



Водоросли с приставкой «эко»

Не покажется ли вам слишком сильным утверждение о том, что «развитие промышленного культивирования водорослей находится в «эпицентре» научно-технических и управленческих решений по выходу человечества из эколого-энергетического кризиса»?

И все же это так.

Начнем, однако, по порядку.

Проблема парниковых газов

Повышение количества парниковых газов (ПГ) в атмосфере часто считают основной причиной изменения климата на Земле. Международное энергетическое агентство в докладе 2008 года обещает к 2030 г. катастрофический рост средних температур на Земле при условии сохранения роста потребления углеводородов.

Обеспокоенность мирового сообщества накоплением в атмосфере парниковых газов — основной движущий момент объединения усилий развитых и развивающихся стран по согласованному ограничению объемов выбросов ПГ и проведению мероприятий по увеличению их поглощения. Основными в перечне ПГ являются CO_2 (около 80% от общего объема ПГ), а также метан (CH_4), доля которого составляет 18—20% от общего количества парниковых газов.

На современном этапе развития технологий очистки именно углекислый газ практически не удаляется из выбросов, ибо его токсичность несравнимо ниже токсичности других газов. Соотношение эмиссий ПГ природной (не зависящей от хозяйственной и иной деятельности человека) и антропогенной (включающей промышленные выбросы, вырубку лесов, землепользование и пр.), по ряду экспертных оценок, определяется как 80% и 20%. Однако глобальный баланс углерода до сих пор не определен.

Важность утилизации углекислого газа может быть подтверждена уже тем, что в 2007 г. на заседании Межправительственного комитета по изменению климата миллиардер Ричард Брансон предложил награду в 25 млн. долл. за

технология, которая позволит снизить уровень углекислоты в атмосфере.

Преимущества биологического пути решения проблемы

Киотский протокол впервые предложил комплекс экономических механизмов для стимулирования роста э не про эффективности, сбережения ресурсов, в том числе энергосбережения. Его ратификация привела в действие механизм регулирования уровня ПГ через квоты: страна — участница договора, осуществляющая снижение содержания ПГ любым способом, получает финансовые поощрения, пропорциональные количеству удаляемых из атмосферы газов. Средства эти могут (и должны!) быть использованы на переоснащение энергетики, промышленности и т. п.

Предлагаемые способы заработать эти деньги можно условно разделить на технические и биологические.

Технические решения. NASA выделены средства на разработку плана по созданию «солнечного зонтика». Предполагается, что «зонтик» будет состоять из облака небольших космических аппаратов в виде тарелок, которые разместятся между Землей и Солнцем, уменьшая солнечную энергию, достигающую Земли. Следующим предложением является снижение поступления солнечной энергии на поверхность Земли посредством выброса в атмосферу пыли от «искусственного» вулкана. К технологиям регенерации CO_2 относятся методы: химического поглощения с помощью жидкостей алканами новой группы, химического поглощения на основе цеолита, адсорбции на основе цеолита, мембранной сепарации и т. д. Методы сжижения CO_2 в настоящее время уже достаточно хорошо разработаны, однако в этой области стоит задача снижения динамической энергии сжижения (например, на основе использования нагрева и охлаждения сжиженного природного газа). Что касается технологий хранения, то они предусматривают



сжатие CO₂ до 300 атм. и выше при температуре 0-100 °С. Основная проблема — колоссальная материалоемкость аппаратов и отсутствие потребителя такого количества сжиженного CO₂.

На алжирском газодобывающем предприятии в пустыне Сахара уже созданы башни десорбции углекислоты. Здесь CO₂ химически отделяют от природного газа, направляемого на европейские рынки. Затем CO₂, закачивают под землю на глубину 2 км.

Создаются масштабные проекты по закачиванию углекислоты в океанские глубины. Ученые-биологи, однако, выступили с критикой подобного проекта: крупные выбросы CO₂ в океан нарушат разницу между температурой воды на поверхности и более глубокими ее слоями, что повлечет за собой трагические последствия для морской биоты.

Представляется, что подобные проекты неосуществимы практически в силу чрезмерной их энергозатратности, притом некоторые из них смертельно опасны для живых обитателей Земли. (Закачивание CO₂ в океан приведет к катастрофическому подкислению воды. Просачивания CO₂ из подземных хранилищ способны привести к гибели всего дышащего кислородом на значительных территориях.) Оценочный расчет показывает: если выбрать технический путь утилизации CO₂, большая часть производимой человечеством энергии будет безвозвратно потрачена на избавление атмосферы от CO₂. Главное же в том, что устраняются лишь симптомы «климатической болезни», а не ее причина. Причина же состоит в том, что в атмосферу с «немыслимой» для метаболизма экосистем скоростью выбрасывается освобожденный углерод, в течение миллионов лет накопленный в виде ископаемого топлива за счет фотосинтеза в автотрофных живых организмах.

Биологические решения. Вторым направлением снижения ПГ в атмосфере является ассимиляция ПГ живыми организмами. Совокупная биомасса Земли составляет примерно $2,4 \cdot 10^{12}$ т (около 0,01% массы всей биосферы, 97% из этого количества — растения, 3% — животные). Углекислый газ ассимилируется фотоавтотрофами и хемоавтотрофами. Поскольку энергия света в совокупности во много раз превосходит энергию химических связей, в глобальных расчетах баланса углерода учитывают лишь

первичную продукцию фотоавтотрофов (наземные и водные растения, многоклеточные водоросли и микроводоросли).

Гибель автотрофов привела бы к гибели всего живого на Земле.

Наряду с фотосинтезом в биосфере происходит такое же по масштабам окисление органических веществ в процессах дыхания и разложения на всех трофических уровнях. Экосистемы, участвующие в поглощении CO₂, имеют две особенности: высокую продуктивность и возможность частичного выведения биомассы в биосферный резерв. Таким резервом являются донные отложения в морских и водно-континентальных экосистемах, лесная почвенная подстилка и почвенный гумус, торф в болотах.

Устойчивость глобального климата подрывается не только выбросами ПГ, но и разрушением естественной биоты. На протяжении миллиардов лет существования жизни среднего овалная приземная температура колебалась от 10 до 20 °С, и основная часть гидросферы находилась в жидкой фазе. Наблюдаемая устойчивость земного климата однозначно указывает: ненарушенная биота Земли была способна обеспечивать эту устойчивость.

Ныне человечество стоит на перепутье: какое из двух направлений избрать, дабы решить проблему избытка ПГ. Аргументы в пользу сохранения биоты (как главного регулятора климата) весомей аргументов, поддерживающих техническое решение проблемы. Весомость эту убедительно подтверждает энергоэффективность фотосинтеза, превышающая все известные процессы преобразования энергии. Центральное место в системе фотосинтеза занимают первичные фотопроцессы, т. е. реакции, в которых энергия света, поглощаемая пигментами фотосинтезирующего организма, преобразуется в энергию химических связей. Именно здесь находятся «энергетические ворота жизни», где происходит стыковка физических, биологических, биохимических, физиологических процессов, которые и создают энергетическую основу жизни на Земле и сопровождаются выделением кислорода как побочного продукта фотосинтеза. Недавно удалось измерить эффективность начальных процессов фотосинтеза. Оказалось, что процесс

фотосинтеза осуществляется с практически 100%-ной эффективностью!

Отчего же в статьях и монографиях, изданных 10-30 лет назад, постоянно повторялся тезис о невозможности заменить в значительной мере ископаемое топливо биомассой? Биомассе отводилось не более 10% от всех источников энергии. Обоснованием этому, видимо, служили низкая энергоэффективность процессов получения и переработки биомассы, необходимость использовать огромные площади для воспроизведения биомассы и высокие транспортные затраты на доставку биомассы к месту переработки. Становилось очевидно: производство биомассы для энергетики нерентабельно.

Вроде бы выглядит убедительно. Но! Все это присуще лишь наземным экосистемам (например, при переработке сельскохозяйственного или лесного сырья в биоэтанол и биодизель). При интенсивном земледелии всегда из почв теряется гумус, что ведет к увеличению содержания CO_2 в атмосфере. Восполнение гумуса осуществляется (частично) за счет биомассы, которую современные технологии предлагают использовать как биотопливо. Признано, что эмиссия CO_2 с поверхности почв — один из мощнейших источников углекислоты, и незначительные нарушения почвенного дыхания могут привести в глобальном масштабе к существенным изменениям концентрации CO_2 в атмосфере. Значит, использование наземных экосистем для получения биотоплива лишь усугубляет избыточность ПГ.

При классификации источников биомассы с точки зрения получения биотоплива (с учетом современного глобального экологического состояния) необходимо выделять:

потенциальную возможность образования биомассы в сравнении с используемым ископаемым топливом (по количеству органического вещества);

продуктивность источника биомассы (максимальный прирост биомассы в единицу времени на единице площади);

нарушает или не нарушает естественную консервацию органического вещества в биосфере изъятие биомассы для нужд энергетики.

Последний показатель является важнейшим при экологической оценке биотоплива. Даже при некоторой неопределенности оценки углеродного биосферного баланса очевидно (и это уже отмечалось), что в поглощении CO_2 наиболее ощутимо участвуют экосистемы, имеющие две особенности: высокую продуктивность и возможность перевода части образованной биомассы в биосферный резерв. Основным углеродным резервом биосферы, как уже отмечалось, являются гумус, донные отложения, торф.

Дестабилизацией биогеохимического баланса чревато и использование твердых бытовых отходов (ТБО) и осадка сточных вод в качестве биотоплива. В естественных экосистемах, надо заметить, утилизацию и трансформацию органического вещества выполняют почвы. В городских экосистемах, в связи с удалением трав и почвенной подстилки и с тем, что продукты жизнедеятельности обитателей города поступают в канализацию, утилизацию органики выполняют вместо почвы другие подсистемы: очистные сооружения стоков, полигоны и заводы по переработке ТБО. Здесь технологические процессы и геохимические потоки от сооружений встраиваются в существующие природные процессы. Осадок сточных вод и ТБО — это антропогенный углеродный резерв биосферы.

Изъятие органических веществ из наземных экосистем, как естественных, так и антропогенных, неизбежно повышает уровень ПГ. Во избежание кризисной ситуации в качестве биотоплива следует использовать биомассу, произведенную не «по плану биосферы». Для этого необходимо значительное повышение продуктивности биомассы по сравнению с биомассой, образующейся естественным путем.

Оценка возможной продуктивности большинства имеющихся источников биомассы составляет не более 1–5 кг биомассы в год на 1 м^2 . Исключение составляют микроводоросли. Их продуктивность в промышленных биореакторах может достигать 200 кг биомассы в год на 1 м^2 . При этом их изъятие из биосферы для нужд энергетики не нарушает естественную консервацию органического вещества. Крайне важно: только прирост микроводорослей среди всех названных источников биомассы может

позволить заменить на 100% сжигаемое ископаемое топливо. И лишь водоросли, полученные искусственным путем (в том числе и водоросли антропогенно эвтрофированных водоемов), относятся к источникам биомассы, производство которых не нарушает естественную консервацию органического вещества в биосфере.

Так что делать с водорослями?

Понятие «водоросли» — не систематическое, а биологическое. Водоросли (Algae) — сборная группа организмов, основная часть которых (по современным представлениям) состоит в царстве Растений (Plantae), в котором она представлена двумя полцарствами: багрянки, или красные водоросли — Rhodobionta, и настоящие водоросли — Phycobionta. Остальные организмы, относимые к водорослям, сейчас к растениям не относят: синезеленые и прохлорофитовые водоросли выделяют в самостоятельную группу или относят к бактериям, а эвгленовые водоросли иногда числят в подцарстве животных (простейшие).

Многообразие способов питания водорослей позволяет им занимать широкие ареалы и разнообразные экологические ниши.

Суммарные запасы растительной биомассы суши следует определять в 2402,5 млрд. т, а в Мировом океане — в 0,17 млрд. т. Иными словами, сухая масса всех водорослей в Мировом океане в каждый момент в 15 000 раз (оценочно) меньше суммарного запаса сухой фитомассы суши. Однако темпы воспроизводства фитомассы на суше и в воде существенно различаются: продукция фитомассы на суше составляет около 7% от наземной биомассы, а в Мировом океане она составляет более 30 000% от биомассы. То есть водорослям принадлежит до всей органики, ежегодно продуцирующейся на планете.

Интерес к продукционной гидробиологии возник в 1970-е годы. Он был стимулирован двумя опасностями, возникшими перед человечеством: недостаток питания и антропогенное эвтрофирование водоемов. В ходе научных изысканий гидробиологи выделили наиболее продуктивные водоросли, определили основные количественные показатели по первичной продуктивности различных экосистем, оптимальные режимы

для максимальной продуктивности водорослевых сообществ. Именно в 1970-е наметились проекты получения топлива на основе водорослей (во Франции, Германии, Японии, США и ряде других стран). Но тогда эти технологии сочли дорогостоящими. Взлетевшие с тех пор цены на нефть плюс достижения биохимической науки и технологии вдохнули новую жизнь в отвергнутые ранее проекты: 5 лет назад в мире возник «бум» технологий по выращиванию водорослей.

Для культивирования микроводорослей разработаны промышленные реакторы открытого и закрытого типа. Наиболее продуктивными оказываются закрытые системы, состоящие из прозрачных труб, в которых водоросли принудительно перемещаются. В этих реакторах за сутки возможно увеличивать биомассу в 20-30 раз за счет высокой удельной поверхности клеток водорослей (именно она позволяет осуществлять получение энергии и продуктов питания из водорослей быстрее, чем из других организмов).

Культивирование водорослей — это шанс

Наиболее распространенными продуктами загрязнения атмосферы и поверхностных вод являются соединения азота, фосфора, серы (биогенных элементов), которые поступают вместе с выбросами и стоками от предприятий энергетики и коммунальных очистных сооружений. Поэтому на очистку от них тратятся огромные средства. Среди загрязняющих выбросов львиную долю составляют выбросы энергетической отрасли.

В живых организмах содержится, по сути, «вся таблица Менделеева». Некоторые элементы (водород, кислород, углерод, азот, фосфор) являются основой жизни, а другие (медь, хром, кобальт и т. д.) имеются в организмах в очень малых количествах. Организмы способствуют миграции химических элементов прямо (выделение кислорода в атмосферу, окисление и восстановление различных веществ в почвах и гидросфере) и косвенно (восстановление сульфатов, окисление соединений железа, марганца и т. п.). Биогенная миграция атомов вызвана тремя основными процессами: обменом веществ, ростом и размножением организмов. Прирост живой биомассы всегда сопровождается поглощением

биогенных элементов из окружающей среды. Таким образом, культивирование водорослей помимо ассимиляции углерода неизбежно сопровождается поглощением азота, фосфора, серы и других токсичных соединений, которые выбрасываются в биосферу. Некоторые из них являются парниковыми газами.

Следовательно, промышленное культивирование водорослей для получения биотоплива решает три злободневные проблемы человечества: снижает количество парниковых газов в атмосфере, загрязненность атмосферы и поверхностных вод, способствует замене ископаемых источников энергии на возобновляемые.

А теперь главный вопрос: как скоро воспользуется человечество этим шансом?

Н.М. Щеголькова
доктор биологических наук
Московское государственное унитарное
предприятие «Мосводоканал»

Источник: Экология и жизнь.-2009.-№6.-
С.32-35.