

## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.588.7

С.П. Высоцкий, д-р техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

### РИСКИ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*На основании анализа потоков энергии от Солнца и влияния парниковых газов на изменение климата Земли показано, что основной причиной потепления являются глобальные процессы, открытые астрономом Миланковичем, а также процессы, связанные с изменением солнечной активности. Прослеживается высокая степень корреляции содержания угольной кислоты в атмосфере в зависимости от температуры. Приведены аналитические зависимости равновесной концентрации угольной кислоты в атмосфере в зависимости от времени, что позволяет прогнозировать изменения ее содержания на ближайшую перспективу.*

**Ключевые слова:** климат, парниковый эффект, диоксид углерода, пары воды, закисление воды

#### **Введение**

В последние годы особенно часто проявляются такие природные явления как тайфуны, торнадо, наводнения, обусловленные повышением температуры околоземной поверхности. Основную причину указанных процессов связывают с эмиссией диоксида углерода и обусловленным этим фактором парниковым эффектом. Для предотвращения роста температуры околоземного пространства в 1997 г. был принят Киотский протокол, а в 2016 г. – решение парижской конвенции. Многие страны уже приняли обязательства об ограничении эмиссии парниковых газов, прежде всего диоксида углерода, несмотря на то, что это вызовет спад их экономики. Влияние отдельных газов на парниковый эффект приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние отдельных газов на парниковый эффект [1]

Газ	Тропосферная концентрация до 1750 г., мг/кг (ppm)	Существующая тропосферная концентрация, мг/кг (ppm)	Глобальный потенциал потепления на перспективу, лет	Время жизни в атмосфере, лет	Увеличение радиационной нагрузки, Вт/м <sup>2</sup>
Оксид углерода (IV) (CO <sub>2</sub> )	~ 280	399,5	1	~ 100–300	1,94
Метан (CH <sub>4</sub> )	722	1,834	28	12,4	0,50
Оксид азота (IV) (NO <sub>2</sub> )	270	0,328	265	121	0,20
Тропосферный озон (O <sub>3</sub> )	237	0,337	не оценивался	часы – дни	0,40
Гексафторид серы (SF <sub>6</sub> )	0	8,6	23,500	3200	0,0049

Простые вычисления, основанные на использовании закона Стефана-Больцмана, показывают, что при отсутствии парниковых газов в атмосфере средняя температура поверхности Земли была бы –18 °С. Фактически в настоящее время средняя температура составляет

+15 °С. Разница в 33° С показывает наличие и полезность парникового эффекта.

Однако то, что в небольших дозах является панацеей, при их превышении действует как зло. Целесообразно оценить вклад отдельных факторов во всемирное потепление для выбора правильных ориентиров поведения и исключения непредсказуемых последствий для экономик целых стран.

**Целью** настоящего исследования является оценка глобальных и локальных факторов, которые вызывают изменения эмиссии парниковых газов и изменение температуры околоземного пространства.

### **Основной материал исследования**

Периодические изменения климата зависят от количества тепла, получаемого от Солнца. Последнее изменяется в зависимости от трех периодических процессов, циклов, открытых астрономом Милутином Миланковичем: прецессии земной оси с периодом 25750 лет, нутации земной оси (колебания угла наклона оси к плоскости орбиты) с периодом около 41 тыс. лет и изменения эксцентриситета земной орбиты с периодом около 93 тыс. лет. Указанные циклы имеют длительность целых геологических эпох. На протяжении промежутков времени, близких к нашему, имели место: с 1420 по 1570 год – минимум Сперрера, с 1645 по 1770 год – минимум Маундера и с 1790 по 1830 год – минимум Дальтона.

Кроме гигантских циклов Миланковича климат изменяется за счет 1500-летних циклов, связанных с изменением солнечной активности. Интересно отметить, что несмотря на то, что при повышении и понижении активности Солнца оно выделяет практически одинаковое количество тепла, повышение солнечной активности приводит к потеплению, а понижение – к похолоданию. Объяснение этому дал в 1991 году датский ученый Фрис-Кристенсен. При спокойном Солнце космические лучи проникают глубоко в атмосферу и ионизируют капельки воды, что способствует образованию облаков и интенсифицирует отражение солнечных лучей. При активном Солнце заряженные потоки его частиц имеют высокую активность, образуется «солнечный ветер», который отклоняет космические лучи. В результате уменьшается облачность и происходит потепление [2].

Обычно климатологи приводят данные по температуре и содержанию диоксида углерода, полученные из кернов льда на станции «Восток» в Антарктиде. Изменение концентрации диоксида углерода составляет 3,42 % на 1 °С. По взаимодополняющим данным 100 % изменения концентрации CO<sub>2</sub> обеспечивается при повышении температуры воды на 21, 8 °С или 0,218 %. Последние данные указывают на очень высокую чувствительность системы H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub> к изменению температуры. Обработка автором данных, полученных на арктической станции «Восток», показала высокую степень корреляции ( $R^2 = 0,98$ ) между приростом температуры « $\Delta t$ » и равновесным содержанием диоксида углерода «CO<sub>2</sub>» в воздухе. Указанное равновесие описывается следующим уравнением:

$$\text{CO}_2 = \exp \left[ 5,104 \cdot (\Delta t + 10)^{0,041} \right], \text{ ppm, мл/м}^3.$$

Для теоретических и практических оценок важно, что является причиной, а что следствием – увеличение концентрации CO<sub>2</sub> вызывает усиление парникового эффекта и, соответственно, повышение температуры, или повышение температуры обеспечивает дегазацию океана и обуславливает увеличение концентрации CO<sub>2</sub> и повышение влажности атмосферы.

Большинство эффектов, изменений в природных системах не вызывают пропорциональные изменения климата. Так, например, эффект альbedo ледяного покрова. При увеличении температуры лед и снег начинают таять вблизи полюсов. Происходит замена среды с высоким альbedo (80–90 %) на среду с меньшей отражающей способностью (воду ~ 70 %)

или землю (~ 35 %). Появляется известный эффект появления пятен асфальта на тротуаре или нанесения на тротуар, покрытый снегом, частичек золы. Уменьшение отражения солнечной радиации приводит к увеличению количества тепла, поглощаемого поверхностью Земли. Более отдаленной и более опасной перспективой является нарушение режима теплового переноса от экватора к полюсам, снижение КПД так называемых тепловых машин погоды.

Следующий эффект – действие паров воды. Более нагретый воздух содержит больше паров воды, что увеличивает давление насыщенных ее паров. Это увеличивает количество облаков и их альbedo, однако это создает также дополнительный парниковый эффект за счет задержки инфракрасного излучения от поверхности Земли. При снижении температуры атмосферы с 15 °С до 1 °С равновесное давление паров воды уменьшается на 6 %, а при увеличении температуры на 1 °С указанное давление увеличится на 7 %. Эта неравновесность является основанием того, что климатологи полагают: пары воды являются положительной обратной связью для поддержки температуры (кроме известного эффекта переноса тепла). Если каким-либо образом удалить пары воды из атмосферы, их масса снова восстановится на протяжении нескольких недель [3].

Исследования, выполненные спутниками, и фотографии космонавтов показывают, что около 67 % поверхности планеты постоянно покрыты облаками. Таким образом, высокое альbedo поверхности облаков существенно снижает солнечную радиацию. Ионизация капелек влаги Фрис-Кристенсену позволяет регулировать облачность и, соответственно, количество тепла, приходящего на Землю [4]. Следовательно, эффективным методом регулирования климата является влияние на облачность в околоземном пространстве.

Углекислый газ растворяется в морской и океанской воде, в соответствии с законом Генри, в основном вблизи полюсов и удаляется из воды вблизи экватора. Ежегодно примерно 88 млрд тонн углерода освобождается с поверхности океана и 90 млрд тонн поглощается. Общий баланс по углекислому газу оценивается как поглощение 2 млрд тонн CO<sub>2</sub> ежегодно.

Однако следует учесть временной интервал между поглощением и выделением CO<sub>2</sub>. В настоящее время в широтах, близких к экватору, выделяется тот CO<sub>2</sub>, который был поглощен несколько сот лет назад в высоких широтах (на полюсах).

Действие отдельных газов в проявлении парникового эффекта не отличается аддитивностью. Вклад отдельных веществ может быть оценен по компьютерной модели изменения абсорбции инфракрасных лучей при предположении, что один из газов удален, а другие при этом остались в неизменном состоянии. Эти данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Вклад отдельных составляющих в парниковый эффект [5]

Компоненты возможного удаления	Процент снижения абсорбции инфракрасного излучения, %	Удаленная составляющая	Процент снижения абсорбции инфракрасного излучения, %
Без удаления компонентов	0	Озон	3
Пары воды	36	Все, кроме озона	93
Все, кроме паров воды	34	Другие парниковые газы	2
CO <sub>2</sub>	9	Облака	16
Все, за исключением CO <sub>2</sub>	74	Все, за исключением паров воды + облака	15
Пары воды и CO <sub>2</sub>	53	Все	100

Изменение влияния отдельных газов можно оценить следующим образом. Если удалить весь CO<sub>2</sub> из атмосферы, абсорбция инфракрасного излучения (ИКИ) уменьшится на

9 %, а если удалить все парниковые газы за исключением  $\text{CO}_2$ , то ИКИ уменьшится на 74 %. Эффект присутствия  $\text{CO}_2$  может быть оценен от 9 до 26 %. При оценке вклада паров воды получаем два значения – 36 % и 66 %. Таким образом, вклад паров воды в парниковый эффект более ощутимый от  $36/9 = 4$  до  $66/26 = 2,5$  раза. А если оценивать и вклад облачности, то это влияние еще более усиливается.

Существует мнение, что использование генерации электрической энергии на атомных электростанциях уменьшает эмиссию парниковых газов. Однако, учитывая более низкий КПД атомных энергоблоков и то, что в конечном итоге эмиссия паров воды связана с отбором тепла в конденсаторах турбин и его рассеиванием в виде паров из градирен, атомные энергоблоки являются большими генераторами парниковых газов по сравнению с угольными.

Ежегодно на планете сжигается примерно 9 млрд тонн ископаемого топлива. В результате окисления углерода в атмосферу поступает примерно 24,75 млрд тонн углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Кроме этого, в результате горения лесных массивов в атмосферу поступает еще 1,7 млрд тонн  $\text{CO}_2$ . Концентрация углекислого газа в начале 20 века составила 0,029 %, а уже к концу этого века она повысилась до 0,035 % и в настоящее время составляет примерно 0,04 %. На рисунке 2 показана скорость изменения концентрации  $\text{CO}_2$  за последние годы, согласно обработанным автором данной работы результатам измерений, выполненных американской обсерваторией Мауна Лоа [6].

Прирост концентрации  $\text{CO}_2$  – « $\Delta\text{CO}_2$ » в зависимости от времени « $\Delta\tau$ », начиная с 1960 г. описывается зависимостью

$$\Delta\text{CO}_2 = 0,325 \cdot \Delta\tau^{1,38},$$

а уровень концентрации  $\text{CO}_2$

$$\text{CO}_2 = 317 + 0,325(\tau - 1960)^{1,38}.$$

Если скорость изменения концентрации  $\text{CO}_2$  сохраняется, можно ожидать повышения концентрации  $\text{CO}_2$  в 2050 г. до уровня 479 ppm, а до конца нынешнего века до 615 ppm.

В ряде зарубежных источников [7, 8] отмечается, что дегазация океана является основным источником повышения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. На рисунке 1 зафиксированы данные регистрации изменений концентрации  $\text{CO}_2$  и температуры за недавнее время (рисунок 1).

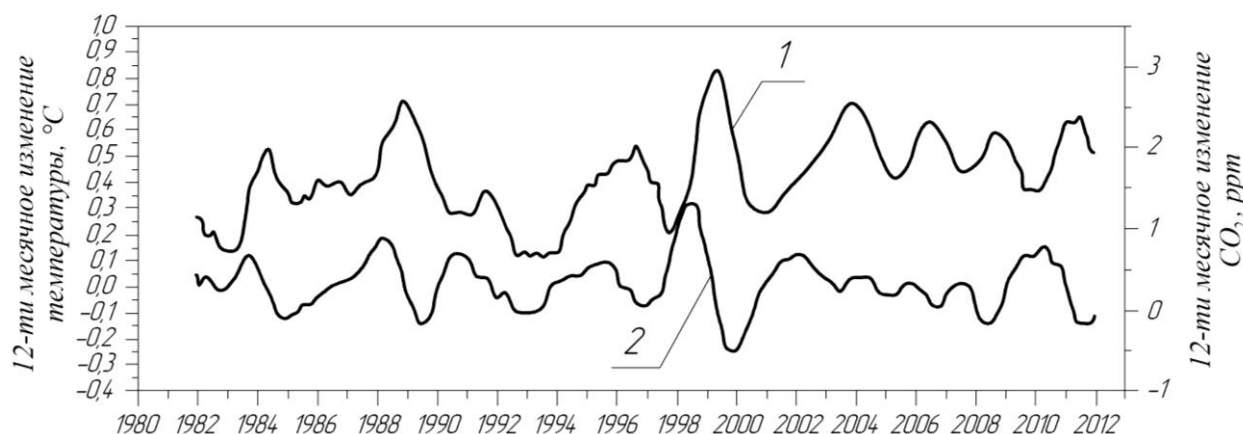


Рисунок 1 – Изменение концентрации  $\text{CO}_2$  и температуры за последние 32 года  
1 – изменение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере;  
2 – изменение температуры морской воды

Из приведенных данных видно, что именно увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  следует за повышением температуры, а не наоборот.

Изменение равновесной концентрации углекислого газа в зависимости от температуры воды описывается с высокой степенью корреляции ( $R^2 > 0,99$ ) зависимостью

$$CO_2 = 3,5 \cdot 10^{-5} \exp(2,49 \cdot 10^3 / T), \%$$

показанной на рисунке 2.

Повышение температуры приводит также к потенциальному «закислению» океанской воды и снижению ее поглотительной способности по отношению к  $CO_2$ . Несмотря на то, что океанская вода представляет собой буферную систему, с течением времени произойдет исчерпание ее емкости поглощения по углекислому газу за счет снижения щелочности и повышения активности водородных ионов. Это приведет к закислению воды и исчезновению некоторых видов гидробионтов. Произойдет перераспределение  $CO_2$  между океаном и атмосферой. В настоящее время количество  $CO_2$  в океане примерно в 500 раз больше количества в атмосфере. Это соотношение будет постепенно снижаться.

Постепенное закисление океанской воды подтверждено биологами из Чикагского университета. На основе анализа раковин мидий, живших 1000–2400 лет назад и собранных в 1960–1970 годы, обнаружено, что 1000 лет назад раковины были на 27 процентов толще. После 70-х годов прошлого века истончение раковин идет все быстрее. Данные подтверждены британскими учеными, которые провели исследование при выращивании мидий в 4-х цистернах с повышающимся уровнем кислотности среды. При увеличении кислотности снижается уровень гидрокарбонатов. При снижении последних внешний слой раковин мидий, состоящий из кальцита, более жесткий и ломкий, а внутренний слой, состоящий из арагонита, становится более мягким.

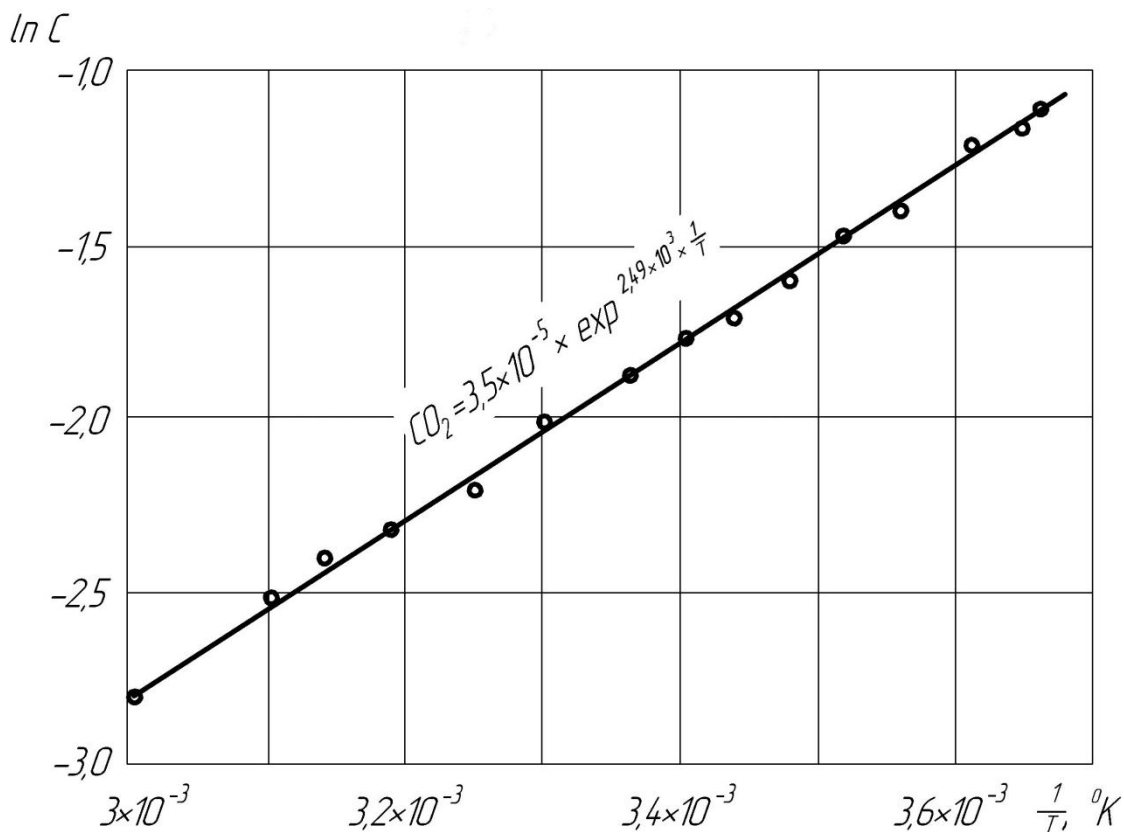


Рисунок 2 – Изменение равновесной концентрации  $CO_2$  в растворе в зависимости от абсолютной температуры

Повышение кислотности приводит к уменьшению поглощения углекислого газа и снижению емкости океанской воды по углекислому газу. Соотношение количества угле-

кислого газа между океанской водой и атмосферой, близкое к 500, быстро снижается в сторону увеличения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

Для определения влияния щелочности и pH воды на степень поглощения  $\text{CO}_2$  автором обработаны данные французских исследователей [9, 10].

Равновесное содержание  $\text{CO}_2$  и поступление его в атмосферу зависит от pH воды, являющейся функцией активности водородных ионов и щелочности воды. Представляет интерес количественная оценка влияния указанных факторов. На рисунке 3 приведены данные влияния pH воды на равновесное содержание  $\text{CO}_2$ , полученные нами в результате обработки экспериментальных данных.

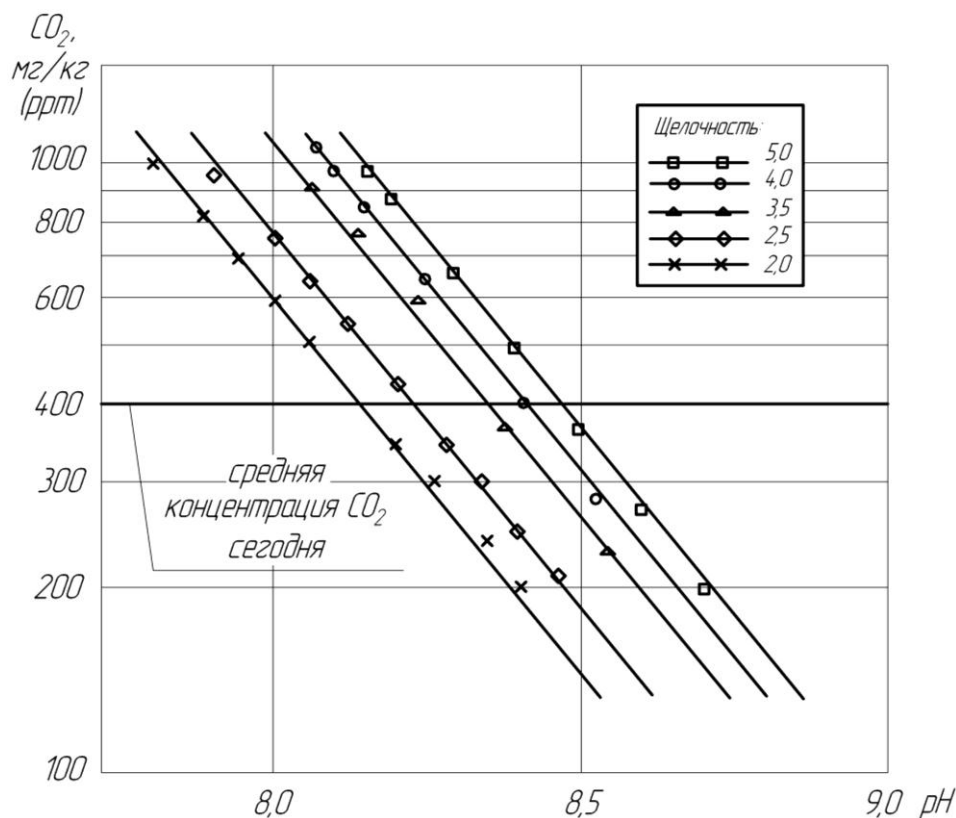


Рисунок 3 – Зависимость равновесного содержания углекислого газа при изменении щелочности воды и pH

$$\text{щ} = 5,0: \text{CO}_2 = 1,44 \cdot 10^{13} \exp(-2,87\text{pH}) \text{ моль/дм}^3; (R^2 = 0,96);$$

$$\text{щ} = 4,0: \text{CO}_2 = 1,19 \cdot 10^{13} \exp(-2,87\text{pH}) \text{ моль/дм}^3; (R^2 = 0,9673);$$

$$\text{щ} = 3,5: \text{CO}_2 = 1,016 \cdot 10^{13} \exp(-2,87\text{pH}) \text{ моль/дм}^3; (R^2 = 0,9645);$$

$$\text{щ} = 2,5: \text{CO}_2 = 7,25 \cdot 10^{12} \exp(-2,87\text{pH}) \text{ моль/дм}^3; (R^2 = 0,97);$$

$$\text{щ} = 2,0: \text{CO}_2 = 5,86 \cdot 10^{12} \exp(-2,87\text{pH}) \text{ моль/дм}^3; (R^2 = 0,97)$$

Зависимость равновесного содержания  $\text{CO}_2$  от pH и щелочности воды представлена на рисунке 4.

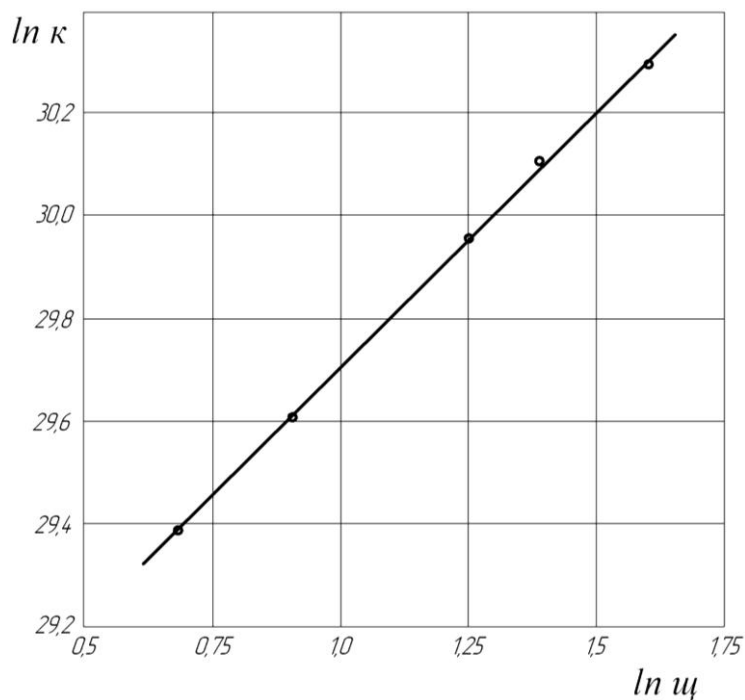


Рисунок 4 – Зависимость предэкспоненциального множителя от щелочности

Зависимость равновесного содержания  $\text{CO}_2$  от pH и щелочности воды описывается уравнением, полученным при обработке данных работы [5].

$$\text{CO}_2 = 2,91 \cdot 10^{12} \cdot \text{Щ} \cdot \exp(-2,7 \text{ pH}),$$

$$\text{CO}_2 = 2,91 \cdot 10^{12} \cdot \text{Щ} \cdot a_{\text{H}}^{1,25}.$$

Из приведенных формул следует, что эмиссия  $\text{CO}_2$  зависит не столько от антропогенной деятельности, сколько от природных факторов: температуры околоземного пространства и температуры, pH и щелочности океанской воды.

### **Выводы**

1. Анализ кернов льда в Антарктиде показывает, что климат на Земле изменяется с периодичностью примерно в 100 тыс. лет. При этом вклад антропогенных факторов в изменение климата не превышает 10 %.
2. Основным источником поступления углекислого газа в атмосферу является океан. Циклы повышения концентрации углекислого газа следуют за циклами изменения температуры, что вызывает дегазацию океана.
3. Анализ изменения концентрации углекислого газа за последние 50 лет показывает, что к 2050 г. содержание углекислого газа повысится до 479 ppm, а до конца нынешнего века – до 615 ppm.
4. Повышение температуры приведет к постепенному снижению гидрокарбонатной щелочности воды и исчерпанию запасов углекислого газа в океане. Это приведет к постепенному снижению концентрации углекислого газа в атмосфере, уменьшению околоземной температуры и значительному изменению функционирования биологических систем.

### **Список литературы**

1. Farley, John W. The Scientific Case for Modern Anthropogenic Global Warming / John W. Farley // Monthly Review. – 2008. – Vol. 60, № 3.
2. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс] / T. F. Stocker [et al.] / IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). – Cambridge, United Kingdom ; New York, NY, USA : Cambridge University Press. – Режим доступа : [http://www.climatechange2013.org/images/report/WGIAR5\\_TS\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WGIAR5_TS_FINAL.pdf) .
3. Spatial and Temporal Distribution of Clouds Observed by MODIS Onboard the Terra and Aqua Satellites / M. D. King [et al.] // IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. – 2013, 28 January.– Vol. 51. – P. 3826–3852.
  4. Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica / J. R. Petit [et al.] // Nature. – 1999, 3 June. – Vol. 399. – P. 429–436. – doi: 10.1038/20859.
  5. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon [et al.] / IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). – Cambridge, United Kingdom ; New York, NY, USA : Cambridge University Press. – 996 p.
  6. Мировой центр данных по парниковым газам, Японское метеорологическое агентство, Токио [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/> .
  7. 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. – P. 4021–4030.
  8. Barnett, T. P. Potential Impacts of a Warming Climate on Water Availability in Snow-Dominated Regions / T. P. Barnett, J. C. Adam, D. P. Lettemaier // Nature. – 2005. – Vol. 438. – P. 303–309.
  9. Quantifying Uncertainties in Climate System Properties with the Use of Recent Climate Observation / C. E. Forest [et al.] // Science. – 2002. – Vol. 295. – P. 113–117.
  10. Jansen, J. C. Designing Indicators of Long-Term Energy Supply Security / J. C. Jansen, W. G. van Arkel, M. G. Boots // Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). – 2004. – p. 35.

**С.П. Высоцкий**

*Автомобильно-дорожный институт*

*ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка*

**Риски глобального изменения климата**

На основании анализа потоков энергии от Солнца и влияния парниковых газов на изменение климата показано, что основной причиной потепления являются глобальные процессы, открытые астрономом Миланковичем, а также процессы, связанные с изменением солнечной активности.

Прослеживается высокая степень корреляции содержания угольной кислоты в атмосфере в зависимости от температуры. Приведены аналитические зависимости равновесного содержания угольной кислоты в атмосфере в зависимости от времени, что позволяет прогнозировать изменения ее концентрации на ближайшую перспективу.

Компьютерные модели влияния отдельных газов на парниковый эффект показывают, что влияние паров воды в 2,5–4 раза превышает влияние угольной кислоты. Таким образом, любые теплогенерирующие установки, использующие воду в качестве теплоносителя, являются генераторами парниковых газов. Атомные энергетические установки, несмотря на то, что они не являются источником эмиссии углекислого газа, влияют в большей степени на парниковый эффект чем традиционные тепловые электростанции.

Проанализировано влияние рН и щелочности океанской воды на содержание угольной кислоты в атмосфере. В настоящее время концентрация угольной кислоты в океанской воде примерно в 500 раз превышает ее содержание в атмосфере. Глобальное повышение температуры в околоземном пространстве приведет к постепенному закислению океанской воды, исчерпанию ее емкости по угольной кислоте, изменению глобальных потоков паров воды и угольной кислоты и, как следствие, нарушению работы тепловых машин погоды. Это приведет к непредсказуемым последствиям.

Сохранение климата на планете Земля является глобальной задачей не только для климатологов, но и для ученых многих отраслей знаний. По мнению автора одним из перспективных направлений является корректировка тепловых потоков за счет увеличения альбеда Земли путем создания искусственной облачности.

**КЛИМАТ, ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ, ДИОКСИД УГЛЕРОДА, ПАРЫ ВОДЫ, ЗАКИСЛЕНИЕ ВОДЫ**



*S.P. Vysotskiy*  
*Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Risks of Global Climate Fluctuation**

Based on the analysis of the Sun energy flux and greenhouse gases impact on the climate fluctuation it is shown that the main cause of warming is global processes invented by the astronomer Milankovich and processes connected with solar activity change.

High degree of the carbonic acid content correlation in the atmosphere depending on temperature is observed. Analytical dependences of the equilibrium carbonic acid content in the atmosphere depending on temperature are given. It allows to predict its content change in the near future.

Computer models of certain gases impact on the greenhouse effect show that water vapour impact exceeds carbonic acid impact in 2,5–4 times. Therefore, any heat-generating plants using water as heat carrier are generators of greenhouse gases. Atomic power plants although they are not sources of carbon dioxide emission influence on the greenhouse effect more than ordinary thermal power stations.

The impact of pH and ocean water alkalinity on the carbonic acid impact in the atmosphere is analyzed. Now carbonic acid content in ocean water approximately in 500 times exceeds its content in the atmosphere. Global temperature rise in circumterrestrial space will lead to gradual acidulation of ocean water, exhaustion of its capacity on the carbonic acid, change of global water vapour and carbonic acid flow and consequently to the work violation of heating weather machines. It will lead to unforeseeable consequences.

Climate protection on the planet Earth is the global task not only for climatologists but also for scientists of various branches. According to the author, one of the perspective directions is heat flux correction at the expense of earth albedo increase by creating artificial cloudiness.

CLIMATE, GREENHOUSE EFFECT, CARBON DIOXIDE, WATER VAPOUR, WATER ACIDULATION

**Сведения об авторе**

**С.П. Высоккий**

SPIN-код: 7497-0100  
SCOPUS ORCID ID: 0000-0002-2988-7245  
Телефон: 0506498436  
Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

*Статья поступила 24.10.2016*

© С.П. Высоккий, 2016

*Рецензент А.П. Карпинец, канд. хим. наук, доц. АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»*