

УДК 621.6:622.69

*Бреслер Лия Хайдаровна,  
кандидат технических наук, доцент  
доцент кафедры «Разработка и эксплуатация месторождений  
трудноизвлекаемых углеводородов»  
Казанский (Приволжский) федеральный университет*

*Россия, г. Казань*

*Семухина Алина Викторовна,  
студент 3 курс, факультет «Нефтегазовое дело»  
Институт геологии и нефтегазовых технологий*

*Россия, г. Казань*

## **АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

***Аннотация:** Статья посвящена технологиям утилизации парниковых газов (углекислого газа), содержащихся в атмосфере Земли. В статье рассматривается основная информация о парниковых газах и степени их влияния на глобальное потепление, наблюдаемое в настоящее время на нашей планете. Установлено, что усиленный парниковый эффект представляет собой нарушение климатического равновесия Земли, вызванное увеличением концентрации парниковых газов, что привело к росту глобальных средних температур поверхности. Человечество выбрасывает углекислый газ, сжигая ископаемое топливо, миллионы лет изымавшееся из атмосферы и хранившееся в виде угля, нефти и газа. Но дело даже не столько в собственно потеплении, сколько в разбалансировке климатической системы. Резкий выброс CO<sub>2</sub> — своего рода химический толчок по климатической системе. Средняя температура на планете от этого изменяется несильно, а вот колебания внутри её становятся гораздо сильнее. Что мы и видим на*

*практике: резкое усиление частоты и силы экстремальных погодных явлений — наводнений, засух, сильной жары, резких перепадов погоды, тайфунов. Концентрации парниковых газов возрасали в течении XX века и сейчас этот рост продолжается со все большей скоростью. В частности, установлены основные источники поступления CO<sub>2</sub> в атмосферу Земли и изучены различные источники энергии в общую эмиссию диоксида углерода.*

***Annotation:** The article is devoted to the technologies of utilization of greenhouse gases (carbon dioxide) contained in the Earth's atmosphere. The article discusses basic information about greenhouse gases and the degree of their influence on global warming currently observed on our planet. It is established that the enhanced greenhouse effect is a violation of the Earth's climatic equilibrium caused by an increase in the concentration of greenhouse gases, which led to an increase in global average surface temperatures. Humanity emits carbon dioxide by burning fossil fuels that have been removed from the atmosphere for millions of years and stored in the form of coal, oil and gas. But it's not so much the warming itself, as the imbalance of the climate system. A sharp release of CO<sub>2</sub> is a kind of chemical push on the climate system. The average temperature on the planet does not change much from this, but the fluctuations inside it become much stronger. This is what we see in practice: a sharp increase in the frequency and strength of extreme weather events — floods, droughts, extreme heat, sudden weather changes, typhoons. Greenhouse gas concentrations have been increasing throughout the twentieth century and now this growth continues at an increasing rate. In particular, the main sources of CO<sub>2</sub> entering the Earth's atmosphere have been identified and various sources of energy in the total carbon dioxide emission have been studied.*

***Ключевые слова:** парниковые газы, парниковый эффект, глобальное потепление, улавливание углекислого газа, двуокись углерода, промоторы.*

***Keywords:** greenhouse gases, greenhouse effect, global warming, carbon dioxide capture, carbon dioxide, promoters.*

## Введение

На данный момент энергетические потребности Земли растут с каждым днем за счет роста отраслей, электромобилей и развивающихся экономических потребностей. В ближайшем будущем спрос на потребление энергии увеличится на 40-50%, в течение следующих 25 лет на 100% к 2060 г. Повышение потребности в энергии вызывает высокий уровень выбросов парниковых газов (ПГ) в окружающую среду, именно поэтому усилилось явление глобального потепления.

Существуют различные способы уменьшения глобального потепления, в том числе выбросы углерода, в которых технологии возобновляемых источников энергии очень важны. Основным методом для уменьшения глобального потепления стал процесс, называемый улавливанием и хранением углерода (CCS), позволяющий с наименьшими затратами смягчить последствия изменения климата. Технология CCS, в основном, включает в себя разделение, обработку, транспортировку и хранение углекислого газа [1].

В стадии разработки находятся новые способы сокращения выбросов углерода диоксида, которые образуются в результате сжигания ископаемого топлива. Кроме того, из-за полезных и практических аспектов газогидратного феномена показывается необходимость дальнейших исследований в этой области. В течение десятилетий было доказано наличие больших объемов природного газа, которые хранились в газогидратах на дне океана и в полярных регионах. Из-за ограниченности запасов ископаемого топлива, разведка источников газогидратов может быть рассмотрена в будущем для восстановления энергии [2].

## Основная часть

### Парниковые газы

Парниковый газ (ПГ) - это газообразная часть воздушной оболочки Земли природного или антропогенного происхождения, которая поглощает и отражает инфракрасное электромагнитное излучение. Повышение концентрации таких газов в атмосфере вызывает парниковый эффект, который может привести к глобальному потеплению и экологической катастрофе. Основными парниковыми газами земли являются водяной пар ( $H_2O$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ), метан ( $CH_4$ ) и озон ( $O_3$ ). Искусственные галогенированные углеводороды и оксиды азота ( $N_2O$ ) потенциально могут способствовать парниковому эффекту, но оценка их вклада проблематична из-за низких концентраций в атмосфере.

Парниковые газы образовались в результате нагревания Земли солнечными лучами и часть этой тепловой энергии не уходит в космос, а отражается газами. Они образуются как в результате природных явлений, например, вулканов, так и в результате деятельности человека, например, сжигания природного топлива, вырубки лесов для хозяйственных целей, захоронение и сжигание отходов.

Углекислый газ ( $CO_2$ ) – считается важнейшим парниковым газом антропогенного происхождения. Он возникает естественным путем в углеродном цикле, но со времен промышленной революции человек увеличил его концентрацию в атмосфере на 47%. Считается, что выбросы двуокиси углерода от тепловых электростанций, цементных заводов, металлургических комбинатов и химических заводов, работающих на угле, после сжигания топлива вносят значительный вклад в парниковый эффект [3].

## **Как парниковые газы влияют на человека и экологию в целом?**

### **1) Ангидрия**

Жизнь в засушливой местности станет еще труднее. Плодородные земли станут пустынями. Усилится голод и нехватка питьевой воды, особенно в развивающихся странах, а переносчики инфекции характерные для жаркого и тёплого климата, например, малярийные комары начнут распространяться на новых территориях.

Флора и фауна не успевают приспосабливаться к изменениям климата, поэтому многие виды под угрозой исчезновения. В Арктике очень быстро тает лед, от этого страдают белые медведи и тюлени. К 2050 году популяция белых медведей может сократиться на 30%. Потепление океана отражается на жизни китов и морских черепах, а в Африке, где становится еще жарче животные не справляются с новыми температурами и нехваткой воды.

### **2) Воздействие на водные системы**

Если температура на Земле продолжит расти, уровень мирового океана тоже будет повышаться. Уровень воды может подняться еще на 50 – 70 см. В таком случае под угрозой затопления окажутся незащищенные прибрежные зоны: многие города США, побережье Арктики, в России.

### **3) Педогенез**

Потепление сильно повлияет на жизнь северных регионов. Постройки в зоне вечной мерзлоты приспособлены к твёрдому замерзшему грунту и не удержатся на оттаявшей земле. Слой, в котором разлагаются торфянистые почвы станет глубже и в атмосферу будет поступать ещё больше парниковых газов.

## **Существующие технологии утилизации парниковых газов**

### **1) Процесс улавливания и хранения углерода (CCS)**

Эта четырехступенчатая технология сначала захватывает содержимое с высоким содержанием CO<sub>2</sub> из любых промышленных источников, затем конденсирует и сжижает CO<sub>2</sub> перед транспортировкой его к месту хранения, обычно по трубопроводу. Затем происходит его хранение в месте образования глубоких солей. Эта технология сможет ограничить глобальное потепление ниже 2 °С.

Так же было разработано несколько новых методов, которые могут физически и химически улавливать углекислый газ с помощью полимеров и различных углеродных или неорганических нано-компонентов:

### 2) Комбинированный цикл комплексной газификации (IGCC)

В технологии IGCC синтетический газ преобразуется из ископаемого топлива (уголь, нефть и природный газ). Несмотря на многообещающее использование IGCC сталкивается с серьезной проблемой высокой стоимости разделения CO<sub>2</sub> из газообразного продукта CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>.

### 3) Разделение газов на основе гидратов (HBGS)

Среди всех вышеупомянутых методов газоразделение на основе гидратов (HBGS) является одним из новых подходов к улавливанию и хранению CO<sub>2</sub> с относительно низким потреблением энергии. HBGS может использоваться как для предварительного сжигания, так и для последующего сжигания из топлива и парниковых газов соответственно. Тем не менее, процесс HBGS, вероятно, больше подходит для предварительного сжигания и улавливания CO<sub>2</sub>. Это связано с тем, что парциальное давление топливного газа (40% CO<sub>2</sub> и 60% H<sub>2</sub>) в тысячу раз больше, чем у парниковых газов, состоящих из 17 % CO<sub>2</sub> и 83 % N<sub>2</sub> в случае улавливания после сжигания [5].

Процесс HBGS основан на способности образования гидратов газа. Клатратные гидраты могут захватывать CO<sub>2</sub> в качестве гостевой молекулы, образуя гидраты углекислого газа. Кроме того, двуокись углерода может образовывать гидраты с молекулами воды при более низком давлении. Однако есть несколько условий, которые необходимо выполнить, прежде чем гидраты

CO<sub>2</sub> можно будет применять в реальных условиях. Основной проблемой систем NBGS является экстремальная условия образования гидратов. Несмотря на то, что формирование давление гидратов углекислого газа ниже, чем у других молекул газа, он по-прежнему требует условий высокого давления и имеет низкую скорость реакции. Для преодоления этих проблем можно применять различные промоторы. Были исследованы и протестированы многочисленные типы ускорителей для улучшения содержания гидрата CO<sub>2</sub> например абсорбенты. Промоторы для абсорбентов гидрата двуокись углерода делятся на две категории: термодинамическую и кинематическую. Был разработан абсорбент гидрата CO<sub>2</sub>, который обеспечивал гидратообразование в условиях атмосферного давления.

Гидраты CO<sub>2</sub> в присутствии преобладающих ускорителей широко изучаются с различных точек зрения. Гидраты углекислого газа получали в перемешивающей закрытой абсорбционной камере при различных условиях давления и концентрации промотора с использованием трех преобладающих активаторов: циклопентана, тетрагидрофурана и тетра-н-бутиламмония бромида [3].

### **Ученые, которые занимались исследованием технологий утилизации парниковых газов**

Было предложено улавливание, разделение и хранение CO<sub>2</sub> на основе газовых гидратов за его потенциал в качестве экологически чистой и менее дорогостоящей технологии. Использование гидратообразования для отделения двуокиси углерода от парниковых газов имеет преимущество в виде более низкого потребления энергии по сравнению с традиционными средствами [6].

Образование гидратов можно в целом разделить на три стадии: растворение богатого углекислого газа в жидкой фазе, предварительное

образование гидратов и стадия роста, гидратообразование. В то время как стадия предобразования указывает на перенасыщение жидкой фазы обогащенными  $\text{CO}_2$ , стадия роста отвечает за захват газа в гидратную фазу.

Линга предложил многостадийный процесс выделения  $\text{CO}_2$  на основе гидратов из газовой системы, обогащенной двуокисью углерода, и показал извлечение 36–42%  $\text{CO}_2$  на первом этапе в виде гидрата с использованием чистой воды и системы  $\text{CO}_2/\text{N}_2$ . Газовая система дожигания с высоким содержанием углекислого газа включает 15–25 %  $\text{CO}_2$  в газовой смеси  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  включая примеси, такие как  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и летучая зола. Термодинамические исследования подтверждают, что такая система  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  потребует высокой степени сжатия и высокого энергопотребления [7].

В 2004 году Чжан и его коллеги [6] исследовали влияние алкилполиглюкозидов (APG) в качестве неионных поверхностно-активных веществ на кинетику образования гидратов природного газа. Они обнаружили, что это поверхностно-активное вещество эффективно способствует кинетике естественного газогидратообразования. В работе [6] приведены лабораторные данные по кинетике образования гидратов  $\text{CO}_2$  в присутствии промотора и ПАВ получали в определенном диапазоне температур и давлений, в реакторе фиксированного объема. Предобразование гидратов является межфазным явлением, поэтому межфазные свойства, такие как поверхностное натяжение, между гидратами и водой оказало бы необычайное влияние на гидраты, скорость образования. В этом исследовании поверхностное натяжение между водой и углеродом гидрата диоксида определяют путем измерения времени индукции. Индукция кристаллизации. Время зависит от температуры и перенасыщения. Время индукции сокращается на увеличение сверхнасыщенности. Во многих случаях время индукции было сокращено из-за увеличения температуры. В этом исследовании, изучено влияние хлорида тетра-н-бутиламмония (ТВАС) (который является стимулятором термодинамики) и алкилполиглюкозида (APG) в качестве неионного

поверхностно-активного вещества на поверхностное натяжение процесса образования гидрата диоксида углерода. Эксперименты проводились в реакторе периодического действия объемом 218 см<sup>3</sup>.

Поверхностное натяжение гидрата CO<sub>2</sub> было определено при различных концентрациях и различных температурах и давлениях. Для этой цели была использована классическая теория зарождения. Проектирование экспериментов выполняется с помощью программного обеспечения Design-Expert. Результаты показывают, что увеличение APG и температуры приводит к уменьшению поверхностного натяжения и, напротив, время индукции уменьшается, а экспериментальная модель влияния этих параметров на поверхностное натяжение представлена как  $R_2 = 0,9898$  [8].

### **Пути решения проблемы парникового эффекта**

Влияние парникового эффекта на планету можно уменьшить. Для этого нужно:

- Создать новые лесные массивы, чтобы снизить содержание углекислого газа.
- Отфильтровать выбросы и захоронить углекислый газ в отработанных шахтах, но для этого на каждом грязном предприятии нужны специальные улавливающие установки, которые употребляют слишком много энергии.
- Установить между Солнцем и Землей системы экранов, с помощью которых можно будет создать полутень. Приток солнечной энергии станет меньше и температура снизится.
- Можно попробовать отражать лишнее тепло, рассеивая над Землей искусственные облака с частицами сульфатов или диоксида серы, но последствия таких распылений для природы совершенно непредсказуема [9].

## Вывод

Снижение выбросов парниковых газов становится необходимым условием повышения качества жизни людей, обеспечения безопасности их жизнедеятельности. В связи с этим внедрение технологий переработки и использования углекислого газа является приоритетным направлением деятельности в рамках борьбы с парниковыми газами, которая помимо влияния на климат может принести существенную пользу для экономики страны. Формирование комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа обеспечит широкое применение продуктов переработки углекислого газа и снижение углеродного следа в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях экономики.

## Литература:

1. Mohd Hafiz Abu Hassan, Farooq Sher, Gul Zarren , Norhidayah Suleiman, Asif Ali Tahir , Colin E. Snape. Kinetic and thermodynamic evaluation of effective combined promoters for CO<sub>2</sub> hydrate formation. Journal of Natural Gas, Science and Engineering, 2020.
2. Mohammadi A, Pakzad M, Mohammadi AH, Jahangiri A. Kinetics of (TBAF+ CO<sub>2</sub>) semi-clathrate hydrate formation in the presence and absence of SDS. Petroleum science. 2018 May 1;15(2) 84.
3. Parrenin, F.; Masson-Delmotte, V.; Köhler, P.; Raynaud, D.; Paillard, D.; Schwander, J.; Barbante, C.; Landais, A.; Wegner, A.; Jouzel, J. Synchronous change of atmospheric CO<sub>2</sub> and antarctic temperature during the last deglacial warming. Science 2013, 339, 1060–1063.
4. Climate action. — [Electronic resource]. URL: <http://datatopics.worldbank.org/sdgateatlas/SDG-13-climate-action.html> (Дата обращения 18.02.23).

5. Antenucci, G. Sansavini. Extensive CO<sub>2</sub> recycling in power system via Power-to-gas and network storage. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 100, 33-43, 2019.
6. Aaron, D.; Tsouris, C. Separation of CO<sub>2</sub> from flue gas: A review. *Sep. Sci. Technol.* 2005, 40, 321–348.
7. Linga, P.; Kumar, R.; Englezos, P. The clathrate hydrate process for post and pre-combustion capture of carbon dioxide. *J. Hazard. Mater.* 2007, 149, 625–629
8. Alireza Bozorgiana , Zahra Arab Aboosadia, Abolfazl Mohammadi, Bizhan Honarvara , Alireza Azimi. Evaluation of the Effect of Nonionic Surfactants and TBAC on Surface Tension of CO<sub>2</sub> Gas Hydrate. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering* 2020, 54(1): 73-81.
9. Рогозин, М.Ю. Чем опасен парниковый эффект / М.Ю. Рогозин, Д.С. Иванченко. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 51 (185). — С. 120-124. — URL: <https://moluch.ru/archive/185/47438/> (дата обращения: 24.04.2023).