

Зелёные технологии - Green Technology

Академик Олег Фиговский (Израиль), автор книги "Green Nanotechnology (USA) и Валерий Гумароа, редактор журнала НБИКС.

В наши дни мощным фактором, давшим новый толчок прогрессу в направлении растущих потребностей человечества, стало распространение цифровых технологий: 3D-моделирования, 3D-сканирования, объёмной печати и роботизации. Но для того, чтобы инновационный продукт органично вписался в многомерное пространство будущего, на современном этапе развития общества на первый план выходит экологическая составляющая любой инновации, то есть инновация, помимо всего прочего, должна быть экологически приемлемой. По оценкам многочисленных экспертов экологические технологии, в просторечии называемые «зелёными технологиями», станут лидирующими в развитии мирового хозяйства в XXI веке. Заключение экспертов не на пустом месте появились – в последние годы в условиях реализации стратегии экологически ориентированного роста «зелёные технологии» в цивилизованном мире развиваются ускоренными темпами. Важнейшими стимулами роста служат различные меры государственной политики, а также новые возможности, открывающиеся перед бизнесом на экологическом рынке, который быстро растёт под влиянием спроса со стороны потребителей.

Смена технологической парадигмы и диверсификация производства в сторону малозатратных, малоотходных, малотоксичных «зелёных технологий» произошла в конце XX века и коснулась практически всех, как уже существующих, так и только разрабатываемых технологий. В связи с этим в развитых странах граждане вместе с правительствами ставят задачу и принимают программы национального и интернационального характера по защите окружающей среды и человека от него самого, осознав, что пришло время спасти планету от нас самих, неразумно, избыточно эксплуатирующих и нагружающих природу. Ответом на эти вызовы явилось новое направление науки и практики под названием «зелёные технологии».

Стоит отметить, что не существует единого определения понятия «зелёных» или экологически чистых технологий. Общий подход предполагает достижение их главной цели – снижение негативного воздействия на окружающую среду путём сокращения объёмов потребляемых ресурсов, уменьшения количества отходов вплоть до их полного возврата в производство посредством глубокой переработки, использования в производственных процессах механизмов и принципов, «работающих» в природе, повышения энергоэффективности производства и быта, улучшения свойств материалов с позиции экологической безопасности.

Согласно классификации Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), «зелёные технологии» охватывают следующие сферы:

— общее экологическое управление (управление отходами, борьба с загрязнением воды, воздуха, восстановление земель);

— производство энергии из возобновляемых источников (солнечная энергия, биотопливо и другое), смягчение последствий изменения климата, снижение вредных выбросов в атмосферу, повышение эффективности использования топлива, а также энергоэффективности зданий и бытовых приборов.

Если развернуть эту сжатую формулу, то получим, что «зелёные технологии» по существу охватывают все области деятельности человека и нацелены на:

— устойчивое развитие современного общества для блага будущих поколений с решением глобальных задач: предотвращение истощения ресурсов, налаживание разумного природопользования, улучшение демографии, исключение токсичности производства;

— производство нетоксичных продуктов по замкнутому циклу: производство – утилизация – новое производство (от рождения до рождения – «cradle to cradle», вместо нынешнего «grave to grave» – от могилы до могилы);

— максимальное, вплоть до нуля, сокращение отходов за счёт инноваций в технологиях и в структуре потребления;

— принципиальную модификацию вредных производств и замену их на безвредные с использованием естественных технологий, созданных природой за миллионы лет;

— замена не возобновляемых природных ресурсов на альтернативные возобновляемые источники сырья и энергии;

— исключение использования вредных синтетических химикатов в сельском хозяйстве, внедрение биотехнологий в земледелие, животноводство и переработку сельхозпродукции.

В настоящее время «зелёные технологии» внедряются во всю цепочку деятельности компаний, включая, помимо производства, потребление, менеджмент и методы организации производства, во имя решения глобальных задач по устойчивому развитию современного и будущего общества, а именно:

— модификация и замена вредных производств;

— развитие новых альтернативных видов энергии и новых видов топлива;

- поиск новых подходов к безопасной и доступной пище и воде;
- защита от загрязнения атмосферы, почвы, пресной воды и мирового океана;
- разумное регулирование демографии.

В целом ряде развитых стран действуют масштабные государственные планы и программы стимулирования разработки экологических технологий и инноваций, создаются специальные исследовательские центры и фонды. Значительным стимулом развития «зелёных технологий» служат стандарты, налоги, субсидии и другие меры государственной политики. Множество программ, направленных на поощрение развития природоохранных технологий, действует в США, а в ЕС в соответствии с седьмой рамочной программой научно-технологических мероприятий в 2007-2013 годы на развитие экологически чистых технологий было затрачено 10 млрд. евро.

Тенденцией последних лет становится повышенное внимание к экологическим технологиям со стороны быстроразвивающихся стран. Например, значительные суммы на их разработку выделяются в Китае и Индии. В Китае действуют более 1600 государственных инкубаторов и научных парков, большинство из которых вовлечены в проекты по разработке экологически чистых технологий. Благодаря этому Китай занимает одну из лидирующих позиций в мире по патентам в шести основных областях, включая ветровую энергетику, производство биотоплива и экологически чистое использование угля.

Основная часть «зелёных технологий» сосредоточена в относительно небольшом числе стран, при этом разные страны специализируются на тех или иных видах технологий. Технологии по борьбе с водным и воздушным загрязнением, по управлению отходами активно развиваются в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР): в Австралии – по борьбе с загрязнением воды, в Дании – по возобновляемой (в первую очередь ветровой) энергетике, в Германии – по борьбе с загрязнением воздуха, в Испании – по солнечной энергетике. Значительный прогресс в разработке «зеленых технологий» отмечается также в странах БРИИКС: Бразилия, Россия, Индия, Индонезия, Китай, ЮАР разрабатывают технологии по управлению отходами, контролю над загрязнением воды и возобновляемой энергетике.

Важную роль в проведении научных исследований и разработок в сфере «зелёных технологий» играют частные компании (включая малый и средний бизнес), которые рассматривают их в качестве возможности повысить эффективность производства и, как следствие, свои конкурентные преимущества. Значительную активность в этой области проявляют венчурные компании. Один из основных показателей развития «зелёных технологий» – патентная активность. В 2000-е годы значительный рост демонстрировали технологии по смягчению последствий изменения климата. Наибольшими темпами увеличивалось число патентов в сфере возобновляемой энергетики и контроля над загрязнением

воздуха. Так, по сравнению с 1997–1999 годами число патентов в сфере солнечной энергетики выросло в три раза. Намного медленнее растёт число патентных заявок в области хранения энергии и переработки материалов. В изобретательской деятельности в области производства энергии из возобновляемых и не ископаемых источников по-прежнему лидируют европейские страны: в конце 2000-х годов на них приходилось 37 % патентов в этой сфере, за ними следовали США и Япония. Китай в этом виде патентов занял восьмое место. В отдельных сферах основными разработчиками выступают другие страны. Например, США имеют ведущие позиции по числу патентов в области производства электрических и гибридных автомобилей, Нидерланды – по энергоэффективности в зданиях и осветительных приборах.

«Зелёные технологии» – это яркое проявление современного тренда эффективности междисциплинарного подхода для решения сложных задач. Они не заменяют, а соединяют экологию, экономику, социальную технологию, основываясь на всех современных достижениях науки и техники. Пример тому «зелёная химия».

Научное направление под названием «зелёная химия» возникло в 90-х годах XX века и стало приоритетным направлением развития химии и экономики всего мира. Впервые этот термин ввёл доктор Пол Анастас из Йельского университета в 1991 году. Стоит заметить, что «зелёная» химия – это не раздел химии, а новый способ мышления в химии, при том многие ошибочно считают, что «зелёная химия» и экология – это одно и то же. Разница в том, что конечная цель «зелёной химии» – поиск безопасных с точки зрения химии и экологии способов деятельности общества во всех аспектах: от процессов производства и использования энергоресурсов до выполнения ежедневной домашней работы.

Специфические особенности «зелёной химии» нашли своё отражение в 12-ти принципах, сформулированных Полом Анастасом и Джоном Уорнером.

1. Лучше исключить выбросы, чем потом затрачиваться на дорогостоящую утилизацию, очистку, уничтожение.
2. Стратегия синтеза новых веществ должна быть построена таким образом, чтобы все вещества максимально вошли в состав конечного продукта.
3. Максимально исключать использование в производстве токсичных веществ и получение в результате производства токсичных продуктов.
4. Выбор химических продуктов должен максимально повышать их эффективность и снижать токсичность.
5. Минимально использовать органические растворители и вредные вспомогательные вещества.
6. Преимущественно использовать процессы при температуре окружающей среды и атмосферном давлении.
7. Переходить к возобновляемому сырью.
8. По возможности при синтезе новых материалов и их модификации избегать получения промежуточных продуктов.

9. По возможности переходить от классических затратных стехиометрических реакций к селективным каталитическим.
10. По возможности производимые продукты должны быть биологически разлагаемы, т.е. не накапливаться в окружающей среде.
11. Аналитический контроль производства для предотвращения образования вредных веществ.
12. Технологии должны исключать утечку, пожары, взрывы, несчастные случаи.

Если кратко, то «зелёная химия» развивается в следующих направлениях:

- новые принципы синтеза,
- использование возобновляемых источников сырья, реагентов, материалов,
- замена традиционных органических растворителей.

При этом новые схемы химических реакций и процессов, которые сейчас разрабатываются в научных лабораториях, должны обеспечить экологическую безопасность общества, снижение ущерба окружающей среде и искоренение бедности, поскольку планомерное следование принципам «зелёной химии» позволяет в конечном итоге снижать затраты на производство.

В мире присуждаются награды и премии за заслуги в области развития «зелёной химии», что, несомненно, свидетельствует о внимании к этой проблеме. В частности, премию президента США Presidential Green Chemistry Challenge Award присуждают за инновационные решения, учитывающие интересы окружающей среды, причём независимо от того, президент какой партии находится у власти. Статус премии предусматривает выдающиеся заслуги отдельных специалистов и организаций в области исследования, развития и внедрения наиболее перспективных направлений технологии «зелёной химии».

В 2015 году премию Presidential Green Chemistry Challenge Award получили американская компания Nanotech Industries, Inc. и израильская компания Polymate Ltd. за разработку и освоение производства неизоцианатных полиуретанов и гибридных материалов на их основе. Специалистами израильской компании Polymate Ltd. была впервые создана промышленная технология получения покрытий, монолитных полов и вспененных полиуретанов, не содержащих токсичных и канцерогенных изоцианатов на всех стадиях технологического процесса. Отмеченная наградой работа была выполнена под руководством автора книги, в то время директора по науке и развитию компании Polymate Ltd, профессора Олега Фиговского. В сообщении о получении премии было отмечено: «As a recipient of this prestigious award, you are distinguished at the national level as innovator in green chemistry».

В процессе разработки «зелёной технологии» производства покрытий, монослоев и вспененных полиуретанов, не содержащих токсичных и канцерогенных изоцианатов, компания Polymate Ltd. разработала несколько новейших технологий, защищённых более 10 патентами США, Европы и Канады. Неизоцианатные полиуретаны получают по реакции олигомерных циклокарбонатов, в том числе на основе растительных масел и олигомерных первичных аминов. Такие полиуретаны обладают высокой прочностью, ударо- и износостойкостью, а также гидrolитической стабильностью. Этой же компанией разработана оригинальная технология наноармирования твёрдых материалов (металлов, полимеров, керамики) уникальным методом суперглубокого проникновения. Тематика экологически безопасных (Environment Friendly) промышленных нанотехнологий является основной тематикой исследований Международного нанотехнологического исследовательского центра «Polymate» (Израиль), создавшего более десяти таких технологий, защищённых патентами США.

Создание полиуретанов без ядовитых изоцианатов, отмеченное премией президента США Presidential Green Chemistry Challenge Award – отражение нынешнего тренда «зелёной химии»: «Не вместо, а вместе!», что означает разумное применение достижений современной химии в купе с уже созданными природой технологиями и компонентами. Среди современных сфер разработки «зелёных технологий» ключевой является энергетика. Основные направления её «экологизации» – повышение энергоэффективности и развитие новых источников энергии, в первую очередь альтернативных.

В то время как большинство концепций альтернативной энергетики не новы, только за последние несколько десятилетий этот вопрос стал, наконец, актуальным. Благодаря совершенствованию технологий производства энергии, стоимость большинства форм альтернативной энергии понижалась, в то время как эффективность росла. Как и со многими другими техническими понятиями имеют место быть некоторые споры касательно того, что означает «альтернативная энергия» и к чему этот термин можно применить.

С одной стороны, этот термин можно отнести к формам энергии, которые не приводят к увеличению углеродного следа человечества. Поэтому он может включать ядерные объекты, гидроэлектростанции и даже природный газ и «чистый уголь». С другой стороны, этот термин также используется для обозначения того, что в настоящее время считается нетрадиционными методами энергетики – энергии солнца, ветра, геотермальной энергии, биомассы и других способов получения энергии. Такого рода классификация исключает такие методы добычи энергии, как гидроэлектростанции, которые существуют больше сотни лет и представляют собой довольно распространённое явление в некоторых регионах мира.

Другой фактор в том, что альтернативные источники энергии должны быть «чистыми», не производить вредных загрязняющих веществ. Как уже отмечалось, это подразумевает чаще всего углекислый газ, однако может относиться и к

другим выбросам – угарному газу, двуокиси серы, окиси азота и другим. По этим параметрам ядерная энергия не считается альтернативным источником энергии, поскольку производит радиоактивные отходы, которые высокотоксичны и должны храниться соответствующим образом. Во всех случаях, однако, этот термин используется для обозначения видов энергии, которые придут на смену ископаемому топливу и углю в качестве преобладающей формы производства энергии в ближайшее десятилетие.

Строго говоря, существует много видов альтернативной энергии. Опять же, здесь определения заходят в тупик, потому что в прошлом «альтернативной энергетикой» называли методы, использование которых не считали основным или разумным. Но если взять определение в широком смысле, в него войдут некоторые или все эти пункты: Гидроэлектроэнергия. Это энергия, вырабатываемая гидроэлектрическими плотинами, когда падающая и текущая вода (в реках, каналах, водопадах) проходит через устройство, вращающее турбины и вырабатывающее электричество. Ядерная энергия. Энергия, которая производится в процессе реакций замедленного деления. Урановые стержни или другие радиоактивные элементы нагревают воду, превращая её в пар, а пар крутит турбины, вырабатывая электричество. Солнечная энергия. Энергия, которая получается напрямую от солнца: фотовольтаические ячейки (обычно состоящие из кремниевой подложки, выстроенные в крупные массивы) преобразуют лучи солнца напрямую в электрическую энергию. В некоторых случаях и тепло, производимое солнечным светом, используется для производства электричества, это известно как солнечная тепловая энергия. Энергия ветра. Энергия, вырабатываемая потоком воздуха: гигантские ветряные турбины вращаются под действием ветра и вырабатывают электричество. Геотермальная энергия. Эту энергию вырабатывает тепло и пар, производимые геологической активностью в земной коре. В большинстве случаев в грунт над геологически активными зонами помещаются трубы, пропускающие пар через турбины, таким образом вырабатывая электричество. Энергия приливов. Приливное течение у береговых линий тоже может использоваться для выработки электричества. Ежедневное изменение приливов и отливов заставляет воду протекать через турбины назад и вперед. Вырабатывается электроэнергия, которая передаётся на береговые электростанции.

Биомасса. Это относится к топливу, которое получают из растений и биологических источников – этанола, глюкозы, водорослей, грибов, бактерий. Они могли бы заменить бензин в качестве источника топлива. Водород. Энергия, получаемая из процессов, включающих газообразный водород. Сюда входят каталитические преобразователи, при которых молекулы воды разбиваются на части и воссоединяются в процессе электролиза; водородные топливные элементы, в которых газ используется для питания двигателя внутреннего сгорания или для вращения турбины с подогревом; ядерный синтез, при котором атомы водорода сливаются в контролируемых условиях, высвобождая невероятное количество энергии. Во многих случаях альтернативные источники энергии также являются возобновляемыми. Тем не менее, эти термины не полностью взаимозаменяемы, поскольку многие формы альтернативных источников энергии полагаются на ограниченный ресурс. К примеру, ядерная

энергетика опирается на уран или другие тяжёлые элементы, которые необходимо сначала добыть. В то же время ветер, солнечная, приливная, геотермальная и гидроэлектроэнергия полагаются на источники, которые полностью возобновляемые. Лучи солнца – самый изобильный источник энергии из всех и, хоть и ограниченный погодой и временем суток, является неисчерпаемым с промышленной точки зрения. Ветер тоже никуда не пропадает, благодаря изменениям давления в нашей атмосфере и вращению Земли.

В настоящее время альтернативная энергетика все ещё переживает свою юность. Но эта картина быстро меняется под влиянием процессов политического давления, всемирных экологических катастроф (засух, голода, наводнений) и улучшений в технологиях возобновляемых энергий. Не последнюю роль в ускоренном развитии альтернативной энергетике в наше время играет энергетический кризис. Энергетический кризис, в котором находится человечество, имеет две причины. Первая – ограниченность существующих ископаемых энергоносителей. Вторая – загрязнение окружающей среды. И если первая из этих причин носит скорее геополитический характер, чем является реальной нехваткой природных углеводородов на сегодняшний день (разведанных запасов нефти, даже с учетом бурного роста потребления в Азии хватит как минимум на 30-40 лет, природного газа на 80 лет, угля не менее чем на полтора века), вторая грозит возможными катаклизмами (ураганами, изменениями направления океанских течений, таянием льдов, изменением состава атмосферы, глобальным потеплением и изменением климата) в самом ближайшем будущем. При этом возможность фазовых переходов (то есть таких, при которых малые изменения параметров влекут за собой глобальные последствия) отнюдь не исключена – а каковы критические значения параметров и когда наступят скачкообразные изменения, никто не знает.

Причина глобальных катаклизмов, как грядущих, так и уже наступающих, лежит в самом характере человеческой цивилизации, которая не вписывается и не пытается вписываться в структуру окружающего мира. Вплоть до XIX века люди жили в несравненно большем балансе с природой, чем после промышленной революции. Природа за миллионы лет создала технологии производства всего того, что необходимо человеку для пребывания в этом мире (иначе бы мы тут не жили), но нам ведь надо побыстрее и попроще, чтоб стало побольше да подешевле при наращивании объёмов производства и продаж, да ещё и с нужными потребительскими свойствами. Природные технологии по нашему разумению, точнее было бы сказать – недоразумению – чересчур неспешные и заумные, нам невдомёк, мы не хотим выбирать два из трёх: «быстро, дешево, вкусно» – нам все сразу подавай. Как результат, сегодня множество производств и все возрастающее накопление самых разнообразных отходов делают глобальный дисбаланс цивилизации и природы неизбежным. Энергетика XXI века вносит в дестабилизирующие процессы громадный вклад. Так, в Калифорнии выброс парниковых газов в атмосферу автомобилями составляет приблизительно половину от общего выброса. Изобретение паровой машины, а затем двигателя внутреннего сгорания с возможностью превращения энергии пара в электрическую в тысячи раз увеличили количество сжигаемых углеводородов и одновременно – выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания. В этом смысле

путь от пожара в лесу до локализации огня человеком (на котором можно было жарить еду, обжигать горшки, который отпугивал хищников, обогревал помещения) длиннее, чем от костра в пещере до двигателя автомобиля, а идея-то, в сущности та же.

Есть ли у цивилизации какой либо иной путь? В 2004 году была выдвинута концепция «Альтервитаальной Цивилизация» (от латинского *Altera Vitae*, другая жизнь - Ю. Магаршак и О. Фиговский). Был поставлен общий вопрос: возможна ли цивилизация, которая не нарушала бы баланса биоценоза с природой и была бы полностью, или почти полностью, безотходной? На этот важнейший стратегический вопрос в принципе был дан положительный ответ.

Современная техногенная цивилизация получает, хранит, распределяет и утилизирует энергию абсолютно не так, как эти процессы осуществляются в живой природе. Взять ту же утилизацию. Спасибо нашим диким предкам: сохранили, пронесли для нас через тысячелетия великий секрет утилизации отходов – убрать с глаз долой да сжечь, если горит. И плевать, что отходы эти – уникальное сырье для производства новых товаров по примеру природы, где все в дело идёт. Гори все синим пламенем в топке мусоросжигающей печи! А ведь на дворе не каменный век – XXI-ый! Не сжигание, а переработка отходов, не выбрасывание на помойки, высокопарно именуемые полигонами, а утилизация для повторного использования – вот подход цивилизованного человека к проблеме отходов! И ладно б не было соответствующих технологий и оборудования. Есть же! И идеи полного цикла переработки, и опробованные на практике технологии, и действующее оборудование. Только все в единичных экземплярах, в виде диковинных штучек, про которые мало, кто знает, из-за слабой маркетинговой политики их продвижения на рынок и в силу господства первобытных технологий зарабатывания денег, когда чисто на приёме мусора для якобы утилизации, деньги с такими скоростями делают, что в высоких технологиях и не снились.

Оценки показывают, что энергопотребление в биоценозе на порядки (как минимум в 100 раз) превышает энергию, утилизируемую человечеством при сжигании природных энергоносителей (нефти, газа и угля). При этом не только отдельные организмы, но и биоценоз в целом находятся в глобальном балансе с природой. Перед рассмотрением достижений человечества в энергетике с позиций «зелёных технологий» посмотрим, как это делается природой. Универсальным первичным источником энергии в мире живого является солнце. Поглощение квантов света осуществляется в фотосинтезе, в результате которого синтезируется глюкоза, являющаяся универсальным биологическим топливом.

Существует два вида молекулы хлорофилла отличающиеся лишь одной группой. Для хлорофилла- α это группа $\text{X}=\text{CO}$, для хлорофилла- β – CHO . Несмотря на то, что различие минимально, эти две молекулы совокупно перекрывают очень широкий спектр, в частности почти весь видимый глазом свет. Непоглощённой остаётся зона 500-600 нм, соответствующая зелёному свету (именно поэтому листья растений и планктон как правило имеют зелёный

цвет). Для длительного хранения энергии глюкоза энзиматически преобразуется в свои производные: в растениях в дендример (макромолекула с симметричной древообразной с регулярными ветвлениями структурой) альфа-глюкозы – крахмал, у животных в дендример альфа-глюкозы – гликоген. Кроме того, стволы и ветки деревьев более чем наполовину по массе состоят из линейной формы бета-глюкозы – целлюлозы. В дендримерных формах глюкозы при утилизации энергии от молекулы по одной отщепляются замыкающие ветви звенья. Это позволяет делать процесс утилизации энергии *in vivo* универсальным и контролируемым на молекулярном уровне. Универсальные формы хранения энергии *in vivo*: крахмал и гликоген. Молекулы полимера – крахмала накапливаются в клетках растений и образуют запас питательных веществ, в то время, как молекулы мономеров глюкозы не откладываются про запас, а либо преобразуются в полимерные формы: линейную (целлюлоза) или дендримерную (крахмал и гликоген) – либо быстро расходуются. Крахмал содержится в больших количествах в зерновых злаках – пшенице, рисе, ячмене и других, а также в картофеле. В промышленности глюкозу получают гидролизом крахмала. Общая масса крахмала, синтезируемого в течение года *in vivo*, оценивается в сотни миллиардов тонн. Гликоген – главная форма формирования запасов углеводов у животных. Гликоген – полисахарид, откладывающийся в виде гранул в цитоплазме клеток и расщепляющийся до глюкозы при недостатке её в организме. Гликоген запасается больше всего в печени (до 6 % от массы печени) и в мышцах (порядка 1% массы мышц).

Целлюлоза – клетчатка, главный строительный материал растительного мира, образующий клеточные стенки деревьев и других высших растений. Самая чистая природная форма целлюлозы – волоски семян хлопчатника. В древесине содержится от 40 до 60 % целлюлозы. Различие между молекулами целлюлозы и крахмала состоит также и в том, что у целлюлозы больше степень полимеризации (n). В состав одной макромолекулы крахмала входит от нескольких сотен до нескольких тысяч звеньев, а в состав молекулы целлюлозы – свыше 10 000 звеньев. Целлюлоза образует волокна, которые придают растению жёсткость и прочность. Так, волокно целлюлозы прочнее, чем стальная проволока такого же диаметра. Целлюлоза, крахмал и гликоген имеют одинаковую химическую формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$. Согласно современным воззрениям, утилизация энергии, запасённой в углеводородах, осуществляется в три этапа, каждый последующий из которых осуществляется только как результат предыдущего.

Гликолиз: анаэробное превращение глюкозы в пируват, в результате которого производится аденозинтрифосфат или аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) – источник энергии для всех биохимических процессов в живых системах. Аэробный процесс окислительного фосфорилирования (также называемый циклом Кребса), сопряжённый с конечным продуктом гликолиза – пируватом – путём его окисления в ацетилкофермент А (ацетил-КоА). На этом этапе производятся дополнительные молекулы АТФ и кроме того никотинамидадениндинуклеотид в восстановленной форме (NADH), являющийся универсальным переносчиком электронов в клетке (а также восстановленный флавинадениндинуклеотид – FADH₂). Хемиосмос (chemiosmosis), происходящий в мембранах митохондрий, контролируется несколькими ферментами при участии NADH и FADH₂,

приводящий к образованию дополнительных молекул АТФ. В результате этих трёх процессов из одной молекулы глюкозы производится до 38 молекул АТФ.

Пара аденозинтрифосфат-аденозиндифосфат является «молекулярным шатлом». АТФ богата энергией, потому что содержит две гидролизуемые фосфатные группы. Когда Р-О связи рвутся, освобождается свободная энергия, которая может использоваться в метаболизме. Энергия гидролиза одного фосфата составляет 30 КДж/моль, отщепление второго фосфата освобождает ещё 30 КДж/моль. АТФ постоянно потребляется организмом. За сутки в организме человека синтезируется примерно 40 кг АТФ, в то время как общая масса АТФ в организме человека порядка 50 грамм. АТФ никогда не хранится долго: за сутки она может совершить сотни и даже тысячи циклов. При усиленной работе расход АТФ составляет до пятисот грамм в минуту. Суммарная масса произведённого в организме АТФ за сутки может в несколько раз превысить массу животного, хотя в каждый момент времени в организме имеется в сотни или даже тысячи раз меньше этой величины.

Энергетические процессы, происходящие в живых организмах схожи с работой двухтактного двигателя внутреннего сгорания – система после каждого цикла извлечения энергии возвращается в исходное состояние. Фундаментальное отличие двигателей *in vivo* от двигателей внутреннего сгорания или турбин состоит в том, что они работают при температуре среды, процесс идёт с контролем за функционированием каждой молекулы, при том безотходно, намного более эффективно и экономно. В процессе жизнедеятельности всех без исключения организмов утилизация запасённой в химических связях энергии происходит с контролем за метаболизмом каждой молекулы, и процессы эти происходят при температуре, близкой к температуре окружающей среды. Высокотемпературная утилизация (горение) *in vivo*, в отличие от человеческой цивилизации, не используется никогда. Кроме высокой температуры, горение характеризуется бесконтрольным превращением триллионов молекул в другие, при этом выделяется много тепла, и главной задачей оптимизации большинства технологий становится уменьшение тепловых потерь. В противоположность этому, в живой природе контроль при утилизации энергии осуществляется за метаболизмом каждой молекулы.

Мышцы являются универсальным механизмом, используемым многоклеточными организмами в живой природе для получения механической энергии. Мышцы состоят из актиновых (тонких) и миозиновых (толстых) нитей, состоящих из мономеров, сгруппированных в кластеры. Цикл функционирования мышцы в общих чертах выглядит так:

- 1) Головка миозинового мономера присоединена к мономеру актиновой нити прочной связью. При этом мономер актина, соседний с тем, к которому прикреплена головка мономера миозина, свободен.
- 2) Молекула АТФ присоединяется к образовавшемуся комплексу мономеров актина и миозина и индуцирует конформационный переход к головке миозина, после чего эта головка отсоединяется от нити актина. При этом

аденозинтрифосфат (АТФ) превращается в аденозиндифосфат (АДФ) и фосфатную группу P_i .

- 3) В головке миозина происходит конформационный переход, в результате которого фосфатная группа P_i отделяется от головки, а сама головка – от мономера актина.
- 4) Головка миозина (вместе с присоединённой к ней АДФ) поворачивается и присоединяется к следующему мономеру актина. При этом процессе актиновые и миозиновые нити перемещаются друг относительно друга на один шаг, а аденозинтрифосфат освобождается.

После чего цикл повторяется. В результате множественных повторений цикла в каждом из кластеров, в которые сгруппированы мономеры актина и миозина, происходит сокращение мышцы. В то время, как поколения технологий в ключевых областях промышленности в начале XXI века сменяются каждые несколько лет, живая природа исключительно консервативна. Одни и те же биологические механизмы, раз созданные, функционируют практически без изменений во всех организмах (количество видов которых на земле исчисляется миллионами) в течение миллиардов лет. Фотосинтез, гликолиз, цикл Кребса, хемиосмос и работа мышцы являются неизменными универсальными механизмами.

В техногенной цивилизации современности утилизация первичных источников энергии (нефти, газа, угля) происходит:

- а) с выбросом вредных газов в атмосферу,
- б) при высоких температурах,
- в) с контролем только глобальных параметров (таких как давление в камере, температура горючей смеси в двигателе внутреннего сгорания, масса смеси и им подобные).

Напротив, в живой природе утилизация энергии происходит:

- а) экологически чисто,
- б) при нормальной температуре,
- в) с контролем каждой молекулы при утилизации энергии.

В то время, как в цивилизации используются различные виды топлива (в частности органического происхождения, такие как дрова, нефть, торф), так и неорганические (природный газ), в живой природе имеется одно универсальное

топливо: глюкоза. Можно ли создать двигатели, работающие по тому же принципу, что и мышцы, то есть использующие в качестве топлива глюкозу? Или, если несколько шире вопрос поставить: «Можно ли перевести мировую энергетику с ископаемых углеводородов на глюкозу, как частный случай альтервитальной энергетики?». Непреодолимых технологических трудностей на этом пути нет, более того, есть пример от природы, где множество организмов черпают энергию из превращения глюкозы в аденозинтрифосфорную кислоту – источник энергии для всех биохимических процессов в живых системах.

Ключевыми для альтервитальной энергетики представляются следующие стадии:

- 1) Производство глюкозы и её производных в количествах, соизмеримых с потреблением нефти, то есть в миллиардах тонн. Такая система первого поколения не является проблематичной и может быть создана в течение нескольких лет.
- 2) Создание альтервитальной мышцы (аналог современных двигателей). Это в принципе решаемая задача, так как, в отличие от, например, термоядерных станций, мышцы работают в миллионах организмов. В случае её решения человечество будет обеспечено энергией на тысячи лет. Проблемы загрязнения окружающей среды при утилизации энергоносителей и потенциального исчерпания нефти также будут решены.
- 3) Создание альтервитального биоэлектрического генератора, превращающего энергию биотоплива в электричество без горения. По сравнению с созданием искусственной мышцы создание альтервитальных двигателей первого поколения сравнительно более лёгкая и быстрее решаемая задача.

Альтервитальная энергетика, как элемент «зелёной технологии» – это, по большому счёту, пока что одна из перспектив «озеленения» человечества, так сказать, то, к чему стремиться. А что мы имеем уже сейчас в сфере «зелёных технологий» и какие заделы есть на завтра, а не на отдалённое «зелёное» будущее? Главные надежды в решении острейших экологических проблем (к ним относятся и ресурсные) возлагаются сегодня на технологические прорывы. В последние годы развитые страны переориентируют своё развитие на реализацию стратегии экологически ориентированного роста, одной из главных составляющих которой становятся «зелёные технологии». В этот процесс всё больше вовлекаются и развивающиеся экономики – пришла очередь и нам непосредственно рассказать про технологические прорывы, про достижения инновационных систем, затрагивающие «зелёные технологии». При этом в описаниях «зелёных технологий» обойдёмся без кавычек.

Начнём с солнечных и ветряных электростанций. В 2015 году возобновляемая энергетика вышла на первое место по установленной мощности среди всех видов топлива, когда в мире количество ежедневно устанавливаемых солнечных панелей превысило 500000 штук, а в Китае число запускаемых ветряных установок достигло двух в час. На наших глазах происходит беспрецедентная

зелёная революция, которая кардинально изменит расклад сил на энергетическом рынке. Темпы установки солнечных панелей бьют все рекорды. И это только начало, ведь стоимость ветряков, а тем более солнечных панелей постоянно снижается. «Мы наблюдаем трансформацию глобальных энергетических рынков под влиянием возобновляемых источников», – признал исполнительный директор Международного энергетического агентства Фатих Бирол. Он согласился, что рост частично вызван кардинальным падением цен на оборудование для солнечных и ветряных электростанций. Такие цены как сейчас невозможно было представить пять лет назад. Так, стоимость установки ветровой электростанции с 2010 по 2015 год упала на 30 %, а стоимость солнечных электростанций – в три раза.

Международное энергетическое агентство прогнозирует дальнейшее снижение стоимости ветряков и солнечных электростанций на ближайшие пять лет: на 15 % и 25 %, соответственно. Судя по всему, это довольно консервативная оценка. Вполне возможно, прогнозы опять придётся пересматривать из-за ещё более бурного роста солнечной и ветряной энергетики. Отчёт *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016* посвящён временному периоду с 2015 по 2021 годы. Прогноз на этот отрезок пересмотрен на 13 % в сторону повышения. По оценке экспертов, установленные мощности за данный отрезок увеличатся не на 730 ГВт, а на 825 ГВт. Это связано с принятием более строгого законодательства в США, Китае, Индии и Мексике. За 2015 год в мире установлено 153 ГВт мощностей в энергетике. Больше половины из них представляют солнечные станции (49 ГВт) и ветряные станции (63 ГВт). Введено в строй больше мощностей, чем генерируют некоторые страны «большой восьмёрки» – например, Канада. Солнечные и ветряные электростанции добавили за год больше мощности, чем электростанции на угле, газе и ядерном топливе. Такое достижение позволило возобновляемым природным ресурсам обойти уголь и выйти на первое место в мире по установленной мощности.

«Установленная мощность» в альтернативной энергетике – это довольно условный показатель. Солнце не светит круглосуточно, а ветер дует с переменной скоростью в разных направлениях. Поэтому реальное производство электроэнергии из возобновляемых ресурсов гораздо ниже, чем установленные мощности. По этому показателю возобновляемые источники очень сильно отстают. Судя по всему, чтобы обогнать ископаемое топливо по генерации электричества, следует установить в разы больше генерируемой мощности, чем сейчас. По данным Международного энергетического агентства за 2015 год, уголь обеспечил 39 % мировой генерации электричества, а все возобновляемые источники, включая ГЭС – всего 23 %. По прогнозу, доля возобновляемых источников к 2021 году вырастет до 28 %. В этом случае возобновляемые ресурсы будут генерировать более 7600 ТВт*ч – больше электричества, чем сейчас генерируют США и страны Евросоюза вместе взятые.

Принятие более строгого законодательства в некоторых странах в поддержку возобновляемой энергетики связано не только с ратификацией Парижского соглашения в рамках Конвенции ООН об изменении климата. Это связано ещё и с

серьёзными экологическими проблемами в некоторых странах. Например, из-за сильного загрязнения воздуха в Китае эта страна стремится теперь активно продвигать альтернативную энергетику. Сейчас примерно 40 % новых мощностей возобновляемой энергетики в мире приходится именно на Китай (в том числе 50 % ветряных установок). Эксперты предупреждают, что прогнозируемый рост альтернативной энергетики сильно зависит от государственной поддержки, которая часто меняется в разных странах. Неустойчивая природа солнечной и ветряной энергии тоже несёт определённые риски для операторов. Тем не менее, во всём мире электростанций на возобновляемых источниках сейчас вводят больше, чем на ископаемом топливе. В Евросоюзе и США установленная мощность альтернативной энергетики ежегодно превышает новые потребности экономики. То есть, сейчас вообще нет смысла строить новые ТЭЦ на угле и газе, и можно постепенно закрывать старые. Что и демонстрирует Китай, продолжая прикладывать все возможные усилия к переходу на возобновляемые источники энергии.

Отчет Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA) за 2017 год показывает насколько явно КНР стремится стать лидером производства энергии из возобновляемых источников. В опубликованных документах заявляется, что общие инвестиции Китая в проекты производства чистой энергии составили в 2017 году более 44 миллиардов долларов, что существенно превосходит показатель 2016 года – 32 миллиарда долларов. Согласно ведущему автору отчета Тиму Бакли, главе отдела исследований вопросов энергетического финансирования в IEEFA, решение США отказаться от Парижского соглашения стало важным катализатором роста Китая на растущем мировом рынке возобновляемых источников энергии: «Это необязательно должно значить, что теперь Китай заполнит абсолютно все ниши оставленного США лидерства в результате отказа от Парижского соглашения, но это определённо предоставит стране технологическое превосходство и финансовые возможности, позволив доминировать в таких быстрорастущих секторах, как солнечная энергия, электромобили и производство аккумуляторов».

Для строительства солнечных электростанций (СЭС) требуются солнечные панели, эффективно преобразующие солнечный свет в электричество. И тут китайцы оказываются на острие научно-технического прогресса. Пример тому – разработка крупнейшего производителя тонкоплёночных солнечных элементов компании Hanergy, чья технология преобразования солнечной энергии побилла сразу три мировых рекорда по энергоэффективности. По новой технологии дочерними компаниями Hanergy: Alta Devices, Solibro и MiaSole – были созданы три вида панелей: одноsegmentный солнечный модуль GaAs, двойные стеклянные солнечные модули CIGS и солнечные модули CIGS на гибкой подложке, которые имеют рекордную эффективность преобразования энергии в 25,1 %, 18,72 % и 17,88 % соответственно. Эти солнечные панели могут использоваться для беспилотных летательных аппаратов, на крышах домов, в транспортных средствах на электрической тяге и различной электронике. По словам представителей компании, возможности применения их технологии бесконечны, так как она может использоваться практически во всех инновационных областях. В подтверждении своих заявлений компания Hanergy выпустила дрон на солнечных

батареях. Без подзарядки он способен находиться в воздухе до 10 часов, тогда как время работы беспилотников, оснащённых только литий-ионными батареями, составляет не более двух часов.

Успехи в практическом освоении энергии солнца для нужд энергетики демонстрирует и Израиль, но несколько с другой позиции подхода к использованию излучения ближайшей к нам звезды – в пустыне Негев компанией Megalim Solar Power строится солнечная башня одной из крупнейших в мире Ашалимской гелиотермальной станции. Ашалимская станция устроена по принципу гелиоконцентратора, устройства для концентрации энергии солнца. В основе проекта станции 55000 управляемых компьютером гелиостатов (зеркал), положение которых меняется в соответствии с движением солнца. Зеркала направляют отражённый свет на солнечный парогенератор – специальный котёл, расположенный на вершине центральной башни, который производит пар для турбины, вращающей электрогенератор. Солнечная башня Ашалимской станции высотой 250 метров – самая высокая в мире. Стоимость проекта составит \$773 млн. Станция будет вырабатывать 121 МВт электричества — 2 % всего потребления Израиля. Электричества, производимого в Ашалиме, хватит на обеспечение чистой энергией 120 тысяч домов. Каждый год комплекс будет помогать экономить 110 тысяч тонн выбросов углекислого газа. Всего доля производства электроэнергии из возобновляемых источников в Израиле со временем увеличится и составит 10 % в 2020 году.

Если несколько дальше посмотреть на перспективы солнечной энергетики, то следует обратить внимание на достижения исследователей из Венского технологического университета, которые работают над новым классом материалов для солнечных батарей. Новый материал австрийских учёных представляет собой гетероструктуру из нескольких одноатомных слоёв оксидов, что придаёт композиту совершенно новые свойства. По заверениям исследователей, их новый материал откроет возможность производить более эффективные солнечные элементы. Оксиды, использованные разработчиками, являются изоляторами, но при объединении двух соответствующих типов изоляторов наблюдается удивительный и очень важный эффект: поверхности гетероструктуры становятся металлическими и начинают проводить электрический ток. Это позволяет получать солнечное электричество без проводов, как это делается, к примеру, в кремниевых солнечных элементах, где провода блокируют часть попадающего на элемент света. Остаётся только найти наиболее эффективные комбинации материалов, которые максимально поглощали бы видимую часть спектра солнечного света.

Одно из многообещающих направлений изысканий эффективных преобразователей света солнца в электричество – тонкоплёночные структуры. В этом разрезе исследовательская группа из Оксфорда предложила новый способ создания тонкоплёночных солнечных элементов, эффективность преобразования энергии в которых превышает 15 %. Устройства создаются на основе материала, известного как перовскит. Солнечные ячейки имеют простую архитектуру и легко могут воспроизводиться в коммерческих масштабах, так как процесс осаждения из

парообразного состояния, используемый для их производства, по своей простоте вполне может конкурировать с традиционными методами обработки материалов, применяемыми для создания солнечных элементов. Британские исследователи продемонстрировали, что перовскиты не только поглощают свет, но также могут обеспечивать транспорт электронов и дырок проводимости. Это значит, что использовавшаяся ранее сложная наноструктура не является необходимой для создания сенсibilизированных красителем солнечных элементов. В предложенном ими устройстве поглощающий свет слой перовскита просто зажат между чувствительными к электронам и дыркам электродами. По сути, своей простотой установка во многом напоминает обычные плоские контактные солнечные батареи. При этом устройство обеспечивает высокую эффективность преобразования солнечной энергии в электричество (до 15,4 %), несмотря на толщину всего в 330 нм. Стоит отметить, что устройство также создаёт разность потенциалов в 1,07 В (что более чем в два раза превышает разность потенциалов, создаваемую кремниевыми пластинами толщиной 0,15 мм). Это означает, что для создания солнечных батарей с отличными характеристиками необходимо совсем немного перовскита.

Устройства на основе перовскита вполне могут производиться с помощью тех же процессов, что сейчас применяются для создания коммерческих солнечных элементов, в том числе, на основе кремния. Более того, так как они поглощают свет в другой спектральной области, нежели кремний, солнечные элементы на базе перовскита и кремния могут удачно дополнять друг друга. При том, слой кремния может размещаться под слоем перовскита (поскольку последний не поглощает требуемый диапазон излучения). Это позволит создавать устройства, эффективность которых превышает возможности солнечных элементов и из кремния, и из перовскита по отдельности. Последние достижения в области повышения эффективности и экономичности солнечных панелей осуществлены не без помощи новых окрашивающих веществ: красителей и пигментов, играющих в солнечных батареях роль антенны – эффективного поглотителя солнечного света с его последующим преобразованием в электрический ток. Красители и пигменты, являясь по химическому строению абсорбентами видимой и ультрафиолетовой части спектра, переходя под действием света в возбуждённое состояние, способны переносить избыточную энергию возбуждения посредством электронов на другие молекулы. Это их фотосенсibilизирующее свойство используют в фотоэлементах солнечных батарей.

Первоначально в качестве фотосенсibilизаторов в анодах солнечных батарей использовали синтетические очень дорогие и токсичные красители экзотической структуры, содержащие рутений. Только в последнее время появился теоретический и практический интерес к природным красителям растительного и бактериологического происхождения как фотосенсibilизаторам солнечных батарей. Это понятно и очевидно, поскольку в природе красители, как правило, играют роль абсорберов в видимой и ультрафиолетовой области солнечного спектра. Преимуществом природных красителей перед синтетическими красителями и другими неорганическими фотосенсibilизаторами, как и в других областях их применения, является нетоксичность, биологическая совместимость и биоразлагаемость, простота производства, огромный выбор в природе.

Фотоэлементы, которые поглощают свет за счёт органических красителей, имеют тенденцию выгорать при интенсивном облучении. Эффективность таких солнечных панелей при этом падает. Инженеры из университетов Северной Каролины и Иллинойса разработали прототип биомиметического органического фотоэлемента, который способен обновляться благодаря наличию внутренней капиллярной сети. Чтобы её восстанавливать, учёные решили обновлять краситель через специальную систему капилляров. Прототип солнечной батареи состоял из двух электродов, между которыми располагался гелевый электролит. Фотоанод устройства был покрыт нанопористым оксидом титана. В геле были проделаны каналы, через которые учёные могли пропускать органический краситель. Исследование показало, что устройство способно многократно обновляться после интенсивного облучения.

Свой вклад в понимание механизма работы красителей в фотовольтаике внесли исследователи из Лундского университета (Швеция), когда объяснили, каким образом красители на основе железа работают на молекулярном уровне в солнечных элементах. Результаты шведских учёных ускорят разработку недорогих и экологически чистых солнечных панелей с красителями на основе железа. Это сделает их и «Light catcher» – более дешёвыми и экологически чистыми. В течение многих десятилетий исследователи со всего мира пытались разработать красители на основе железа для использования их в солнечных элементах, но безуспешно. Самая большая трудность – это получить нужные свойства красителей, повысить их энергоотдачу путём генерации электрического тока. Все предыдущие попытки приводили к результату, когда панель генерировала тепло вместо разности потенциалов, которая является необходимым условием для выработки электроэнергии. «Существует международный интерес к нашим исследованиям. Исследовательские группы по всему миру стремятся испытать новые красители в других областях», — заявил старший преподаватель Лундского университета Петтер Перссон. С другой стороны к фотовольтаике подошла группа учёных под руководством Итамара Вилнера из Еврейского университета в Иерусалиме (Израиль). Они искали способы создания источников питания на базе фотосистемы II, для работы которых не требовался какой-либо химический компонент, разрушающийся в процессе использования.

Фотосистема II – функциональный комплекс электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) хлоропластов, находящийся в мембранах тилакоидов всех растений, водорослей и цианобактерий, где происходят реакции фотосинтеза. Поглощая энергию света в ходе первичных фотохимических реакций, он формирует сильный окислитель – димер хлорофилла α , который через цепь окислительно-восстановительных реакций способен вызвать окисление воды. Окисляя воду, фотосистема II поставляет электроны в ЭТЦ хлоропласта, где они используются для циклического фосфорилирования. Помимо этого, окисление воды приводит к образованию протонов и формированию протонного градиента, используемого в дальнейшем для синтеза аденозинтрифосфорной кислоты – источника энергии для всех биохимических процессов в живых системах. Фотохимическое окисление воды, которое осуществляет фотосистема II, сопровождается выделением

молекулярного кислорода. Этот процесс (составная часть фотосинтеза растений) является основным источником кислорода на Земле.

Итамар Виллнер и его коллеги решили проблему создания источников питания на базе фотосистемы II при помощи двух «природных» компонентов на полюсах батарейки. Анод – отрицательный полюс устройства – изготовлялся следующим образом. Для начала учёными была выращена колония сине-зелёных бактерий *Mastigocladus laminosus*. Затем они извлекли молекулы фотосинтезирующих белков из их клеток. Потом физики изготовили небольшой золотой электрод, поверхность которого была покрыта специальным полимером, и к свободным «хвостам» прикрепили молекулы фотосистемы II. Полимер исполнял сразу две функции – удерживал молекулы фотосистемы на месте и являлся «проводом», по которому свободные электроны перетекали на золотой электрод. Положительный полюс – катод – был изготовлен из стеклоуглерода, поверхность которого была покрыта углеродными нанотрубками и ферментом «билирубин оксидазой». Это вещество захватывает свободные электроны и использует их для превращения свободного кислорода в молекулы воды. Как объясняют физики, такая реакция препятствует улетучиванию кислорода, который извлекается из молекул воды на аноде.

Фотосинтез в наше время является основой альтернативной энергетики, но он привлекает внимание исследователей и в других сферах деятельности человека, в частности при синтезе новых материалов. Существующие технологии синтеза химических соединений основаны на применении токсичных веществ (в качестве катализаторов) и чрезвычайно энергозатратны. Кроме того, синтез может проводиться только в чистых помещениях, что делает его дорогим, длительным и ограничивает возможности для работы при естественном освещении. Поэтому учёные ищут альтернативные способы катализа химических реакций, например с помощью видимого излучения. В природе фотокатализ используется растениями – солнечный свет при участии хлорофилла обеспечивает фотосинтез. Однако до недавнего времени фотокатализ не мог быть воспроизведён искусственно из-за отсутствия подходящих материалов. Американские исследователи разработали такой материал – люминесцентный солнечный концентратор (LCS). С помощью люминесцентных объектов устройство поглощало солнечный свет и перенаправляло его на фотоэлектрические элементы. В своей работе ученые из Технического университета Эйндховена использовали LCSs (в форме листьев), которые были легированы флуоресцентным красителем полидиметилсилоксаном. Поверхность объекта включала в себя сеть микроканалов для ввода жидкости с нужными химическими веществами, и под действием солнечного света молекулы вступали в реакцию. Таким образом, устройство повторяло принцип работы антенн фотосинтезирующих организмов.

Тесты показали, что новое устройство ускоряет синтез химических соединений при солнечном свете: даже в облачную погоду скорость реакций в микрореакторе на 40 процентов превышала показатель контрольных систем. Потенциально технология может не только снизить стоимость и упростить химический синтез, но и сделать возможным создание препаратов в условиях, где

оборудовать чистое помещение затруднительно. Совместить фотосинтез и получение экологически чистого топлива удалось профессору химии Фернандо Урибе-Ромо из Университета Центральной Флориды, который вместе со своими студентами разработал новый синтетический материал, преобразующий углекислый газ в топливо под воздействием фотонов света. Такой материал решает сразу две проблемы: снижает количество парникового газа и даёт экологически чистое топливо. И самое главное, что для его изготовления не нужны драгоценные металлы. Здесь используется титан, который продаётся килограммами и почти в тысячу раз дешевле, чем платина или иридий. Уже много лет учёные бьются над проблемой экономически рентабельного искусственного фотосинтеза. Цель в том, чтобы эффективно использовать бесплатную энергию солнечного света для проведения химических реакций. До настоящего времени удалось использовать с этой целью высокоэнергетические ультрафиолетовые лучи, но они составляют всего 4 % спектра солнечного света. Для других частей спектра пока найдено лишь несколько эффективных материалов, но они требуют дорогостоящих добавок: платины (\$31 за грамм), рения (\$1000 за грамм) или иридия (\$35 за грамм). Синтетический материал представляет собой металл-органическую каркасную структуру (metal-organic framework, MOF). Похожие MOF из $Zr_6O_4(OH)_4$, используются для конденсации воды из воздуха, тоже при помощи одного лишь солнечного света. Представьте, даже в самой сухой пустыне вы ставите на улицу пустую бутылку – и она сама наполняется водой.

В последние годы удалось разработать несколько путей, позволяющие серьёзно утончить фотоячейки, используя вспомогательные структуры с размером, не превышающим длину волны видимого света. «Главная цель – найти пути применения столь малого количества материала для абсорбции света», – уверен адъюнкт-профессор Стэнфордского университета (США) Шанхай Фан. Высокоэффективные материалы, такие как полупроводники на основе оксидов элементов III-IV групп, а также кристаллический кремний, очень дороги. В случае других материалов, например аморфного кремния, цена может быть не столь критична, но несущие заряд электроны и дырки не успевают пройти достаточное расстояние, прежде чем «потеряться» в виде тепла. Очевидно, что чем тоньше будет рабочая среда, тем легче носители заряда достигнут его границ. При этом, чем тоньше солнечная батарея, тем выше вероятность того, что фотон пройдёт сквозь неё, не успев абсорбироваться. Коммерчески доступные батареи на кристаллическом кремнии могут иметь толщину около 180 мкм. В то же время рынок уже высказывает серьёзный спрос на 50 мкм. Поэтому, не размениваясь по мелочам, лаборатория Шанхая Фана взяла курс сразу на создание солнечных батарей толщиной в 1-2 мкм. В теории специальные методики, такие как нанесение случайных текстур на поверхность фотоячеек, способны в 50 раз увеличить уровень абсорбции света ввиду изменение углов прохождения фотонов сквозь ячейку. При этом методы нанофотоники могут улучшить этот показатель ещё в 10 раз.

Один из таких методов – плазмоника. Фотоны, сталкиваясь с небольшими металлическими структурами, могут образовывать плазмоны – коллективные колебания свободного электронного газа в металле. Эффект способен резко увеличить рассеяние света внутри батареи, увеличивая вероятность того, что

фотон все-таки будет поглощён. Вивиан Ферри, аспирантка Калифорнийского технологического университета (США), сообщила, что её группа создаёт плазмоны, используя полусферические выпуклости на контактах солнечной батареи (90 нм) из аморфного кремния. Вивиан Ферри утверждает, что такой наноструктурированный продукт производит на 15 % больше тока, чем коммерческая солнечная батарея той же площади, покрытая случайными текстурами.

Еще один любопытный нанопотонный трюк заключается в использовании фотонных кристаллов для создания рефлектора. Благодаря периодическому изменению коэффициента преломления фотонные кристаллы позволяют получить разрешённые и запрещённые зоны для фотонов с разной энергией. Другими словами, такой кристалл способен выполнять функцию оптического фильтра или рефлектора. При попадании на него фотона с длиной волны, которая не соответствует разрешённой зоне, фотон не может распространяться в кристалле и отражается обратно (в рефлектор). Миро Зеeman, глава исследовательской группы фотонных материалов и приборов Делфтского технологического университета (Нидерланды), рассказал, что его группа разместила фотонные рефлекторы как в середине батареи, так и на её задней стороне. Постоянные переотражения света на рефлекторах приводят к световым колебаниям внутри кремния, многократно повышая вероятность конвертации фотонов света в электрический ток. Другая фотонно-кристаллическая схема базируется на использовании микрометровых структур кристаллического кремния, слой которого может быть затем легко соединён со слоем аморфного кремния. По словам Оунси Эль-Дейфа, исследователя из микроэлектронного центра IMEC в Левене (Бельгия), теоретически такой фотонно-кристаллический слой способен увеличить эффективность поглощения фотонов до 37 %.

Пока что фотовольтаика продолжает оставаться дорогой технологией. Более или менее дешёвой альтернативой традиционным полупроводниковым солнечным батареям являются фотоэлементы, в которых в качестве фотосенсибилизаторов используются красители – цветосенсибилизированные солнечные батареи (DSSC – Dye-Sensitized Solar Cell) или ячейки Гретцеля по имени их изобретателя. К основным достоинствам солнечных батарей на красителях следует отнести их лёгкость, гибкость при формоустойчивости, простоту производства, низкую цену, возможность встраиваться в различные материалы и изделия, широкий выбор цвета, способность работать при невысокой освещённости и внутри помещения. Недостатки DSSC: экзотичность химического строения красителей, недостаточная долговечность, относительно невысокий КПД. Но тут следует сказать, что международная группа учёных смогла резко повысить эффективность цветосенсибилизированных солнечных батарей, заменив самую консервативную часть системы – йодсодержащий электролит – на комплекс кобальта с органическим лигандом.

Исследователям из университета Монаша (Австралия) и их коллегам из Ульмского университета (Германия) удалось значительно увеличить эффективность цветосенсибилизированной солнечной батареи р-типа, исп

электролит на основе комплекса кобальта с органическим лигандом. Обычная цветосенсибилизированная солнечная батарея n-типа использует краситель и фотоанод – положительный электрод, покрытый полупроводником электронного типа, таким как диоксид титана. Под лучами солнца молекулы красителя переходят в возбуждённое состояние и передают электроны с валентного НОМО-уровня полупроводнику. Молекулы электролита, свободно двигающиеся в этой системе между отдельными её участниками, восстанавливают краситель, передавая ему электроны с противоположного электрода. В случае же ячейки р-типа процесс протекает как бы в противоположную сторону: специальный краситель и полупроводник р-типа находятся теперь на фотокатоде. Активируемый светом краситель стягивает электроны с валентного уровня полупроводника р-типа, такого как оксид никеля, на свой самый нижний незанятый молекулярный уровень LUMO. Затем молекулы электролита забирают лишние электроны с красителя и передают их противоположному электроду.