

## Приложение № 1

**«Этим надо заниматься, если мы хотим быть великой державой»: что такое зеленая химия и как наука помогает спасти планету**

Наталья Тарасова – доктор наук и эксперт в зеленой химии. Это область, которая применяет к науке и промышленности принципы устойчивого развития. В интервью Forbes Woman она рассказала, почему так сложно добиться снижения вредного воздействия на окружающую среду, в чем подвох биоразлагаемого пластика, как перестать бояться химии и полюбить экономию атомов



*Наталья Тарасова – доктор химических наук, директор Института проблем устойчивого развития РХТУ им. Д. И. Менделеева, возглавляет кафедру ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития», ранее занимала пост президента Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC). Forbes Woman поговорил с Натальей Тарасовой о том, как химики борются с загрязнением окружающей среды и мифами о химии в массовом сознании.*

**– Наталья Павловна, вы возглавляете кафедру ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития». Когда мы произносим слово «химия», у многих сразу возникают негативные ассоциации – люди относятся к химии с опаской. Зеленый же связан с чем-то чистым и экологичным. Расскажите, нет ли противоречия в словосочетании «зеленая химия» и что это вообще такое?**

– Сначала я хочу объяснить, почему сам термин «химия» вызывает у людей отторжение. Обычно боятся того, чего не понимают. Химия сама по себе довольно сложная наука. К сожалению, система образования как у нас в стране, так и за рубежом устроена таким образом, что основы химии преподаются не вполне ясным и понятным способом. На современном этапе развития науки неспециалисту понять в химии абсолютно все невозможно.

По этой причине возникает такое явление, как хемофобия – иррациональная боязнь химических соединений. Некоторые говорят, что «продукты химические». Но в то же время не понимают, что в обычном яблоке содержится порядка 50 веществ, которые «антихимики» считают ядами. Ученые-химики подвергаются давлению со стороны общественности достаточно давно. Ответом на это давление как раз стала зеленая химия. Она возникла как реакция химического сообщества на негативное к нему отношение.

Начало зеленой химии было положено сравнительно давно, в 80-е годы прошлого века. В 90-х годах учеными Полом Анастасом и Джоном Уорнером было сформулировано 12 принципов зеленой химии, которые стали, так сказать, библией для химиков. На самом деле эти принципы предлагают вполне рациональное ведение химических процессов: экономия энергии, экономия вещества, предотвращение образования отходов, отказ от исходных токсичных веществ, уменьшение числа промежуточных стадий, энергосбережение, оценка жизненного цикла продукта и т.д.

**– Как вы пришли к решению посвятить себя именно зеленой химии? Ведь когда вы начинали учиться, еще не было подобного направления в науке. Получается, вы стояли у его истоков.**

– Мое базовое образование связано с радиационной химией. Когда я училась в Менделеевском университете (РХТУ им. Д.И. Менделеева), нам казалось, что атомная энергия может решить все проблемы. Но в реальности все оказалось сложнее. В это же время появилась работа «Пределы роста» (1972 г.), выполненная коллективом молодых ученых под руководством Денниса Медоуза, в которой рассматривались перспективы развития человечества и описывались кризисные явления в будущем (эта работа стала одной из ключевых для возникновения концепции [устойчивого развития](#). – Forbes Woman).

Так вышло, что с Деннисом я познакомилась лично благодаря своему учителю Геннадию Алексеевичу Ягодину (декан инженерного физико-химического факультета, затем ректор Менделеевского института, министр высшего и среднего специального образования СССР в 1985-1988 годах, председатель Государственного комитета СССР по народному образованию в 1988-1991 годах). Я начала работать с ним и его коллегами, что сформировало мое мировоззрение. Именно через повестку устойчивого развития, которая предполагает гармоничное и сбалансированное развитие экономики с учетом социального и природного факторов, я пришла к зеленой химии. Я считаю, что социальная ответственность ученого очень важна. Я такую ответственность на себя взяла и с тех пор занимаюсь зеленой химией.

**– С 2016 по 2017 год вы были президентом Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC). Сколько женщин было на этом посту за всю историю существования организации?**

– В 2019 году IUPAC отметил свое 100-летие. За все время существования союза женщины избирались президентами дважды: в 2010–2011 годах пост занимала профессор Николь Моро из Франции, а с 2016 по 2017 год – я. Хочу добавить, что гендерное равенство – один из принципов деятельности IUPAC, в формировании которого я принимала самое активное участие.

**– Получается, химия, как и многие другие науки, не стала исключением в плане гендерного перевеса в сторону мужчин. Как вы думаете, почему так происходит?**

– Я бы обратила внимание на тот факт, что гендерный перевес наблюдается при продвижении «к вершинам власти» – руководящим постам в научных коллективах и организациях (отечественных и международных), членству в академиях и т.д. В социологии для описания этого явления используют термин «стеклянный потолок». Замечу, что если бы перевес не был значительным во многих областях человеческой деятельности в глобальном масштабе, не появилась бы Цель устойчивого развития № 5: «Обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей всех женщин и девочек».

Что касается ситуации в химии и других науках, я отсылаю заинтересованного читателя к результатам проекта Международного научного совета (ISC) «[Gender Gap in Science](#)», или «Гендерный разрыв в науке. Как его измерить, как его уменьшить?». В мою бытность президентом IUPAC выступил соорганизатором этого проекта вместе с Международным математическим союзом.

**– Возвращаясь к зеленой химии. Какое к ней отношение складывается у химиков всего мира? Нет ли какого-то скептицизма?**

– Сразу скажу, что такого нет. Когда я возглавила деятельность IUPAC, мы создали межотделенческий комитет по зеленой химии для устойчивого развития, который объединял все направления химии, представленные в организации. И сейчас это одна из наиболее динамично развивающихся структур IUPAC.

На посту президента я старалась предпринять все усилия для того, чтобы зеленая химия стала ключевым элементом для всех химиков. Как мне представляется, это удалось сделать. При упоминании устойчивого развития теперь вспоминают и о зеленой химии. Зеленая химия рассматривается мировым сообществом как важный инструмент достижения целей устойчивого развития.

**– Если взглянуть на 12 принципов зеленой химии, то половина из них, а то и больше так или иначе связаны с минимизацией отходов: это и использование возобновляемого сырья, и биоразлагаемость, и предотвращение образования отходов и т.д. Получается, что идея зеленой химии – построить замкнутые циклы, чтобы не образовывалось отходов? Какие примеры тут можно привести?**

– Не все принципы прямо связаны с созданием замкнутых циклов. Например, есть мониторинг в реальном времени за ходом технологического процесса, есть требования энергоэффективности. Но вы правы, основная идея – не создавать отходы, это самый правильный путь. Почему мы считаем природные системы устойчивыми? Потому что в природе все циклы замкнуты – нет отходов.

Примером замкнутой системы я бы назвала такую, в которой вторичные ресурсы становятся источником сырья. Здесь можно упомянуть проблему редкоземельных металлов, которые используются в значительных количествах для производства элементов электроники. В отходах, которые образуются при добыче и переработке фосфорсодержащих ископаемых, таких как апатиты, фосфориты, содержится большое количество редкоземельных элементов. Вот такие отходы могут стать сырьем для электронной промышленности.

Как только вы создали отходы, это, к сожалению, надолго.

Другое направление – попытка вторично использовать фосфогипс, крупнотоннажный отход при производстве фосфорных удобрений. Обычно его отвалы выглядят как большие белые горы, которые становятся источником аэрозольного и других загрязнений. Фосфогипс можно использовать как вторичный ресурс – например, применять в строительстве.

Если не заниматься созданием замкнутых циклов, то целей устойчивого развития достичь невозможно. Мы совместно с Российским союзом химиков проводили социологическое исследование того, в какой степени предприятия готовы использовать принципы зеленой химии и в какой степени они понимают важность достижения целей устойчивого развития. Крупные компании, работающие на международных рынках, показали глубокое понимание задачи. Но и больше половины малых и средних предприятий, по крайней мере, признали проблему и заявили о намерении встать на путь устойчивого развития.

**– В 12 принципах зеленой химии есть правило экономии атомов. Что это значит?**

– Это крайне простое правило. Речь не о том, что каждый атом считают, здесь концептуальная вещь – надо, чтобы все атомы, которые присутствуют в составе исходных веществ, перешли в продукт. «Экономия атомов» – это эффективный процесс, где не образуются отходы. Если все атомы исходных веществ вошли в состав конечного продукта, значит, отходов нет.

**– Одна из самых грязных отраслей, связанных с химией, – фармацевтическая промышленность. Как так вышло?**

– Действительно, фармацевтическая промышленность самая неэффективная с точки зрения зеленой химии. Зачастую обыватели беспокоятся по поводу крупнотоннажной химии, говорят о загрязнении нефтью, нефтепродуктами, тяжелыми металлами, а в случае с фармацевтической отраслью – тишина. При этом в химической и нефтехимической промышленности экономия атомов гораздо выше, чем в фармацевтической. Но так как последняя спасает жизни людей, то считается, что любые риски оправданны.

Уходят в прошлое времена, когда руководители промышленных компаний говорили про устойчивое развитие как про всего лишь теоретические изыскания. Все прекрасно понимают, что ситуация на планете сложная. В фармацевтике очень сложные многостадийные химические процессы. Прежде чем приступить к промышленному производству, необходимо понять, что будет биологически активным веществом, а что нет, произвести скрининг. Здесь и заключается главная проблема невозможности экономии атомов, поэтому получается много отходов. Пандемия показала, что, с одной стороны, действовать надо быстро, с другой – нельзя выпускать лекарства, применение которых может вызвать негативные последствия. Время ограничено – отходы неизбежны.

**– Хочу затронуть тему мусора, которая сейчас стала одной из самых заметных и громких. Занимается ли ваша кафедра разработками технологий, которые направлены на устранение накопленного вреда?**

– В Менделеевском университете есть специальные кафедры, например, кафедра промышленной экологии, которые занимаются разработкой технологических решений для ликвидации накопленного вреда. Наша кафедра скорее тяготеет к глобальной проблематике, но, тем не менее, могу привести в

качестве примера исследования, проводимые научной группой, которую возглавляет профессор Анна Сергеевна Макарова. Эта группа занимается исследованием растений, способных накапливать в себе тяжелые металлы из почвы. Такая технология называется фиторемедиацией, с ее помощью можно очистить почву от некоторых загрязнений. В частности, сейчас рассматривают возможность использовать эту технологию в Усолье-Сибирском, где летом 2020 года произошла утечка токсичных соединений ртути.

Правда, возникает другой вопрос: а что дальше делать с этими растениями? Раз они собрали, например, ртуть, то их надо поместить в какое-то специальное хранилище. Подобная ситуация была в Чернобыле, где применяли схожий метод для извлечения из почвы радиоактивных изотопов цезия и стронция.

– **И что затем сделали с растениями?**

– Потом эти растения вывезли в хранилище радиоактивных отходов. А как с ними поступить дальше – это уже работа для следующих поколений. Как только вы создали отходы, это, к сожалению, надолго.

– **Имеет ли экономическое обоснование подобная технология? Кто-нибудь ее уже применяет в больших масштабах?**

– Нет, в крупных масштабах она не применяется. Такой метод хорош для территорий с невысокими показателями загрязнения. Вообще все природоохранные мероприятия затратные, выгода – не монетарная, а социальная. Очень сложно что-то извлечь из отходов в больших количествах и хорошего качества, чтобы потом на этой основе получить новые продукты. Однако уходят в прошлое времена, когда многие руководители крупных промышленных компаний говорили про устойчивое развитие как про всего лишь теоретические изыскания. Все прекрасно понимают, что ситуация на планете на самом деле сложная.

– **Никак нельзя пройти мимо пластикового загрязнения. Пластик находят уже на дне Марианской впадины, на Эвересте и даже в организме человека. Ваша кафедра занимается этой проблемой?**

– Любое загрязнение можно найти по всей планете, ту же самую ртуть обнаружили в ледниках Тянь-Шаня. Это так называемый глобальный перенос. Вы тут ничего не сделаете, так Земля устроена. Пластик не исключение.

Мы занимались этой проблемой с концептуальной точки зрения, то есть конкретных технологий переработки пока не предлагаем. Конечно, этот вопрос уже включен в программы подготовки магистрантов и аспирантов, они ищут решения проблемы пластикового загрязнения. Наша кафедра занимается подготовкой специалистов, которые могут широко посмотреть на экологическую проблематику. Надо понимать, что проблема пластика лежит не только в технологической плоскости, а также в экономической и социальной.

– **Я часто читаю, что ученые из такой-то страны изобрели новый тип экологически чистого пластика, в другой стране поняли, как побороть проблему загрязнения океанов пластиковыми отходами. Но никто еще не перешел от лабораторных испытаний к реальному применению технологий в крупных масштабах. Это связано с экономикой, слишком дорого?**

– Верно, в экономике это называется «долина смерти», когда надо перейти от лабораторных исследований к полупромышленным и промышленным

масштабам. Зачастую на этом этапе все и прекращается. Идей много, но переработка экономически затратна. Чтобы понять, что именно принесет выгоду и будет востребовано в народном хозяйстве, нужно провести сложные и дорогостоящие исследования.

**– Что насчет биоразлагаемого пластика? Может ли он стать решением проблемы? Тут я хочу оговориться, что имею в виду не пластик с добавками, которые просто быстрее разрушают его на более мелкие части. Я говорю про тот биоразлагаемый пластик, который распадается на неопасные вещества.**

– Надо же смотреть, на что этот пластик разлагается. Наверняка будет углекислый газ – и сразу возникает проблема глобального изменения климата. Что нам интереснее: климат стабилизировать или избавиться от полимерных отходов?

Могу другой пример привести. Есть такая сложная композитная упаковка Tetra Pak, которая состоит, кроме картона, из ряда пластиков и других материалов. Существует технология ее переработки под электронным пучком, но она, возможно, не понравится нашим зеленым. Из полученной смеси можно произвести добавку к битуму и асфальту, где эта смесь будет удерживаться и не мигрировать в окружающую среду лет 70–80. Моя точка зрения – это тоже решение проблемы, оно может быть даже интереснее, чем биоразлагаемые материалы, потому что в последнем случае надо учитывать образование парникового газа, о чем мы говорили ранее.

Если обычную воду назвать по-научному «дигидрогенмонооксид», то можно добиться того, что местные власти начнут запрещать ее использовать. Или возьмем еще один пример: одна из ключевых целей устойчивого развития – борьба с голодом. Для развития производства продуктов питания необходимы фосфорные и азотные удобрения. Применяя их, мы быстро решаем вопрос голода, но получаем другие проблемы – деградацию почв, эвтрофикацию (насыщение биогенными материалами. – Forbes Woman) водоемов и иные негативные экологические явления. Поэтому нужны специалисты, которые мыслят системно. Наша кафедра ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» как раз занимается подготовкой таких специалистов.

**– Вы подняли очень непростую проблему – развитие сельского хозяйства, которое занимает одно из первых мест по негативному воздействию на биосферу. Некоторые предлагают переходить на органическое земледелие. Как вы на это смотрите?**

– Можно ли накормить 7,5 млрд человек за счет органического земледелия? Я сомневаюсь. Органические модели имеют небольшие производственные объемы. Когда речь идет о больших массах людей, то без индустриального сельского хозяйства не обойтись. Вот тут и надо оценивать, какое воздействие оно оказывает и как снизить негативное влияние на окружающую среду.

Пока человечество не может отказаться от использования удобрений, но способно применять их разумно. Например, в июне 2019 года Международная ассоциация производителей удобрений приняла специальный Кодекс поведения, который предписывает учитывать воздействие удобрений на окружающую среду.

– **Вы упомянули эвтрофикацию, то есть заболачивание рек и озер. Этот процесс может происходить еще и оттого, что мы сливаем в канализацию чистящие и моющие средства, которые потом попадают в водоемы. Как с этим быть?**

– Для того чтобы не вызывать эвтрофикацию водоемов, в чистящих и моющих средствах не должно быть соединений фосфора и азота – именно они создают благоприятную среду для роста биомассы, что ведет к заболачиванию. Но та вода, которая попадает в канализацию, проходит через систему очистки. Например, в Москве поступление моющих средств в городскую канализацию не приводит к возникновению эвтрофикации природных водных объектов.

Болота и торфяники – по сути, результат той же эвтрофикации, только она была растянута во времени. Но когда вмешивается антропогенный фактор, то все происходит за очень короткое время. Основной вклад вносит сельское хозяйство. Это смывы удобрений, неправильное их внесение и т.д. С эвтрофикацией можно и нужно бороться, контролируя применение удобрений и сбросы животноводческих стоков в реки и озера.

– **Как вы относитесь к популярным блогерам, которые затрагивают тему химии – например, делают разборы составов косметических средств?**

– Я считаю, что если человек не обладает базовыми знаниями по химии, то должен хотя бы обладать социальной ответственностью и не нести в массы непроверенные факты ради получения лайков. Это ведет к хемофобии. Я уже приводила пример с яблоком.

Еще один пример. Если обычную воду назвать по-научному «дигидрогенмонооксид», то можно добиться того, что местные власти начнут запрещать ее использовать. Действительно, вода приводит к ожогам, если ее нагреть до высокой температуры, вода содержится в опухолях. Абсолютно чистую дистиллированную воду (а с точки зрения обывателя она именно такой и должна быть) вообще нельзя пить, это приведет к негативным последствиям. Кто-то будет с этими утверждениями спорить? Нет. Следует ли из этого, что надо запретить воду?

Проблема заключается в химической безграмотности людей, получивших доступ к информации. Зеленая химия – своего рода лекарство от хемофобии.

– **Обучают ли в обязательном порядке зеленой химии в профильных университетах? Какое сейчас к ней отношение в академической среде?**

– Еще десять лет назад зеленая химия воспринималась как нечто экзотическое и не имеющее отношение к серьезной науке. Сейчас ситуация меняется. В Менделеевском университете преподавание в области устойчивого развития, промышленной экологии началось в 80-х годах прошлого века, даже раньше, чем прошла конференция в Рио-да-Жанейро (Саммит Земли 1992 года), где понятие устойчивого развития закрепилось в документах ООН. Профессор Деннис Медоуз стал почетным доктором нашего университета в 1987 году, мы были первыми из российских вузов, кто признал его заслуги.

С тех пор мы далеко продвинулись. В Менделеевском университете читаются межфакультетские курсы по зеленой химии и по проблемам устойчивого развития, на которые могут записаться студенты любого направления подготовки. Эти курсы пользуются большой популярностью у студентов всех

факультетов. На кафедре ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» реализуются профильные образовательные программы, а студенты проходят разнообразные практики по данному направлению.

Другие университеты начинают приходить к пониманию важности образования для устойчивого развития. Средства массовой информации перестают говорить «про экологию», это совсем другая фундаментальная наука. Обсуждаются темы устойчивого развития, состояния окружающей среды, зеленой химии. На уровне ЮНЕСКО неоднократно отмечалось, что зеленая химия – важнейший инструмент достижения устойчивого развития.

**– На каком уровне находится зеленая химия в России? Не отстаем ли мы в этом направлении от других стран?**

– Нет, я бы так не сказала. Наши ученые достаточно часто публикуются в крупных журналах, в том числе международных, например, Green Chemistry (входит в первый квартиль цитируемости). Еще пример. В 1993 году академиком Валентином Афанасьевичем Коптюгом был основан международный журнал «Химия в интересах устойчивого развития» – первый в мире по этой теме. С 2002 года РАН присуждает премию имени В.А. Коптюга за выдающиеся работы по химии в интересах развития и сохранения окружающей среды. В 2011 году я была удостоена этой высокой награды.

**– Что насчет нашего государства? Нет ли у чиновников скептицизма по поводу зеленой химии?**

– Если бы вы спросили меня об этом шесть лет назад, то я бы сказала, что такой скептицизм явно прослеживается, но сейчас ситуация изменилась в лучшую сторону. Это я говорю совершенно ответственно. Думаю, это связано с реакцией общества. Стало очевидно наличие глобальных проблем. Этими проблемами необходимо заниматься, если мы хотим быть великой державой.

**– Чем сейчас занимается ваша кафедра, чего нам ожидать?**

– У нас много направлений. В области образования крайне важным направлением является создание образовательных программ по зеленой химии, потому что мы обладаем самой новой и передовой информацией в этой области. Это не просто конкретная технология, например, борьбы с эвтрофикацией, а работа по изменению сознания. С моей точки зрения, это ключевое, и сейчас наша кафедра как раз этим занимается.

Мы с вами говорили про блогеров, как они могут менять сознание. Я считаю, что классическое образование способно менять мышление людей, и оно должно использоваться для этого в полной мере.

**– В заключение хотел бы попросить вас назвать женщин-химиков, которыми вы восхищаетесь.**

– «Восхищаться» – эмоциональная характеристика. Я бы предпочла говорить о «ролевых примерах». Моим юным коллегам я бы советовала подробно изучить биографию Марии Склодовской-Кюри. Напомню, что Владимир Маяковский в «Разговоре с фининспектором о поэзии» сравнивал поэзию с добычей радия. Великие научные открытия могут оказывать сильнейшее эмоциональное воздействие. Мои студенты в этом со мной согласны.

*Евгений Аниськов*