

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ:

Ю.Н. Елдышев

заместитель главного редактора журнала «Экология и жизнь»



Сегодня даже двоечники без запинки объяснят, что поглощение теплового излучения Земли парниковыми газами ведет к разогреву приземного слоя атмосферы за счет парникового эффекта и способствует глобальному потеплению. Не секрет и то, что антропогенная деятельность (и прежде всего сжигание ископаемого топлива и сельское хозяйство) год от года сопровождается все более значительными выбросами парниковых газов. Почти так же хорошо известно и то, что после водяных паров наибольшие вклады в парниковый эффект вносят углекислый газ, метан, оксид азота и хлорфторуглероды (ХФУ). В связи с этим Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в рамках проекта «Глобальная система наблюдения за атмосферой» ведет постоянный мониторинг содержания этих газов на специально оборудованных измерительных станциях в 65 странах мира.

ВМО предупреждает

В подготовленном в конце прошлого года бюллетене ВМО о выбросах парниковых газов в атмосферу (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html>) приведены результаты анализа данных упомянутого мониторинга за 2007 г. (отчет стал четвертым по счету, предыдущие три были посвящены подведению итогов мониторинга в 2004, 2005 и 2006 гг.). Как следует из этих результатов, концентрация углекислого газа на конец 2007 г. достигла 383,1 частиц на миллион (ppm), увеличившись по сравнению с предыдущим годом на 0,5%; концентрация метана возросла на 0,34% и превысила прежний рекорд, зафиксированный в 2003 г.; концентрация оксида азота также оказалась рекордной за всю историю измерений и превысила прошлогоднюю на 0,25%. А по данным Национального агентства США

ЭФФЕКТЫ И ПРОЕКТЫ



по океану и атмосфере (NOAA), эффект потепления, вызванный накоплением перечисленных долгоживущих парниковых газов в атмосфере, оказался на 1,06% сильнее, чем год назад (и на 24,2% сильнее, чем в 1990 г.). Что касается содержания ХФУ в атмосфере, то в бюллетене отмечается, что оно продолжает медленно снижаться из-за резкого сокращения выбросов таких веществ после вступления в силу Монреальского протокола, регламентирующего использование веществ, способствующих разрушению озонового слоя в стратосфере.

С середины XVIII века концентрация углекислого газа в атмосфере неуклонно росла, увеличившись за это время на 37%. Основными причинами стали рост населения, быстрое развитие городов, стремительное расширение использования ископаемого топлива (прежде всего нефти, угля и газа, сжигание кото-

рых, как уже отмечалось, сопровождается масштабными выбросами парниковых газов в атмосферу). Немало способствовала этому и повсеместная непродуманная вырубка лесов для расчистки площадей под сельскохозяйственные угодья.

Что касается нынешних попыток ограничения антропогенных выбросов, то пока, похоже, особыми успехами они не увенчались. В бюллетене особо подчеркивается, что к 2010 г. вклад в ослабление глобального потепления от снижения выбросов парниковых газов за счет ограничений Монреальского протокола (вступившего в силу в 1987 г. и регламентирующего выбросы ХФУ ради защиты озонового слоя) окажется впятеро (!) больше аналогичного вклада Киотского протокола (действующего, правда, всего с 2005 г., но зато специально направленного на ограничение выбросов парниковых газов).

Особое внимание — «невечной» мерзлоте и Арктике

Как отмечается в бюллетене, обращает на себя внимание и то обстоятельство, что концентрации углекислого газа и оксида азота в атмосфере росли монотонно (практически с постоянной скоростью), а скорость роста концентрации метана в последнее десятилетие заметно снизилась, но при этом колебания от года к году оставались довольно заметными (рост на $6 \cdot 10^{-9}$ в 2006–2007 гг. оказался самым высоким за 10 лет). В итоге: если последние 10 лет концентрация метана в атмосфере оставалась на одном уровне, то теперь, похоже, она снова начала расти, возможно, оттого что в высоких широтах Северного полушария теплеет намного быстрее, чем на планете в среднем. За последние 30 лет температура там повысилась примерно на 3 °С (а кое-где и на все 5 °С), тогда как в среднем на планете — менее чем на 0,5 °С.

Зоны резкого потепления стремительно расширяются в Сибири, на Аляске, в Канаде, Гренландии и Скандинавии. И хотя пока еще рано делать окончательные выводы, многие эксперты сходятся во мнении, что мы можем оказаться свидетелями нового скачка концентрации метана и ее дальнейшего роста с более высокой скоростью. А ведь, как известно, парниковый эффект от выбросов метана в 20 раз сильнее, чем от выбросов того же количества углекислого газа. При этом примерно на 60% выбросы метана сегодня обусловлены хозяйственной деятельностью: сжиганием ископаемого топлива и биомассы, агробизнесом (прежде всего возделыванием риса и разведением жвачных животных) и захоронением отходов, а за 40% «ответственны» естественные источники (переувлажненные земли, термитники и т. д.). Главная же угроза исходит от таяния вечной мерзлоты.



Ныне вечная мерзлота занимает четверть всей суши Северного полушария, а кое-где залегает и под дном океана. Из-за таяния вечной мерзлоты уже сейчас все чаще рушатся здания и рвутся нитки трубопроводов, но самое опасное, по мнению специалистов, — это запасенные в ней 1,6 трлн т углерода (вдвое больше, чем уже есть в атмосфере). И, по оценкам ученых, уже в этом веке таяние вечной мерзлоты может привести к выбросу 100 млрд т метана. Одной из таких «горячих точек» может стать север Восточной Сибири. Впрочем, по данным американских ученых из Университета Аляски, вечная мерзлота стремительно тает и на Аляске, в результате чего повсюду образуются озера, со дна которых всплывают пузырьки метана. Специалисты озабочены: выбросы метана из зон вечной мерзлоты могут резко ускорить глобальное потепление.

По некоторым оценкам, Северный Ледовитый океан, площадь льдов в котором уже несколько лет в летний период резко сокращается, может полностью освободиться ото льда к 2030 г. Пока о масштабных последствиях этого для мировой экономики не слишком задумываются. В основном обсуждаются перспективы расширения грузопотока по Северному морскому пути. Между тем, как считают отдельные эксперты, гораздо более серьезные последствия может иметь то, что таяние льдов Арктики способно изменить направление течений в Мировом океане, а это, в свою очередь, — нарушить график муссонов в Азии, от которых в немалой степени зависят здешние урожаи, определяющие судьбы едва ли не половины человечества.

Вклад наземных экосистем

Ученые не раз обращали внимание на то, что наземные экосистемы, поглощая или выделяя огромное количество парниковых газов, не только активно участвуют в глобальном круговороте углерода, но и оказывают заметное влияние на климат. Не меньшее значение имеет и обратное воздействие — влияние климата на процессы в экосистемах (в частности, на циклы углерода в них), так что одни и те же экосистемы могут служить то стоками, то источниками углерода.

Как известно, содержание CO_2 и температура атмосферы растут параллельно. Но одновременно усиливается и дыхание организмов и экосистем. В итоге тропические леса (самые продуктивные экосистемы мира) служат стоком атмосферного углерода только в более влажные годы, а в более сухие оказываются его источником. Отсюда сравнительно сильные колебания содержания CO_2 в атмосфере от года к году, демонстрирующие отчетливую корреляцию с погодными особенностями того или иного года (например, с тем, насколько выраженным ока-

зывается явление Эль-Ниньо, от которого во многом зависит количество осадков в Южной Америке и Юго-Восточной Азии).

Оценить роль экосистем в круговороте углерода непросто и потому, что до сих пор в используемых для этого моделях процессы накопления органики в надземных частях растений и ее разложения в почве рассматриваются отдельно, хотя на самом деле они тесно связаны. Особенно плохо известно, что происходит в почве. Так, если органика сосредоточена преимущественно в верхнем слое, а корни растений — глубже (там влаги больше), то при засухе сначала замедлится разложение органики, а фотосинтез продолжится, и система будет действовать как сток углерода. Но когда начнут подсыхать корни, затормозится и фотосинтез, так что в итоге определяющим окажется дыхание, и система станет источником углерода.

Экосистемы суши реагируют не столько на средние показатели климата, сколько на конкретную экологическую обстановку, сложившуюся «здесь и сейчас». Так, аномальная жара в Европе летом 2003 г. вызвала столь резкое ослабление фотосинтеза, что скомпенсировала накопление органики за предыдущие 4 года. Кроме того, после сильных засух массовая гибель деревьев нередко приходится на последующие годы. Наконец, в жару, особенно сопровождаемую сильными ветрами, растет вероятность лесных пожаров, в результате которых в атмосферу попадает огромное количество CO_2 .

Как процессы в экосистемах могут сказываться на круговороте углерода (в частности, на соотношении его выбросов и поглощения из атмосферы), видно на конкретных примерах. Первый относится к таянию вечной мерзлоты, где, по разным оценкам, в замороженном состоянии погребено $4\text{--}16 \cdot 10^{11}$ т углерода органического происхождения. Как уже отмечалось, при разогреве мерзлых грунтов в атмосферу поступит огромное количества метана и CO_2 , что, в свою очередь, приведет к росту температуры, а это усилит выбросы метана и углекислого газа и т. д., так что положительная обратная связь может обеспечить лавинообразное развитие процесса потепления. Второй пример — новый, легко разлагаемый бактериями субстрат (например, глюкоза, а иногда и целлюлоза) помогает размножившимся бактериям справиться с разложением и старого, более устойчивого органического вещества. Такой своеобразный биокатализ наблюдается в некоторых экосистемах, в частности, когда с ростом содержания в атмосфере CO_2 усиливаются рост корней растений и выделение ими легко разлагаемых органических веществ. В результате может усилиться и выделение в таких системах углерода в атмосферу. Третий пример касается взаимодействия циклов азота и углерода. Подчас

Углеродный «погреб»

В обычном цикле углерода в природных экосистемах CO_2 связывается в процессе фотосинтеза, после чего около половины его выделяется при дыхании самими растениями, а другая половина с растительными остатками попадает в почву, где используется грибами и бактериями. В итоге весь CO_2 , выделившийся в результате дыхания растений и обмена веществ почвенных грибов и микроорганизмов, снова возвращается в атмосферу. В последнее время появляется все больше предложений по переработке растительных остатков в биотопливо. Эти предложения могут иметь смысл только с точки зрения экономии ископаемого топлива, но не сокращения выбросов CO_2 : при сжигании биотоплива весь CO_2 , связанный в ходе фотосинтеза, снова попадет в атмосферу. С точки зрения сокращения выбросов парниковых газов, эффективнее превращать растительные остатки в древесный уголь, особенно если газы, выделяемые при пиролизе, улавливать и использовать как биотопливо. Полученный древесный уголь можно, например, вносить в почву в смеси с навозом или минеральными удобрениями либо добавлять при безотвальной ее обработке.

По оценкам американских специалистов, превращение биомассы в древесный уголь для сокращения выбросов в масштабах страны имеет смысл в трех случаях: при промышленной заготовке леса (она в США ведется на площади 200 млн га, а средняя плотность биомассы отходов при этом составляет примерно 3,5 т/га); для борьбы с зарастанием заброшенных сельскохозяйственных угодий (120 млн га — 20 т/га в год); для удаления остатков растениеводства (120 млн га — 5,5 т/га). В каждом из них данная технология (пригодная, естественно, только там, где много дешевой биомассы и древесный уголь вносится в почву, а не сжигается) может снизить ежегодную эмиссию CO_2 в стране на 10%.

рост первичной продукции при повышении концентрации атмосферного CO_2 ведет к дефициту азота, причем не только для самих растений, но и для микроорганизмов, разлагающих органику.

Итак, похоже, что наземные экосистемы могут заметно ослаблять или усиливать эмиссию парниковых газов.

Уголь — хранилище углерода

Приведенные выше результаты мониторинга заставляют ученых искать все новые способы сокращения выбросов. Важным направлением поисков стали многочисленные предложения об утилизации и депонировании (захоронении) углекислого газа. Предложено немало подобных методов: от удобрения океанов с целью стимулировать фотосинтез

водорослями и фитопланктоном (об одном из подобных экспериментов будет рассказано ниже) до закачки сжиженного CO_2 под землю.

Один из них сводится к тому, чтобы растительные остатки (отходы лесной промышленности и сельского хозяйства) не сжигать, а превращать пиролизом в древесный уголь, который можно вносить в почву или накапливать, например, в выработанных шахтах, где он хранился бы веками. Смысл предложения в том, чтобы углерод, изъятый из атмосферы благодаря фотосинтезу, вывести из обычного природного круговорота. Конечно, тому же способствуют и более привычные меры, например, выращивание лесов (и в целом — сохранение и восстановление природного растительного покрова), благодаря чему накопление углекислого газа в атмосфере заменяется накоплением углерода в тканях растений и почве. Но, увы, как только растительные сообщества достигают зрелости, поглощение CO_2 за счет фотосинтеза уравнивается его выделением при дыхании (самих растений, а также грибов и бактерий, помогающих разложению отмерших растительных остатков). Поэтому помешать возврату CO_2 в атмосферу можно, препятствуя разложению органики.

Самый бесхитростный способ ее изоляции — погружение глубоко под землю, где нет доступа кислорода, необходимого для ее окисления. Но это дорого и хлопотно. Гораздо проще и эффективнее пиролизом древесины (нагревом в среде без кислорода почти до $500\text{ }^\circ\text{C}$) получить древесный уголь. Содержание в нем углерода почти вдвое выше, чем в растениях, но бактерии и грибы его не перерабатывают, так что под землей он может храниться тысяче-



летиями (во всяком случае, в природе встречается древесный уголь такого возраста).

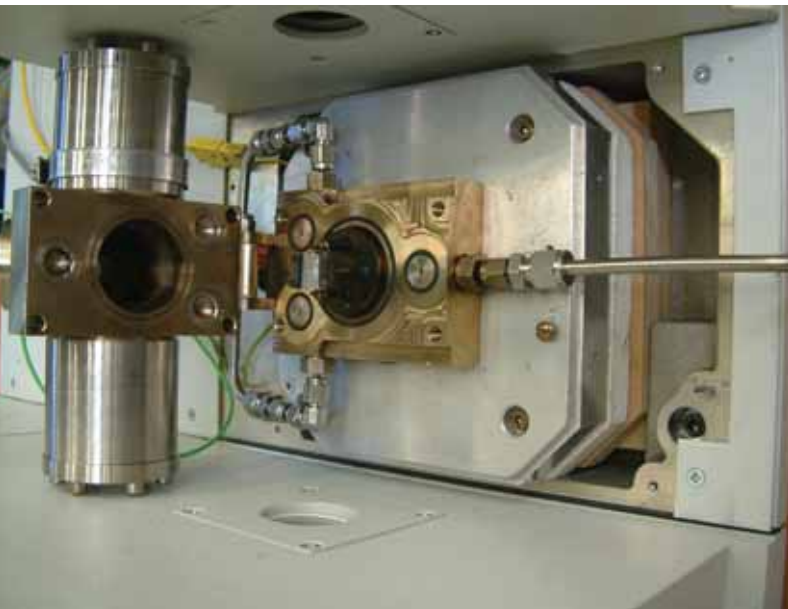
Понятно, что такая технология может оказаться востребованной лишь в том случае, если древесный уголь будет выгоднее закапывать, а не сжигать. Год назад на Климатической бирже в Чикаго (Chicago Climate Exchange) цена 1 т выведенного из круговорота углерода составляла 4 долл., но, как считают эксперты, уже в ближайшее десятилетие может возрасти в 10–20 раз. По оценкам американских ученых, связывание атмосферного углерода в древесном угле с использованием газов, выделяемых при пиролизе, будет экономически оправданным при цене 37 долл./т.

Эту точку зрения разделяют многие эксперты, а некоторые идут еще дальше, предвещая новую «топливную революцию». Одним из самых перспективных видов топлива на Земле может стать так называемый биоуголь, заявил президент Глобального союза коралловых рифов, координатор Комиссии ООН по партнерству в устойчивом развитии и новых технологиях для небольших островных государств, известный океанолог, доктор Томас Горо в своем докладе на прошедшей весной этого года в столице индонезийской провинции Северный Сулавеси городе Манадо Всемирной конференции по проблемам Мирового океана.

В современных печах при помощи пиролиза из любой биомассы можно «спек» топливо для дальнейшей выработки электроэнергии, попутно получая биоуголь и жидкое топливо. В ходе этого процесса CO_2 не выбрасывается в атмосферу, как это происходит при сжигании ископаемых видов топлива, а наоборот — поглощается из атмосферы. А когда «биоуголь» зарывают в землю, то он действует как удобрение, способствуя росту урожайности в растениеводстве. Применение биоугля для повышения плодородия почвы — это, конечно, отдельная тема, но трудно удержаться, чтобы не упомянуть о распространенном мировыми информационными агентствами сообщении о его якобы чудодейственных свойствах при совместном использовании с травой ветивер (*Vetiveria zizanoides*), вроде бы не имеющей себе равных среди растений по предотвращению эрозии почв.

По словам Горо, биоуголь выводит из атмосферы углерод и навсегда депонирует его в почве. По его мнению, это один из наиболее практичных способов стабилизации содержания CO_2 в атмосфере. Он подчеркнул, что биоуголь уже успешно получают, в частности, в сельскохозяйственном университете индонезийского города Богор.

Еще одним впечатляющим доводом в пользу особого внимания к углю стало неожиданное решение правительства Великобритании одобрить план со-



здания в стране к 2020 г. нескольких тепловых электростанций (ТЭС) нового поколения, позволяющих при выработке электроэнергии обойтись без выбросов углекислого газа. Великобритания надеется стать первой страной мира, где появятся работающие на угле электростанции, оснащенные совершенными системами поглощения углекислого газа и дальнейшего размещения его в подземных хранилищах. Идея депонирования углерода в подземных хранилищах никак не может претендовать на новизну, но проект вызвал немалый интерес, даже несмотря на то, что, как удалось доказать специалистам, новая технология фильтрации выбросов вряд ли позволит поглощать более 25% выделяемого ТЭС CO_2 .

Ныне ТЭС обеспечивают около трети потребностей Великобритании в электроэнергии. Взяв на себя обязательства по сокращению выбросов, правительство страны прежде собиралось через 10 лет закрыть треть ТЭС, работающих на угле.

Уточняем роль лесов...

Еще один упомянутый выше важный канал связывания атмосферного углерода, как оказалось, сегодня действует с гораздо большей нагрузкой, чем раньше, — можно сказать, на пределе. Как утверждают ученые, в последние годы тропические леса Азии, Африки и Южной Америки поглощают углекислого газа почти на 5 млрд т в год больше, чем прежде. Международный коллектив ученых проанализировал данные о поглощении углекислого газа тропическими лесами в 10 странах Африки в 1968–2007 гг. Исследователи заключили, что в последние десятилетия тропические леса Африки ежегодно поглощали углекислого газа до 600 кг/га. Примерно такие же данные ранее были получены и для тропических лесов Азии и Южной Америки.

По оценкам экспертов, биомасса тропических лесов, занимающих менее 10% поверхности суши (1,7 млрд га), составляет половину биомассы всей растительности на планете. Они поглощают около 1 млрд т CO_2 в год — заметную часть всех его антропогенных выбросов. Пока не ясно, почему в последние годы тропические леса стали поглощать больше углекислоты, чем раньше, и расти быстрее, но ученые считают, что они во многом сдерживают темпы потепления.

По последним данным, в результате деятельности человека в атмосферу ныне выбрасывается 32 млрд т CO_2 в год, из которых 17 млрд т поглощает биосфера (половина из них — воды Мирового океана, что повышает их кислотность и оказывает пагубное влияние на многие экосистемы). Понятно, что в борьбе с изменением климата не стоит рассчитывать только на тропические леса — им одним с этим не справиться. Но тем не менее, по мнению авторов



исследования, развитые государства с наибольшими выбросами в атмосферу должны часть своих ресурсов направлять на спасение от вырубки тропических лесов.

Эти выводы косвенно подтверждают в своей недавней публикации и сотрудники Университета Лидса (Великобритания), заключившие по итогам 40-летних наблюдений в разных странах мира, что одним из последствий изменения климата планеты стал ускоренный рост зеленых насаждений, причем основная причина ускорения — не повышение температуры, а усиленное поглощение углекислого газа из атмосферы. По мнению авторов открытия, у деревьев в итоге стало больше «питания», в результате чего они стали быстрее расти и достигают больших размеров.

Тем временем специалисты из Международного союза организаций по исследованию лесов (IUFRO) бьют тревогу в связи с тем, что решающая роль лесов как одного из основных поглотителей парниковых

газов на планете находится под серьезной угрозой ввиду изменения климата. Они не исключают, что связанный с изменением климата сильнейший экологический стресс нанесет колоссальный ущерб лесам по всему миру. Обычно леса воспринимаются как помощники в борьбе с глобальным потеплением, но на самом деле, утверждают эксперты, уже в ближайшие десятилетия изменения погодных условий могут привести к тому, что леса начнут выделять огромное количество углерода и тем самым ускорять, а не замедлять потепление.

Хотя вырубка леса в целом ответственна примерно за 20% глобальных выбросов парниковых газов, пока леса поглощают больше углерода, чем выбрасывают, считает Ристо Сеппала, профессор Финского исследовательского лесного института, возглавивший научную группу, которая подготовила специальный доклад на эту тему. Не секрет, что деревья и почва собирают и хранят более четверти всех мировых выбросов углерода. Беда в том, что эта критически важная функция лесов может быть полностью утрачена, если Земля нагреется на 2,5 °С. В исследовании отмечается, что чем выше температура, тем более длительными и жестокими становятся засухи и другие экологические стрессы и тем быстрее будет происходить деградация мировых лесов. По прогнозам экспертов, в результате значительно вырастут глобальные выбросы CO₂, которые многократно усилят парниковый эффект, так что процесс может приобрести лавинообразный характер. Леса же из чистого поглотителя углерода могут превратиться в его чистый источник. Риск потери защитной функции лесов остается значительным даже в относительно умеренных сценариях развития, согласно которым страны сумеют сократить выбросы и стабилизировать концентрации парниковых газов в атмосфере.

Как следует из независимых работ биологов, в ближайшие десятилетия леса сильнее всего пострадают от более интенсивных и частых засух в субтропиках и умеренных широтах, особенно в западной части США, на севере Китая, в Южной Европе и Средиземноморье, субтропической Африке, Центральной Америке и Австралии. Такие засухи также резко повысят риск крупных лесных пожаров и быстрого распространения лесных вредителей и патогенных микроорганизмов. В ряде пустынных и полупустынных областей климатические изменения могут оказаться столь резкими, что леса перестанут быть жизнеспособными. Уменьшение количества осадков и частые засухи, как ожидается, будут особенно опасными для людей, проживающих в Африке, для которых лес служит источником продовольствия, чистой воды и других даров, позволяющих удовлетворять хотя бы минимальные базовые потребности. Для жителей этого региона исчезновение

лесов грозит подлинной катастрофой и невиданными социальными конфликтами.

Между тем в упомянутом докладе Финского исследовательского лесного института отмечается, что в других странах изменение климата может привести к серьезным положительным последствиям в лесной отрасли, например, способствовать увеличению поставок лесоматериалов и повышению их качества. Потепление климата приведет к расширению лесов в так называемой бореальной зоне и заметно пополнит закрома Канады, Финляндии, России и Швеции хвойными лесоматериалами. Так, в Финляндии прирост может составить 40%. Резкое ускорение роста бореальных лесов может вызвать снижение цен на древесину во всем мире. Однако профессор Андреас Фисчлин из Швейцарского федерального института технологий предостерегает от особых иллюзий на этот счет: в долгосрочной перспективе в случае продолжившегося потепления расширение площади бореальных лесов будет «компенсировано» нашествиями насекомых, более частыми засухами, пожарами и ураганами. Поэтому, по мнению большинства экспертов, единственный способ сделать так, чтобы леса не пострадали от беспрецедентного вреда, — это любой ценой добиваться значительного сокращения выбросов парниковых газов.

...и резервы океана

Как выяснилось, цианобактерии, или синезеленые водоросли (основа фитопланктона), могут осуществлять фотосинтез «вполсилы», практически не поглощая CO₂ из атмосферы. По крайней мере, это происходит в водах, бедных железом. А поскольку их в Мировом океане добрая половина, похоже, вклад цианобактерий в связывание CO₂ был намного переоценен.

Открытие сделали сотрудники Института Карнеги (Вашингтон), изучавшие особенности фотосинтеза у некоторых разновидностей цианобактерий. Эти одноклеточные преобладают в фитопланктоне и вносят основной вклад в производство первичной продукции за счет фотосинтеза. Так вот, оказалось, что в водах с дефицитом ионов железа (при наличии некоторого фермента-биокатализатора) эти организмы способны использовать солнечный свет почти без поглощения CO₂ и выделения O₂. Учет возможности такого «редуцированного» фотосинтеза, по мнению авторов, может потребовать переоценки роли фитопланктона в поглощении CO₂.

Пониженное преобразование CO₂ в углеводы и выделение молекулярного кислорода при фотосинтезе уже наблюдалось в серии недавних экспериментов, проведенных в Атлантическом и Тихом океанах. Теперь этот феномен удалось объяснить. Как оказа-

Фотосинтез — основа жизни на планете

В этом процессе, определяющем обмен веществ в наземных растениях, водорослях и некоторых бактериях (и затрагивающем все остальные организмы), энергия Солнца преобразуется в химическую, распределяемую затем по всем пищевым цепям. Как считает большинство специалистов, именно фотосинтез преобразил атмосферу Земли (в ней стало больше кислорода и меньше углекислого газа) и создал условия для появления организмов со сложной организацией. И до сих пор, по мнению многих ученых, только фотосинтез способен противостоять растущим выбросам.

лось, почти в половине акваторий этих океанов воды бедны органикой и ионами железа, а это означает, что и вклад морских автотрофов (и прежде всего цианобактерий) в поглощение CO_2 ранее мог быть серьезно завышен.

Еще один глобальный эффект, связанный с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, прогнозируют ученые США и Израиля в статье, опубликованной в апрельском выпуске журнала «Geophysical Research Letters». По их оценкам, если концентрация CO_2 в атмосфере достигнет значения $5,6 \cdot 10^{-4}$ (вдвое выше, чем в «доиндустриальную» эпоху), коралловые рифы перестанут расти и начнут растворяться. То, что рост содержания CO_2 в атмосфере ведет к «закислению» океана, конечно же, было известно и раньше, как и то, что с ростом кислотности морской воды кораллы теряют карбонат кальция — главный компонент их скелетов. Но в отличие от прежних исследований Джекоб Сильверман из Еврейского университета (Иерусалим) с соавторами предсказывают снижение содержания кальция в кораллах из-за роста температуры и кислотности океана не на основании моделирования или результатов лабораторных экспериментов, а на основании измерения состояния природных коралловых рифов в Красном море. Им удалось установить соотношение между содержанием кальция в кораллах, температурой и концентрацией ионов карбонатов в морской воде и состоянием рифов. Ныне большинство коралловых рифов «набирают» кальций медленнее, чем в «доиндустриальную» эпоху, и ученые предсказывают, что, если рост концентрации CO_2 в атмосфере сохранится, коралловые рифы могут исчезнуть.

Этот загадочный планктон

Но, похоже, и эти открытия не исчерпывают «скрытые резервы» океана. Хорошо известно, что океан — главный сток выбросов CO_2 . Ныне почти половина углерода, выделенного при сжигании углеводородов, покоится на дне океанов. В связи с этим возникает вопрос: сможет ли океан и дальше поглощать сое-

динения углерода с той же интенсивностью или же его ресурсы близки к истощению?

Так вот, как утверждает в статье, недавно опубликованной в журнале «Nature», международному коллективу ученых во главе с профессором Университета Киля (Германия) Улифом Рибеселом удалось открыть новый биологический механизм, который позволяет надеяться, что воды Мирового океана в будущем смогут еще эффективнее поглощать CO_2 из атмосферы.

Ученые уже давно выяснили, что рост концентрации CO_2 в атмосфере сопровождается не только потеплением, но и закислением (снижением значения водородного показателя pH) морской воды, что помимо всего остального заметно осложняет жизнь морских организмов, особенно живущих у поверхности. По всем прогнозам, скорость роста концентрации CO_2 и сопутствующих ему процессов со временем будет расти, а значит, и закисление океана, и вымирание его обитателей неотвратимы.

Но авторы считают, что подобные упрощенные взгляды, как и современные климатические модели, не учитывают в полной мере влияния морских организмов и биологических процессов, в которые они включены. Они настаивают на том, что роль микроорганизмов в механизме природного круговорота углерода гораздо больше, чем предполагали ранее.

Ученые предложили уникальную методику для исследования динамики биологических процессов и опробовали ее у побережья Норвегии. Они исполь-



зовали 9 так называемых мезокосмов — закрытых сосудов с корпусами из особого синтетического материала, которые вмещали по 27 м³ воды каждый и располагались на глубинах до 10 м. Три сосуда заполнили морской водой, концентрация CO₂ в которой и в воздухе над ней соответствовала современным значениям. В других двух тройках сосудов имитировались гипотетические значения концентрации CO₂, которые, как следовало из математических моделей, могут быть достигнуты в 2150 г. и 2100 г.

Отклик организмов в контейнерах на рост концентрации CO₂ оказался быстрым и вполне заметным: чем больше было содержание CO₂ в слое воздуха над поверхностью воды, тем интенсивнее происходило его поглощение и переработка за счет фотосинтеза, протекавшего в фитопланктоне (в том числе и в упомянутых синезеленых водорослях). Таким образом, углекислый газ, растворенный в воде, действовал как внесенное в почву удобрение. Ученым удалось проследить рост активности микроорганизмов с ростом концентрации CO₂ до 40% по сравнению с нынешним значением.

По словам авторов, они ожидали реакции морской флоры и фауны на изменение концентрации углекислого газа, но не столь сильной. Именно стремительный рост интенсивности фотосинтеза с ростом концентрации CO₂ позволил авторам заключить, что поглощение парниковых газов и мировой климат в целом могут зависеть от биологических процессов в океане гораздо сильнее, чем полагали прежде.

Оказалось, что по завершении цветения водорослей большая часть связанного ими в виде органики CO₂ оседает на дно. Таким образом, авторы пришли к выводу, что «удобрение» Мирового океана углекислым газом может положительно сказаться на его

поглощении из атмосферы. При этом фитопланктон будет служить своеобразным конвейером, переносящим избыток углерода из поверхностных слоев океана на дно.

Однако этот механизм усиления поглощения парниковых газов и их переноса на дно океана может сопровождаться и неприятными побочными эффектами. Дело в том, что биоразложение увеличившегося в результате «удобрения» вод количества биомассы потребует значительного роста расхода кислорода, которого в итоге может не хватить обитателям глубин. Кроме того, более интенсивная переработка CO₂ микроорганизмами приведет к резкому повышению кислотности глубинных слоев из-за оседания органики. Авторы прогнозируют возможное влияние этих эффектов на другие организмы, обитающие на поверхности, в частности, на питающихся фитопланктоном микроскопических рачков, составляющих основу зоопланктона. В своих прежних исследованиях авторы обнаружили замедление их роста и ослабление репродуктивной способности.

В заключение авторы сравнивают изученные ими процессы с верхушкой огромного айсберга, который ученым необходимо полностью описать, прежде чем предлагать самые невероятные сценарии изменения климата. Ясно, что есть и другие механизмы отклика биологических систем на те или иные изменения в окружающей среде, и биологам предстоит детально их изучить.

Как бы то ни было, теперь эти результаты придется учитывать в моделях, описывающих изменения климата.

«Удобрение» океанов откладывается?

Тем временем ученые не только выявляют все новые каналы и механизмы «связывания» парниковых газов, но и все чаще пытаются предложить конкретные проекты, направленные на то, чтобы «вывести из игры» как можно больше парниковых газов. Увы, как уже отмечалось, пока эти попытки не слишком успешны. Так, все еще остается лишь красивой гипотезой предположение сотрудников Университетского колледжа Дублина (Ирландия) о том, что рыбий жир (точнее, содержащиеся в нем жирные кислоты омега-3) мог бы заметно снизить выбросы метана в животноводстве. Дело в том, что бактерии-метаногены, живущие в кишечнике коров, овец и коз, выбрасывают в атмосферу около 10¹² т метана в год — треть всех его годовых выбросов на планете. Но, как установили ирландские ученые, если в корм добавить всего 2% рыбьего жира, «животноводческие выбросы метана» резко сокращаются. Остается проверить это предположение на практике.

Не увенчался успехом и был приостановлен начатый в широких масштабах эксперимент немецких и



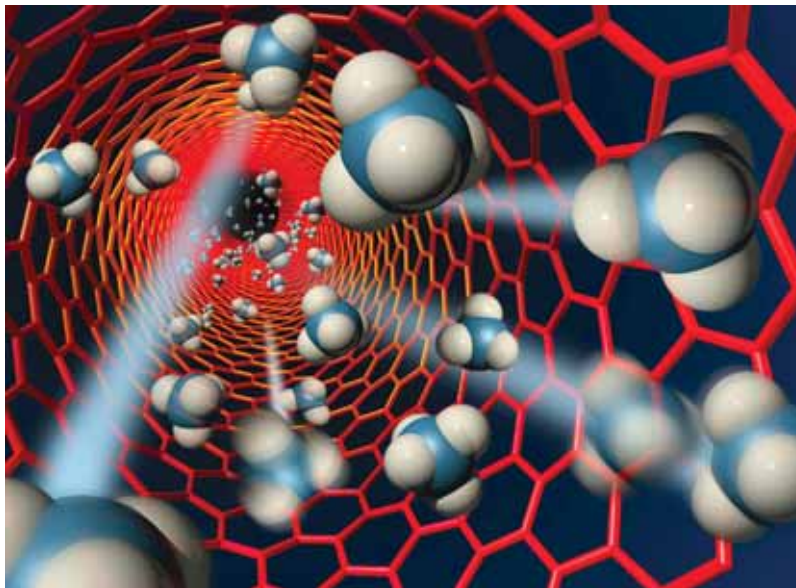
индийских ученых по обогащению антарктических вод сульфатом железа. Изначально планировалось, что подобное «удобрение» вызовет рост фитопланктона, что, в свою очередь, усилит поглощение углекислого газа. В рамках эксперимента с борта судна «Polarstern» на площади более 300 км² распылили около 6 т сульфата железа (планировалось 20 т). Это действительно привело к интенсивному росту микроскопических водорослей: масса фитопланктона удвоилась за две недели. Однако рост фитопланктона привлек зоопланктон, который стал поедать водоросли, так что в результате углерод не удалось, как предполагалось, захоронить на дне — он остался в толще океана. Иными словами, поглощение CO₂ в океане усилить таким образом можно, но это не ведет к депонированию углерода и выводу его из «оборота», а лишь увеличивает его содержание в морской воде. По мнению участников эксперимента, причина неудачи в том, что наиболее интенсивно начали расти не «те» водоросли. Ученые полагают, что, если бы размножились диатомеи (фитопланктон с твердым панцирем из соединений кремния), это не привело бы к росту аппетита со стороны зоопланктона, поскольку из-за твердого панциря диатомеями питаться намного сложнее. Диатомеи же не смогли интенсивно размножиться из-за низкого содержания в воде соединений кремния, необходимых для строительства панциря.

Нелишне напомнить, что еще на стадии подготовки эксперимента вызвал резкие протесты со стороны ряда экологических общественных организаций. Дело в том, что в 2008 г. многие страны присоединились к мораторию на проведение любых экспериментов по «удобрению» Мирового океана с целью повысить его «поглощающую способность». Причина моратория — непредсказуемость результатов подобных экспериментов, что в очередной раз и подтвердил германо-индийский проект.

Нанотехнологии — новые решения

В последнее время все чаще предлагаются и совсем неожиданные решения. Так, сотрудники Пенсильванского университета (США) в статье, опубликованной в журнале «Nano Letters» сообщили, что в нанотрубках из диоксида титана смесь углекислого газа и водяного пара на свету превращается в природный газ. Это открытие, по мнению авторов, в будущем могло бы помочь сократить выбросы парниковых газов.

Преобразовать CO₂ в углеводороды с помощью наночастиц диоксида титана предлагалось и прежде, однако для этого до сих требовалось облучение ультрафиолетом. Ученые из Пенсильвании провели необходимое преобразование в гораздо более широком диапазоне спектра с применением оксида тита-



на в нанотрубках диаметром 135 нм и длиной 40 мкм. Кроме того, каталитическую активность материала трубок увеличило их покрытие наночастицами меди и платины.

Установка американских ученых преобразовывала на свету смесь углекислого газа и паров воды в метан, этан и пропан в 20 раз эффективнее, чем это удавалось прежде, — со скоростью 160 мкл/ч в расчете на 1 г нанотрубок. И хотя этого пока недостаточно для промышленного применения, авторы не скрывают оптимизма и надеются повысить эффективность катализатора еще на пару порядков.

Пример наглядно демонстрирует, насколько нестандартными могут быть будущие решения проблемы парниковых газов. Возможно, вскоре мы станем свидетелями рождения и иных принципиально новых подходов.

* * *

Подходы к проблеме парниковых газов, о которых мы рассказали, помогают приблизиться к достижению основной цели мирового сообщества — вдвое сократить глобальные выбросы парниковых газов к середине XXI века. Эта цель уже неоднократно декларировалась, о планах серьезного снижения выбросов уже объявили Евросоюз и США, Австралия, Канада, Норвегия, Швейцария и многие другие страны. Китай и ряд крупных развивающихся стран готовы заметно сократить темпы роста выбросов, но пока не готовы к снижению их абсолютных объемов. Такая же «скромная» задача стоит и перед Россией — для начала остановить рост выбросов, продолжающийся с 2000 г., после чего приступить к их снижению.

*По материалам ВМО, РИА «Новости»,
журнала «New Scientist»,
сайтов Elementy.ru, Lenta.ru, Gzt.ru и др.*

Автор



Елдышев Юрий Николаевич. Закончил МГУ (физический факультет) и аспирантуру Физического института им. П.Н.Лебедева РАН (ФИАН), а позже – факультет журналистики, философский факультет УМЛ. Работал в ФИАН, Институте ядерных исследований РАН, издательстве «Наука», журналах «Природа», «Nature», «Экология и жизнь». Журналист, опубликовал книгу «Современная биотехнология: мифы и реальность» (Москва, 2005 г.) и несколько сотен статей почти по всем отраслям науки и техники во многих журналах, газетах, а также подготовил ряд материалов для радио и ТВ. Вице-президент Гильдии экологической журналистики МедиаСоюза России, член Международной федерации экологических журналистов, международной журналисткой сети ВОЗ. Имеет много наград Всероссийского конкурса экологической журналистики, занял первое место на Всероссийском конкурсе журналистов, посвященном 50-летию Объединённого института ядерных исследований (Дубна), первые места на Всероссийских конкурсах журналистов «Изменение климата: горячая новость!» (2007-2009). Удостоен Грамоты ООН «За освещение тем, относящихся к «Целям развития тысячелетия» (2009).