

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.57>

## СРАВНЕНИЕ СКОРОСТЕЙ РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ФОТОНАМИ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА И УТИЛИЗАЦИИ ЕГО РАСТЕНИЯМИ

Научная статья

Щеклеин С.Е.<sup>1,\*</sup>, Красноперова А.С.<sup>2</sup>, Дубинин А.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-2140-0321;

<sup>1,2,3</sup> Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (s.e.shcheklein[at]urfu.ru)

### Аннотация

Исследовано два процесса естественного поглощения углекислого газа.

Первый – разложение углекислого газа фотонами солнечных лучей. Время разложения 1 мг углекислого газа равного 17,7 суткам. Во втором процессе – поглощение 1 мг углекислого газа растениями проходит за 10,5 суток.

Проведены эксперименты с углекислым газом, растворенным в воде. Масса углекислого газа 84,5 мг в 0,05 л воды. В качестве катализатора использован хлорофилл, в качестве света – лампа накаливания мощностью 100 Вт с отражателем. Расчетное время для завершения реакции – 227 суток. После выпаривания раствора получены кристаллы углерода. Сделан вывод о медленном процессе переработки углекислого газа из атмосферы фотосинтезом. Следует разрабатывать более эффективные способы борьбы с накоплением парникового углекислого газа в земной атмосфере.

**Ключевые слова:** фотон, углекислый газ, фотосинтез, планета Земля.

## A COMPARISON OF DECOMPOSITION RATES OF CARBON DIOXIDE FROM THE EARTH'S ATMOSPHERE BY PHOTONS OF SUNLIGHT AND ITS UTILIZATION BY PLANTS

Research article

Shcheklein S.Y.<sup>1,\*</sup>, Krasnoperova A.S.<sup>2</sup>, Dubinin A.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-2140-0321;

<sup>1,2,3</sup> Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

\* Corresponding author (s.e.shcheklein[at]urfu.ru)

### Abstract

Two processes of natural absorption of carbon dioxide were researched.

The first is the decomposition of carbon dioxide by photons of sunlight. Time of decomposition of 1 mg of carbon dioxide equals 17.7 days. In the second process – the absorption of 1 mg of carbon dioxide by plants takes 10.5 days.

Experiments were performed with carbon dioxide dissolved in water. The mass of carbon dioxide is 84.5 mg in 0.05 l of water. Chlorophyll was used as a catalyst, a 100 W incandescent lamp with a reflector was used as light. The estimated time to complete the reaction was 227 days. After evaporation of the solution, carbon crystals were obtained. It is concluded that the process of recycling carbon dioxide from the atmosphere by photosynthesis is slow. It is necessary to develop more effective ways to combat the increase of greenhouse carbon dioxide in the Earth's atmosphere.

**Keywords:** photon, carbon dioxide, photosynthesis, planet Earth.

### Введение

С целью удержать прирост средней температуры на планете Земля ниже двух градусов из-за накопления углекислого газа в атмосфере, заключено в 2015 году Парижское соглашение. В него входят 159 стран мира.

Разрабатываются меры по снижению выбросов парниковых газов, способы утилизации вторичных энергоресурсов для выработки электроэнергии с целью уменьшения традиционных методов производства электроэнергии [1].

Рассматриваются возможные области применения углекислого газа в качестве рабочего тела для тепловых двигателей [2].

Однако мало уделяется внимания естественному процессу утилизации углекислого газа из атмосферы Земли под действием световой энергии – фотосинтеза. Совсем не уделяется внимание другому 3-х атомному газу – воде [3]. При сжигании углеводородного топлива вода образуется в газообразной форме, причем воды образуется больше, чем углекислого газа. Данная работа посвящена процессу утилизации только углекислого газа. Схемы разложения (поглощения) углекислого газа этими процессами приведены на рисунке 1.

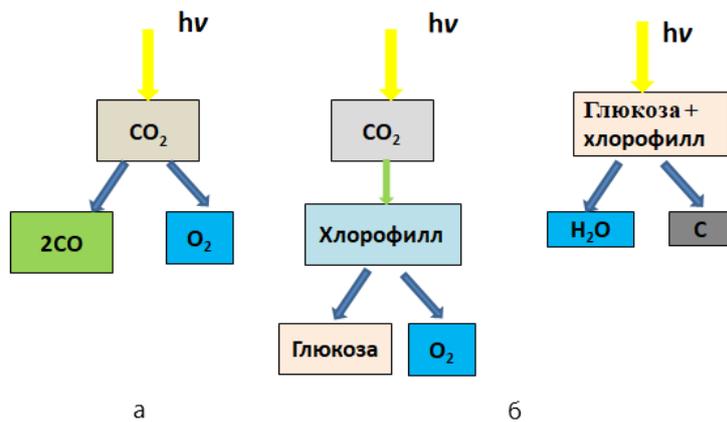


Рисунок 1 - Схема разложения поглощения углекислого газа фотонами солнечного света (а) и поглощения его биосферой (б)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.57.1>

### Моделирование разложения углекислого газа под действием солнечного света

Разложение происходит по реакции [4].



Теплота, необходимая для осуществления реакции 1 [5]

$$\Delta H = 2\Delta H_{CO} - 2\Delta H_{CO_2} = 2[(-110, 59) - (-393, 8)] \cdot 10^3 = 566, 4 \cdot 10^3 \text{ кДж} \quad (2)$$

где  $\Delta H_i$ ; кДж/кмоль – теплота образования  $i$ -го вещества [6]. Реакция эндотермическая. В расчете на 1 мг  $CO_2$  теплота реакции (1)

$$\Delta H^* = \frac{\Delta H}{2 \cdot \mu_{CO_2}} = 566, 4 \cdot \frac{10^6}{2 \cdot 44 \cdot 10^6} = 6, 436 \text{ Дж/мг}CO_2 \quad (3)$$

Энергия 1 фотона [4, С. 698]

$$E = h \cdot \nu, \text{ Дж} \quad (4)$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ , Дж·с – постоянная Планка;

$\nu = c/\lambda$ , частота колебаний световой волны, Гц;

$c = 3 \cdot 10^8$ , м/с – скорость света в вакууме;

$\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \div 8 \cdot 10^{-7}$ , м-длина волны света с поверхности Солнца [3].

$$\nu = 3 \cdot \frac{10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 0, 6 \cdot 10^{15}, \text{ Гц} \quad (5)$$

Энергия Фотона

$$E = 6, 63 \cdot 10^{-34} \cdot 0, 6 \cdot 10^{15} = 3, 978 \cdot 10^{-19}, \text{ Дж} \quad (6)$$

Необходимое количество фотонов для утилизации 1 мг  $CO_2$  по реакции (1). Для этого делим теплоту реакции  $\Delta H$  на энергию фотона  $h\nu$  согласно закону сохранения энергии и степени черноты  $\epsilon$  атмосферы Земли [7, С. 529].

$$z = \frac{\Delta H^*}{h \cdot \nu \cdot \epsilon} = 6, 436 \cdot \frac{1}{3, 978 \cdot 10^{-19} \cdot 0, 0175} = 92, 52 \cdot 10^{19}, \text{ шт} \quad (7)$$

Период времени выхода одного фотона с Солнца [3].

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0, 6 \cdot 10^{15}} = 1, 66 \cdot 10^{-15}, \text{ с} \quad (8)$$

Время, необходимое для осуществления реакции (1) в расчете на 1 мг углекислого газа.

$$\tau = z \cdot T = 92, 52 \cdot 10^{19} \cdot 1, 66 \cdot 10^{-15} = 153 \cdot 10^4 \text{ с} = 425 \text{ ч} = 17, 1 \text{ суток} \quad (9)$$

Итак, для разложения 1 мг углекислого газа фотонами потребуется 17,1 суток. Поскольку плотность углекислого газа больше плотности воздуха в  $\frac{\mu_{CO_2}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{44}{29} = 1, 52$  раза, то углекислый газ в атмосферном воздухе концентрируется около земной поверхности. Концентрация  $CO_2$  в атмосферном воздухе  $0,034\% \div 0,036\% \approx 8,9$ .

### Моделирование процесса превращения $CO_2$ в атмосфере Земли в углерод и кислород в растениях

Основой поглощения углекислого газа растениями является процесс взаимодействия его с водой в присутствии хлорофилла под воздействием фотонов света от Солнца (фотосинтеза).

Реакция фотосинтеза взаимодействия углекислого газа с водой, в присутствии хлорофилла и фотонов солнечного света описывается уравнением реакции [10] с образованием глюкозы и кислорода (вода находится в газообразном состоянии).



где  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  – глюкоза,  $\mu=180$  кг/кмоль. Кислород уходит в атмосферу Земли. Теплота, необходимая для осуществления реакции (10) [5].

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} - 6\Delta H_{\text{CO}_2} - 6\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = -944,92 \cdot 10^3 + 2362,8 \cdot 10^3 + 1452,12 \cdot 10^3 = \\ &= 2870 \cdot 10^3, \text{ кДж} = 2870 \cdot 10^6 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Реакция эндотермическая.

В расчете на 1 мг теплота реакции (10)

$$\Delta H^* = \frac{\Delta H}{6 \cdot \mu_{\text{CO}_2}} = 2870 \cdot 10^6 / (6 \cdot 44 \cdot 10^6) = 10,87 \text{ Дж/мгCO}_2$$

Энергия одного фотона  $h\nu=3,978 \cdot 10^{-19}$ , Дж.

Необходимое количество фотонов для превращения 1 мг  $\text{CO}_2$  по реакции (10) в глюкозу и кислород с учетом степени черноты  $\epsilon=0,05$  [6, С. 530].

$$Z = \frac{\Delta H^*}{h\nu \cdot \epsilon} = 10,87 \cdot \frac{1}{3,978 \cdot 10^{-19} \cdot 0,05} = 54,65 \cdot 10^{19}, \text{ шт}$$

Период времени выхода одного фотона, см (8).

$$T = 1,66 \cdot 10^{-15}, \text{ с}$$

Время, необходимое для превращения 1 мг  $\text{CO}_2$  по реакции (10) в глюкозу.

$$\tau = Z \cdot T = 54,65 \cdot 10^{19} \cdot 1,66 \cdot 10^{-15} = 90,7 \cdot 10^4 \text{ с} = 252 \text{ ч} = 10,5 \text{ суток}$$

Таким образом, при разложении 1 мг  $\text{CO}_2$  по реакции (10) потребуется 10,5 суток.

Далее следует разложить глюкозу  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  на углерод и воду, так же в присутствии хлорофилла и света по реакции (11). Тепловой эффект зависит лишь от начального и конечного состояний системы и не зависит от пути процесса, который пока не известен.



Образовавшийся углерод используется растениями для создания тела древесины, а кислород, образовавшийся по реакции (10) поступает в атмосферу Земли. Вода находится в газообразном состоянии.

Тепловой эффект экзотермической реакции (11).

$$\Delta H = 6 \cdot \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 6 \cdot (-242,02 \cdot 10^3) - (-944,92 \cdot 10^3) = -507,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

В расчете на 1 мг исходного тепловой эффект реакции (11)

$$\Delta H^* = \frac{\Delta H}{2 \mu_{\text{CO}_2}} = \frac{507,2 \cdot 10^6}{2 \cdot 44 \cdot 10^6} = 5,76 \text{ Дж/мгCO}_2$$

Энергия фотона  $E = 3,978 \cdot 10^{-19}$ , Дж, см (6).

Необходимое количество фотонов для осуществления реакции (11) в расчете на 1 мг  $\text{CO}_2$  с учетом степени черноты атмосферы  $\epsilon=0,05$  [10, С. 530].

$$Z = \frac{\Delta H^*}{h\nu \cdot \epsilon} = \frac{5,76}{3,978 \cdot 10^{-19} \cdot 0,05} = 28,8 \cdot 10^{19}, \text{ шт.}$$

Период времени выхода одного фотона, см. (8).

$$T = 1,66 \cdot 10^{-15} \text{ с.}$$

Время распада 1 мг глюкозы по реакции (11) на углерод и воду.

$$\tau = Z \cdot T = 28,8 \cdot 10^{19} \cdot 1,66 \cdot 10^{-15} = 47,8 \cdot 10^4 \text{ с} = 132 \text{ часа} = 5,53 \text{ суток}$$

Реакция (11) следует за реакцией (10). Лимитирует процесс реакция (10), время которой равно 10,5 суток.

**Экспериментальные исследования влияния фотосинтеза на превращение углекислого газа в кислород и углерод в растениях**

Известно, что в воде мирового океана присутствует морская соль в разных количествах и разного состава, растворенные газы – сероводород и другие вещества. В речной воде растворены соли Са и Mg.

Опыты проводились в колбе из кварцевого стекла объемом 75 мл. Массы загружаемых в колбу воды и хлорофилла измерялись электронными весами ВЛТЭ-150 с погрешностью 0,001 г. Для выпаривания раствора после завершения реакции использовалась электрическая печь СНОЛ-1,6.1,51/3,5-И9. Использовалась вода, насыщенная углекислым газом. Колба с жидкостью облучалась светом от электрической лампы мощностью 100 Вт с отражателем-концентратором света. При обработке результатов опытов учитывалась степень черноты системы.

При нормальных условиях в 1 л воды растворяется 1689 мг  $\text{CO}_2$  при 20°C и 1 атм [11]

Для эксперимента использовалась 0,05 л. воды, в которой растворено

$$g_{\text{CO}_2} = 1689 \cdot 0,05 = 84,5 \text{ мг } \text{CO}_2.$$

Добавляем 0,01 г хлорофилла. Направляем свет от электрической лампы на колбу.

Образуется глюкоза по реакции (10). Масса образовавшейся глюкозы

$$M_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = g_{\text{CO}_2} \cdot \frac{\mu_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}}{6 \cdot \mu_{\text{CO}_2}} = 84,5 \cdot \frac{180}{6 \cdot 44} = 57,6 \text{ мг}$$

Теплота для осуществления реакции (10), когда вода находится в жидком состоянии.

$$\Delta H = \Delta H_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} - \Delta H_{\text{CO}_2} - \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = \\ = -944,22 \cdot 10^3 - 6(-393,8 \cdot 10^3) - 6(-286,2 \cdot 10^3) = 3135,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

где  $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}$  - для воды в жидком состоянии.

В расчете на 1 мг  $\text{CO}_2$  теплота реакции (10)

$$\Delta H^* = \Delta H / (6 \cdot \mu_{\text{CO}_2}) = 3135,3 \cdot 10^6 / (6 \cdot 44 \cdot 10^6) = 11,8 \text{ Дж/мг } \text{CO}_2$$

Необходимая теплота реакции на 1 мг  $\text{CO}_2$

$$\Delta H = \Delta H^* \cdot g_{\text{CO}_2} = 11,8 \cdot 84,5 = 997,1 \text{ Дж}$$

Теплота для осуществления реакции (11), когда вода находится в жидком состоянии.

$$\Delta H = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 6(-286,2 \cdot 10^3) - (-944,22 \cdot 10^3) = 772,28 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

В расчете на 1 мг  $\text{CO}_2$  теплота реакции (11)

$$\Delta H^* = \Delta H / (2 \cdot \mu_{\text{CO}_2}) = 772,28 \cdot 10^6 / (2 \cdot 44 \cdot 10^6) = 8,78 \text{ Дж/мг } \text{CO}_2$$

Необходимая теплота реакции (11)

$$\Delta H = \Delta H^* \cdot g_{\text{CO}_2} = 8,78 \cdot 84,5 = 741,9 \text{ Дж}$$

Где  $g_{\text{CO}_2} = 84,5$  мг – масса  $\text{CO}_2$ , растворенного в 0,05 л воды.

Необходимое количество фотонов для осуществления реакции (10)

$$z = \frac{\Delta H}{h\nu\varepsilon_p} = \frac{741,9}{3,9 \cdot 10^{-19} \cdot 0,16} = 1188 \cdot 10^{19}, \text{ шт.}$$

Где  $\varepsilon_p$  – результирующая степень черноты системы [11, С. 407].

$$\varepsilon_p = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_b} + \frac{1}{\varepsilon_x}} = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,3} + \frac{1}{0,25}} = 0,16$$

где  $\varepsilon_c = 0,9$  - степень черноты стекла [13, С. 407],  $\varepsilon_b = 0,3$  – степень черноты воды [12, С. 463],  $\varepsilon_x = 0,25$  – степень черноты хлорофилла.

Время для осуществления реакции (10).

$$\tau = Z \cdot T = 1188 \cdot 10^{19} \cdot 1,66 \cdot 10^{-15} = 1902 \cdot 10^4, \text{ с} = 5288 \text{ ч} = 220 \text{ суток}$$

Необходимая теплота для осуществления реакции (11).

$$\Delta H = \Delta H^* \cdot g_{\text{CO}_2} = 8,78 \cdot 84,5 = 742, \text{ Дж}$$

Необходимое количество фотонов для разложения 1 мг глюкозы по реакции (11) под действием фотонов (фотосинтеза) с учетом степени черноты  $\varepsilon_p = 0,16$ .

$$Z = \frac{\Delta H}{h\nu \cdot \varepsilon_p} = \frac{742}{3,978 \cdot 10^{-19} \cdot 0,16} = 1165 \cdot 10^{19}, \text{ шт.}$$

Время, необходимое для разложения глюкозы по реакции (11).

$$\tau = Z \cdot T = 1165 \cdot 10^{19} \cdot 1,66 \cdot 10^{-15} = 1935 \cdot 10^4 \text{ с} = 5376 \text{ ч} = 224 \text{ суток}$$

Необходимое время выдержано в эксперименте. Колба помещалась в печь. После выпаривания на дне сосуда появляются хлопья углерода. Масса углерода.

$$M_c = M_{C_6H_{12}O_6} \cdot 6 \cdot \frac{\mu_c}{\mu_{C_6H_{12}O_6}} = 57,6 \cdot 6 \cdot \frac{12}{180} = 23 \text{ мг.}$$

На рисунке 2 представлена фотография результатов преобразования углекислого газа в твердый углерод в водном растворе с хлорофиллом.

Масса углерода определена по разности массы колбы после выпаривания и чистой колбы, замеренной до эксперимента и равна 25,5 мг, в том числе 2,5 мг минеральная составляющая.

На относительную ошибку эксперимента по определению массы образовавшегося углерода, оказывает определение массы  $g_{CO_2}$  в растворе. Погрешность эксперимента рассчитывается по методике, изложенной в работе [14].

Абсолютная погрешность результата косвенных измерений для функции нескольких переменных  $\Delta Z = F(a, b, \dots)$  определяется из выражения

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2 + \dots}$$

Относительная погрешность, %

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta Z}{\bar{Z}} \cdot 100$$

где  $\bar{Z}$  - среднее значение результата косвенных измерений  $M_c = 23$  мг.

Пусть  $\Delta$  - величина абсолютной погрешности измерения массы  $CO_2$  в растворе

$\Delta a = \Delta g_{CO_2} = 2$  мг.

Масса углерода

$$f = M_c = M_{C_6H_{12}O_6} \cdot 6 \cdot \frac{\mu_c}{\mu_{C_6H_{12}O_6}} = g_{CO_2} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_{CO_2}}$$

где  $M_{C_6H_{12}O_6}$  - масса глюкозы.

$$\frac{\partial f}{\partial g_{CO_2}} = \frac{\mu_c}{\mu_{CO_2}}$$

$$\Delta Z = \sqrt{\frac{\mu_c}{\mu_{CO_2}} (2)^2} = \sqrt{\left(\frac{12}{44}\right)^2 (2)^2} = 0,545.$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta Z}{\bar{Z}} \cdot 100 = (0,545/23) \cdot 100 = 2,4 \%$$

Доверительный интервал массы углерода  $23 \pm 0,024$  мг.



Рисунок 2 - Фото кристаллов углерода  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.57.2>

Под микроскопом видны кристаллы углерода.

### Заключение

1. Моделирование показало: время разложения 1 мг углекислого газа из атмосферы Земли фотонами солнечных лучей равно 17,1 суток; время поглощения 1 мг углекислого газа из атмосферы Земли растениями при помощи фотонов в присутствии хлорофилла составляет 10,5 суток.

2. Эксперименты подтвердили механизм образования глюкозы из углекислого газа и воды и последующим её разложением на углерод и воду. Общее время расходования 84,5 мг углекислого газа под действием фотонов света равно 224 суткам.

3. Процесс поглощения углекислого газа естественным путем из атмосферы очень медленный. Необходимо искать более эффективные пути борьбы с накоплением парниковых газов в атмосфере.

**Финансирование**

Программа развития Уральского федерального университета в рамках Программы «Приоритет-2030»: Номер гранта FEUZ-2022-0031

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Funding**

Ural Federal University Program of Development within the Priority-2030 Program. Grant number FEUZ-2022-0031.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Гафуров А.М. Способ утилизации тепловых вторичных энергоресурсов промышленных предприятий для выработки электроэнергии / А.М. Гафуров, Б.М. Осипов, Н.М. Гафуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2016. — 11-12. — с. 37-43.
2. Гафуров А.М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа / А.М. Гафуров, Б.М. Осипов, Р.З. Гатина [и др.] // Казанский национальный исследовательский технологический университет. — 2017. — Т. 19. — 9-10. — с. 21-31.
3. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлеев. — М.: Наука, 1979. — с. 707.
4. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика / М.Х. Карапетьянц. — М.: Химия, 1975. — с. 230.
5. Карапетьянц М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. — М.: Химия, 1968. — с. 320.
6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. — Новосибирск: Наука, 1970. — с. 529.
7. Туабе П.Р. Химия и микробиология воды / П.Р. Туабе, А.Г. Баранова. — М.: Высшая школа, 1988. — с. 210.
8. Ясников Г.П. Основы экологии / Г.П. Ясников, А.В. Островская, З.Н. Кутиявин [и др.] — Екатеринбург: УГТУ, 1996. — с. 120.
9. Кучменко В.С. Биологи: Краткий справочник школьника: 10-11 классы / В.С. Кучменко, Т.А. Козлова. — М.: Дрофа, 1997. — с. 44.
10. Воронов В.П. Равновесные свойства гидрата двуокиси углерода в пористых средах / В.П. Воронов, Е.Е. Городецкий, А.Р. Муратов [и др.] // Вести газовой науки. — 2014. — Vol. 34. — 2(18). — с. 135-149.
11. Эжерт Э.Р. Теория тепло-и массообмена / Э.Р. Эжерт, Р.М. Дрейк; под ред. А.В. Лыкова. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. — с. 463.
12. Шорин С.Н. Теплопередача / С.Н. Шорин. — М.: Высшая школа, 1964. — с. 407.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Gafurov A.M. Sposob utilizacii teplovyh vtorichnyh jenergoresursov promyshlennyh predpriyatij dlja vyrabotki jelektrojenergii [Method of Utilization of Thermal Secondary Energy Resources of Industrial Enterprises for Electric Power Generation] / A.M. Gafurov, B.M. Osipov, N.M. Gafurov [et al.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki [Proceedings of Higher Educational Institutions. Problems of Power Engineering]. — 2016. — 11-12. — p. 37-43. [in Russian]
2. Gafurov A.M. Vozmozhnye puti snizhenija vybrosov uglekislogo gaza [Possible Ways to Reduce Carbon Dioxide Emissions] / A.M. Gafurov, B.M. Osipov, R.Z. Gatina [et al.] // Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tehnologicheskij universitet [Kazan National Research Technological University]. — 2017. — Vol. 19. — 9-10. — p. 21-31. [in Russian]
3. Javorskij B.M. Spravochnik po fizike dlja inzhenerov i studentov vuzov [Handbook of Physics for Engineers and Students] / B.M. Javorskij, A.A. Detleev. — M.: Nauka, 1979. — p. 707. [in Russian]
4. Karapet'janc M.H. Himicheskaja termodinamika [Chemical Thermodynamics] / M.H. Karapet'janc. — M.: Himija, 1975. — p. 230. [in Russian]
5. Karapet'janc M.H. Osnovnye termodinamicheskie konstant neorganicheskij i organicheskij veshhestv [Basic Thermodynamic Constants of Inorganic and Organic Substances] / M.H. Karapet'janc, M.L. Karapet'janc. — M.: Himija, 1968. — p. 320. [in Russian]
6. Kutateladze S.S. Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of Heat Transfer Theory] / S.S. Kutateladze. — Novosibirsk: Nauka, 1970. — p. 529. [in Russian]
7. Tuabe P.R. Himija i mikrobiologija vody [Chemistry and Microbiology of Water] / P.R. Tuabe, A.G. Baranova. — M.: Vysshaja shkola, 1988. — p. 210. [in Russian]
8. Jasnikov G.P. Osnovy jekologii [Basics of Ecology] / G.P. Jasnikov, A.V. Ostrovskaja, Z.N. Kutjavin [et al.] — Yekaterinburg: USTU, 1996. — p. 120. [in Russian]
9. Kuchmenko V.S. Biologi: Kratkij spravochnik shkol'nika: 10-11 klassy [Biology: A Short Guide for Schoolchildren: Grades 10-11] / V.S. Kuchmenko, T.A. Kozlova. — M.: Drofa, 1997. — p. 44. [in Russian]
10. Voronov V.P. Ravnovesnye svojstva gidrata dnuokisi ugleroda v poristyh sredah [Equilibrium Properties of Carbon Dioxide Hydrate in Porous Media] / V.P. Voronov, E.E. Gorodeckij, A.R. Muratov [et al.] // Vesti gazovoj nauki [News of Gas Science]. — 2014. — Vol. 34. — 2(18). — p. 135-149. [in Russian]

11. Jekert Je.R. Teorija teplo-i massoobmena [Heat and Mass Transfer Theory] / Je.R. Jekert, R.M. Drejk; ed. by A.V. Lykov. — M.-L.: Gosjenergoizdat, 1961. — p. 463. [in Russian]
12. Shorin S.N. Teploperedacha [Heat Transfer] / S.N. Shorin. — M.: Vysshaja shkola, 1964. — p. 407. [in Russian]