

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

---

**ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Г.В. Лисичкин, Б.М. Булычев**

**ХИМИЯ И ОХРАНА ПРИРОДЫ:  
РАСПРОСТРАНЁННЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ**

Учебное пособие  
для студентов Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Москва

2024

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

---

**ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Г.В. Лисичкин, Б.М. Булычев**

**ХИМИЯ И ОХРАНА ПРИРОДЫ:**  
**РАСПРОСТРАНЁННЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ**

Учебное пособие

Рекомендовано

методической комиссией Химического факультета для студентов, обучающихся по специальностям «Нефтехимия», «Теория и методика обучения химии», «Химические технологии веществ и материалов», «Экологическая химия и экоадаптивные технологии», «Электрохимия»

*Рецензент*

**д.х.н. профессор А.В. Анисимов**

**Москва**

**2024**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ПОЧЕМУ ПРОИЗВОДСТВО НЕ МОЖЕТ БЫТЬ БЕЗОТХОДНЫМ?.....	5
ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.....	12
Гидроэнергетика.....	15
Приливные ГЭС.....	16
Энергия Солнца.....	17
Энергия ветра.....	18
Тепло Земли.....	21
Биомасса растений.....	22
ХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	24
Получение водорода.....	24
Транспорт водорода.....	27
Хранение водорода.....	28
Использование водорода.....	29
ЭЛЕКТРОМОБИЛИ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ТРАНСПОРТ?.....	33
КАК ПОНИЗИТЬ ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРУ?.....	37
Утилизация углекислого газа в химических производствах.....	39
Захоронение углекислого газа.....	40
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА.....	42
ПРИЧИНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
ЗАДАНИЯ.....	46
ЛИТЕРАТУРА.....	47

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема сохранения среды обитания постепенно становится для человечества одной из важнейших. Поэтому вполне естественно, что как высшее, так и среднее образование насыщается природоохранной тематикой. В особенности это касается химических дисциплин. Специфика преподавания химико-экологических разделов химии состоит в том, что, в отличие от большинства других областей химии, вопросы экологии активно обсуждаются во всех средствах массовой информации (СМИ), включая, разумеется, интернет. Поэтому и студент, и преподаватель оказываются погружёнными в поток самых разнообразных сведений, значительная доля которых частично или даже полностью ошибочна. Причины этой печальной ситуации известны.

Наука об охране природы относится к разряду естественных, но не точных наук. В особенности этот факт проявляется, когда явления и процессы рассматривают на глобальном общепланетном уровне. Наша Земля – сложный и, следует признать, мало изученный объект. Поэтому ни сегодня, ни даже в отдалённом будущем, многие задачи глобального характера не могут быть решены однозначно. Тем не менее некоторые авторы учебной литературы, стремясь к милой их преподавательскому сердцу определённости, а за ними и СМИ, превращают гипотезы в теории и трактуют предположения как установленные факты.

Дело усугубляется ещё и тем, что журналисты и блогеры, пишущие об охране природы, как правило, не имеют естественнонаучного образования, что приводит к дополнительным погрешностям и дезинформационным сведениям в публикуемых материалах. И, наконец, характерная для нынешних СМИ погоня за сенсациями подчас порождает появление в них и вовсе абсурдных сообщений.

Цель этого очерка – обратить внимание студентов на распространённые заблуждения в СМИ и даже в учебной литературе по природоохранной тематике. Но ещё важнее выработать у студентов критическое отношение к литературным источникам и, тем более, к сведениям, предлагаемым средствами массовой информации.

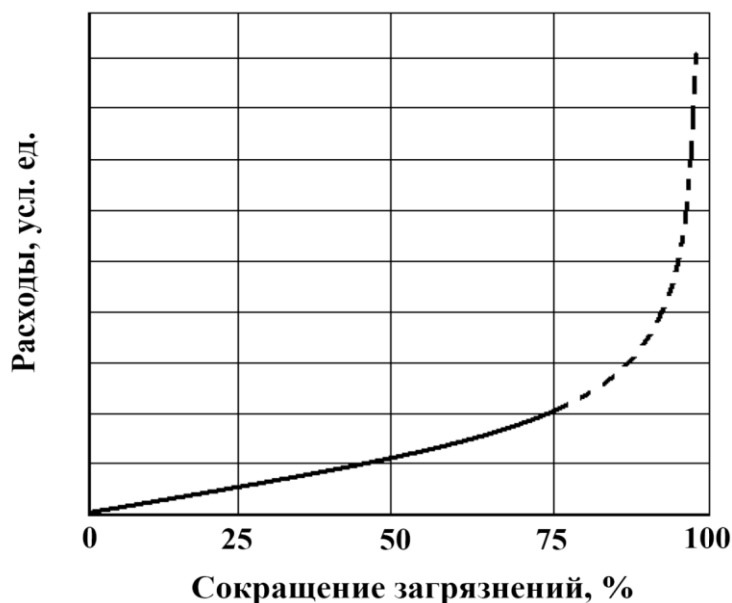
### **ПОЧЕМУ ПРОИЗВОДСТВО НЕ МОЖЕТ БЫТЬ БЕЗОТХОДНЫМ?**

В СМИ часто можно встретить лозунги-утверждения, которые по своей сути ошибочны. Здесь и далее эти лозунги отмечены курсивом.

Лозунг 1. *«Промышленное производство должно быть безотходным».*

Начнём с достаточно очевидного утверждения: **принципиально невозможно полностью безотходная промышленность.** Действительно, если проанализировать зависимость стоимости устранения только материальных отходов и загрязнений в промышленном производстве продукции от степени сокращения загрязнений (рис. 1), то легко убедиться в том, что полная экологическая чистота требует бесконечно больших расходов. На практике при проектировании заводов устанавливают некоторый допустимый уровень загрязнений, который обеспечивается разумным уровнем затрат. Интересно, что эта закономерность справедлива не только для химической, но и для всех других видов промышленности. Не надо забывать о том, что помимо вещественных загрязнений (жидкие, твёрдые и газообразные отходы, дымы, летучие соединения) промышленное производство загрязняет среду обитания сбрасываемым теплом – тепловую энергию в соответствии со вторым законом термодинамики нельзя полностью превратить в работу. Кроме того, большинство производственных процессов сопровождается звуковым и электромагнитным загрязнением атмосферы.

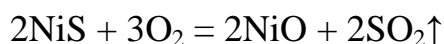
Рассмотрим основные причины возникновения экологических проблем на примере химических отраслей промышленности.



*Рис. 1. Зависимость величины расходов от степени сокращения загрязнений в промышленном производстве продукции*

Важно понимать, что основная часть потока химических загрязнений, поступающих в атмосферу, гидросферу и литосферу Земли, обусловлена не злым умыслом хозяйственников, а объективно существующими научно-техническими и экономическими причинами. Лишь незначительная доля используемых в промышленности химических процессов протекает с количественным выходом и 100%-ной селективностью. В большинстве случаев наряду с целевым продуктом образуются побочные, для полной утилизации которых требуется чрезмерная сумма капиталовложений.

Так, в производстве меди, никеля и других металлов из сульфидных руд на стадии их обжига помимо целевого оксида образуется сернистый газ:



В учебных пособиях можно найти это уравнение как пример экологически грамотного комплексного использования сырья, поскольку  $\text{SO}_2$  будто бы идёт на производство серной кислоты. А в действительности для окисле-

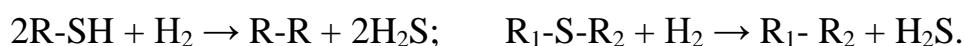
ния сернистого газа до серного ангидрида необходимо его сконцентрировать (в дымовых газах обжига его всего несколько процентов) и полностью тщательно очистить от примесей других летучих оксидов (они отравляют катализатор окисления) и пылевидных твёрдых частиц (они забивают коммуникации). Оказывается, что затраты на такую подготовку сернистого газа непомерно высоки и серная кислота получается слишком дорогой. Поэтому дымовые газы выбрасывают в атмосферу через высокие трубы, чтобы рассеять  $\text{SO}_2$ , не создавая его большой концентрации в районе металлургического завода. Недаром среди технологов распространено высказывание «чем выше трубы, тем ниже культура производства».

Особенно остро стоит проблема селективности химических реакций в технологии органических веществ: почти во всех промышленных процессах наряду с целевым продуктом получают побочные, часто трудно утилизируемые и токсичные. Примером может служить каталитический крекинг тяжёлых длинноцепочечных углеводородов под действием нагревания и в присутствии катализатора. Помимо целевого продукта – смеси лёгких углеводородов компонентов бензина – получают тяжёлые смолы, покрывающие поверхность катализатора и быстро выводящие его из строя.

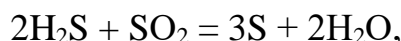
Ещё одна причина, порождающая загрязнения окружающей среды, – использование сырья, содержащего бесполезные, а зачастую вредные компоненты. Так, бумагу производят из древесины, которая представляет собой тесную смесь целлюлозы и лигнина примерно в равных соотношениях. Целлюлозу используют для получения бумаги, а огромное количество лигнина попадает в отвалы и с течением времени превращается в ядовитую жижу. К сожалению, помимо древесины другого крупнотоннажного сырья для выработки целлюлозы не существует.

Примером сырья, содержащего нежелательные компоненты, является сернистая нефть – смесь разнообразных углеводородов с меркаптанами ( $\text{R-SH}$ ) и органическими сульфидами ( $\text{R}_1\text{-S-R}_2$ ). Не менее двух третей добыва-

емой сегодня в России нефти относится именно к этому классу. Если не удалять серу из бензина, керосина, дизельного топлива и мазута, получаемых из сернистой нефти, то при сгорании этих топлив помимо углекислого газа будет получаться  $\text{SO}_2$ . А этот газ токсичен, провоцирует образование кислотных дождей, вызывает коррозию аппаратуры и отравляет катализаторы нефтепереработки. Поэтому нефтяные фракции подвергают гидроочистке – каталитическому превращению меркаптанов и сульфидов в углеводороды и сероводород:



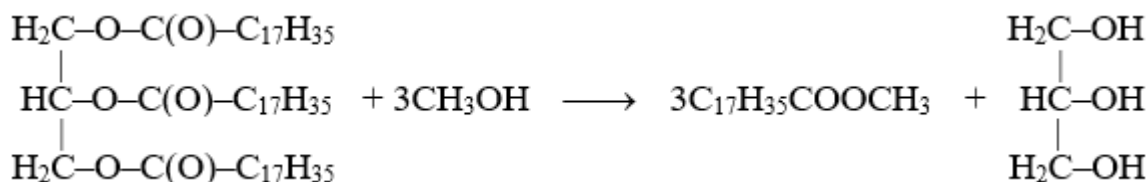
Затем сероводород окисляют до элементной серы:



которая далее может использоваться для получения серной кислоты.

Заметим, что упомянутые выше реакции не отличаются 100%-ной селективностью, в реальных процессах получаются различные примеси, что дополнительно увеличивает экологические трудности.

И, наконец, ещё одна важная проблема, лежащая на границе экологии и экономики: резко различающаяся потребность в продуктах, получаемых в едином производственном процессе. Например, метиловый эфир высших жирных кислот (так называемый «биодизель») представляет собой неплохое дизельное топливо, которое получается из возобновляемого сырья – растительного масла:

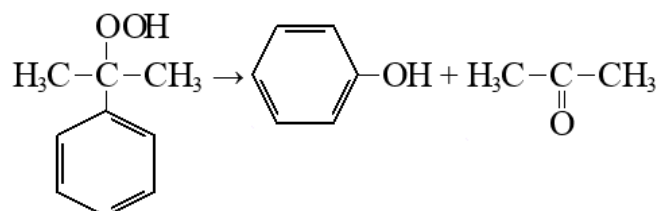


Биодизель требуется автотранспорту практически в неограниченных объёмах, тогда как востребованность глицерина очень невелика. Проблема



утилизации, переработки и длительного хранения глицерина пока не решена.

Близкая ситуация наблюдается в производстве необходимого в больших количествах фенола, сопровождающегося одновременным получением гораздо менее дефицитного ацетона:



Таким образом, существуют объективные причины, препятствующие организации полностью безотходного химического производства: невысокая селективность и незначительный выход большинства технологических процессов, сложный состав сырья, различная потребность в продуктах. Тем не менее проектировщики стремятся реализовать максимально малоотходные технологии.

Лозунг 2. *«Необходимо переходить к безотходному сельскому хозяйству и органическим продуктам питания».*

Тезис о том, что **невозможно экологически чистое крупномасштабное сельскохозяйственное производство**, нетрудно доказать.

Численность населения нашей планеты достигла 8 млрд человек. По разным оценкам в начале второй половины XXI столетия землян будет от 10 до 12 млрд, и их надо будет прокормить.

Обеспеченность населения Земли питанием сильно различается: в Северной Америке и Западной Европе проживает примерно 1 млрд человек, полностью и даже с избытком обеспеченных питанием. Это так называемый «золотой миллиард». Вместе с тем большая доля африканцев и значительная часть азиатов недоедает и нуждается в импорте пищевых продуктов.

Для преодоления продовольственного кризиса необходимо повсеместное введение в практику методов интенсивного земледелия, которое обеспечивало бы урожаи зерновых близких к 100 ц/га. Такое возможно только при постоянном использовании минеральных удобрений, восполняющих потери почвой азота, фосфора и калия. Оценки показывают, что объём производства таких удобрений должен составлять около 1 млрд тонн в год.

Интенсивное земледелие требует использования синтетических средств защиты растений. А для обработки почвы и сбора урожая нужен обширный парк сельскохозяйственной техники.

Следовательно, для обеспечения человечества продуктами питания должна функционировать мощная химическая промышленность, а также сельскохозяйственное машиностроение.

Понятно, что в условиях интенсивного и крупномасштабного сельского хозяйства велик поток отходов животноводства и растениеводства. Так, выделяемый крупным рогатым скотом метан уже теперь вносит заметный вклад в парниковый эффект. Выращивание риса, кукурузы, подсолнечника, гречихи и других зерновых культур обременено накоплением больших количеств растительных остатков – шелухи, лузги, соломы. Для утилизации этих побочных продуктов нужны специальные высокопроизводительные технологические линии или новые технологии, использующие их и производящие востребованные продукты.

Итак, можно заключить, что современное крупное сельскохозяйственное производство не что иное, как отрасль промышленности, а она принципиально не может быть экологически чистой, и перейти к безотходному сельскому хозяйству нельзя, если, конечно, речь идёт о глобальном масштабе.

Ещё одно широко распространённое заблуждение связано с так называемыми «органическими продуктами» – пищевыми продуктами, ко-

торые произведены без применения удобрений, пестицидов, консервантов и других синтетических веществ. Сторонники этого направления убеждены в том, что «всё синтетическое вредно, а натуральное полезно». Для опровержения этого ложного представления достаточно сообразить, что палитра ядов растительного и животного происхождения ничуть не меньше, чем токсичных веществ среди синтетических соединений. Вспомним о пушкинском анчаре, кураре, омега-6 жирных кислотах, яде горького миндаля и множестве других более или менее опасных чисто природных веществах.

Некоторые фермеры выращивают «органические пищевые продукты», их даже можно купить в специализированных магазинах, правда стоимость их много выше обычных. Это не удивительно, так как без применения минеральных удобрений, синтетических средств защиты растений и консервантов в условиях мелкотоварного производства урожаи не велики, а затраты ручного труда очень значительны, что и обуславливает высокую цену на продукцию. А главная проблема состоит в том, что если всё сельское хозяйство планеты направить на производство органических продуктов, то, по оценкам экономистов, прокормить удастся только от 0,5 до 1,0 млрд землян.

Несмотря на то, что для образованных людей утверждение о нерациональности полностью безотходных производств вполне тривиально, в СМИ регулярно появляются сообщения и публикации, авторы которых требуют от предпринимателей и инженеров выпускать продукцию, как в Природе, без всяких отходов, ведь она-то «работает» безотходно. И в самом деле, в Природе за миллионы лет установилось равновесие, обеспечиваемое совокупностью циклических процессов, круговоротов вещества и энергии. В результате все основные характеристики природной среды остаются на одном и том же уровне. Любопытно, например, что среднегодовое число вулканических извержений на Земле приблизительно постоянно. Поэтому вулканические газы, пепел, лава, которые, казалось бы, можно считать при-

родными отходами, вовлекаются в круговорот материи, становясь необходимым компонентом глобальных циклических процессов. Если вдруг по каким-то причинам извержения вулканов прекратятся, то равновесие будет нарушено и последствия окажутся непредсказуемыми.

Масштаб техногенной деятельности человека в последние полвека стал сравним с масштабом геологических процессов. Значит для реализации требования безотходной промышленности необходимо ни много ни мало связать воедино подобно Природе все производственные процессы на Земле, замкнуть их в гигантскую материально-энергетическую систему. В принципе это возможно, но решение такой задачи пока остается только прерогативой фантастических романов с фабулой «техногенной эволюции», осуществляемой не за миллионы лет, как в Природе, а за дни. На данном этапе развития нашей цивилизации надо стремиться к реализации малоотходных промышленных производств.

## **ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

Энергия является одним из немногих фундаментальных понятий окружающего нас мира. И уже одно это оправдывает то внимание, которое уделяется всем связанным с ней вопросам во всех сферах человеческой деятельности. Основная дискуссия по энергетическим вопросам ведется вокруг проблемы более широкого использования так называемых альтернативных источников энергии. Причем не только в средствах массовой информации (СМИ), но и в солидных научных изданиях. В результате, в широких кругах общественности сложилось твердое убеждение, что повсеместный переход к «возобновляемым», «экологически чистым», «зеленым» источникам энергии позволит решить не только современные, но и все будущие энергетические и экологические проблемы человечества, и обеспечить постоянное комфортное существование, достигнутое современным западным обществом.

В этом разделе мы рассмотрим только химико-экологические последствия применения разных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), не касаясь пока реальных перспектив их использования в мировой энергетике.

Как известно, сегодня на нашей планете основной источник энергии – ископаемое топливо, нефть, уголь и природный газ. Это так называемые первичные источники энергии. На их долю приходится примерно 75% энергобаланса (табл. 1).

*Таблица 1. Доля основных источников в мировом производстве электроэнергии.*

<b>Источник энергии</b>	<b>Доля в мировом энергобалансе, %</b>
Нефть	26,1
Уголь	25,0
Природный газ	24,3
Гидроэнергетика	11,2
Атомная энергетика	8,0
Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)	5,4

Хорошо известно и то, что горючие ископаемые представляют значительную экологическую опасность. При сгорании все они образуют углекислый газ, который, как считает большинство специалистов, обуславливает парниковый эффект и глобальное потепление, чреватое массой негативных последствий.

Кроме того, следует учесть, что каменный уголь представляет собой наиболее «грязное» топливо. Помимо  $\text{CO}_2$  при его сгорании образуются отвалы, состоящие из золы, шлаков и терриконы из пустой породы, сопровождающей добычу угля. Большинство углей содержит некоторое количество серы, превращающейся при горении в  $\text{SO}_2$ . Летучие минеральные примеси образуют дым. И, что мало кто знает, многие угольные месторождения содержат небольшие примеси радиоактивных элементов: ведь уголь хороший адсорбент, способный накапливать в процессе тысячелетнего залегания в подземных пластах ионы металлов, включая радионуклиды.

*Таблица 2. Отходы тепловых электростанций, работающих на органическом топливе.*

<b>Вид топлива</b>	<b>Отходы</b>
Каменный уголь	Углекислый газ $\text{CO}_2$ Сернистый газ $\text{SO}_2$ Дым, аэрозоли Зола Радиоактивность
Нефть (мазут)	Углекислый газ Сернистый газ Дым, аэрозоли
Природный газ	Углекислый газ Оксиды азота (следы)

Поэтому тепловая электростанция, работающая на каменном угле, загрязняет окружающую среду радиоактивными примесями примерно в 100 раз больше, чем равная ей по мощности атомная электростанция.

Нефть, а точнее получаемый из неё мазут, существенно более «чистое» энергетическое сырьё (см. табл. 2). Ещё чище природный газ, но и он не без греха: при высокотемпературном горении в потоке воздуха происхо-

дит частичное окисление азота до монооксида, который далее самопроизвольно окисляется до диоксида.

Таким образом, понятна мотивация самых различных специалистов, призывающих заменить ископаемые углеродные источники энергии на возобновляемые, не образующие углекислый газ и другие загрязнители в процессе использования. Среди таких источников рассматривают энергию Солнца, ветра, гидроэнергию, включая энергию морских приливов, геотермальную энергию, энергию растительной биомассы. Поэтому далее мы сосредоточимся на выяснении вопроса об экологической чистоте перечисленных энергоносителей.

**Гидроэнергетика.** Озабоченность состоянием окружающей среды и социальные проблемы – основные препятствия на пути использования оставшегося мирового потенциала гидроэнергетики. При постройке плотин неизбежно образуются водохранилища, и вода, заливая огромные площади (особенно на равнинных реках), необратимо изменяет окружающую природу. Затопливаются сельскохозяйственные угодья, сенокосные луга, леса, выселяются с насиженных мест люди. Например, водохранилищем Красноярской ГЭС мощностью 6 ГВт (10-я в мире, вторая в России, объём 73,3 км<sup>3</sup>) было затоплено 120 тыс. га сельскохозяйственных земель, в ходе строительства было перенесено 13750 строений.

Водоохранилища, необходимые для обеспечения равномерной работы ГЭС, вызывают изменения климата на прилегающих территориях на расстояниях до сотен километров, являются естественными накопителями загрязнений. В водохранилищах развиваются сине-зеленые водоросли, ускоряются процессы эвтрофикации, что приводит к ухудшению качества воды, нарушает функционирование экосистем. Плотины препятствуют миграции проходных рыб. При строительстве водохранилищ нарушаются естественные нерестилища.

Неблагоприятные экологические последствия строительства ГЭС иллюстрирует Волга, превратившаяся в цепь слабопроточных мелководных озёр. Энергетический потенциал Волги практически исчерпан. А популяция русского осетра, который 100 лет назад нерестился в тысячах километров вверх от устья, исчезла. Подъем уровня воды перед плотиной ГЭС вызывает заболоченность местности, засоленность почвы, изменения прибрежной растительности и микроклимата.

Не многим лучше обстоит дело с возведением ГЭС в горах, где площадь зеркала водохранилищ меньше, но непредсказуемо воздействие большой массы воды на тектонику прилегающих горных массивов.

**Приливные ГЭС.** Использование энергии морских приливов также вызывает неблагоприятные экологические последствия: проекты крупных приливно-отливных гидроэлектростанций представляют собой внушительных размеров плотину, перегораживающую морской залив. Сооружение плотины приводит к увеличению амплитуды прилива. Даже небольшое повышение амплитуды прилива вызывает значительное изменение распределения грунтовых вод в береговой зоне, увеличивает зону затопления, нарушает циркуляцию водных масс, изменяет ледовый режим в части бассейна за плотиной и т.д. Влияют приливные станции и на климат, поскольку меняют энергетический потенциал морских вод, их скорость и территорию перемещения.

Сооружение плотины ПЭС способно вызвать и важные биологические последствия. Она нарушает нормальный (природный) обмен солёной и пресной воды и тем самым — условия жизни морской флоры и фауны. В бассейне за плотиной работа станции будет оказывать воздействие на литораль (зона между наивысшей точкой затопления во время прилива и нижней, обнажающейся при отливе). Плотина может оказать вредное воздействие не только на местные сообщества, но и на мигрирующие виды.

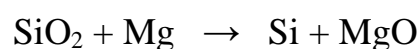


Например, по оценкам биологов строительство плотины в Пенжинской губе Охотского моря нанесет непоправимый вред популяции охотоморской сельди.

При строительстве плотин в зоне умеренного климата возможно образование зоны сероводородного заражения, подобной тем, которые наблюдаются в заливах и бухтах, имеющих естественные пороги. Фьорды Скандинавского полуострова, имеющие естественный порог, представляют собой классический пример такого естественного сероводородного заражения.

Важно отметить, что эксплуатация крупной (десятки ГВт) приливной станции будет тормозить вращение Земли. Хотя величина этого торможения очень мала, экологические последствия его непредсказуемы.

**Энергия Солнца.** Реализованы две схемы преобразования солнечной энергии в электрическую: фотовольтаика (фотоэлектрические преобразователи, фотовольтаические ячейки), т.е. преобразование солнечного излучения непосредственно в электроэнергию на основе фотоэффекта; гелиотермальная энергетика, использующая солнечное излучение для нагрева рабочего тела, например воды, используемой затем в качестве источника тепла или для генерации пара для привода паровых турбин как в обычных тепловых электростанциях. Оба способа преобразования солнечной энергии отличаются высокой материалоёмкостью. Для изготовления оборудования требуется либо экологически опасные в производстве алюминий и кремний, либо тяжелые металлы типа свинца и кадмия. Так, технология высокочистого кремния включает стадию его восстановления магнием из диоксида:



Заметим, что металлический магний надо сначала получить и также методом очень далеким от экологичности. Крупнотоннажное производство

кремния «солнечной» чистоты чревато сильным загрязнением среды обитания. Ещё большую экологическую опасность представляет производство арсенида галлия, который может прийти на смену кремнию.

Пока мало кто задумывается, куда же девать отработавшие свой ресурс солнечные панели? А вопрос этот на самом деле довольно острый: если взглянуть на статистические данные, то уже в 2016 г. было более 250 000 тонн отходов солнечных панелей, а по самому скромному прогнозу уже к 2050 г. эта цифра может увеличиться до 78 000 000 тонн. Но есть более пессимистический прогноз, который говорит, что с таким большим объемом отходов мы столкнемся уже к 2035 году. А в солнечных панелях содержится целый набор токсичных металлов, включая свинец и кадмий.

Другие экологические проблемы – это сильное повышение температуры воздуха в случае широкого использования гелиотермоэлектростанций. Так, более 300 тысяч зеркал американской солнечной станции Ivanpah очень сильно нагревают воздух (температура коллекторов достигает 540°C), что приводит к гибели птиц, которые пролетают мимо.

В случае строительства крупных фотовольтаических станций академик П.Л. Капица указал на возможность существенного понижения температуры окружающего воздуха, вызывающего конденсацию водяного пара с образованием тумана, понижающего прозрачность атмосферы и обуславливающего падение КПД фотопреобразователей. Крупные солнечные станции требуют отчуждения территорий, измеряемых десятками квадратных километров, что вынуждает проектировать такие предприятия исключительно в пустынях. Упомянутая выше станция Ivanpah имеет невысокую мощность (390 МВт), а занимает площадь 16 кв. км!

**Энергия ветра.** Начнём с того, что широко распространённое утверждение об экологической чистоте ветроэнергетики – заблуждение. Действительно, одна отдельно взятая ветроэлектроустановка безобидна. Но как только мы переходим к крупномасштабной генерации электроэнер-

гии, то оказывается, что для строительства ветроэлектростанций потребуются весьма значительные площади земли; для изготовления десятков тысяч ветряков необходимо создать новую отрасль промышленности (а любая промышленность сопряжена с экологическими проблемами). Требуется резко увеличить производство алюминия и/или стеклопластика, а это весьма грязные производства. Уже сегодня приходится решать проблему утилизации крыльев физически и/или морально устаревших ветроустановок. А эти крылья изготавливают из прочных и твёрдых полимерных композитных материалов, практически не поддающихся биоразложению (рис. 2).

Еще одной важной проблемой использования ветрогенераторов являются сильные вибрации их несущих частей, которые передаются в грунт. Значительная часть звуковой энергии (ветряк мощностью 250 кВт создаёт шум силой 50-80 децибел) приходится на инфразвуковой диапазон, для которого характерно отрицательное воздействие на организм человека и многих животных. Как показал опыт эксплуатации большого числа ветровых установок в США, этот шум не выдерживают ни животные, ни птицы, покидая район размещения станции, т.е. территории самой ветровой станции и примыкающие к ней становятся непригодными для жизни людей, животных и птиц.



*Рис. 2. Захоронение крыльев ветрогенераторов.*

Так как скорость вращения лопастей ветровых генераторов близка к частоте синхронизации телевидения ряда стран, то работа ветровых генераторов нарушает прием телепередач в радиусе 1-2 км от генератора. Ветровые генераторы являются также источниками радиопомех. Вращение лопастей ветряков губит птиц. Поскольку обычно ветровые установки располагаются в больших количествах в районах сильных ветров (горные хребты, морское побережье), они могут приводить к нарушению миграции перелетных птиц. Модуляция ветрового потока лопастями создает некоторое подобие регулярных структур в воздухе, которые мешают ориентации насекомых. В Бельгии установили, что это приводит к нарушению устойчивости экосистем полей, расположенных в зоне ветровых установок, в частности наблюдается падение урожайности.

Имеются и неустраняемые последствия крупномасштабного использования энергии ветра: он будет рассеиваться и ослабевать, изменится роза ветров и, следовательно, нарушится климатическое равновесие, перенос влаги и тепла.

На примере солнечной и ветроэнергетики можно сделать важное заключение: для оценки экологического ущерба, наносимого конкретным видом энергетики, совершенно недостаточно учитывать только чистоту энергоносителя. Необходимо брать в расчёт воздействие на природу сооружений, машин и устройств для отбора и передачи энергии, а также экологичность технологий соответствующих материалов и аппаратуры. Широкое использование любого нового вида энергии требует создания новой отрасли промышленности, включающей добычу сырья, его переработку, изготовление оборудования, а затем утилизацию морально или физически устаревшего оборудования. Ясно, что новая отрасль станет дополнительным источником загрязнения среды. Получается, что использование нового, пусть даже почти чистого энергоносителя влечёт за собой шлейф заведомо нечистых технологий.

**Использование тепла Земли.** Одна из экологических проблем, возникающих при использовании подземных термальных вод, заключается в необходимости закачки отработанной воды обратно в подземный водоносный горизонт. В термальных водах содержится значительное количество солей различных токсичных металлов (свинца, цинка, кадмия, мышьяка). Водяной пар содержит сероводород, аммиак, фенолы и радон, который вызывает радиоактивное загрязнение окружающей среды. Сброс отработанной воды в реки приводит к тепловому загрязнению и значительной опасности для гидробионтов. Из-за повышенной температуры уменьшается концентрация растворённого в воде кислорода – его уже недостаточно для многих рыб (форель, например, живёт только в холодной воде), а мине-

ральные примеси угнетают водные организмы. Поэтому отработанную воду закачивают через специально пробуренные скважины обратно в земные недра. Но последствия этого приёма при крупномасштабном производстве прогнозировать очень трудно.

Отбор из скважин пароводяной смеси сопровождается выбросом в атмосферу пара и токсичных газов; расширяющийся при выходе на поверхность пар вызывает сильный шум. Влияние ГеоТЭС на природу легко наблюдать на примере Паужетской станции на Южной Камчатке: в радиусе двух-трёх километров от станции торчат голые, без коры и листьев стволы камчатской каменной берёзы, далеко слышен неумолкаемый рёв выходящего на поверхность пара. А мощность станции всего 12 МВт, что почти в 5 раз ниже мощности главных турбин атомного ледокола «Арктика».

Весьма перспективный возобновляемый источник энергии – **биомасса растений**. Понятно, что это и самый старый энергоноситель, поскольку дрова человечество использует с незапамятных времён. В наше время разрабатывается и апробируется множество проектов и схем получения из растительной биомассы жидких автомобильных топлив, горючего газа, а также процессов генерации электрической энергии.

Но и применение биомассы влечёт за собой негативные экологические последствия. Так, стремление увеличить посевные площади под плантации технических культур привело к усиленному сведению влажных тропических лесов. В Индонезии и Малайзии на Борнео и Суматре расширение плантаций для производства пальмового масла (оно используется для получения биодизеля и, к сожалению, не только, но и в продуктах питания человека) привело к тому, что подавляющее большинство лесов было вырублено в конце 80-х и 90-х годов. Близкая ситуация сложилась в Брази-

лии, где для плантаций сахарного тростника сводят амазонские тропические леса, которые часто называют лёгкими нашей планеты.

Интенсификация производства технических культур требует расширенного применения удобрений и средств защиты растений, что приводит к биодеградации почв. Разрушается среда обитания животных и микросистемы. Практика выжигания кустарников и торфяников для подготовки сельхозугодий и высокое потребление топлива грузовиками для перемещения пальмового масла сделали страны Юго-Восточной Азии одним из ведущих мировых источников выбросов парниковых газов.

В литературе отмечают ещё одну опасность использования биомассы технических культур: тополь, ива, эвкалипт и некоторые другие быстрорастущие растения, в отличие от злаков, синтезируют заметные количества изопреноидов, окисление которых кислородом воздуха приводит к образованию вредного для здоровья озона.

Аналогичным образом можно рассмотреть любые другие источники энергии, существующие или только намечаемые (энергия малых рек, низкопотенциального тепла, морских волн, термоядерный синтез и т.д.) и прийти к заключению, что **энергетика, основанная на любых источниках, не может быть экологически чистой, если масштаб производства энергии превышает некий относительно безвредный уровень.** Альтернативные источники энергии безусловно востребованы, научная и инженерная деятельность, направленная на их совершенствование несомненно актуальна. Однако крупномасштабное их использование сопряжено с большими или меньшими экологическими опасностями.

Лозунг 3 *«Возобновляемые источники энергии являются экологически чистыми»* не что иное, как широко распространённое заблуждение.

## ХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ни одно из направлений альтернативной энергетики не вызывает в обществе такого энтузиазма как так называемая «водородная энергетика». О возможности и необходимости замены водородом традиционных углеводородных энергоносителей опубликованы тысячи статей и книг, а сама такая замена получила название «водородная экономика». Значительное внимание ей уделяют средства массовой информации. Промышленное развитие водородной энергетики включено в государственные энергетические программы некоторых стран, в технических вузах готовят специалистов, знакомых с этой областью знаний. В нашей стране в нескольких технических университетах водородная энергетика введена в учебные планы. В профильных естественнонаучных классах средней школы водородная энергетика часто рассматривается как компонент раздела курса химии: "Физико-химические свойства водорода".

Причины упомянутого ажиотажа обусловлены широко распространённым представлением о водороде как экологически чистом топливе: при сгорании водорода образуется только вода, а также тем, что теплотворная способность водорода (в расчёте на единицу массы) 140 МДж/кг в несколько раз превышает удельную теплоту сгорания углеводородных топлив (для метана — около 50 МДж/кг).

Однако в действительности всё не так просто. Известно, что «возраст» идеи водородной энергетики составляет примерно 100 лет, однако до сих пор она не реализована даже в небольшом масштабе. Рассмотрим причины этого феномена.

**Получение водорода.** Прежде всего, необходимо помнить, что водород — вторичный промежуточный энергоноситель, он отсутствует на Земле в чистом виде\*, его надо синтезировать с применением первичных ис-



точников энергии (см. выше) и из широко распространённого и желатель-но максимально дешёвого сырья. Таким сырьём могут быть только вода или ископаемые углеводороды.

Процесс получения водорода из природного газа путём паровой кон-версии при температуре 800-1000°С широко используется в промышленно-сти:



Однако об экологической чистоте такого водорода не может быть речи: его получение этим способом сопровождается образованием углекислого газа – инициатора глобального потепления. Ещё больше  $\text{CO}_2$  будет выделяться, если использовать в качестве источника водорода не метан, а его гомологи или каменный уголь.

Чтобы избавиться от  $\text{CO}_2$ , была высказана идея получать водород пу-тём электрокрекинга или термолиза природного газа:  $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$ . Она пока не получила развития, во-первых, из-за очень больших затрат энергии на разложение весьма устойчивых молекул метана, во-вторых, из-за того, что захоронение миллионов тонн образующейся сажи – трудноразрешимая задача, и, в-третьих, из-за снижения энергетического уровня исходного со-стояния (метан) почти на  $\frac{3}{4}$  ( $\frac{1}{2}$  - вывод из оборота углерода и  $\frac{1}{4}$  - энерго-потребление на нагрев газа). Однако, попытки продвинуть эту идею на технологический уровень продолжают.

Следовательно, водород надо получать из воды, т.е. затрачивать энергию. Причём получать его надо экономически оправданным методом, чтобы стоимость энергетического эквивалента этого энергоносителя была соизмерима со стоимостью традиционных энергоносителей.

-----  
*\*Водород входит в состав вулканических газов и флюидов, связанных с де-газацией Земли. Отбор этих газов и выделение из них водорода представ-ляет собой чрезвычайно сложную задачу.*

Наблюдающийся в некоторых СМИ неуёмно-гуманитарный «задор» журналистов, которые хотят убедить аудиторию в том, что в результате сжигания водорода будет получено больше энергии, чем затрачено при его получении путем разложения воды на водород и кислород, вызван проблемами в школьном образовании.

Естественно, получение водорода из воды методом электролиза с использованием традиционных источников энергии, приходится отвергнуть, поскольку в результате будет затрачено больше энергии, чем получено при сжигании водорода. При анализе эффективности этого процесса необходимо учитывать эффект перенапряжения при электролизе и коэффициент полезного действия электролизёров (как и любых других технических устройств), который не может достигать 100%. Рассматривается возможность использования для электролиза воды энергии атомных станций в периоды провала нагрузки, когда потребление электричества минимально. Но реально это станет возможным только после существенного роста доли ядерной энергетики в мировом энергобалансе. Но даже и в этом случае электроэнергия будет отнюдь не бесплатной, равно как и работа самой атомной станции далека от экологического идеала.

Среди путей решения задачи экономически оправданного получения водорода из воды только три кажутся обнадеживающими. Достижения биотехнологии и микробиологии показывают принципиальную возможность создания штаммов микроорганизмов, способных генерировать водород. Однако эти разработки находятся на начальной стадии научно-исследовательских работ (НИР) и пока трудно прогнозировать их результат.

Второй путь – производство солнечной «чистой» электроэнергии полупроводниковыми фотоэлементами (фотовольтаика), которая далее может использоваться для электролиза воды. Это интересное направление, но оно сопряжено со значительными экономическими и экологическими трудно-

стями, связанными с необходимостью организации крупного производства полупроводников, строительства больших солнечных электростанций, утилизацией отработанных солнечных панелей, и, в принципе, неспособно удовлетворить заметную часть мирового потребления энергии. При этом надо еще читать все отрицательные стороны солнечной энергетики, отмеченные выше.

И наконец, разработка фотокатализаторов, расщепляющих воду под действием солнечного света. Можно ожидать, что это направление приведёт к успеху, хотя в настоящее время оно находится на уровне НИР и требуются значительные усилия химиков для разработки эффективных и недорогих фотокатализаторов.

**Транспорт водорода.** Сегодня далека от решения проблема транспорта водорода от мест его производства (скорее всего, это южные пустыни) до мест потребления (умеренные широты). Обычные газопроводы для этой цели не годятся, так как проницаемость водорода через микроскопические неплотности существенно выше, чем у метана. Как известно, водород может диффундировать даже через неповреждённые металлические конструкции и подвергать их так называемой «водородной коррозии». Трубы, по-видимому, придётся изготавливать из композиционных материалов, что потребует повышенных капиталовложений, а также организации заведомо экологически вредного производства. Кроме того, плотность газообразного водорода в 8 раз ниже, чем метана, поэтому расходы на его транспортировку по трубопроводам будут почти на порядок выше, а их диаметр должен быть в три раза больше. (А еще проблемы охрупчивания металла, из которого придётся изготавливать компрессоры и запорную аппаратуру даже при полимерных трубах!).

Трубопроводная транспортировка водорода на большие расстояния в виде жидкости при температурах ниже точки его кипения ( $-252^{\circ}\text{C}$ ) пока

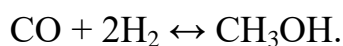
технически и экономически абсолютно нереальна. Ведь для этого надо «скрестить» многокилометровый трубопровод и сосуд Дьюара.

Чтобы обойти трудности транспортировки газообразного водорода, предлагается сначала превращать его в соединения, которые легко перемещать по трубопроводу, а затем в месте потребления проводить обратную реакцию – дегидрирование. Например, полученный тем или иным способом водород использовать для гидрирования ненасыщенных органических соединений (толуол, тетралин и др.)



Затем перекачивать продукт (метилциклогексан) по трубопроводу, а на месте потребления проводить обратную реакцию. Главная трудность на этом пути – создание катализаторов с близкой к 100% селективностью и весьма высокой стабильностью работы. Химики-каталитики в разных странах пытаются разработать такие катализаторы.

Заметим, что большим энтузиастом использования метанола в качестве «жидкого источника водорода» является Нобелевский лауреат Дж. Ола. Он предложил использовать обратимую реакцию



Огромные трудности вызывает проблема **хранения водорода**, например на борту автомобиля. Понятно, что изготовить автомашину, снабжённую баком с жидким водородом вполне реально. Но легко представить себе тяжелейшие последствия даже незначительных дорожно-транспортных происшествий с участием таких автомобилей. Более реально хранение водорода в виде соединений. Департамент энергетики США сформулировал требования к материалу, аккумулирующему водород: он должен содержать не менее 5,5 масс.% водорода при комнатной температуре; процесс сорбции-десорбции водорода должен быть обратимым при температурах не выше 120°C; система должна быть безопасной и сохранять рабочее состояние не менее, чем в течение 5000 разряд-зарядных цик-

лов. Сегодня нет ни одного решения, даже приблизительно отвечающего этим требованиям.

Сорбенты, поглощение водорода которыми основано на физической адсорбции, не способны, в силу природы явления, приблизиться к этим требованиям, так как для них относительно высокое содержание адсорбата достижимо только при низких температурах (77 К).

Известен целый класс химических соединений – металлоподобных гидридов. Хорошо очищенные порошки металлов (титан, молибден, ванадий и некоторые другие), а также интерметаллических соединений (TiMo, LaNi<sub>5</sub>) способны обратимо связывать водород. К сожалению, их ёмкость по водороду мала – около 1,5 % масс. Кроме того, требуются дополнительные затраты энергии на эндотермический процесс выделения водорода из гидридов. Тем не менее химики не оставляют усилий на изыскание подходящих для хранения водорода интерметаллидов, а также других сорбентов.

Необходимо найти материалы, энергия связи которых с водородом имела бы промежуточное значение между химической связью в гидридах и ван-дер-ваальсовой в адсорбентах. В этом отношении интерес представляют координационные металл-органические каркасные соединения, содержащие наночастицы металлов и материалы на основе ковалентных гидридов лёгких металлов.

Наконец, ещё одна ключевая проблема водородной энергетики – **проблема эффективного использования водорода**. И здесь обнаруживается неприятная неожиданность. Вспомним, что главный аргумент апологетов водородной энергетики – экологическая чистота водорода как энергоносителя: при его сгорании образуется только вода. Да, это действительно так, если водород сжигать в кислороде. А если окислителем служит воздух, то при температурах превышающих 1000°C – именно такие темпе-

ратуры развиваются при горении водорода – начинает окисляться азот, образуя оксид и диоксид:

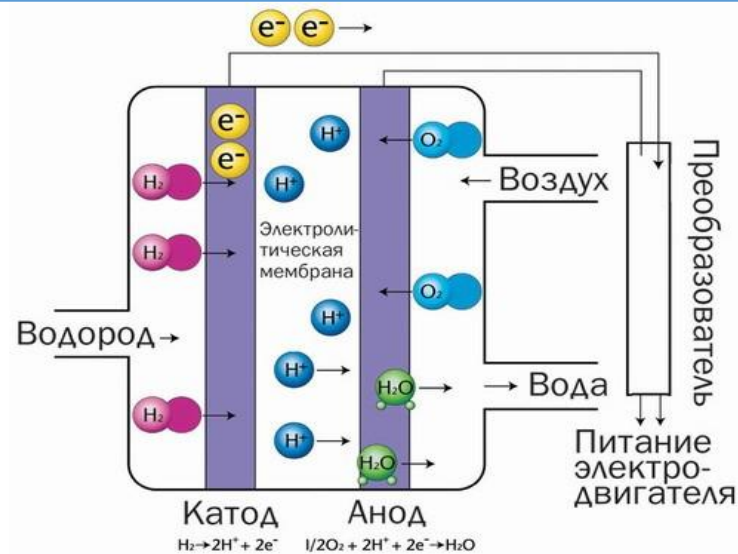


Таким образом, экологическая чистота водорода как топлива с прямым сгоранием оказывается под вопросом. Действительно, инженеры разработали автомобильные и даже самолетные двигатели, способные работать на водороде, который в этом случае не требует глубокой очистки. Они не сильно отличаются от обычных и могут быть при необходимости запущены в массовое производство. Однако даже достаточно кратковременная эксплуатация опытных образцов таких двигателей сразу же показала их главный недостаток: в цилиндрах двигателя развивается очень высокая температура, резко и чрезмерно повышающая концентрацию оксидов азота в выхлопных газах (экология) и отсюда необратимую коррозию всех металлических деталей, добавляемую к водородной коррозии. Кроме того, все это усложняется отсутствием развитой водородной инфраструктуры и трудностями хранения этого газа на борту автомобиля.

Однако в настоящее время практически все специалисты едины во мнении, что энергию водорода следует превращать с помощью топливных элементов (далее ТЭ), имеющих КПД около 80 %, в электричество, а полученной электроэнергией питать электромоторы в автомобилях и другие устройства.

Принцип работы ТЭ известен более 180 лет благодаря открытию, сделанному англичанином Уильямом Гровом в 1839 г. Ему пришла в голову плодотворная мысль: попробовать провести химическую реакцию, обратную процессу электролиза воды – соединить водород с кислородом и генерировать электрический ток.

## Топливный элемент



35

Рис. 3. Принципиальная схема топливного элемента.

За последние полвека достигнут существенный прогресс в разработке ТЭ. Например, они уже сейчас применяются на таких объектах, как космические аппараты и подводные лодки.

В наиболее распространённых ТЭ используются специальные токопроводящие полимерные мембраны и электроды, содержащие платиновый катализатор. Изготовление образцов автомобилей, укомплектованных ТЭ, серьёзных трудностей не вызывает. Почти все основные автомобильные компании демонстрируют опытные электромобили с топливными элементами. Однако создание ТЭ, который бы выдержал в рабочих режимах пробег автомобиля, по крайней мере, в 100 тыс. км и был бы при этом экономически доступным, остается проблемой.

Водород, поступающий в ТЭ, должен быть очень хорошо очищен, содержащиеся в нём примеси, в особенности СО, отравляют катализатор. Уже в течение нескольких десятилетий не удаётся найти дешёвый и легко утилизируемый материал для биполярных пластин. При массовом производстве этот материал должен удовлетворять требованиям химической

стойкости, высокой электро- и теплопроводности, прочности и т.д. Как закрепить на поверхности пластины платину или другой металл-катализатор, чтобы он не дезактивировался в течение всего гарантийного срока работы и не смывался с поверхности в процессе эксплуатации? К сожалению, этого пока не удается достичь. Кроме того, платина катализирует процесс окисления водорода не только до воды, но и параллельно до пероксида водорода, который разрушает полимерную мембрану и не только ее. Как видим, для разработки эффективных и недорогих ТЭ необходимо решить несколько очень непростых химических и материаловедческих задач.

Хотя преобразование в ТЭ химической энергии водорода в электрическую не сопровождается загрязнением окружающей среды, процесс производства ТЭ и, в особенности, крупномасштабная утилизация физически или морально устаревших ТЭ будут сопровождаться значительными экологическими издержками.

Интенсивное финансирование работ по ТЭ во всём мире (несколько миллиардов долларов ежегодно) и привлечение к ним высококвалифицированных специалистов позволяют надеяться, что проблема создания ТЭ для автотранспорта будет решена в течение одного-двух десятилетий, во всяком случае, успех здесь ближе, чем в вопросах получения, хранения и транспорта водорода.

Для реализации широкомасштабного производства электромобилей, оснащённых ТЭ и электромоторами, необходимо решить весь комплекс проблем, описанных выше, а также создать взрывобезопасную инфраструктуру для заправки машин топливом. Хотя всё это принципиально возможно, для практической реализации водородного автотранспорта, видимо, потребуется еще значительный период времени.

Резюмируя, можно заключить, что получивший широкое распространение лозунг 4 *«водородная энергетика – дело ближайшего будущего»*, слишком оптимистичен, а надежда решить с помощью энергии водо-



рода глобальные экологические проблемы, к сожалению, не обоснована. И дело здесь не столько в отсутствии инфраструктуры для водородной энергетики, сколько в необходимости найти решение целого ряда очень непростых научно-технических проблем, прежде всего химических. Кроме того, если посчитать все издержки при реализации любого из вышперечисленных направлений в «чистой энергетике», начиная с поиска месторождений необходимого для их производства сырья, постройки шахт, заводов для их переработки и пр. пр., и кончая достойным завершением их жизненного цикла, т.е. утилизацией, то вполне вероятно можно обнаружить, что никакого экологического и тем более экономического эффекта в этой реализации нет или он незначителен, а может и все совсем плохо и законы сохранения так или иначе действуют!

## **ЭЛЕКТРОМОБИЛИ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ТРАНСПОРТ?**

Ещё один чрезвычайно живучий миф связан с электромобилями: лозунг 5 *«переход автомобильного транспорта на электрическую тягу обеспечивает чистоту атмосферы»*. Для начала попробуем разобраться, что произойдёт, если сегодня значительную часть, например половину, автомобилей с двигателями внутреннего сгорания заменить электромобилями. Как известно, электромоторы не дают никаких выбросов в атмосферу и к тому же имеют высокие КПД – до 90%. Но, к сожалению, в настоящее время единственный источник энергии для автомобильных электромоторов – аккумуляторы. Их надо постоянно заряжать и, следовательно, использовать энергию, вырабатываемую действующими электростанциями. Примерно 80% электричества генерируется на тепловых электростанциях (см. табл. 3), использующих в качестве топлива нефть, природный газ или каменный уголь – экологически «грязные» виды топлива. Значит выбросы автомо-

бильных двигателей будут заменены примерно тем же объёмом выбросов электростанций. Таким образом произойдёт перенос экологических проблем из одного района в другой. Действительно, атмосферный воздух в Москве за счёт пока ещё частичной замены дизельных автобусов на электробусы стал чище.

Но для зарядки автобусных аккумуляторных батарей необходимо произвести электроэнергию на тепловых станциях, которые расположены преимущественно в ближних пригородах, где выбросов диоксида углерода становится больше. Справедливости ради надо заметить, что выхлопные газы дизельных моторов содержат помимо  $\text{CO}_2$  сажу,  $\text{CO}$  и несгоревшие остатки топлива, тогда как работающие на природном газе тепловые станции загрязняют атмосферу только углекислым газом.

*Таблица 3. Вклад различных источников в производство электроэнергии в РФ (усреднённые данные).*

<b>Источник энергии</b>	<b>Доля от полной мощности, %</b>
Тепловые электростанции на мазуте	35
Тепловые электростанции на газе	24
Тепловые электростанции на угле	25
Гидроэлектростанции	7
Атомные электростанции	6
Возобновляемые источники энергии, включая биомассу растений	3

К сожалению, системное рассмотрение экологических проблем глобальной замены двигателей внутреннего сгорания на электромоторы показывает, что эти проблемы не исчерпываются только необходимостью производства дополнительной электроэнергии тепловыми станциями. Ведь миллионы электромобилей надо обеспечить аккумуляторными батареями,

т.е. надо создать отрасль промышленности, которая должна производить сотни миллионов аккумуляторов в год. Напомним, что любая отрасль промышленности принципиально не может быть безотходной. А в данном случае речь до недавнего времени шла о производстве кислотных свинцовых и щелочных никель-кадмиевых источниках тока. Высокая токсичность этих металлов привела к изобретению литиевых аккумуляторов, изготовление которых также сопряжено с экологическими проблемами.

Понятно, что не меньшие, а возможно и большие трудности возникнут и уже возникают при организации системы утилизации старых аккумуляторов, а эффективной технологии утилизации литиевых аккумуляторов пока не придумано. Переработка аккумуляторов – это энергозатратный процесс. Для извлечения металлов из батарей (литий, кобальт, медь) требуется почти в десять раз больше энергии, чем при их производстве, что закономерно вызовет наращивание объёмов выбросов на тепловых электростанциях. Учитывая, что определённая часть наших водителей будет выбрасывать вышедшие из строя батареи в придорожную канаву, нетрудно представить себе масштабы грядущего экологического бедствия.

Итак, глобальный переход традиционного автотранспорта на электрический способен улучшить состав атмосферного воздуха в крупных городах, но шлейф экологических проблем, обусловленных таким переходом, весьма значителен и будет перенесен в провинцию (законы сохранения!).

Крупные автомобильные компании (первая из них японская Тойота) выпускают так называемые гибридные автомашины, у которых есть одновременно двигатель внутреннего сгорания и электромотор, работающий от энергии нескольких десятков аккумуляторов, укрепленных под днищем машины. Бензиновый мотор через генератор подзаряжает аккумуляторы и при больших нагрузках используется как тяговый. Такие автомобили имеют весьма сложную автоматику, обеспечивающую эффективное взаимо-

действие между всеми системами автомобиля, стоимость которого пока существенно выше, чем у обычного аналога. Расход горючего у «гибрида» примерно на 30% меньше, чем у обычной машины такой же мощности. Т.е. «углеродный след» гибридных машин на треть меньше. Такой экономии недостаточно, чтобы окупить высокую стоимость гибридного автомобиля, вследствие чего основные автомобильные компании не форсируют производство гибридов. Можно утверждать, что это направление развития Автопрома на данный момент времени существует пока правительства дотируют его как финансово, так и различными льготами для собственника.

Поскольку с позиций охраны природы аккумуляторы далеко не оптимальный источник энергии для автомобилей, ещё в середине прошлого века усилия инженеров были сосредоточены на поиске альтернативных бортовых устройств для генерации электроэнергии. Так сконструированы и построены экспериментальные образцы электромобилей, использующих солнечную энергию. На крыше этих машин смонтированы фотовольтаические панели, питающие небольшие электромоторы. По понятным причинам дальше опытных образцов дело не пошло: машина должна ездить и в темноте, и в пасмурную погоду.

Гораздо перспективнее выглядят электромобили с топливными элементами (см. раздел 3).

Для реализации массового производства электромобилей с ТЭ необходимо решить несколько сложных задач:

- \*разработать способ экологически безопасного получения водорода, его транспортировки и хранения в местах заправки машин;

- \*создать инфраструктуру для заправки автомобилей водородом;

- \*придумать и реализовать способ безопасного хранения водорода на борту автомобиля;

- \*уменьшить стоимость ТЭ и существенно повысить ресурс их работы;

\*создать крупномасштабное производство ТЭ и параллельно решить задачу утилизации отработавших свой срок ТЭ и регенерации благородных металлов-катализаторов реакции окисления водорода.

Заметим, что большая часть перечисленных проблем имеют прямое отношение к химии. А общий вывод состоит в отрицании лозунга «*Электромобили – экологически чистый транспорт*»: считать электротранспорт экологически чистым – распространённое заблуждение

### **КАК ПОНИЗИТЬ ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРУ?**

Известно, что за последние 200 лет концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере Земли выросла на 30% по сравнению с доиндустриальным уровнем. В соответствии с многочисленными прогнозами, если не принимать никаких мер, то к середине XXI века вследствие дальнейшего развития энергетики, транспорта и промышленности произойдёт удвоение концентрации углекислого газа в атмосфере по сравнению с 1800 годом – до 0,06%.

Напомним, что не только углекислый газ поглощает инфракрасное излучение с поверхности Земли, нагреваемой солнечным светом, но и водяные пары, метан и некоторые другие газы. Но, как видим, интенсивно растёт концентрация именно диоксида углерода, который и обуславливает парниковый эффект – разогрев атмосферы. Возможность нарушения теплового баланса Земли в результате накопления углекислого газа, получающегося при производстве энергии, была предсказана ещё в 1896 году выдающимся шведским учёным Сванте Аррениусом.

Ошибка считать, что парниковый эффект – это какое-то новое, не наблюдавшееся раньше явление. Он действует на Земле с тех пор, как появилась атмосфера. Без парникового эффекта средняя температура поверх-

ности Земли была бы ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , тогда как в настоящее время эта температура составляет примерно  $10^{\circ}\text{C}$ .

Большинство специалистов, а вслед за ними активисты «зелёного» движения и многочисленные СМИ убеждают общество в опасностях грядущего потепления: сдвиг климатических поясов, таяние полярных льдов с последующим повышением уровня Мирового океана и затоплением низменных частей суши, возрастание неустойчивости погодных явлений вследствие увлажнения атмосферы (ураганы, наводнения и т.п.).

Многочисленные измерения показывают, что за последние 120 лет среднегодовая температура на нашей планете повысилась на 1 градус. Однако, не все учёные едины в оценках влияния техногенной эмиссии  $\text{CO}_2$  на это повышение. Некоторые специалисты полагают, что наблюдавшиеся и ранее колебания температуры земной поверхности связаны с естественными природными причинами, таким как периодическое изменение светимости Солнца, прохождение Солнечной системы через пылевые облака, небольшие периодические изменения орбиты Земли и наклона земной оси.

Однако даже в том случае, если воздействие выбросов диоксида углерода окажется меньше, чем предполагают алармисты, удвоение его концентрации должно вызвать существенные изменения в биосфере. Изменение соотношения  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  может оказать сильное влияние на биологическое равновесие в тонком биосферном слое планеты, поскольку кислород и углекислый газ являются ключевыми субстратами важнейших жизненных процессов. Опасность современной экологической ситуации таится в том, что к резкому изменению состава атмосферы быстрее всего будут адаптироваться простейшие виды организмов; отсюда высокая вероятность появления новых форм болезнетворных микроорганизмов. Этот фактор риска в полной мере может быть отнесён к последствиям сжигания органического ископаемого топлива.

Таким образом ясно, что понижение концентрации диоксида углерода в атмосфере является актуальной задачей. Вопрос состоит в том, как это сделать.

Лозунг 6 *«Для понижения концентрации углекислого газа в атмосфере его надо использовать в химико-технологических процессах»*. Это утверждение можно обнаружить не только в СМИ, но и в некоторых научных публикациях. А как дело обстоит в действительности?

### **Утилизация углекислого газа в химических производствах**

Для начала рассмотрим возможность организации промышленного производства, которое бы потребляло углекислый газ с целью уменьшения его концентрации в атмосфере. Сформулируем требования к такому производству.

1. Поскольку суммарный поток техногенного  $\text{CO}_2$  в атмосферу – гигантская величина – примерно 25 млрд т/год, необходимо, чтобы мощность планируемого производства составляла заметную долю этой величины. Это должно быть исключительно крупномасштабное производство, так как в противном случае его воздействие не будет заметно.
2. Продуктами такого производства должны быть устойчивые материалы или вещества долговременного пользования, иначе вследствие разложения или окисления вновь получится углекислый газ. Предпочтительно связывать  $\text{CO}_2$  в стабильные неорганические соединения.
3. Энергоёмкость производства должна быть невысокой, иначе поток связываемого углекислого газа будет компенсироваться его эмиссией при производстве требуемой энергии.

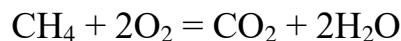
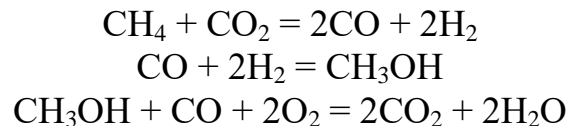
Если проанализировать все известные сегодня и перспективные в обозримом будущем химико-технологические процессы с позиций сформулиро-

ванных весьма жёстких требований, окажется, что необходимых нам химических производств не существует. Так синтез азотного удобрения карбамида (мочевины)



хотя и может быть организован в весьма крупном масштабе – связанный азот нужен почвам повсеместно, – но при ассимиляции мочевины почвенными микроорганизмами фермент уреазы вновь превращает мочевину в аммиак (который усваивается растениями) и углекислый газ, возвращающийся в атмосферу.

Неоднократно высказывалась точка зрения, будто углекислотная конверсия природного газа позволяет утилизировать промышленные выбросы  $\text{CO}_2$  и таким образом способствует смягчению проблемы накопления  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Но проследим до конца весь путь превращений углекислого газа: превращение метана во вторичное топливо – метанол и монооксид углерода – и процесс последующего сжигания вторичного топлива



Брутто-превращение метана выражается той же короткой схемой, что и прямое его сжигание.

Итак: **процессы получения химических соединений и в том числе топлива с использованием углекислого газа не могут понизить его содержание в атмосфере.** Более того, поскольку рассмотренные выше процессы энергозатратны, их реализация увеличивает эмиссию  $\text{CO}_2$ .

### Захоронение углекислого газа

Нельзя ли избавиться от избытка  $\text{CO}_2$ , закачав его в глубинные геологические структуры? На некоторых нефтяных месторождениях этот приём



успешно используют для повышения нефтеотдачи. Известно, что при добыче нефти около половины её остаётся в залежи из-за понижения пластовой энергии. Чтобы вытеснить нефть из продуктивного горизонта, в него закачивают горячую воду, пар, растворы поверхностно-активных веществ или углекислый газ. Казалось бы, таким образом можно решить сразу две задачи: увеличить добычу нефти и понизить эмиссию техногенного  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Однако ёмкость нефтяного месторождения (даже крупного) относительно невелика по сравнению с эмиссией  $\text{CO}_2$ , и расчёты показывают, что для достижения значимых результатов надо, чтобы на всех основных месторождениях Земли интенсивно использовали этот способ увеличения нефтеотдачи. Поскольку в настоящее время мировые запасы нефти ещё велики, нефтяные компании пока могут обходиться без широкого применения углекислого газа.

Ёмкость газовых месторождений выше, чем нефтяных. На крупных месторождениях природного газа его добывают до 50 млрд  $\text{м}^3$  в год. Понятно, что пока идёт добыча природного газа, закачивать в продуктивный горизонт диоксид углерода нельзя, но после исчерпания запасов газа такая возможность возникает.

В технической литературе обсуждаются также различные проекты закачивания  $\text{CO}_2$  в океанские глубины и в геологические пласты, находящиеся под дном моря.

Перед реализацией крупномасштабных проектов захоронения  $\text{CO}_2$  предстоит ответить на три «простых» вопроса:

- 1) как сконцентрировать  $\text{CO}_2$  из дымовых газов тепловых электростанций?
- 2) как организовать и построить сеть сбора и транспортировки  $\text{CO}_2$ ?
- 3) какой должна быть сама технология захоронения?

Ответ на них равносильен созданию самостоятельной промышленной отрасли, сравнимой по масштабам с нефтегазовой промышленностью, что представляется экономически неразрешимой задачей. Таким образом, в

настоящее время понизить концентрацию углекислого газа в атмосфере путём его захоронения не представляется возможным.

Тем не менее, человечество располагает реальными возможностями борьбы с парниковым эффектом путём снижения концентрации углекислого газа в атмосфере.

Во-первых, это повышение эффективности использования органического топлива, энергосбережение, снижение удельных затрат энергии на единицу производимой продукции. Так США при постоянном росте валового внутреннего продукта (ВВП) в последние годы сумели практически стабилизировать потребление энергии. Это было достигнуто в основном за счет того, что за 40 лет было почти вдвое снижено удельное потребление энергии на единицу производимого в стране ВВП. Тенденция заметного снижения темпов роста энергопотребления на единицу прироста ВВП характерна сейчас для всех ведущих стран мира. Это позволяет реально снизить воздействие энергетики на климатические процессы.

Во-вторых, это развитие различных видов безуглекислотной энергетики, к которым относятся гидроэнергетика, атомная энергетика, солнечная и ветровая энергетика. А в далёкой перспективе это энергия управляемого термоядерного синтеза.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА**

*Лозунг 7 «В прежние времена, до появления промышленности, экологическая обстановка была великолепной».*

А как было раньше? Как обстояло дело 250 или 300 лет тому назад? Наши предки дышали чистейшим воздухом и пили животворную воду – это расхожие представления. Но почему же тогда средняя продолжительность жизни, к примеру, в середине XVII столетия составляла всего лишь 30 лет? В значительной мере потому, что наши предки пили зачастую бак-

териологически грязную воду, что вызывало эпидемии, а даже властители дышали копотью, носили одежду, окрашенную мышьяк-содержащими красителями.

Более того, экологические кризисы бывали и раньше. Они возникли с появлением человечества. Первый их них – истребление человеком видов животных, объектов охоты. Ещё в доисторические времена были уничтожены мамонты, пещерные львы и гиены, исчез спутник человека пещерный медведь, позднее произошло массовое уничтожение зубров и бизонов. В относительно недавнее время уничтожена морская (стеллерова) корова и целый ряд представителей животного мира Австралии.

Ещё один крупный экологический кризис разразился в неолите, когда из-за вырубки лесов, которую сегодня мы назвали бы хищнической, произошло опустынивание обширных территорий. Так образовалась Сахара и некоторые другие пустыни. Здесь же можно вспомнить экологическую катастрофу, произошедшую на острове Пасхи после вырубки человеком всех его лесов.

Таким образом, мы приходим к выводу, что **человечество уже сталкивалось с серьёзными экологическими трудностями.**

## **ПРИЧИНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ**

Широко распространённый лозунг 8 *«Основная причина экологического кризиса – нерадивость хозяйственников»* верен только отчасти. В действительности таких причин четыре.

1. **Экономические причины.** Высокая стоимость очистных сооружений и других средств охраны природы, достигающая иногда трети капиталовложений, зачастую вынуждает хозяйственников и администраторов экономить на природе при строительстве новых произ-

- водств. Издержки рыночной экономики, связанные с погоней за прибылью, и, в недавнем прошлом, плановой, но отягощённой военным бюджетом, безусловно, ведут к углублению экологического кризиса.
2. **Научно-технические причины.** Важно понимать, что основная часть потока загрязнений, поступающих в атмосферу, гидросферу и литосферу Земли, обусловлена объективно существующими научно-техническими трудностями (см. раздел 1).
  3. **Низкий уровень знаний.** В наше время люди, принимающие решения и не владеющие при этом основами естественных наук, – так называемые эффективные менеджеры – становятся социально опасными для общества. Однако не менее опасны и исполнители, купившие дипломы напрямую на станциях метро, или вымучившие их за партой коммерческого вуза. Многие из уже произошедших и, вероятно, будущих катастроф связаны с малограмотностью и руководителей и исполнителей.
  4. **Низкий уровень культуры и нравственности.** Совершенно очевидно, что для сохранения природы необходимо, чтобы каждый человек, соприкасающийся с промышленным или сельскохозяйственным производством, с бытовыми химическими веществами, был не только экологически грамотен, но и сознавал свою ответственность за действия, которые приносят природе вред.

### **Заключение**

Итак, мы пришли к однозначны выводам:

- что как промышленное, так и сельскохозяйственное производство принципиально не могут быть безотходными;

- что использование возобновляемых источников энергии (как и любых других) для генерации электричества однозначно связано с загрязнением среды обитания;
- что для крупномасштабной реализации водородной энергетики необходимо решить целую группу сложнейших научно-технических проблем, а для этого требуются десятилетия;
- что электромобили не являются экологически чистым транспортом;
- что понизить эмиссию техногенного углекислого газа путём его захоронения или вовлечения в химико-технологические процессы нельзя.

Однако из этого печального перечня вовсе не следует, что можно забыть о необходимости беречь зыбкое равновесие, установившееся за прошедшие миллионы лет на нашей небольшой планете. Наоборот, исследователям, инженерам, предпринимателям следует прилагать максимум усилий для предотвращения ущерба среде обитания, руководствуясь при этом принципом медицинской этики «**не навреди**» (*primum non nocere*). Следует, однако, отметить, что в рамках парадигмы «**устойчивого развития**», впервые сформулированной на Западе и с очевидностью предполагающей рост потребления именно там (золотой миллиард), но почему-то с удовольствием подхваченной во всем мире, это сделать можно только в одном случае – за счет остальных 7 миллиардов. Тем не менее, нам не следует руководствоваться принципом Людовика XV («*После нас хоть потоп*», «*Après moi le déluge*») и мы, как профессионалы, должны разрабатывать и строить промышленные производства, в особенности в отраслях так или иначе связанных с химией, базирующиеся на максимально возможных на сегодняшний день малоотходных технологиях и различных каталитических процессах. Но такие технологии не возникают из ничего, типа «по щучьему велению». Их прототипы создаются в научных лабораториях академических институтов и университетов, т.е. и вами тоже, пока еще студентами хими-

ческого факультета МГУ, а вскоре научными сотрудниками институтов и профильных фирм.

Далее. Следует сосредоточиться на создании эффективных и экономических процессов утилизации отходов сельскохозяйственного производства и вторичных отходов вообще.

Важнейшая задача потребителей энергии – её сбережение, а задача специалистов в области энергетики – интенсификация исследований в области безуглеродных источников энергии, разработка процессов и устройств, создание, эксплуатация и утилизация которых будет минимально загрязнять природу.

Таким образом, можно утверждать, что перед выпускниками химического факультета МГУ открывается широкое поле деятельности, связанное с решением стоящих перед нашей цивилизацией, сложных, интересных и актуальных задач.

## **ЗАДАНИЯ**

Используя все доступные Вам источники информации, сформулируйте своё мнение:

- 1) о перспективах использования водорослей в качестве сырья для крупномасштабного производства моторного топлива;
- 2) о перспективах термоядерной энергетики, как основы энергобаланса Земли;
- 3) о возобновляемости месторождений природного газа;
- 4) о возможности абиогенного происхождения нефти;
- 5) о заблуждениях в других отраслях знания.

## Литература

1. *Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й., Беренс В.В.* Пределы роста. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1991.
2. *Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Медоуз Д.Л.* Пределы роста. 30 лет спустя. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2007.
3. *Садовничий В.А., Акаев А.А., Коротаев А.В., Малков С.Ю.* Моделирование и прогнозирование мировой динамики. М.: ИСПИ РАН, 2012.
4. *Жученко А.А.* Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства в XXI веке / Глобальные проблемы биосферы. М.: Наука, 2003. С. 95–115.
5. *Крылов Д.А., Овсейчук В.А., Сидорова Г.П.* Радиоактивность углей. Энергия: экономика, техника, экология, 2015, №5, с. 2.
6. *Арутюнов В.С., Лисичкин Г.В.* Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? Успехи химии, 2017, т. 86, № 8, с. 777.
7. *Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В.* Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетики. Теплоэнергетика, 2015, № 8, с. 3.
8. *Булычев Б.М.* Проблемы водородной энергетики. Рос. хим. журн., 2006, т. 50, № 6, с. 3.
9. *Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В.* Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее. Рос. хим. журн., 2006, т. 50, № 6, с. 5.
10. *Claassen P.A.M., Vrije T.* 2006, Non-thermal Production of Pure Hydrogen from Biomass: HYVOLUTION, Int. Journal of Hydrogen Energy, 31: 1416.
11. *Ола Дж., Генперт А., Пракаш С.* Метанол и энергетика будущего. Когда закончатся нефть и газ. Бином, Москва, 2012.
12. *Клямкин С.Н.* Металлогидридные композиции на основе магния как материалы для аккумулялирования водорода. Рос. хим. журн., 2006, т. 50, № 6, с. 49.

13. *Malysenko S.P., Mitrokhin S.V., Romanov I.A.* Effects of scaling in metal hydride materials for hydrogen storage and compression. *Journal of Alloys and Compounds*, 2015, vol. 645, p. S84.
14. *Исаева В.И., Кустов Л.М.* Металлоорганические каркасы – новые материалы для хранения водорода. *Рос. Хим. журн.*, 2006, т. 50, №6, с. 56.
15. <https://ecoportal.su/news/view/94971.html>
16. <https://www.drive2.ru/b/548104348496822418/>
17. *Руденко Б.А.* Углекислый газ как начало жизни и её финал. *Наука и жизнь*. 2011, № 3, с. 48.
18. *Жидкова А.Ю., Ковярова В.А.* Анализ перспектив снижения углекислого газа. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektiv-snizheniya-uglekislogo-gaza-v-usloviyah-pandemii/viewer>.
19. *Сафонов М.С., Лисичкин Г.В.* Можно ли уменьшить концентрацию углекислого газа в атмосфере? *Соросовский образовательный журнал*, 2001, т. 7, № 7, с. 40.
20. *Человек и среда его обитания.* Под ред. Г.В. Лисичкина и Н.Н. Чернова. М.: Мир, 2003, 464 с.