчас стало совершенно очевидным, что если развивающиеся страны пойдут по тому же пути, что и США с Западной Европой, — будут любой ценой наращивать производство, чтобы удовлетворить свои потребности, то Земля просто не выдержит. Поэтому, если признать, что удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения должно достигаться без лишения такой возможности будущих поколений, то развитие общества должно быть строго допустимым. Этого можно достигнуть в том случае, если развитие будет управляемым. Еще в начале XX в. В. И. Вернадский констатировал, что эпоха стихийного развития человечества заканчивается. Начинается новая эпоха управляемого развития.

На конференции в Рио-де-Жанейро подчеркивалось, что необходим такой процесс развития, который был бы устойчивым. При этом сама принятая концепция устойчивого развития не предполагает абсолютных ограничений. Она имеет в виду только ограничения на использование природных ресурсов, связанные с современным состоянием технологии и социальной организации, а также ограничения, обусловленные способностью биосферы вынести последствия человеческой деятельности.

Но что тогда может обеспечить устойчивое развитие? Ведь до сих пор развитие общества осуществлялось только за счет овладения природой.

На конференции были обозначены основные факторы, влияющие на достижение устойчивого развития. Их определяют экономическая политика, наука, культура и образование.

Рассмотрим здесь лишь те из них, решение которых находится в сфере деятельности химиков.

Химия в интересах устойчивого развития цивилизации. Концепция устойчивого развития включает в себя следующие основные вопросы, которые должно будет решать человечество:

- рост народонаселения;
- источники энергии и новые топлива;
- пища, включая питьевую воду;
- источники ресурсов;

- глобальные климатические изменения;
- проблемы загрязнения воздуха, воды (мировой океан, моря, озера, реки, подземные источники) и почвы;
- проблема ограничения производства и потребления токсичных и вредных продуктов.

Из этого списка, как видно, только проблема регулирования народонаселения остается в стороне от химии, хотя уровень жизни и здоровье населения так или иначе связаны с химией.

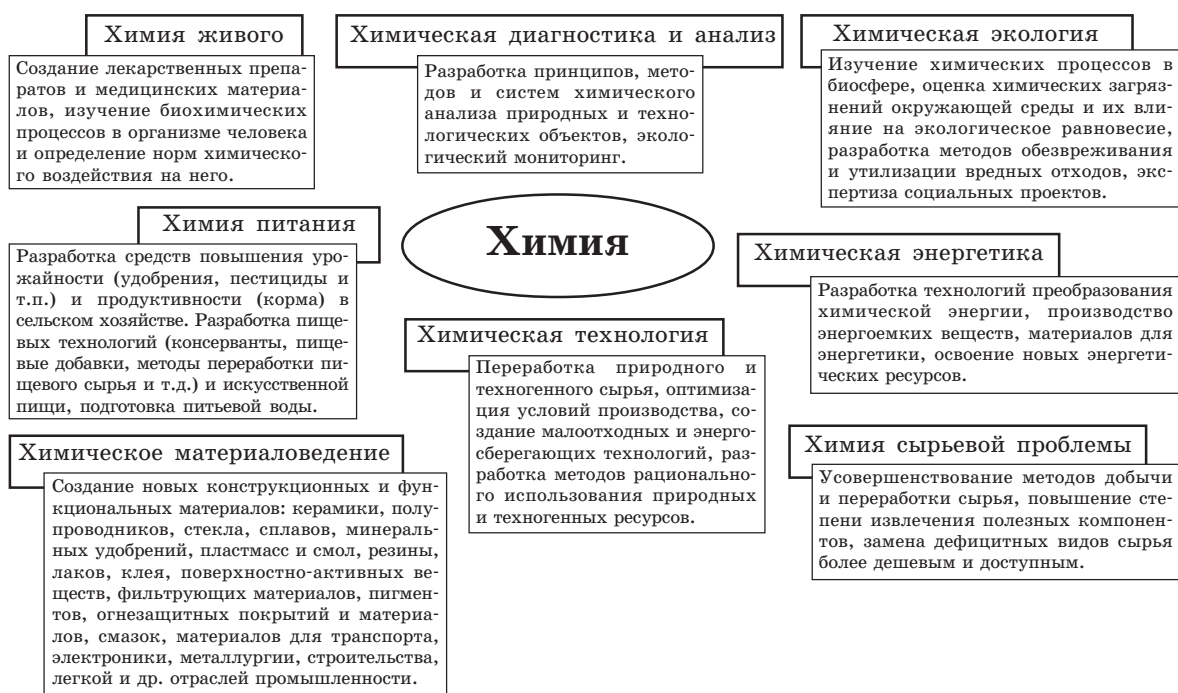


Рис. 1. Задачи, решаемые химией в интересах устойчивого развития цивилизации

Каковы же приоритеты химии в решении задач концепции устойчивого развития?

Сохранение жизненных ресурсов. В настоящее время возрастающее потребление быстро увеличивающегося населения часто приводит к принятию краткосрочной тактики при эксплуатации природных ресурсов. Расплата за такой подход становится сейчас всё более очевидной: эрозия почв, потеря сельскохозяйственных угодий, загрязнение, разрушение экосистем и т.д. Сохранение биосферы — главное условие сохранения жизни на

Земле. Но для этого необходимо устранить загрязнение окружающей среды.

Очевидно, что химия и экология стоят рядом. Но неправильные стереотипы мышления заставляют видеть в их взаимодействии только экологические проблемы. Отсюда возникло достаточно распространенное мнение: «поменьше химии». И здесь хотелось бы сказать слово в ее защиту. Ведь дело не только в том, что химическая промышленность занимает далеко не первое место в загрязнении окружающей среды, «уступая» метал-

лургии и теплоэнергетике (табл. 1—3). Позиция «поменьше химии» абсурдна потому, что химические знания и технологии играют едва ли не основную роль в решении проблем обеспечения потребностей человечества. В металлургии, электронной, пищевой и легкой промышленности, в энергетике, промышленности строительных материалов и во многих других большая часть технологических операций по своей сути носит химический характер: приготовление и очистка материалов, окраска, склеивание и т.д. Всё, что связано с расходом материальных ресурсов в хозяйственной деятельности людей, на три четверти связано с использо-

ванием химических технологий. Примеров тому великое множество. Так, в топливном цикле ядерной энергетики 75 % производственных операций химические. Это и кислотное выщелачивание ураносодержащих руд, и приготовление особо чистых концентратов, и перевод соединений урана в газовую фазу для разделения изотопов, и последующее восстановление газа до урана или его оксидов, и приготовление необходимых материалов и композиций для активной зоны атомных реакторов и т.д. вплоть до радиохимической переработки отработанного ядерного топлива, разделения и захоронения радиоактивных отходов.

Таблица 1. Основные источники загрязнений, % [1]

Источник загрязнения	Россия	США
Электроэнергетика	32	14
Транспорт	26	60
Металлургия	20	17
Добыча и переработка нефти	5	
Химическая промышленность	5	
Производство бумаги	2	
Переработка и уничтожение отходов	3	6

Таблица 2. Масштабы некоторых природных и техногенных воздействий на верхние горизонты земной коры (в год)

Извлечение из литосферы		Поступление в литосферу	
Добыча минерального сырья	100 млрд т	Внесение удобрений в почву	500 млн т
Водозабор	560 км ³	Внесение пестицидов в почву	5 млн т
Твердый сток в моря	17,4 млрд т	Промышленные и коммунальные стоки (сточные воды)	500 км ³
Вулканические выбросы	3,0 млрд т	Перемещение пород при строительстве и добыче ископаемых	4000 км ³
Выброс нефти в море	10 млн т		

Причина экологических проблем — хозяйственная деятельность человечества, которая в течение XX столетия привела к серьезному загрязнению нашей планеты разнообразными бытовыми и отходами производств (табл. 3). Эти загрязнения природной среды в настоящее

время имеют не только локальный, но и глобальный характер, т.е. проявились в изменении характеристик природной среды в масштабах всей Земли и стали опасны для всего человечества. В связи с этим стали говорить об антропогенной интоксикации планеты.

Таблица 3. Количество коммунальных отходов, образующихся за год в некоторых странах, по данным на 1994 г.

Страна	Общая масса отходов, млн т	Масса отходов, приходящаяся на 1 человека, т
Великобритания	15,8	0,28
Испания	8,0	0,21
США	200,0	0,87
Япония	40,3	0,29

Техногенная деятельность человечества выступает и как активный разрушитель почвенного покрова, который обеспечивает циклический характер воспроизводства жизни на суше. По данным Международного справочно-информационного почвенного центра (Нидерланды) на 1990 г. разной степени деградации подвержены почти 2 млрд га почв, из них 55,6 % приходится на счет водной эрозии, 27,9 — ветровой, 12,2 — химических факторов (засоление, загрязнение, истощение элементами питания), 4,2 % — физического уплотнения и подтопления. За исторический период человечество уже утратило около 1,5—2,0 млрд га плодородных почв. Это больше, чем вся площадь современного мирового земледелия. За последние 50 лет скорость деградации почв увеличилась в 30 раз по сравнению со среднеисторической и составляет сейчас 7 млн га в год.

Почва — основа продовольствия — является базовой ценностью для человечества. Поэтому ее разрушение может стать первым и главным ресурсным кризисом. Исчезновение пахотных почв — это прежде всего снижение продовольственных ресурсов, которые с учетом роста населения с каждым годом все больше истощаются.

Что делает химия для сохранения площадей и улучшения плодородия почв, решения продовольственной проблемы? Роль химии в повышении эффективности сельского хозяйства прекрасно иллюстрирует резкое возрастание урожайности зерновых культур: 100 лет назад средняя урожайность составляла 5—8 ц/га, а сейчас в раз-

витых странах она равна 100 ц/га, а в экспериментальных условиях доходит до 200 ц/га. Этот процесс, названный «зеленой революцией», в значительной степени обязан использованию удобрений, химических средств защиты растений от вредителей и болезней.

С учетом того, что по прогнозам до 2015 г. прирост народонаселения будет составлять 86 млн человек в год, а уже сейчас только детская смертность от недоедания составляет 5 млн человек в год, производство продуктов питания для преодоления этой драматической ситуации должно возрасти в 2,5—3 раза. Решение этой проблемы лежит на пути дальнейшей химизации сельского хозяйства, создания искусственной пищи, новых пищевых технологий.

Другая не менее важная проблема сохранения жизненных ресурсов, без решения которой невозможно не только развитие, но и просто существование нашей цивилизации, — это **проблема сырьевых ресурсов**, и прежде всего энергетических.

В мировом балансе источников энергии за 2000 г. доля нефти составила 38 %, природного газа — 23, угля — 27, ядерного топлива — 6, а всех так называемых возобновляемых источников энергии (гидроэнергетика, энергия ветра, солнечная энергия, гидротермальная энергия, энергия биомассы) — 6 % (рис. 2). Таким образом, почти на 90 % мировое энергопотребление в настоящее время удовлетворяется за счет органического топлива (уголь, нефть, газ), которое, с одной стороны, ограничено по своему количеству, а с другой — продукты его сгорания в увеличивающихся мас-

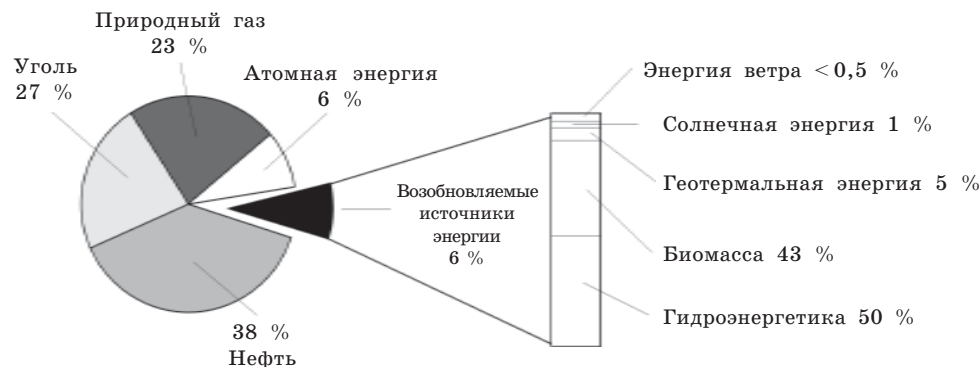


Рис. 2. Удельная доля использования различных видов энергии

штабах загрязняют и разрушают атмосферу Земли («кислотные дожди», парниковый эффект, разрушение озонового слоя). Наиболее крупным потребителем топлива является собственно энергетика, т.е. весь комплекс процессов преобразования первичных природных энергоресурсов во вторичные (электричество, промышленное и коммунальное тепло), и транспорт. При неблагоприятном прогнозе к 2020 г. произойдет резкое снижение запасов нефти (рис. 3). Практически за одно XX столетие человечество израсходовало ценнейшее сырье, создававшееся на Земле в течение сотен миллионов лет. При этом израсходовало самым неразумным образом — сырье, из которого можно изготовить массу полезных продуктов, по сути дела, растрчено на производство моторного топлива.

Специалисты обсуждают **несколько путей решения энергетических проблем**.

На первое место в ближайшее время, которое часто называют переходным периодом к устойчивому развитию, следует поставить более **рациональное использование топлива**. Ведь пока коэффициент использования энергоресурсов составляет 40 %. Основные энергетические потери обусловлены необратимостью самого процесса горения топлива и необратимостью передачи теплоты от продуктов сгорания топлива к рабочему телу энергоустановки. «Обуздание» указанных источников означало бы приблизительно двукратное уменьшение расхода топлива и соответственное снижение объема вредных выбросов. Хи-

Добыча, баррель/сут

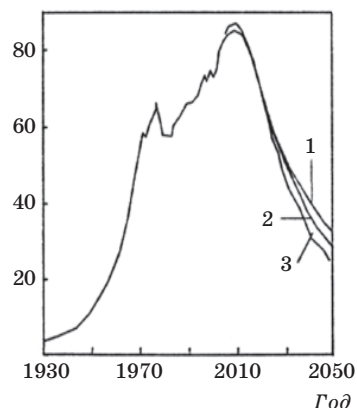


Рис. 3. Достиженные и прогнозируемые объемы мировой добычи нефти в предположении:

- 1 — нулевого роста потребления;
- 2 — роста потребления на 1 %;
- 3 — роста потребления на 2 %

мические науки (химическая термодинамика, электрохимия, материаловедение и технология) имеют непосредственное отношение к созданию более рациональных схем переработки химической эксергии (полезности) топлива во вторичные энергоресурсы [3].

Хотя на ближайшие несколько десятилетий необходимо рассчитывать на уже освоенные источники энергии — органическое и урано-плутониевое топливо, однако уже сейчас разрабатывается другой путь, в основе которого лежит классическая схема **атомно-водородной энергетики**. По этой схеме значительная часть электроэнергии, поставляемой атомными электростанциями, идет на производство водорода путем электролиза воды. Водород

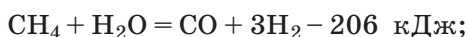
здесь рассматривается как универсальный, экологически чистый энергоноситель, достаточно удобный для создания резервных запасов энергии [4].

Молекулярный водород называют топливом XXI в. Среди его достоинств выделяют высокую энергоемкость (в расчете на единицу массы он в 2,6 раза превосходит нефть), химико-экологическую чистоту, практическую неисчерпаемость запасов (основной ресурс водорода — вода). Кроме того, водород — это не только высокоэффективное топливо, но и ценное сырье для химической промышленности.

Препятствием к практическому использованию водорода в качестве синтетического топлива являются высокие энергетические затраты на его производство и сложность хранения.

Кроме упомянутой атомной, в качестве одного из возможных источников энергии для производства водорода рассматривают **солнечную**. Существуют следующие типы преобразования солнечной энергии в энергию водорода:

- термокаталитический, предполагающий использование солнечного тепла для осуществления эндотермического каталитического процесса типа:



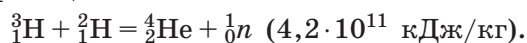
- фотохимический, или фотокаталитический, — прямым разложением воды солнечным светом с использованием приемов фотокатализа и фотосенсибилизации по типу фотосинтеза.

Этот же способ предполагает и возможность использования природных фотохимических систем — растений, водорослей, бактерий;

- использование электроэнергии, полученной от солнечных батарей, для электролиза воды.

Эффективное решение проблемы использования водорода в будущем связывают также с успешной разработкой технологии топливных элементов (электрохимических генераторов), характеризующихся 80—85%-ной эффективностью преобразования энергии в режиме одновременного использования электричества и тепла [5].

Так же, только в перспективе — через несколько десятилетий, видится возможность использования термоядерной энергии, выделяющейся в реакции:



В решении проблемы «чистой энергии» в последнее время большое внимание уделяется альтернативным источникам энергии, таким, как солнце, гидротермальные воды, гидроэнергия малых рек и, главным образом, возобновляемые, т.е. порожденные солнечной энергией (биомасса, ветер, дождь) [5]. Например, за рубежом все большее распространение получает следующая точка зрения: промежуточным стратегическим шагом в снижении экологического ущерба от транспорта должна быть замена жидкого углеродного топлива не

Доля в электробалансе

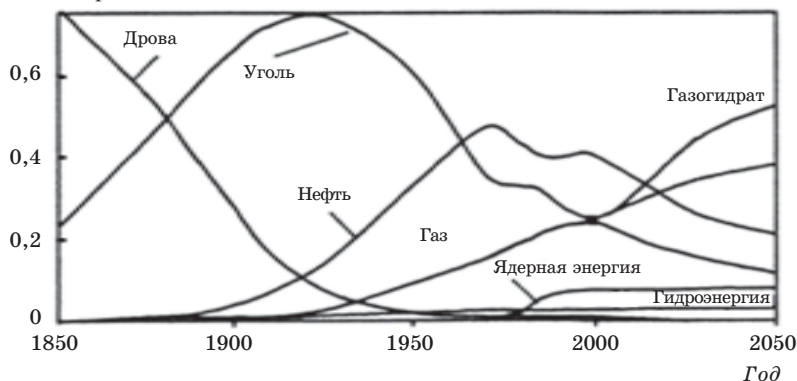
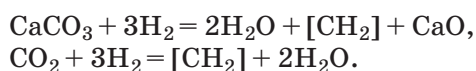


Рис. 4. Изменение мирового энергетического баланса за период 1850—2000 годы и прогноз до 2050 г.

метаном, а метанолом. В частности, так поступают в Бразилии, производя метанол из сахарного тростника.

Растительное сырье — это естественный источник аккумуляции солнечной энергии путем фотосинтеза биомассы из парникового газа CO_2 и воды. В целом на планете синтезируется около 200 млрд тонн древесной биомассы в год, что значительно превышает ежегодную мировую добычу нефти, природного газа и угля вместе взятых.

Интенсификацией использования возобновляемых ресурсов углеводородсодержащего сырья, прежде всего биомассы растений, а также твердых промышленных и коммунальных отходов в настоящее время обуславливается возможность решения проблемы сырьевой базы для многотоннажной химии. В этой же связи обращается внимание и на возможность использования неограниченных природных ресурсов неорганического углерода (в виде атмосферного CO_2 и карбонатов). Рассматриваются гипотетические реакции получения углеводородов:



Правда, при этом отмечают трудности концентрирования CO_2 из атмосферы из-за его низкого содержания (346 ppm).

По мнению специалистов [3], культивируемые идеи о том, что возобновляемые ресурсы помогут решить все энергетические проблемы, не имеют под собой научных оснований. Как показали результаты моделирования глобальных процессов развития цивилизации, при современном уровне энергопотребления развитых стран за счет возобновляемых источников энергии на Земле может существовать не более 500 млн человек, что в 10 раз ниже уже достигнутой численности населения. Использование геотермической энергии, энергии ветра, приливов и морских течений, несомненно, поможет решить некоторые частные задачи, однако это не повлияет на общую картину. При сохранении существующей тенденции речь пойдет об увеличе-

нии потребления энергии не на проценты, а на порядки величины.

В ближайшее время основная ставка делается на существующие или разрабатываемые передовые газохимические технологии производства и использование **вторичных энергоресурсов**.

В качестве сырья для этих целей предполагается применять, ввиду еще достаточно больших запасов, уголь. Предполагается, что для более эффективного и экологически чистого использования угля типовая угольная электростанция XXI века будет применять в качестве топлива не непосредственно уголь, а синтез-газ (смесь CO и H_2) или водород, полученный путем предварительной газификации угля:



Необходимый для газификации кислород будут получать относительно дешевым способом — разделением воздуха. Из очищенного от серо- и азотсодержащих соединений и твердых примесей синтез-газа на основе мембранных технологий будут выделять водород, используемый в качестве экологически чистого топлива для газовых турбин и топливных элементов. Моноксид углерода путем паровой конверсии будут превращать в дополнительное количество водорода и углекислый газ ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41 \text{ кДж}$), а последний — удалять из полученных газов без выделения в атмосферу, не усиливая парниковый эффект. Полученный синтез-газ ($\text{CO} + \text{H}_2$) будет использоваться для выработки синтетических жидких углеводородов, необходимых для замещения истощающихся запасов нефти и производства синтетических жидких моторных топлив.

В последнее время возрос интерес к проблеме **химической переработки газа**, особенно к изучению возможности его переработки в жидкие углеводороды и моторное топливо, или, как их называют, **GTL (gas-to-liquid)-технологиям**. Крупнейшие компании мира уже анонсировали планы строительства новых предприятий [9].

В ныне действующих GTL-техноло-

гиях используется менее 5 % от всего объема добываемого газа. Основными крупнотоннажными продуктами природного газа являются аммиак и метанол. Кроме того, природный газ используется в относительно малотоннажных процессах получения сажи, ацетилена, хлорфторуглеводородов и некоторых других продуктов.

Все ныне действующие производства и предлагаемые проекты с использованием GTL-технологий основаны на предварительной конверсии природного газа в синтез-газ.

Рассматриваются также технологии конверсии природного газа в синтетические жидкие углеводороды и метанол. Метанол служит сырьем для производства формальдегида, уксусной кислоты, метил-трет-бутилового эфира («восходящая звезда» химического производства, используется в качестве присадки к автомобильному топливу для повышения октанового числа бензина, заменяет экологически опасный тетраэтилсвинец), а также других химических продуктов.

Главным преимуществом жидких углеводородов и полученного из них моторного топлива является отсутствие экологически опасных примесей, и прежде всего соединений серы.

Одним из перспективных источников замены истощающихся запасов природного газа в последнее время рассматриваются газогидратные месторождения. По оценкам специалистов они представляют собой огромный, а может, как иногда говорят, даже неограниченный ресурс метана. Метан в них содержится в виде **твердых газовых гидратов** — соединений включения, состав которых можно выразить формулой $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

В природных условиях гидраты метана существуют в районах вечной мерзлоты или под дном океана. К сожалению, технологии добычи, не наносящие непоправимого вреда природе, пока не разработаны. Есть опасность, что начало этих разработок может инициировать тектонические сдвиги и большое выделение метана в атмосферу, что повысит ее температу-

ру, поскольку метан — один из газов, создающих парниковый эффект. В настоящее время США и Япония ведут активную разработку методов промышленной эксплуатации газогидратных месторождений.

Не менее масштабной проблемой использования природных ресурсов, решение которой зависит от химии, является **проблема добычи и комплексной переработки руд металлов**. Например, в настоящее время мировое производство стали превышает 1 млрд тонн в год. При таких темпах производства в ближайшие 50—60 лет мировые запасы железных руд первой категории, составляющие 150—200 млрд тонн (общие разведанные запасы оцениваются в 370 млрд тонн), начнут исчерпываться. Это требует разработки новых химических технологий переработки бедных руд. С такой же проблемой связана задача экономии черных и цветных металлов, защиты их от коррозии и износа, повышения качества последних, замены их менее дефицитными материалами и материалами с лучшими свойствами. Особое место занимает порошковая металлургия. Ее методы позволяют производить не только изделия различной формы и назначения, но и создавать принципиально новые материалы.

Важным источником экономии природных ресурсов и решения задачи развития цивилизации является **разработка новых материалов и экономичных технологий их изготовления**. К таким материалам относятся полимеры, композиционные и керамические материалы, искусственные и синтетические волокна. По своим свойствам они способны восполнить недостаток природных материалов, а также заменить традиционные, так как в ряде случаев обладают такими потребительскими свойствами, каких нет у традиционных [6]. К настоящему времени получено и изучено более 20 млн химических соединений. Очевидно, что само разнообразие этих соединений и методов их получения ставит новые проблемы и задачи. Простым подбором нужного вещества

из всей массы известных веществ их не решить. Кроме того, потребность в веществах с заданными свойствами продолжает возрастать. Поэтому все это становится уже не прикладной, а фундаментальной задачей химии.

Решение перечисленных выше проблем во многом определяется развитием химической технологии. С ней связана и **задача охраны окружающей среды**. Она включает в себя несколько аспектов.

Во-первых, это задача **ослабления антропогенного воздействия**. Концепция устойчивого развития в первую очередь предполагает гармонию производства и окружающей среды. Традиционное решение обозначенной задачи находится вне производственного процесса и заключается в сборе отходов и их обработке различными способами (иногда разбавлением, обезвреживанием или отверждением) или просто в сборе их в емкости или на свалках. В то же время уроки прошлого свидетельствуют, что дешевле предотвратить образование загрязнения, чем ликвидировать последствия образования отходов и выбросов. В связи с этим была предложена концепция чистого производства [7]. Она отличается от существующего подхода к проблеме охраны окружающей среды, основанного на контроле загрязняющих выбросов на конечной стадии («end-of-pipe»). В случае чистого производства меры принимаются с самого начала процесса уже на стадии планирования производства продукции. Метод чистого производства предполагает заботу о системе в целом, а не об одном из ее звеньев. Это не просто очистка сточных вод или газовых выбросов. При такой технологии потребление сырья и энергии должно быть сведено к минимуму, а отходы — вообще отсутствовать: все побочные продукты включаются в технологический процесс. Концепция устойчивого развития охватывает не только производство, но и использование продукта вплоть до утилизации или уничтожения произведенных на его основе и отслуживших свой срок предметов. На

всех этапах своей жизни любой продукт не должен создавать опасности для человека и окружающей среды.

Сформулированное в настоящее время понятие «малоотходная технология и управление» относится к процессам производства и потребления, которые стимулируют:

а) уменьшение расхода материалов и энергии, сопровождаемое образованием малых количеств отходов или их отсутствием;

б) переориентацию деятельности от захоронения отходов к созданию технологий, обеспечивающих возврат и повторное использование продуктов;

в) программы сбора и обмена отходов, позволяющие извлекать полезные компоненты и перерабатывать их в новые продукты, даже если внешний вид и другие характеристики последних будут отличаться от таковых предшественников, произведенных по обычным нересурсосберегающим технологиям;

г) увеличение срока использования продуктов, так как чем дольше они используются, тем меньше требуется ресурсов — энергии и сырья — для обеспечения их выпуска;

д) замену материалов, произведенных из дефицитных ресурсов, на более доступные; способных накапливаться в биологических объектах — на разлагающиеся; токсичных — теми, которые, становясь отходами, не наносят вред окружающей среде;

е) проекты, предусматривающие возможность перестройки технологических процессов таким образом, чтобы производимые продукты можно было легко разрушить или использовать для получения тех же или новых продуктов.

На пути решения экологических проблем методами химии в последнее время появилась так называемая **green chemistry** («зеленая химия»). Это название не должно вызывать ассоциацию с движением «зеленых». Задача «зеленой химии» — обеспечить такие химические технологии и производства, в которых экологические последствия бы отсутствовали. Это не новый раздел химии, а новый способ мышления в химии, новая философия (стра-

тегия, концепция) химии [11]. Ее основные принципы были сформулированы Полом Анастасом, одним из руководителей Агентства защиты окружающей среды США.

1. Лучше предотвратить образование выбросов и побочных продуктов, чем заниматься их утилизацией, очисткой или уничтожением.

2. Стратегия синтеза должна быть выбрана таким образом, чтобы ВСЕ материалы, использовавшиеся в процессе синтеза, в максимальной степени вошли в состав продукта.

3. По возможности должны применяться такие синтетические методы, которые используют и производят вещества с максимально низкой токсичностью по отношению к человеку и окружающей среде.

4. Производимые химические продукты должны выбираться таким образом, чтобы можно было сохранить их функциональную эффективность при снижении токсичности.

5. Использование вспомогательных веществ (растворителей, экстрагентов и др.) по возможности должно быть сведено к минимуму (нулю).

6. Энергетические расходы должны быть пересмотрены с точки зрения их экономии и воздействия на окружающую среду, а также минимизированы. По возможности химические процессы должны проводиться при низких температурах и давлениях.

7. Сырье для получения продукта должно быть возобновляемым, а не исчерпаемым, если это экономически целесообразно и технически возможно.

8. Вспомогательные стадии получения производных (защита функциональных групп, введение блокирующих заместителей, временные модификации физических и химических процессов) должны быть по возможности исключены.

9. Каталитические системы и процессы (как можно более селективные) во всех случаях лучше, чем стехиометрические.

10. Производимые химические продукты должны выбираться таким образом, чтобы по окончании их функци-

онального использования они не накапливались в окружающей среде, а разрушались до безвредных продуктов.

11. Вещества и их агрегатное состояние с химическими процессами должны выбираться таким образом, чтобы можно было минимизировать вероятность непредвиденных несчастных случаев, включая утечки, взрывы и пожары.

12. Необходимы аналитические методы контроля в реальном режиме времени с целью предотвращения образования вредных веществ.

Еще одним важным направлением химии, связанным с решением задачи охраны окружающей среды, является **обеспечение экологического мониторинга**, т.е. аналитического контроля и диагностики состояния окружающей среды. Здесь возникает сразу несколько проблем: разработка методов и приборов контроля, а также интерпретация данных анализов. Последнее при этом представляется наиболее важным. Сам по себе мониторинг — только начальная стадия, за которой должны последовать диагностика состояния окружающей среды и химико-экологический прогноз ее изменения. Такой прогноз, естественно, может быть сделан, если мы будем располагать знаниями о распределении и поведении химических веществ (как природных, так и антропогенных) в экологических системах и в геосферах. В настоящее же время только 80 % из известных веществ изучены, да и то далеко не полно, на токсичность и мутагенную опасность. В связи с этим важной задачей является разработка методов моделирования природных и техногенных процессов.

В последнее время наиболее зримо обозначилась еще одна проблема, решением которой занимается химия, — это **уничтожение ядерного и химического оружия**.

В заключение хотелось бы обратить внимание еще на одну задачу, которая по важности не уступает упомянутым. Это задача химико-экологического образования и воспитания [8].

Известно, что один из самых ненадежных компонентов в любых системах безопасности — человеческий фак-

тор. Этого нельзя не учитывать сейчас, когда человек манипулирует природой так, что «атомная электростанция за одну ночь превращается в угрозу для существования общества». Именно в таких ситуациях вопросы экологической этики приобретают фундаментальное значение. Очевидно, что под этим углом зрения должна быть переосмыслена задача химического образования. Задача эта более сложная, чем кажется на первый взгляд, о чем свидетельствуют последние конференции и совещания. И главное здесь, по-видимому, изменение сложившихся стереотипов. Один из них — это хемофобия, которая насаждается с детства. Необходимо воспитывать понимание того, что именно от успехов химии зависит возможность существования человечества. Также необходимо признать, что успехи развития науки связаны, помимо деятельности профессионалов, со степенью восприятия идей этой науки общественным сознанием. Подрастающее поколение должно усвоить,

что существующие средства «овладения природой» достигли насыщения и взаимодействие с природой требует поиска новых форм. Возникшие при этом экологические проблемы должны быть решены самим человечеством, и только им. В противном случае это сделает сама природа, причем значительно более жестко. Решение этой задачи требует в свою очередь и изменения содержания самого образования. Прежде всего преподавание химии должно быть переориентировано от познания «самого себя», т.е. от изучения химии как узкоспециальной дисциплины к изучению природы через призму химических знаний. В этом должен найтись отражение основной интегрирующий принцип современной науки, основанный на переходе от изучения отдельных сторон природных явлений к изучению их в едином комплексе. Как теперь говорят: «Необходимо учиться слушать природу». Именно это будет способствовать осознанию человечеством своего места в мире и своей ответственности перед ним.

1. Лисичкин, Г. В. Экологический кризис и пути его преодоления // Современная энциклопедия естествознания. Т. 10. — М., 1999. — С. 305—309.
2. Хинтерэггер, Г. Основные принципы достижения устойчивого развития в Европе // Химия в интересах устойчивого развития. — 1993. — Т. 1. — № 1. — С. 19—39.
3. Йосида, К. Эффективное использование энергии в химической промышленности // Химия в интересах устойчивого развития. — 1993. — Т. 1. — № 1. — С. 69—78.
4. Шпильрайн, Э. Э., Малышенко, С. П. Основные направления использования водорода в энергетике // Российский химический журнал. — 1993. — Т. 37. — № 2. — С. 10—17.
5. Нетрадиционные виды топлива // Российский химический журнал. — 1994. — Т. 38. — № 3. — С. 34—60.
6. Пармон, В. Н. Потенциальные возможности и ограничения сценариев «Химические продукты из атмосферных газов и воды» и «Химические продукты из биомассы» // Химия в интересах устойчивого развития. — 1993. — Т. 1. — № 1. — С. 59—67.
7. Легасов, В. А. Проблемы развития химии: прорыв в будущее. — М. : Знание, 1987. — № 1. — 32 с.
8. Крюгер, Дж., Ольденбург, К. Чистое производство: возможности для промышленности // Химия в интересах устойчивого развития. — 1993. — Т. 1. — № 1. — С. 119—124.
9. Ягодин, Г. А., Третьякова, Л. Г. Проблемы экологического образования // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. — 1991. — Т. 36. — № 1. — С. 4—12.
10. Арутюнов, В. С., Липидус, А. Л. Газохимия как ключевое направление развития энергохимических технологий XXI века // Российский химический журнал. — 2003. — Т. 57. — № 2. — С. 23—32.
11. Кустов, Л. М., Белецкая, И. П. «Green chemistry» — новое мышление // Российский химический журнал. — 2004. — Т. 48. — № 6. — С. 3—12.
12. Данилов, В. И., Лосев, К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. — М. : Прогресс-Традиция, 2000. — 416 с.
13. Стратегия устойчивого развития Беларуси: Преемственность и обновление: аналитический отчет. — Мн. : Юнипак, 2003. — 208 с.
14. Химия : учебное пособие / под ред. проф. В. В. Денисова. — М. : ИКЦ «МарТ», 2003. — 464 с.