

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.81.96.004

УДК 551.583, 504.05

© О.В. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, М.П. Макеев, А.В. Логинова, 2023

### **О.В. ТАЙЛАКОВ**

д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
главный научный сотрудник,  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: oleg2579@gmail.com

### **Д.Н. ЗАСТРЕЛОВ**

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

### **М.П. МАКЕЕВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: makeev75@ya.ru

### **А.В. ЛОГИНОВА**

старший инженер  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

## **К ОЦЕНКЕ ЭМИССИИ МЕТАНА ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

*Представлена обобщенная оценка выбросов метана в угольной промышленности РФ. Показано, что эмиссия метана выше при добыче угля открытым способом, чем при подземной угледобыче. Рассмотрены методологические особенности количественной оценки выбросов метана при добыче угля открытым способом. Для повышения их достоверности предложено применять коэффициенты эмиссии метана, определяемые с учетом газоносности обрабатываемых угольных пластов. На примере угольного разреза показано, что эмиссия метана рассматриваемого угледобывающего предприятия кратно ниже при ее оценке на основе применения уточненного коэффициента, чем при использовании обобщенного коэффициента. Отмечается целесообразность уточнения коэффициента эмиссии метана при последующем обращении с углём, извлеченного открытым способом, на основе дополнительных исследований динамики газоотдачи угля при его транспортировке, хранении и дальнейшей переработке с учетом остаточной газоносности угольных пластов.*

Ключевые слова: ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ, ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ, ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ, УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ДОБЫЧА УГЛЯ, МЕТАН, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Процессы добычи угля сопровождаются эмиссией метана, усредненные коэффициенты которой для подземного способа и последующего обращения с углем составляют 15,1 м<sup>3</sup>/т и 3 м<sup>3</sup>/т. Коэффициенты выбросов СН<sub>4</sub> при добыче угля открытым способом приняты 5,5 м<sup>3</sup>/т [1]. Общая эмиссия метана в угольной промышленности РФ с учетом этих коэффициентов и объемов добычи угля [2] превышает 3,5 млрд м<sup>3</sup>. В условиях увеличения доли угля, добытого открытым способом, в общем объеме угледобычи эмиссия метана в атмосферу на угольных разрезах в 2016 г. составила 1,57 млрд м<sup>3</sup> и впервые превысила этот показатель для угольных шахт, который оценивается в 1,56 млрд м<sup>3</sup>. Эта тенденция сохраняется и в 2022 г. выбросы метана угольных разрезов и шахт составляли 1,88 и 1,55 млрд м<sup>3</sup> (рис. 1). Ожидается, что к 2035 г. в оптимистичном сценарии развития угольной промышленности РФ [3] общий объем выбросов метана в отрасли составит 5,11 млрд м<sup>3</sup>. При этом 60 % в этом объеме будет приходиться на эмиссию метана при добыче угля открытым способом. Увеличение объемов до-

бычи угля этим способом будет происходить путем ввода в эксплуатацию новых разрезов, а также перехода действующих угледобывающих предприятий к отработке газоносных угольных пластов, залегающих на более глубоких горизонтах. В связи с этим необходимо совершенствование подходов к определению и уточнению коэффициентов эмиссии метана при добыче угля открытым способом на основе анализа горно-геологических условий разрабатываемых угольных месторождений, т. к. оценки выбросов метана, выполненные с применением усредненных коэффициентов, могут существенным образом отличаться от фактической эмиссии метана на угольных разрезах при извлечении угля с различной газоносностью. Целесообразность этого также обусловлена требованием [4] о предоставлении организациями с 1 января 2023 г. отчетности о выбросах парниковых газов при их превышении 150 тыс. т СО<sub>2</sub> э/год, что соответствует ежегодным выбросам 9,9 млн м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>. Начиная с 1 января 2025 г., этот показатель будет применяться для организаций с меньшими выбросами парниковых газов в 50 тыс. т СО<sub>2</sub> э/год или 3,3 млн м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>.

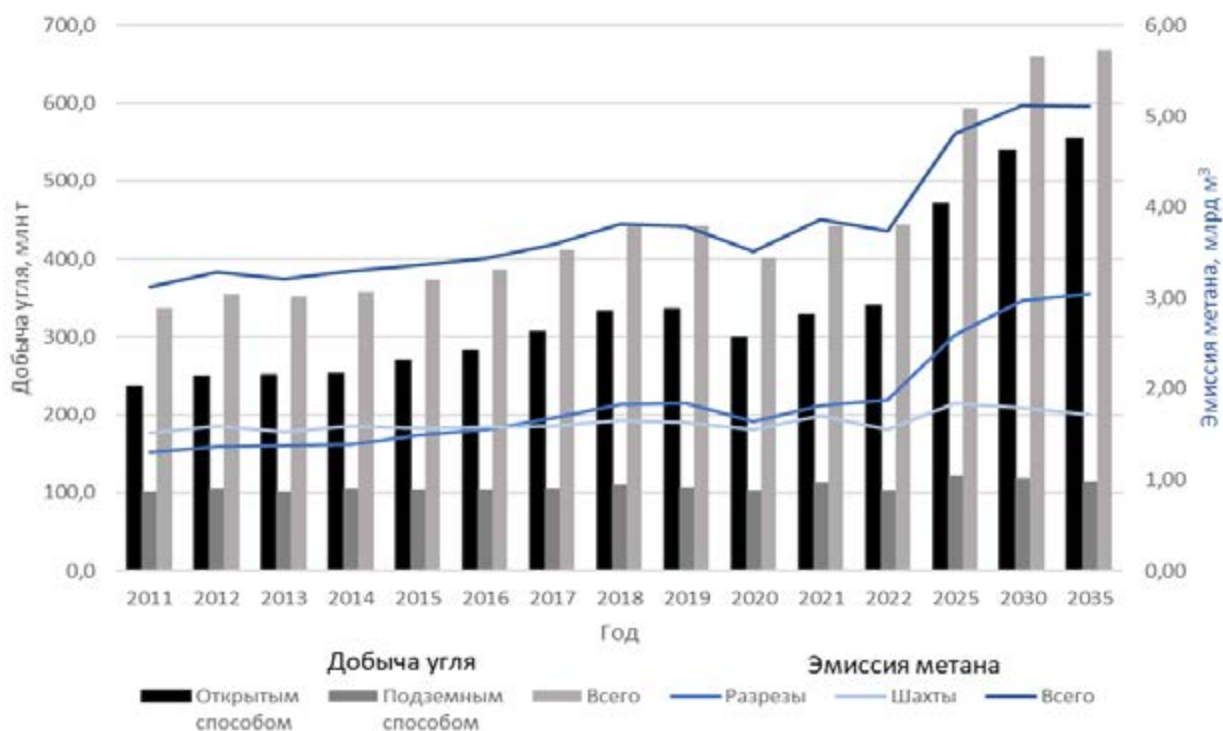


Рис. 1. Оценка эмиссии метана в угольной промышленности РФ в 2011–2022 гг. и ее прогноз в 2025–2035 гг.

## МЕТОДОЛОГИЯ

Выбросы метана в эквиваленте углекислого газа на отдельном угольном разрезе определяются по формуле [1]:

$$V = A \times k_m \times \rho_m \times GWP, \quad (1)$$

где  $A$  — объем добычи угля, т;  $k_m$  — коэффициент выбросов метана, м<sup>3</sup>/т;  $k_m = 0,67 \cdot 10^{-3}$  т/м<sup>3</sup> — плотность метана при н.у.,  $GWP = 25$  — потенциал глобального потепления метана.

В условиях отсутствия фактических данных коэффициент эмиссии метана при добыче угля открытым способом  $k_m$  принимается равным 2,0 м<sup>3</sup>/т при превышении толщины вскрышных пород 50 м [1]. Этот коэффициент может быть уточнен на основе использования данных о газоносности угольных пластов и запасов угля [5, 6]. Так, например, в [8] обоснована методика оценки прогнозных ресурсов свободного и сорбированного метана в суфлярах и рабочих угольных пластах с газоносностью более 10 м<sup>3</sup>/т; углистых или безуглистых вмещающих породах с газоносностью более 5 и 2 м<sup>3</sup>/т.

В развитие этого подхода предлагается оценивать ресурсы метана угольных пластов  $V_m$  с учетом физико-химических свойств углей и геометрии угольных пластов по формуле:

$$V_m = \sum_{i=1}^n v_i \iint_{S_i} \rho(x,y) \chi(x,y) \left(1 - \frac{A(x,y) + W(x,y)}{100}\right) dx dy, \quad (2)$$

где  $v_i$  — объем  $i$ -го угольного пласта;  $S_i$  — площадь  $i$ -го угольного пласта;  $\rho(x,y)$  — плотность угля;  $\chi(x,y)$  — газоносность;  $A(x,y)$  — зольность угля;  $W(x,y)$  — влажность угля в точках газового опробования с координатами  $(x,y)$ .

При известных угледобыче  $A$  и объеме высвободившегося метана  $V_m$ , содержащегося в извлеченном угле, уточненный коэффициент эмиссии метана

$$k'_m = \frac{V_m}{A}. \quad (3)$$

На основе предложенного подхода выполнена оценка эмиссии метана Солнцевского угольного разреза в Сахалинской области. В табл. 1 и на рис. 2 представлено 3D-распределение плотности ресурсов метана в границах горного отвода предприятия, определенных по формуле (2). Установлено, что ресурсы метана в границах горного отвода разреза, на котором будут разрабатываться угольные пласты в 2023–2027 гг., оцениваются в 59 794,98 тыс. м<sup>3</sup> при планируемой добыче угля 87 453,11 тыс. т. Таким образом, уточненный коэффициент эмиссии метана (3) при добыче угля открытым способом составляет 0,68 м<sup>3</sup>/т.

Таблица 1

Объемы добычи угля и ресурсы метана Солнцевского угольного разреза

Индекс пласта	Планируемый объем добычи угля, тыс. тонн	Ресурсы метана, тыс. м <sup>3</sup>
I	2 841,76	904,33
II	12 625,63	4 484,60
III	5 687,99	2 541,64
IVн	6 788,13	3 217,19
IV	26 145,14	34 754,08
IVв	939,26	561,46
V	31 013,07	13 076,51
Vн	332,42	60,24
VI	1 079,71	194,92
<b>Всего</b>	<b>87 453,11</b>	<b>59 794,98</b>

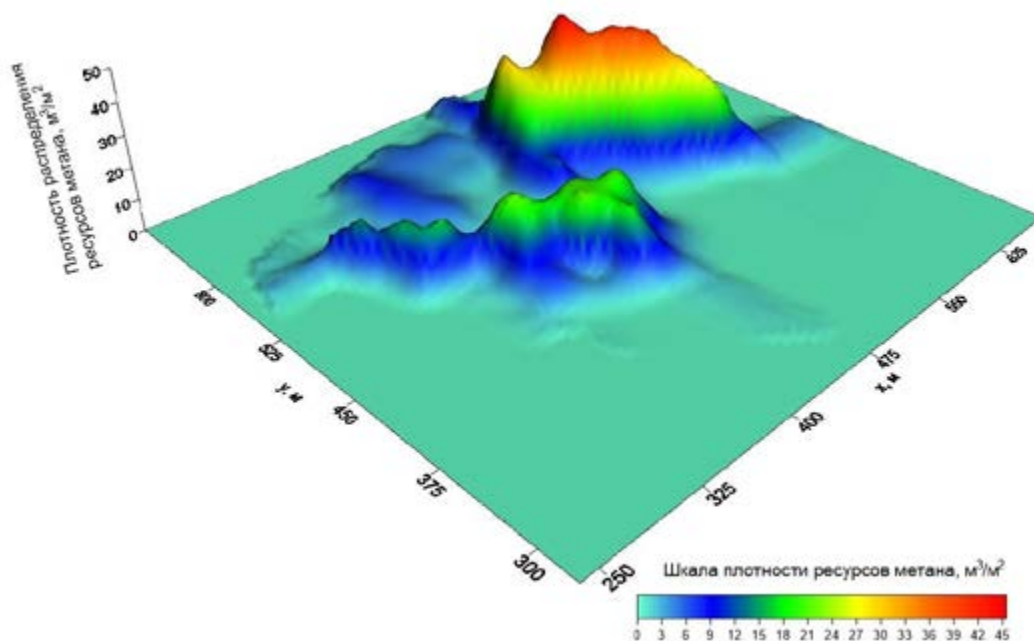


Рис. 2. Пространственное представление плотности ресурсов метана

Выбросов метана (1) на Солнцевском угольном разрезе при  $k_m = 2 \text{ м}^3/\text{т}$  [1] и  $k'_m = 0,68$  оцениваются в 2 929 709,00 т  $\text{CO}_2\text{э}$  и 996 101,06 т  $\text{CO}_2\text{э}$  в течение 5 лет или в 586 тыс. т  $\text{CO}_2\text{э}/\text{год}$  и 199 тыс. т  $\text{CO}_2\text{э}/\text{год}$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение предложенного подхода к оценке эмиссии метана при добыче угля открытым способом позволило установить превышение в 3 раза объемов метана, который выбрасывается в атмосферу при применении обобщенного коэффициента, рекомендованного в [6], и определенного с учетом горно-геологических условий Солнцевского угольного разреза. Учитывая, что угледобывающие предприятия располагают информацией о газоносности угольных пластов, уточнение коэффициентов эмиссии метана с последующей оценкой выбросов метана в эквиваленте углекислого газа может быть рекомендовано для расширенного применения при оценке фугитивных выбросов метана в секторе «Энергетика» в отчетной документации об инвентаризации выбросов парниковых газов угледобывающими предприятиями. При этом представляется целесообразным уточнение рекомендованного в [9] коэффициента эмиссии метана  $3 \text{ м}^3/\text{т}$  при последующем

обращении с углём, извлеченного открытым способом. Для этого необходимо выполнить дополнительные исследования динамики газоотдачи угля при его транспортировке, хранении и дальнейшей переработке с учетом остаточной газоносности угольных пластов.

### ВЫВОДЫ

На основе анализа горно-геологической информации о строении и условиях залегания углепородного массива в границах горного отвода Солнцевского угольного разреза определены угольные пласты I, II, III, IVн, IV, IVв, V, Vн, VI, которые будут обрабатываться в 2023–2027 гг. и выполнено 3D-картирование пространственного распределения плотности ресурсов метана для этого угледобывающего предприятия. Установлено, что ресурсы метана для пласта I оцениваются в 904,33 тыс.  $\text{м}^3$ , II — 4 484,60 тыс.  $\text{м}^3$ , III — 2 541,64 тыс.  $\text{м}^3$ , IVн — 3 217,19 тыс.  $\text{м}^3$ , IV — 34 754,08 тыс.  $\text{м}^3$ , IVв — 561,46 тыс.  $\text{м}^3$ , V — 13 076,51 тыс.  $\text{м}^3$ , Vн — 60,24 тыс.  $\text{м}^3$ , пласт VI — 194,92 тыс.  $\text{м}^3$ . Ожидаемая общая эмиссия метана при обработке этих пластов в течение 5 лет составит 59 794,98 тыс.  $\text{м}^3$ . На основе оценки ресурсов метана и запасов угля определен коэффициент эмиссии метана как отношение известного объема метана, содержащегося в уголь-

ных пластах, к массе планируемого к добыче угля. Показано, что уточненный коэффициент эмиссии метана составляет 0,68 м<sup>3</sup>/т. Применение этого коэффициента позволило установить, что эмиссия метана рассматрива-

емого угледобывающего предприятия составляет 199 тыс. т СО<sub>2</sub>э/год, что в 3 раза ниже, чем при применении усредненного коэффициента 2 м<sup>3</sup>/т.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации», утвержденные распоряжением Минприроды России от 16 апреля 2015 г. № 15-р. [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (дата обращения 20.06.2022).
2. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за январь–июнь 2022 года // Уголь. 2022. № 9 (1158). С. 7–22.
3. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р.
4. Ступаков В.П., Ефремова А.Г., Зимаков Б.М. Структура ресурсов и перспективы добычи метана в угольных месторождениях СНГ // Оценка прогнозных ресурсов углеводородных газов в угольных бассейнах СНГ. 1994. Книга 1. 195 с.
5. Временные методические требования к геолого-экономической оценке и подсчету запасов метана в угольных пластах. М., 1987. 11 с.
6. Sandwell D.T. Biharmonic spline interpolation of GEOS-3 and SEASAT altimeter data // Geophysical research letters. 1987. Т. 14. No. 2. P. 139–42.
7. Сергеев И.В., Рапопорт М.Я. Методика и результаты исследований по дегазации разрабатываемых угольных пластов. М., 1968. 29 с.
8. Тайлаков О.В., Кормин А.Н., Смыслов А.И., Тайлаков В.О. Совершенствование метода определения газоносности угля для повышения эффективности дегазации угольных пластов // Газовая промышленность. 2012. № 682. С. 46–47.
9. Тайлаков О.В., Кормин А.Н., Гитарский М.Л., Тайлаков В.О. Эмиссия метана при добыче угля в России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2009. Т. XXII. С. 216–227.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.81.96.004

UDC 551.583, 504.05

© O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, M.P. Makeev, A.V. Loginova, 2023

#### O.V. TAILAKOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor,

General Director

JSC «NC VostNII», Kemerovo

Chief Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

#### D.N. ZASTRELOV

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

**M.P. MAKEEV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: makeev75@ya.ru

**A.V. LOGINOVA**

Senior Engineer  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

**TO ESTIMATE METHANE EMISSIONS FROM OPEN-PIT COAL MINING**

*A generalized estimate of methane emissions in the coal industry of the Russian Federation is presented. Methane emission is shown to be higher in open-pit coal mining than in underground coal mining. Methodological features of quantitative assessment of methane emissions during open-pit coal mining were considered. To increase their reliability, it is proposed to use methane emission coefficients determined taking into account the gas content of coal beds being worked out. The example of a coal section shows that methane emission of the coal mining enterprise in question is multiple lower when it is evaluated based on the use of an updated coefficient than when using a generalized coefficient. It is noted that it is advisable to clarify the methane emission coefficient during subsequent handling of coal extracted by the open method based on additional studies of the dynamics of gas recovery of coal during its transportation, storage and further processing, taking into account the residual gas content of coal seams.*

Keywords: GREENHOUSE GASES, EMISSIONS INVENTORY, GREENHOUSE GAS EMISSIONS, COAL MINING ENTERPRISE, COAL MINING, METHANE, CARBON DIOXIDE.

**REFERENCES**

1. «Methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the subjects of the Russian Federation», approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 15-r dated April 16, 2015. [Electronic resource]: The official website of the company «ConsultantPlus». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/) (date of application 20.06.2022). [In Russ.].
2. Petrenko I.E. The results of the work of the coal industry of Russia for January–June 2022 // Coal [Ugol]. 2022. No. 9 (1158). P. 7–22. [In Russ.].
3. The program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation No. 1582-r dated 13.06.2020. [In Russ.].
4. Stupakov V.P., Efremova A.G., Zimakov B.M. The structure of resources and prospects of methane production in the coal deposits of the CIS // Assessment of the forecast resources of hydrocarbon gases in the coal basins of the CIS. 1994. Book 1. 195 p. [In Russ.].
5. Temporary methodological requirements for geological and economic assessment and calculation of methane reserves in coal seams. M., 1987. 11 p. [In Russ.].
6. Sandwell D.T. Biharmonic spline interpolation of GEOS-3 and SEASAT altimeter data // Geophysical research letters. 1987. T. 14. No. 2. P. 139–42.
7. Sergeev I.V., Rapoport M.Ya. Methods and results of research on degassing of coal seams under development. M., 1968. 29 p. [In Russ.].
8. Tailakov O.V., Kormin A.N., Smyslov A.I., Tailakov V.O. Improvement of the method for determining the gas content of coal to increase the efficiency of degassing coal seams // Gas industry. 2012. No. 682. P. 46–47. [In Russ.].
9. Tailakov O.V., Kormin A.N., Guitarsky M.L., Tailakov V.O. Methane emission during coal mining in Russia // Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling. 2009. Vol. XXII. P. 216–227. [In Russ.].