

УДК 551.588.74

С. П. Высоцкий д-р техн. наук., проф.¹, А. В. Кондрыкинская², М. В. Кундеус¹

1 – Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

2 – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Парниковые газы (ПГ) обеспечивают главное влияние на процесс всемирного потепления. Наиболее важным парниковым газом является углекислый газ (CO₂). Чтобы устранить отрицательный опасный процесс, необходимо определить главные источники поступления ПГ в окружающую среду. Существует два главных источника: Мировой океан и антропогенная деятельность.

На эмиссию CO₂ оказывает влияние уровень pH и щелочность воды. Установлена аналитическая зависимость эмиссии CO₂ от уровня pH и щелочности водного раствора. Уровень концентрации CO₂ в океанской воде пропорционален щелочности в степени 0,9 и является показательной функцией pH.

Выращивание морских водорослей обеспечивает эффективное связывание CO₂. Это полезно из-за высоких скоростей роста и относительно низких требований к условиям выращивания.

Введение

Функционирование экономики любой страны связано с потреблением электрической энергии. Подавляющая часть выработки электрической энергии вырабатывается за счет использования невозобновляемых ископаемых энергоносителей. Согласно прогнозным оценкам к 2050 году для 9 млрд людей полезные ископаемые будут исчерпаны. Существуют обоснованные опасения, что борьба за использование оставшихся ресурсов приведет к войнам и другим силовым мерам.

Наряду с экономическими проблемами, существует проблема глобального изменения климата в результате развития парникового эффекта. Парниковый эффект в основном связывают с поступлением в окружающую среду так называемых парниковых газов. 75–80 % всего мирового производства энергии осуществляется за счет сжигания ископаемого топлива. Этот процесс обеспечивает три четвертых мировых выбросов двуокиси углерода. Если человечество не примет конкретные меры по сведению до минимума антропогенного воздействия на климат, то, согласно прогнозам, количество выбросов углекислого газа будет расти на протяжении всего XXI века. Последствия этого – повышение глобальной температуры на 1,4–5,8° С, изменение погодных условий и увеличение количества стихийных бедствий – могут оказать губительное воздействие на будущие поколения [1, 2].

Парниковый эффект может вызвать два наиболее неблагоприятных последствия. Первое – увеличения засушливости в средних широтах, т. е. в основных районах выращивания зерновых культур (Украина, «зерновые» штаты США и черноземная часть России). В результате климат в указанных районах станет полупустынным с резким сокращением урожаев зерновых культур. Второе – подъема уровня Мирового океана. Это приведет к затоплению больших участков земной поверхности. Могут уйти под воду целые страны и такие города как Венеция, Нью-Йорк, Санкт-Петербург [3].

Цель исследований

Целью исследования является оценка влияния источников поступления двуокиси углерода в окружающую среду и методов снижения выбросов парниковых газов.

Изложение материала исследований

Парниковый эффект обусловлен действием таких газов, как двуокись углерода, хлорфтор-углеводороды, метан, озон, окислы азота и пары воды. Относительный вклад в прирост парникового эффекта перечисленных газов составляет, соответственно, 50, 20, 16, 9 и 5 %. Наряду с этим по данным отдельных исследований вклад паров воды в парниковый эффект составляет более 60 %, а двуокиси углерода – 20–25 %. Количество паров воды в атмосфере зависит от средней постоянной температуры. В то же время повышение температуры вызывает увеличение количества паров воды. Существует положительная обратная связь между средним уровнем температуры и количеством паров воды. Действие отдельных парниковых газов не аддитивно, поэтому оно сложно поддается оценке.

Содержание в атмосфере одного из основных компонентов парниковых газов – двуокиси углерода претерпевает существенные изменения от сезона к сезону. Однако существует тренд постоянного увеличения концентрации CO_2 . При оценке изменения концентрации CO_2 на протяжении года изменяется, максимальная концентрация бывает весной и минимальная – осенью, что обусловлено «действием» лесного покрова северного полушария.

В процессе фотосинтеза биосфера ежегодно поглощает около 60 Гт углерода. Более масштабный обмен CO_2 между атмосферой и океаном составляет 100 Гт в год [4]. С конца 1700-х гг. содержание CO_2 в атмосфере увеличилось на 37 %, в первую очередь, в связи с выбросами в результате сжигания ископаемого топлива (на сегодняшний день около 8,4 Гт углерода в год) и в меньшей степени в связи с обезлесиванием (~1,5 Гт углерода в год) [5].

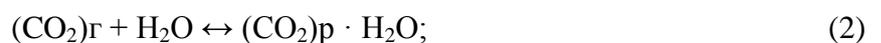
Действие CO_2 можно сравнить с действием атомного заряда в водородной бомбе. Эмиссия CO_2 «запускает» процесс повышения температуры. Повышение температуры увеличивает количество паров воды в атмосфере и, соответственно, развивает интенсификацию процесса потепления за счет положительной обратной связи между содержанием паров воды в атмосфере и средней температурой атмосферы. Повышение температуры вызывает резкое увеличение выбросов CO_2 с поверхности Мирового океана.

В данной работе выполнена оценка влияния температуры на равновесное содержание CO_2 над раствором. Приведенные на рисунке 1 данные изменения равновесного содержания CO_2 в растворе «С» в зависимости от абсолютной температуры «Т» описываются с высокой степенью точности ($R^2 > 98\%$) уравнением (1)

$$C = 3,5 \cdot 10^{-5} \exp^{2,49 \cdot 10^{-3} \frac{1}{T}} \quad (1)$$

Изменение средней температуры Мирового океана на 2° С вызывает уменьшение среднего содержания CO_2 в океанской воде на 0,5 %. Учитывая громадные объемы океанской воды, это вызовет дополнительное поступление в атмосферу 4,5 Гт CO_2 в год. Эта величина в несколько раз больше количества поступающего CO_2 в результате антропогенной деятельности.

Равновесное содержание CO_2 в растворе зависит от смещения равновесия в результате реакций:



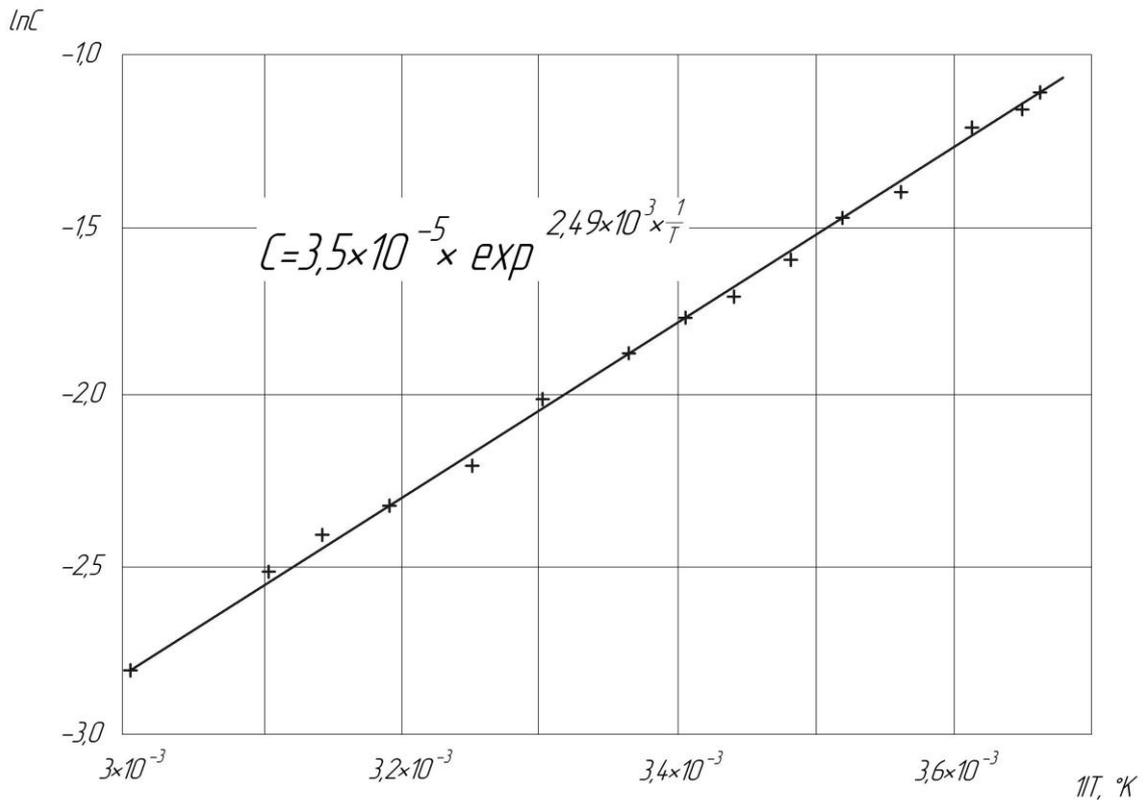


Рисунок 1 – Изменения равновесного содержания CO_2 в растворе в зависимости от абсолютной температуры

Таким образом, равновесное содержание CO_2 и поступление его в атмосферу зависит от pH воды, являющегося функцией активности водородных ионов и щелочности воды. Представляет интерес и количественная оценка влияния указанных факторов. На рисунке 2 приведены данные влияния pH воды на равновесное содержание CO_2 , полученные нами в результате обработки экспериментальных данных.

$$\text{pH} = 5,0; \text{CO}_2 = 5,35 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-2,83\text{pH}), \text{ моль/л}; \quad (5)$$

$$\text{pH} = 4,0; \text{CO}_2 = 2,43 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-2,83\text{pH}), \text{ моль/л}; \quad (6)$$

$$\text{pH} = 3,5; \text{CO}_2 = 2,13 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-2,83\text{pH}), \text{ моль/л}; \quad (7)$$

$$\text{pH} = 2,5; \text{CO}_2 = 3,23 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83\text{pH}), \text{ моль/л}; \quad (8)$$

$$\text{pH} = 2,0; \text{CO}_2 = 1,72 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-2,83\text{pH}), \text{ моль/л}. \quad (9)$$

Зависимость предэкспоненциального множителя от щелочности воды приведена на рисунке 3.

Таким образом, зависимость равновесного содержания CO_2 от pH и щелочности воды описывается уравнением (10)

$$\text{CO}_2 = 2,11 \cdot 10^{12} \text{Щ}^{0,9} \cdot \exp(-2,83\text{pH}). \quad (10)$$

Из приведенных формул следует, что эмиссия CO_2 зависит не только от антропогенной деятельности, но и существенно зависит от природных факторов: температуры (которая зависит от солнечной активности), pH и щелочности океанской воды.

В настоящее время рассматривается несколько направлений снижения выбросов двуокиси углерода. Одним из них является улавливание и хранение двуокиси углерода.

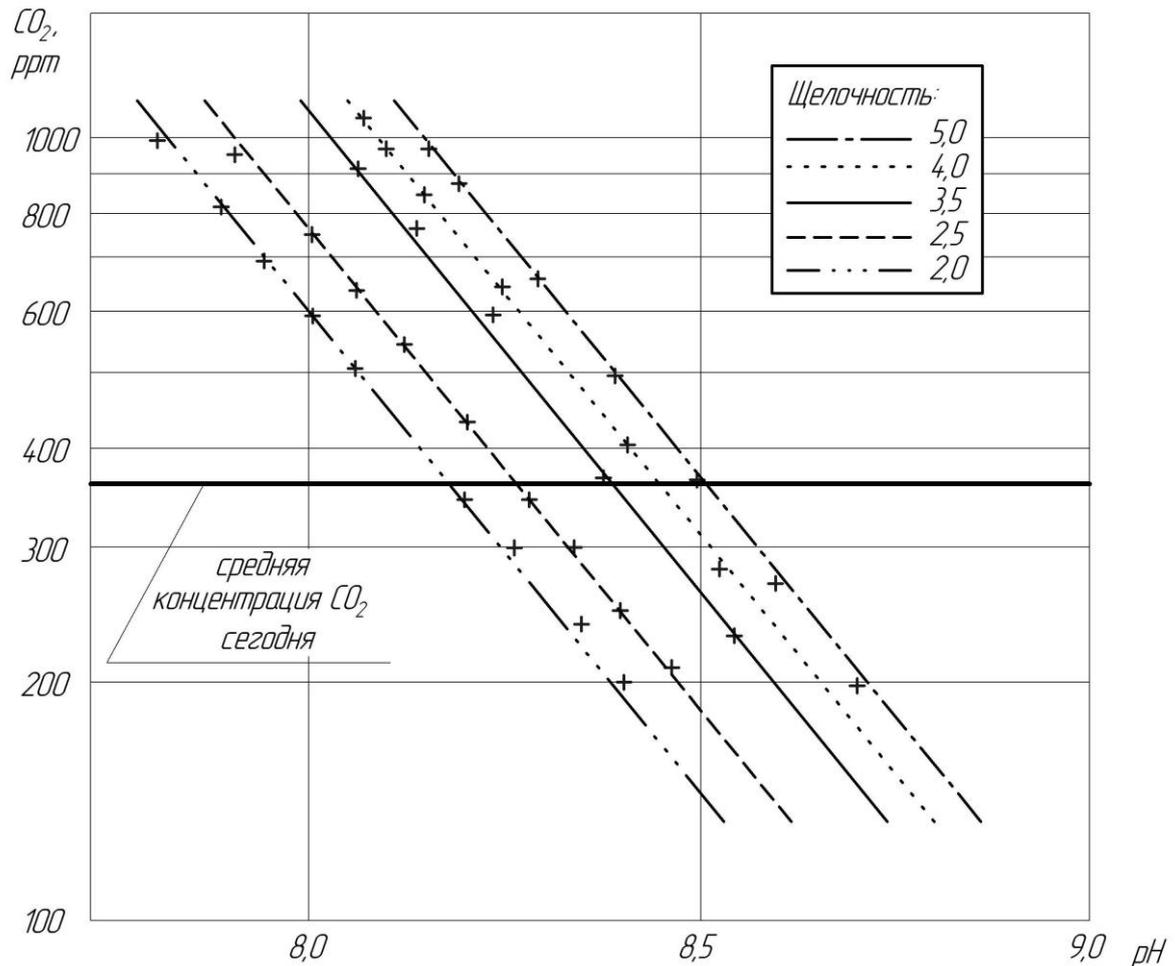


Рисунок 2 – Зависимость равновесного содержания углекислого газа от pH раствора при разной щелочности воды

Для улавливания двуокиси углерода он отделяется от других газов, образующихся в процессе горения или обработки. Затем его подвергают компрессии и очистке, насколько это возможно, в целях облегчения его транспортировки и хранения. Некоторые газовые потоки, которые образуются в результате промышленных процессов, например, в ходе очистки природного газа или производства аммиака, очень чистые, в то время как другие – грязные.

Образующиеся в результате горения двуокись углерода, особенно в процессе производства электроэнергии, можно улавливать с помощью использования одной из трех разработанных систем, представленных на рисунке 4.

Система улавливания после сжигания дает возможность отделять диоксид углерода от других дымовых газов за счет использования органических растворителей. В системе улавливания до сжигания первичное топливо проходит обработку паром и воздухом или кислородом. Во второй колонне реактора окись углерода вступает в реакцию с паром, что приводит к образованию водорода, который используется для производства энергии, а также диоксида углерода, который отделяется и улавливается.

В системе кислородно-топливного сжигания вместо воздуха используется кислород. В результате этого дымовые газы содержат преимущественно водяной пар и углекислый газ. Путем охлаждения и сжатия газового потока отделяют водяной пар. Данная технология позволяет улавливать практически весь образующийся углекислый газ. Однако потребности в дополнительных системах обработки газа для производства кислорода и удаления загрязнителей снижают уровень «предотвращенных выбросов» углекислого газа примерно до 90 %.

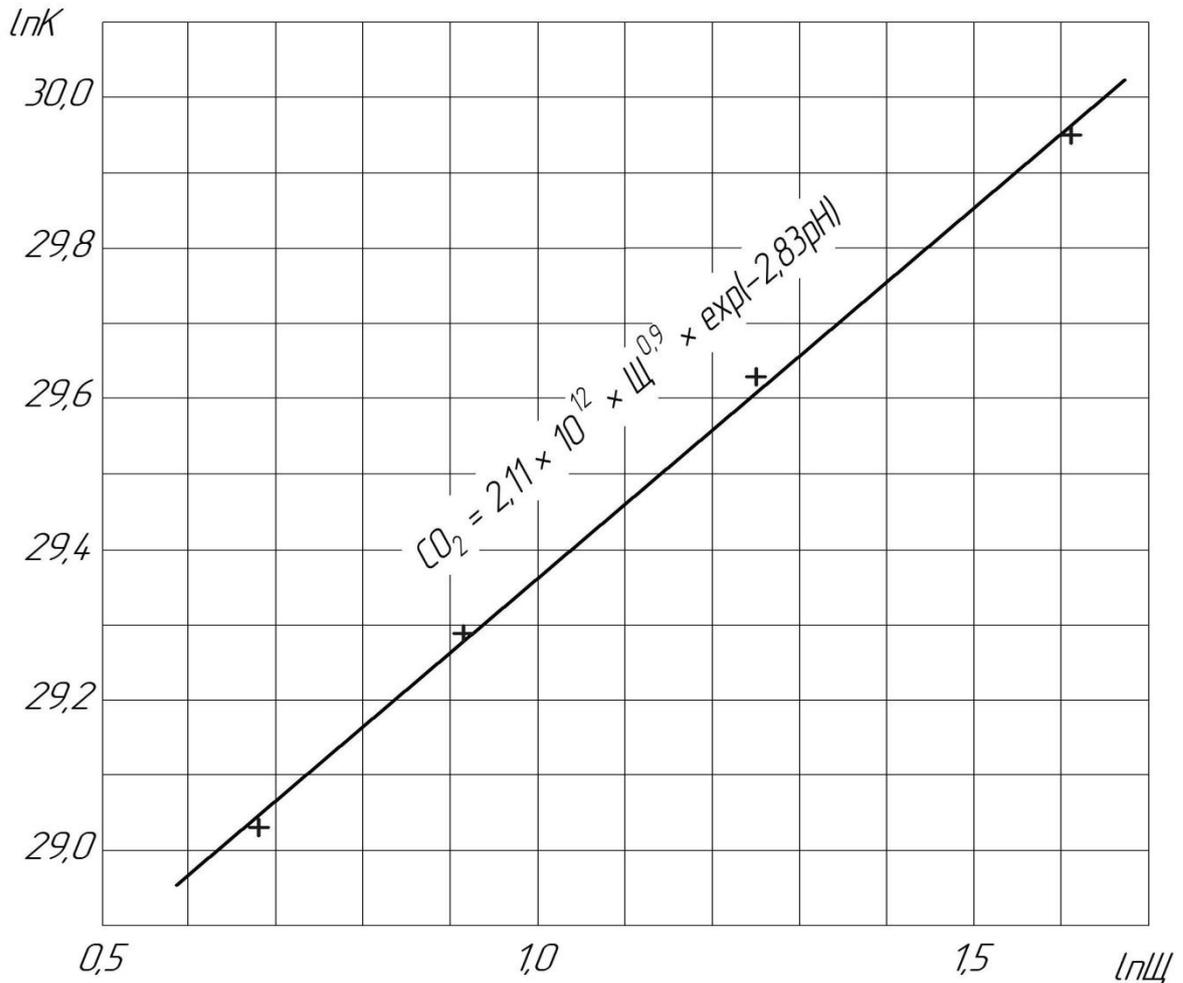


Рисунок 3 – Зависимость предэкспоненциального множителя от щелочности воды

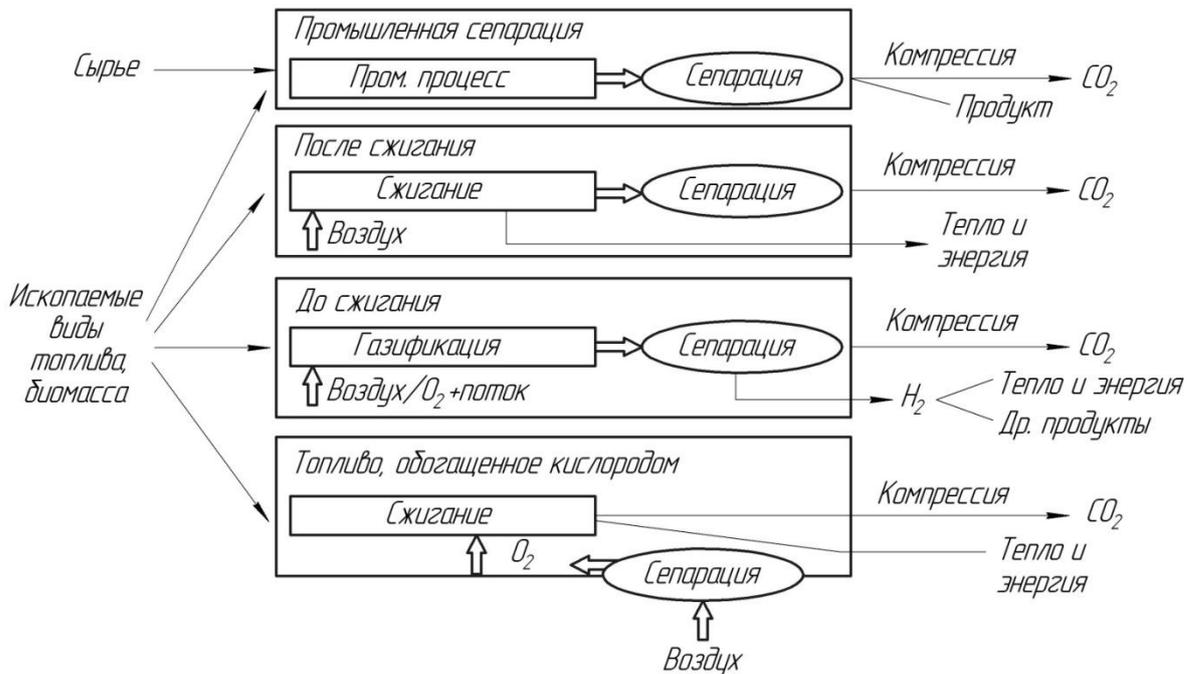


Рисунок 4 – Схема систем улавливания углекислого газа

Наиболее выгодным способом хранения CO₂ является закачка его в геологические формации. Сжатый углекислый газ может быть размещен под земной поверхностью в полостях горных пород. Основными типами геологических формаций для хранения диоксида

углерода являются газовые и нефтяные месторождения, соленосные формации и неизвлекаемые угольные пласты.

Следующим вариантом предотвращения выбросов является получение топлива из растений и водорослей. В водорослях и растениях аккумулируется углекислый газ, поступивший в окружающую среду до их использования.

К настоящему времени разные страны, с учетом климатических зон и аграрных традиций, в производстве биодизельного топлива сделали ставку на различные источники масложирового сырья. Так, США преимущественно ориентируется на сою и животный жир, Европа – на рапс, Малайзия и Индонезия – на масличную пальму, а Филиппины – на кокосовую пальму. Помимо этого многие страны стараются задействовать технические и отходные масла и жиры [7, 8].

Наиболее предпочтительным для снижения эмиссии двуокиси углерода является получение и использование биомассы для генерации электрической энергии и теплоты, а также приготовления биогаза. Последний может использоваться в двигателях внутреннего сгорания и бытовых условиях. Для снижения затрат на транспортировку углекислого газа целесообразна его переработка вблизи электростанций [9].

Однако существуют и другие возобновляемые источники энергии. Новая технология производства биотоплива из водорослей поможет решить проблемы нехватки сырья. Водоросли могут выращиваться даже в очень жестких условиях: в соляных озерах, местах, где растениеводство не практикуется и даже невозможно. Кроме того, водоросли играют важную роль в аккумулировании углекислого газа из воздуха и производят ряд полезных побочных продуктов, их не требуется выращивать на пахотных землях. Фермы для выращивания водорослей могут размещаться на непригодных для сельского хозяйства землях.

Использование водорослей имеет ряд преимуществ: во-первых, они могут удваиваться в массе несколько раз в день, из них производится больше топлива с гектара, чем из других альтернативных источников (например, ятрофа, рапс, пальмовое масло), и в отличие от большинства других биокультур водоросли могут выращиваться в засоленных водах. Но промышленность сталкивается с серьезными техническими проблемами выращивания водорослей контролируемым способом и сбора урожая. Снижение цен на нефть и природный газ может сделать топливо из морских водорослей значительно менее привлекательным для инвесторов. Однако, мировые компании заинтересованы в водорослях: в 2008 году около 50 компаний вошли в топливный бизнес из водорослей – по сравнению с четырьмя компаниями 2006 года.

Существует около 30000 видов водорослей, начиная от гигантских скоплений водорослей на дне до микроскопических пресноводных. Эти микроводоросли – вездесущие одноклеточные организмы, которые иногда образуют липкие коврики и, как правило, являются отправной точкой во многих водных пищевых цепях – что и представляет интерес для производителей биотоплива.

Природные способности водорослей производить липиды, которые сохраняют масло, были известны и ранее. Но до недавнего времени масло водорослей просто не было интересным или прибыльным веществом. Вместо этого был проявлен интерес к тому, как водоросли могут быть использованы в биотехнологии: к примеру, в 2003 году, лаборатория Мейфилда нашла способ получения сложных белков, антител, нацеленных на вирус герпеса, путем введения гена герпеса в водоросли.

Водоросли могут расти в закрытых системах, сохраняя все необходимые свойства, в которых наземные растения не могут развиваться. Использование таких свойств морских водорослей обеспечивает связывание углекислого газа, поступающего в окружающую среду.

Процесс выращивания водорослей состоит в следующем. Дымовые газы электростанций перекачиваются по трубопроводу на завод с водорослями. Углекислый газ, как составная часть дымовых газов, растворяется в суспензии водорослей и абсорбируется, способствуя росту морских водорослей. Водоросли собираются после их выращивания и используются в химической и энергетической промышленности.

Однако, по сравнению с другими веществами, которые транспортируются по трубопроводам, например, нефтью, природным газом и водой, углекислота ведет себя необычно вследствие того, что тройная точка в системе равновесия фаз расположена в области близкой к температуре окружающей среды. Таким образом, при небольших изменениях давления и температуры происходят существенные изменения физических свойств (переход в другую фазу, изменение плотности, сжимаемости).

Водоросли считаются биотопливом «третьего поколения». Водоросли, как правило, выращивают двумя способами: в больших открытых «каналах», заполненных водой, в которых осторожно перемешиваются водоросли, или в прозрачных, закрытых трубах, так называемых фотобиореакторах. Есть преимущества каждого метода: выращивание водорослей на открытом воздухе гораздо дешевле, но водоросли уязвимы к вторжению менее желательных штаммов. В закрытом же реакторе можно убедиться, что штаммы водорослей именно те, которые необходимо выращивать. Таким образом получается продукт для производства топлива.

Вертикальное выращивание водорослей в закрытых резервуарах происходит быстрее и более эффективно, чем в открытых прудах. При вертикальном выращивании водоросли помещаются в прозрачный пластиковый мешок, благодаря этому они подвергаются воздействию солнечного света с двух сторон. Мешки укладывают вертикально друг на друга и защищают крышкой от дождя. Дополнительный солнечный свет увеличивает скорость роста водорослей, что в свою очередь увеличивает добычу топлива. Водоросли также защищены от загрязнения [10].

Другие компании строят закрытые баки для водорослей – биореакторы, чтобы увеличить темпы прироста. Закрытые биореакторы позволяют поддерживать идеальные условия для выращивания водорослей, которые можно собирать ежедневно. Это дает очень высокий урожай водорослей, которые, в свою очередь, вырабатывают большое количество масла, из которого изготавливается биодизельное топливо. Заводы с закрытыми биореакторами можно стратегически располагать вблизи электростанций, они будут поглощать выбросы углекислого газа, которые загрязняют воздух (рисунок 6).

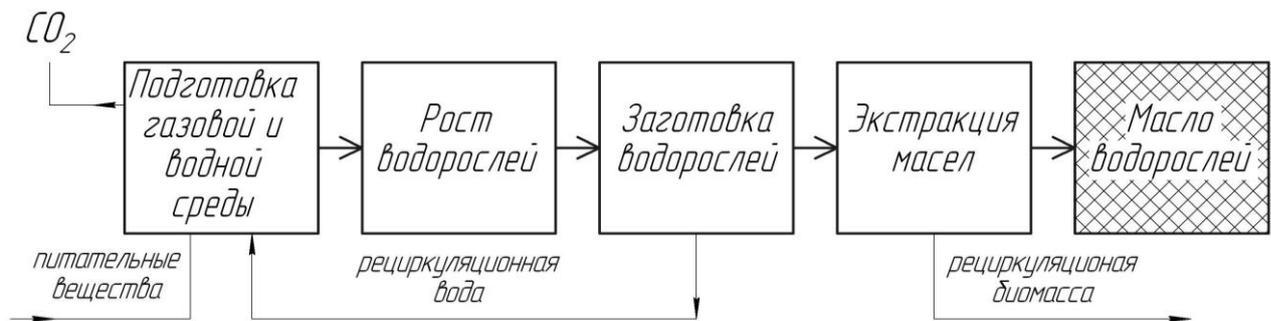


Рисунок 6 – Получение топлива в биореакторах

Исследователи изучают и другой вариант закрытого выращивания водорослей, используя процесс брожения. Водоросли выращиваются в закрытых контейнерах и подпитываются сахаром, для стимуляции их роста. Этот метод устраняет все недостатки, поскольку позволяет производителям контролировать все факторы окружающей среды.

Выводы

1. Рассмотрены источники выбросов парниковых газов в атмосферу.
2. Определено влияние температуры воды, щелочности и pH растворов на равновесное содержание диоксида углерода, влияющее на распределение углекислого газа между океаном и атмосферой.
3. Рассмотрены перспективные методы предотвращения выбросов в атмосферу диоксида углерода.

4. Показано, что выращивание водорослей является наиболее оптимальным решением предотвращения парникового эффекта.

Список литературы

1. Barnett T. P. Potential Impacts of a Warning Climate on Water Availability in Snow-Dominated Regions / T. P. Barnett, J. C. Adam, D. P. Lettenmaier // *Nature*. – 2005. – Vol. 438. – Pp. 303–309.
2. Bollen J. An Integrated Assessment of Climate Change, Air Pollution and Energy Security Policy / J. Bollen, S. Hers, B. van der Zwaan // *Energy Policy*. – 2010. – Vol. 38. – Pp. 4021–4030.
3. Quantifying Uncertainties in Climate System Properties with the Use of Recent Climate Observations / C. E. Forest, P. H. Stone, A. P. Sokolov // *Science*. – 2002. – Vol. 295. – Pp. 113–117.
4. J. C. Jansen Designing Indicators of Long-Term Energy Supply Security / J. C. Jansen, W. G. Arkel, M. G. Boots // *Energy Research Centre of the Netherlands (ECN)*. – 2004. – P. 35.
5. Мировой центр данных по парниковым газам // Японское метеорологическое агентство. – Токио. – Режим доступа: <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>.
6. Мировой центр данных по парниковым газам (The World Data Centre for Greenhouse Gases) // Японское метеорологическое агентство. – Токио. – Режим доступа: <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>.
7. United Nations Environment Programme 11–13, chemin des Anémones CH-1219 Châtelaine. – Geneva, Switzerland.
8. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals / A. E. Farrel, R. J. Plevin, B. T. Turner // *Science*. – 2006. – Vol. 311. – Pp. 506–508.
9. Jacobson M. Z. Review of Solutions to Global Warming, Air Pollution and Energy Security / M. Z. Jacobson // *Energy and Environmental Science*. – 2009. – Vol. 2. – Pp. 148–173.
10. Высоцкий С. П. Выбор направлений эмиссии углекислого газа на отечественных ТЭС / С. П. Высоцкий // *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник // АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»*. – Горлівка, 2010. – № 2 (11). – С. 145–149.
11. Vysotskiy S. P. Vybory napravleniy emissii uglekislogo gaza na otechestvennykh TES (The Choice of Directions of Carbon Dioxide Emission at the Domestic Thermal Electric Power Stations) / S. P. Vysotskiy // *Visti Avtomobilno-dorozhnoho instytutu: naukovy-vyrobnychiy zbirnyk // ADI DVNZ "DonNTU"*. – Horlivka, 2010. – № 2 (11). – S. 145–149.
12. Lacoursiere C. Biomass Future. Funding Bioenergy Projects with Carbon Portfolios / C. Lacoursiere // *Renewable energy world*. – 2006. – № 3. – Vol. 9. – Pp. 124–129.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. О. Воробйов, АДІ ДонНТУ
Стаття надійшла до редакції: 25.10.2013