

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.40.41.006

УДК 551.583; 504.05

© О.В. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, Е.В. Лукина, 2021

**О.В. ТАЙЛАКОВ**

д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru



**Д.Н. ЗАСТРЕЛОВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

**Е.В. ЛУКИНА**

старший инженер  
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

## УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Рассмотрены методы количественного определения углеродного следа производимой продукции угледобывающего предприятия. Представлены результаты оценки эмиссии парниковых газов при добыче угля подземным способом. Приведены рекомендации для снижения углеродного следа при угледобыче.*

Ключевые слова: УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД, ПАРНИКОВЫЙ ГАЗ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА.

Одной из ключевых экологических проблем является негативное воздействие на окружающую среду парниковых газов, присутствие которых в атмосфере ведет к удержанию части теплового излучения от земной поверхности в приземных воздушных слоях. Следствием повышения содержания парниковых газов является постепенный нагрев поверхности планеты, в дальнейшем ведущий к климатическим изменениям [1, 2].

Углеродный след — это совокупность антропогенных выбросов парниковых газов, связанных прямо и косвенно с какой-либо деятельностью. Выражается этот параметр в тоннах эквивалента  $\text{CO}_2$  на тонну произведенной продукции ( $\text{тCO}_2\text{экв/т}$ ) [3]. По некоторым оценкам наибольший углеродный след возникает в результате производственной деятельности предприятий энергетического,

химического, металлургического и угольного секторов промышленности.

Углеродный след продукции определяется выбросами (эмиссией) парниковых газов во всех процессах, используемых для производства этой продукции. К таким газам в угольной промышленности относят диоксид углерода и метан. Оценка углеродного следа произведенной продукции выполняется по трем категориям: прямой углеродный след, косвенный энергетический углеродный след и потребление энергоресурсов при производстве продукции [4]. При этом под прямым углеродным следом понимают совокупность прямых выбросов парниковых газов (ПГ) при производстве единицы продукции, а под прямыми выбросами парниковых газов — количество парниковых газов, которое выбрасывается в атмосферу непосредственно от

производственных объектов организации и осуществляемых производственных процессов. Прямые выбросы ПГ включают:

а) выбросы при стационарном сжигании топлива — категория источников выбросов парниковых газов, которая включает выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу, возникающие в результате сжигания всех видов топлива для выработки тепловой и/или электрической энергии;

б) выбросы при сжигании топлива транспортом — категория источников выбросов парниковых газов, включающая выбросы  $\text{CO}_2$  от сжигания бензина и дизельного топлива для осуществления внутрироссийских пассажирских и грузовых перевозок транспортом и другими видами транспорта;

в) фугитивные выбросы — категория источников, которая включает технологические операции, осуществляемые при добыче угля подземным способом (дегазация сопутствующих газов из угольных пластов и вентиляция воздуха угольных шахт), а также эмиссию метана из угля со складов, в процессе транспортировки, при выполнении иных технологических операций.

Косвенный углеродный след — это совокупность косвенных энергетических выбросов парниковых газов при производстве единицы продукции. Косвенные энергетические выбросы парниковых газов — категория источников выбросов парниковых газов, включает выбросы  $\text{CO}_2$ , образующиеся в результате потребления организациями электрической и тепловой энергии, полученной от внешних генерирующих объектов [5].

Существует три уровня количественного определения углеродного следа производимой продукции:

1. В подходе 1 уровня учитываются только прямые выбросы парниковых газов на предприятии (фугитивные, при стационарном сжигании и выбросы парниковых газов от транспорта);

2. В подходе 2 уровня кроме прямых выбросов парниковых газов учитывается количество потребленной на предприятии электрической и тепловой энергии;

3. В подходе 3 уровня учитывают все вы-

бросы парниковых газов, включая выбросы парниковых газов за пределами предприятия (например, выбросы от используемого предприятием транспорта, в том числе общественного и личного, для перевозки сотрудников предприятия к рабочему месту) [4].

Углеродный след произведенной продукции рассчитывается по следующим формулам.

$$\text{УСп} = \frac{\text{Прямые выбросы ПГ}}{\text{Объем добычи угля}}, \quad (1)$$

где УСп — прямой углеродный след произведенной продукции за отчетный период,  $\text{тCO}_2\text{э/т}$ ; прямые выбросы ПГ — объем прямых выбросов парниковых газов, выделяемых при производстве продукции за отчетный период,  $\text{тCO}_2\text{э}$ ; объем добычи угля — объем добычи угля на предприятии за отчетный период, т.

$$\text{УСк} = \frac{\text{Косвенные выбросы ПГ}}{\text{Объем добычи угля}}, \quad (2)$$

где УСк — косвенный энергетический углеродный след произведенной продукции за отчетный период,  $\text{тCO}_2\text{э/т}$ ; косвенные выбросы ПГ — объем косвенных энергетических выбросов парниковых газов от потребления организацией энергетической и тепловой энергии, полученной от внешних генерирующих объектов, за отчетный период,  $\text{тCO}_2\text{э}$ ; объем добычи угля — объем добычи угля на предприятии за отчетный период, т.

$$\text{УСэ} = \frac{\text{Объем энергоресурсов}}{\text{Объем добычи угля}}, \quad (3)$$

где УСэ — количество потребленных энергоресурсов при производстве единицы продукции за отчетный период, т.у.т./т; объем энергоресурсов — объем потребленных энергоресурсов при производстве продукции за отчетный период, т.у.т.; объем добычи угля — объем добычи угля на предприятии за отчетный период, т.

Применение подхода 2 уровня для определения углеродного следа угледобычи под-

земным способом рассмотрено на примере одной из шахт, расположенной в Ленинском геолого-экономическом районе Кузнецкого

угольного бассейна. Результаты количественного определения углеродного следа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Углеродный след произведенной продукции угольной шахты в 2015–2020 гг.

Углеродный след	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Потребление энергоресурсов, т.у.т./т	0,0027	0,0023	0,0019	0,0028	0,0047	0,0037
Прямой УС, тСО <sub>2</sub> э/т	0,2915	0,2507	0,2164	0,4668	0,6520	0,4859
Косвенный УС, тСО <sub>2</sub> э/т	0,0196	0,0168	0,0143	0,0201	0,0342	0,0266

Изменение углеродного следа напрямую связано с изменением выбросов парниковых газов. В свою очередь изменение выбросов парниковых газов зависит от объема фугитивных выбросов, количества сожженного топлива, потребления энергоресурсов. Основной объем выбросов парниковых газов

для угольных шахт приходится на выбросы метана из систем вентиляции и дегазации, а для угольных разрезов на выбросы углекислого газа от сжигания моторного топлива [6]. На рис. 1, 2 представлена динамика углеродного следа угольной шахты.

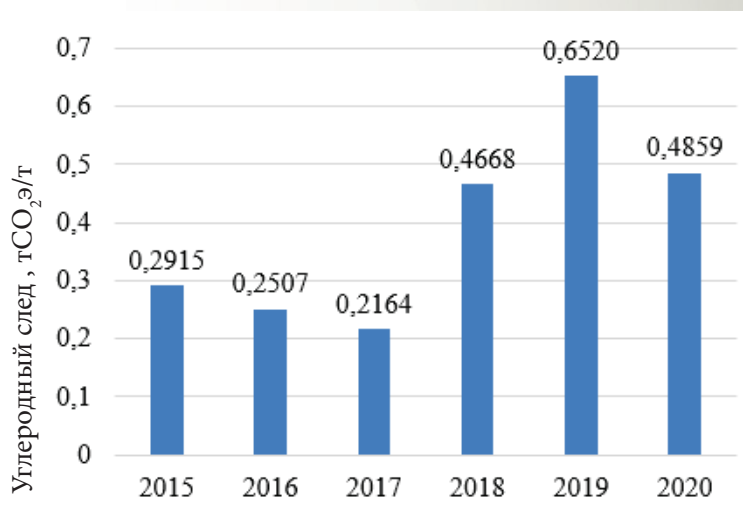


Рис. 1. Изменение прямого углеродного следа угольной шахты во времени

Увеличение прямого углеродного следа связано с увеличением выбросов дегазационного и вентиляционного метана на предприятии и, как следствие, увеличением выбросов парниковых газов.

Наибольшее значение прямого углеродно-

го следа наблюдается в 2019 г. — 0,6520 тСО<sub>2</sub>э/т, что связано с уменьшением объема добычи угля относительно предыдущего года на 41 %, тогда как выбросы парниковых газов уменьшились всего на 18 %.

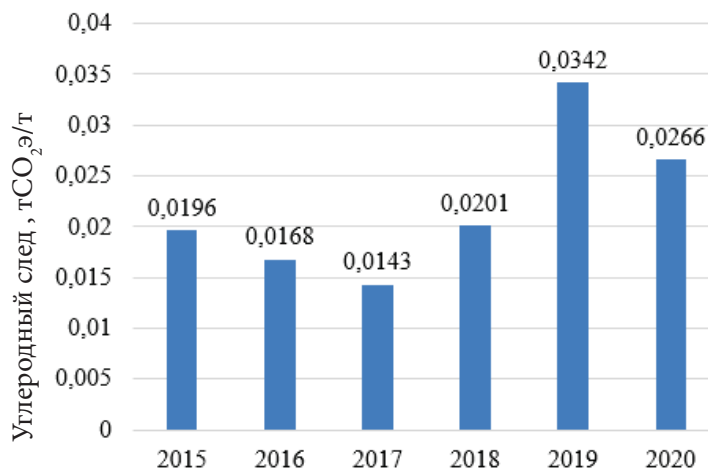


Рис. 2. Изменение косвенного углеродного следа угольной шахты во времени

Увеличение косвенного углеродного следа обусловлено снижением объемов добычи угля в условиях квазипостоянного уровня потребления электроэнергии предприятием.

Для снижения углеродного следа необходимо проводить мероприятия, направленные на сокращение объемов выбросов парниковых газов. При реализации мероприятий по сокращению выбросов шахтного метана необходимо учитывать, что для угледобывающего предприятия при внедрении технологий переработки этого газа, помимо экологического эффекта необходимо также учитывать экономическую целесообразность утилизации метана.

К основным мероприятиям по снижению объемов выбросов парниковых газов на угледобывающем предприятии можно отнести:

- территориальное планирование — рациональное расположение различных объектов предприятия и массовая посадка лесных культур;
- аренда территории леса с целью поглощения парниковых газов и получения единиц сокращенных выбросов парниковых газов;
- снижение выбросов от транспорта — перевод транспорта с дизельного топлива и бензина на более экологичное топливо – сжиженный природный газ;
- дегазация и утилизация шахтного метана — вывод и сбор шахтного метана из подземных горных выработок на поверхность

с его последующей переработкой для получения, например, тепловой и электрической энергии [7];

- утилизация вентиляционного метана [8];

- секвестрация углекислого газа — утилизация CO<sub>2</sub> путем улавливания углекислого газа из источника выбросов, его транспортировка и захоронение в геологических формациях.

При потреблении электрической и тепловой энергии предлагается выполнить ряд мероприятий по сокращению объемов косвенных энергетических выбросов:

1. Использование тепловой энергии недр в качестве источника тепла;
2. Сжигание метановоздушной смеси в котельных установках шахты с целью получения тепловой энергии;
3. Использование современного энергоэффективного освещения (замена люминесцентного освещения на светодиодное);
4. Замена офисной техники с высоким показателем энергоэффективности (класс А, А+);
5. Установка энергосберегающих окон и дверей, механических систем вентиляции с функцией рекуперации (использования вторичного тепла).

Данные мероприятия позволят уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду и углеродный след угледобычи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виды, источники парниковых газов и их влияние на климат Земли // Проект по выводу ГХФУ в Российской Федерации. URL: [http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (дата обращения 09.06.2021).
2. Парниковый эффект // Глобальные экологические проблемы. URL: <http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/parnikovyy-effekt.html> (дата обращения 09.06.2021).
3. Абдуллина Л.Р., Подольский А.И. Обзор методик расчета углеродного следа // Высокие технологии и инновации в науке. Санкт-Петербург, 2020. 80 с.
4. ГОСТ Р 56276-2014/ISO/TS 14067:2013 Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200117795> (дата обращения 09.06.2021).
5. «Методические указания и руководство по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную или иную деятельность на территории Российской Федерации», утвержденные распоряжением Минприроды России от 30 июня 2015 года № 300 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420287801> (дата обращения 09.06.2021).
6. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И., Самусь В.Л. Инвентаризация выбросов парниковых газов на угледобывающих предприятиях // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. Новокузнецк, 2018. № 4. 433 с.
7. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Tailakov V.O., Efremenkov A.B. Utilization Prospects of Coalbed Methane in Kuzbass // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 622–625.
8. Садов А.П., Костеренко В.Н., Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И. Опыт использования вентиляционного метана в качестве дополнительного топлива для двигателей внутреннего сгорания // Уголь. 2015. № 12 (1077). С. 61–67.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.40.41.006

UDC 551.583; 504.05

© O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, E.V. Lukina, 2021

### O.V. TAILAKOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
General Director  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: [tailakov@nc-vostnii.ru](mailto:tailakov@nc-vostnii.ru)

### D.N. ZASTRELOV

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

### E.V. LUKINA

Senior Engineer  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

## CARBON FOOTPRINT OF COAL MINING ENTERPRISE

*Methods of quantitative determination of carbon footprint of produced products of coal mining enterprise are considered. Results of estimation of greenhouse gas emission in coal mining by underground method are presented. Recommendations to reduce carbon footprint in coal mining are given.*

Keywords: CARBON FOOTPRINT, GREENHOUSE GAS, CLIMATE CHANGE.

### REFERENCES

1. Types, sources of greenhouse gases and their impact on the Earth's climate // HCFC phase-out project in the Russian Federation. URL: [http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye\\_gazy/](http://www.ozoneprogram.ru/biblioteka/slovar/parnikovye_gazy/) (date of application 09.06.2021). [In Russ.].
2. Greenhouse effect // Global ecological problems. URL: <http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/parnikovyy-effekt.html> (date of application 09.06.2021). [In Russ.].
3. Abdullina L.R., Podolsky A.I. Review of methods for calculating the carbon footprint // High technologies and innovations in science. St. Petersburg, 2020. 80 p. [In Russ.].
4. GOST R 56276-2014/ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantifying and providing information // Electronic collection of legal and regulatory documents. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200117795> (date of application 09.06.2021). [In Russ.].
5. «Methodological instructions and guidelines for quantifying the volume of greenhouse gas emissions by organizations carrying out economic or other activities in the territory of the Russian Federation», approved by the order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2015 No. 300 // Electronic fund of legal and regulatory documents. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420287801> (date of application 09.06.2021). [In Russ.].
6. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Smyslov A.I., Samus V.L. Inventory of greenhouse gas emissions at coal mining enterprises // Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov]. Novokuznetsk, 2018. No. 4. 433 p. [In Russ.].
7. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Tailakov V.O., Efremenkov A.B. Utilization Prospects of Coalbed Methane in Kuzbass // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 622–625.
8. Sadov A.P., Kosterenko V.N., Tailakov O.V., Utkaev E.A., Zastrelov D.N., Smyslov A.I. Experience of using ventilation methane as an additional fuel for internal combustion engines // Coal [Ugol]. 2015. No. 12 (1077). P. 61–67. [In Russ.].