

## Актуализация оценок эмиссии метана в угледобывающей промышленности России

*V.X. Berdin<sup>1)\*</sup>, N.V. Uledova<sup>1)</sup>, I.A. Kevbrina<sup>1)</sup>, A.A. Mironov<sup>1)</sup>, N.V. Popov<sup>2)</sup>,  
O.S. Tret'yak<sup>2)</sup>, P.M. Bobylev<sup>3)</sup>, N.S. Kabanov<sup>3)</sup>, M.L. Ginarskiy<sup>4)</sup>*

<sup>1)</sup> Автономная некоммерческая организация «Международный центр устойчивого энергетического развития» под эгидой ЮНЕСКО,  
Россия, 117292, г. Москва, ул. Кедрова, д. 8, к. 2.

<sup>2)</sup> Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,  
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б.

<sup>3)</sup> Министерство энергетики Российской Федерации,  
Россия, 107996, г. Москва, ул. Щепкина, д. 42, с.1-2.

<sup>4)</sup> ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России,  
Россия, 127083, г. Москва, ул. 8 Марта, д. 12.

\*Адрес для переписки: [info@isedc-u.com](mailto:info@isedc-u.com)

**Реферат.** Данные о метаноносности и метанообильности угольных месторождений были получены от угледобывающих компаний. Это результаты инструментальных измерений. На основе этих данных актуализированы коэффициенты эмиссии метана при добыче и последующих операциях с углем. Актуализированные коэффициенты отражают усовершенствования в технологиях добычи угля и обеспечении безопасности горных работ. Они позволяют обоснованно снизить оценки эмиссии метана от угледобычи и последующего обращения с добытым углем, ежегодно публикуемые Российской Федерацией в национальном кадастре выбросов и абсорбции парниковых газов в соответствии с международными климатическими соглашениями.

**Ключевые слова.** Метан, эмиссия, коэффициент эмиссии метана, добыча угля, метаноносность, метанообильность, изменение климата, парниковые газы.

## The update of methane emission estimates for the coal mining sector in the Russian Federation

*V.Kh. Berdin<sup>1)\*</sup>, N.V. Uledova<sup>1)</sup>, I.A. Kevbrina<sup>1)</sup>, A.A. Mironov<sup>1)</sup>, N.V. Popov<sup>2)</sup>,  
O.S. Tret'yak<sup>2)</sup>, P.M. Bobylev<sup>3)</sup>, N.S. Kabanov<sup>3)</sup>, M.L. Ginarskiy<sup>4)</sup>*

<sup>1)</sup> Autonomous Non-Commercial Organization "International Sustainable Energy Development Centre" under the auspices of UNESCO,  
3rd floor, build. 2, 8, Kedrova str., 117292, Moscow, Russian Federation.

<sup>2)</sup> Yu.A. Israel, Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation.

<sup>3)</sup> Ministry of Energy of the Russian Federation,  
42, p.1-2, Shepkina str., 107996, Moscow, Russian Federation.

<sup>4)</sup> Federal State Budgetary Organization “Russian energy agency” of the Ministry of Energy  
of the Russian Federation,  
12, 8 Marta str., 127083, Moscow, Russian Federation.

\* Correspondence address: [info@isedc-u.com](mailto:info@isedc-u.com)

**Abstract.** The methane emission factors were updated based on the data on gas content and abundance in coal deposits that were made available from the actual measurements performed by coal companies within underground and open mining operations and subsequent treatment of coal. The updated emission factors reflect the enhancements in coal mining technology and operation safety achieved so far. The results obtained also provide for a reasonable rationale for coal methane emission reduction in the Russian Federation National Greenhouse Gas Inventory Report published annually in accordance with the international climate agreements.

**Keywords.** Methane, emission, emission factor, coal mining, methane content, methane abundance, climate change, greenhouse gases.

## Введение

Угледобывающая отрасль российской экономики имеет важное социально-экономическое и политическое значение. На уголь приходится значительная часть энергобаланса страны. Угольная отрасль обеспечивает занятость и социальную поддержку населения в моногородах и городских агломерациях, а также формирует доходную часть бюджетов в ряде регионов Сибири и Дальнего Востока.

Однако добыча угля связана с выбросами метана, который не только создает опасные условия ведения работ, но и является парниковым газом, оказывающим серьезное воздействие на глобальный климат. Антропогенные выбросы метана являются существенным фактором современного глобального потепления (UNEP, 2021). В этом отношении метан – второй по значимости парниковый газ после диоксида углерода. Последнее обстоятельство в свете глобальной повестки низкоуглеродного развития требует корректной оценки выбросов метана при добыче и последующих операциях с углем.

Согласно подходу, предложенному МГЭИК<sup>1)</sup>, расчет эмиссии метана проводится на основе коэффициентов эмиссии путем их умножения на массу добытого угля. Страны используют либо коэффициенты МГЭИК, либо разрабатывают собственные коэффициенты. Сейчас в расчетах выбросов от российской угледобывающей отрасли применяются коэффициенты, актуальные

---

<sup>1)</sup> МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата (англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Учреждена в 1988 году как совместный орган Программы ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП) и Всемирной метеорологической организации (ВМО) с целью получения максимально достоверных и авторитетных научных данных, связанных с изменением климата.

---

на период 1990-2006 гг. (Тайлаков и др., 2009) и не отражающие современное состояние отрасли.

Между тем, с 2006 года в российской угледобывающей отрасли изменилось соотношение массы угля, добываемого открытым и подземным способами. Часть угольных месторождений была закрыта, и появились новые месторождения с другими горно-геологическими условиями и, соответственно, характеристиками метаноносности и метанообильности угольных пластов. На продолжающих работу месторождениях усовершенствованы технологии добычи, обновлено оборудование, усилены меры контроля безопасности горных работ. Благодаря внедрению наилучших доступных технологий и современного оборудования производится интенсивная дегазация (в том числе предварительная) угольных пластов, повысилось качество добычи угля (ИТС 37-2023, 2023), что привело к сокращению эмиссии метана в атмосферу, которое пока не отражено в оценках выбросов парниковых газов в «Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом» (далее – национальный кадастр).

Указанные обстоятельства дают основания полагать, что применяемые в национальном кадастре коэффициенты эмиссии потеряли свою актуальность, и их использование может приводить к неадекватным оценкам выбросов метана при добыче угля (Национальный доклад, 2023). Поэтому представляется целесообразным актуализировать значения коэффициентов эмиссии метана при добыче и последующих операциях с углем.

Цели работы, результаты которой представлены в данной статье:

– разработать методические подходы и выполнить актуализацию национальных коэффициентов эмиссии метана при добыче и последующих операциях с углем с учетом современного состояния российской угледобывающей отрасли;

– продемонстрировать эффективность разработанных подходов для повышения качества количественных оценок выбросов метана при угледобыче и отражении принятых мер низкоуглеродного развития.

## **Уголь в климатической повестке и ESG**

Угледобывающая отрасль наиболее чувствительна к принимаемым в рамках климатической повестки решениям. На конференциях ООН по вопросам изменения климата (Конференция Сторон<sup>2)</sup>, далее – КС), являющихся высшим органом переговорного процесса для реализации положений Рамочной конвенции ООН об изменении климата<sup>3)</sup> (РКИК ООН), а также Киотского протокола<sup>4)</sup> и Парижского соглашения<sup>5)</sup> к РКИК ООН, систематически поднимается вопрос об уходе от использования ископаемого топлива, в частности – угля.

---

<sup>2)</sup>Конференция Сторон (КС) (англ. Conference of the Parties, COP). Высший руководящий орган международной конвенции ООН об изменении климата.

---

---

На КС-26 <sup>6)</sup> в 2021 году был принят Климатический пакт Глазго, призывающий страны к «постепенному сокращению» использования угля без нивелирования вредных выбросов путем применения технологий улавливания углекислого газа (*phase down unabated coal*) (РКИК ООН, 2022). Эта же формулировка сохранилась и в заключении, принятом по результатам первого глобального подведения итогов на КС-28 в 2023 году в Дубае (РКИК ООН, 2024).

В свете современных тенденций глобального устойчивого развития для угледобывающей отрасли особенно актуальны подходы, направленные на синхронизацию усилий по пунктам ESG-повестки и в то же время подтверждающие согласованность действий в русле мирового низкоуглеродного тренда. Принципы ESG (Environmental, Social and Corporate Governance – экологическое, социальное и корпоративное управление) имеют непосредственное отношение к угледобывающей промышленности.

Во-первых, это вопросы производственной безопасности. Добыча угля, в особенности подземным способом, сопровождается выбросами и в отдельных случаях взрывами метана, которые приводят к травмам и даже гибели людей. Преобладающая ценность человеческой жизни неоспорима. Потому вопросы производственной безопасности при добыче угля имеют первостепенную важность. С точки зрения потребителя угля, высокий ESG-рейтинг предприятия должен гарантировать, чтобы при его добыче не ущемлялись права трудящихся, соблюдались требования трудового законодательства, а также обеспечивались необходимые требования и нормативы производственной безопасности, охраны окружающей среды и климата.

---

<sup>3)</sup> Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН) (англ. Framework Convention on Climate Change (UN FCCC)). РКИК ООН была принята в 1992 году и вступила в силу в 1994 году. Сторонами РКИК являются более 190 государств, включая Россию, все крупные и все развитые страны. РКИК ООН определяет общие принципы действий по проблеме изменения климата, прежде всего по ограничению и снижению выбросов парниковых газов, но не содержит численных параметров. РКИК ООН делит страны на входящие (экономически развитые страны и страны с переходной экономикой) и не входящие (развивающиеся страны) в Приложение 1, а также входящие в Приложение 2 (наиболее развитые).

<sup>4)</sup> Киотский протокол (англ. Kyoto Protocol). Соглашение, заключенное в рамках РКИК ООН в 1997 году. Его целью было снижение выбросов парниковых газов развитыми странами, входящими в Приложение 1 РКИК, а также развитие механизмов гибкости, в частности механизма устойчивого развития.

<sup>5)</sup> Парижское соглашение (англ. Paris Agreement). Соглашение РКИК ООН о долгосрочной международной деятельности всех стран в решении проблемы изменения климата, задающее общие рамки и принципы деятельности. В отличие от Киотского протокола, предполагает равное участие развитых и развивающихся стран в усилиях по ограничению и снижению выбросов парниковых газов, а также помощь наиболее развитых стран более слабым и уязвимым государствам (климатическое финансирование) в низкоуглеродном развитии и адаптации к изменениям климата. Соглашение было заключено на конференции сторон РКИК ООН в Париже в конце 2015 года.

<sup>6)</sup> Конференция ООН по вопросам изменения климата, прошедшая в Глазго в 2021 году.

---

Весьма важно и то, что в большинстве случаев угледобывающая отрасль сконцентрирована в моногородах, где основной вид промышленности и возможности трудоустройства связаны с добычей и переработкой угля. Уголь тесно связан со всей социальной сферой, формирующейся вокруг предприятий по его добыче и переработке, с людьми, чья повседневная жизнь целиком зависит от этого вида хозяйственной деятельности. Поэтому моментальный отказ от добычи угля, очевидно, невозможен, и упомянутый выше термин «уход» может рассматриваться только как постепенный, многошаговый процесс, в ходе которого обязательно соблюдение принципов социальной ответственности.

Во-вторых, добыча угля связана с выбросами метана, который в России включен в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (Правительство РФ, 2023). Угледобывающие предприятия обязаны платить штрафы за превышение предельно допустимых выбросов, а внесенный в Госдуму законопроект предусматривает повышение таких штрафов в десятки раз (Проект, 2024).

В-третьих, метан является парниковым газом и оказывает серьезное воздействие на глобальный климат.

Высокая социально-экономическая значимость и кроме того, существенные экологические эффекты в регионах угледобычи, подтверждают важность совершенствования методических подходов к оценке выбросов метана в угольной отрасли в целях получения достоверных данных о ее воздействии на окружающую среду и климат.

## Методы

Геологические процессы формирования угля сопровождаются образованием метана ( $\text{CH}_4$ ). В некоторых пластах вместе с  $\text{CH}_4$  может присутствовать и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Вместе они известны как «сопутствующие газы». Сопутствующие газы удерживаются в угольном пласте до момента разработки (вскрытия) угольного пласта при добыче.  $\text{CH}_4$  является основным парниковым газом, высвобождаемым при добыче и последующем обращении с добытым углем (МГЭИК, 2006).

Количество метана (в нормальных условиях – объем), содержащееся в естественных условиях в единице массы угля, добытой из определенного угольного пласта, называют природной метаноносностью этого угольного пласта (Газоносность, 1980). Показатель «метаноносность» определяется путем инструментальных измерений. Его значения используются для расчета коэффициента выброса  $\text{CH}_4$  при открытой добыче угля.

Для расчета коэффициента эмиссии при добыче угля подземным способом использовали показатель «метанообильность». Абсолютная метанообильность представляет собой количество (в нормальных условиях – объем) метана, выделяющегося в подземные горные выработки в единицу времени (Газоносность, 1980). Ее величина на разных шахтах и месторождениях изме-

няется в широком диапазоне, поскольку количество удаляемого из шахт метана зависит от свойств подземных пластов и может изменяться от года к году, равно как и количество добытого из этих шахт угля. Абсолютная метанообильность является объектом инструментального контроля в целях обеспечения безопасности горных работ, и ее измерение ведется постоянно и с высокой точностью.

Значения метаноносности и метанообильности определяются характеристиками конкретного месторождения: способом и глубиной добычи, а также свойствами добываемого угля. В каждом году количество разрабатываемых подземных и открытых месторождений, интенсивность их эксплуатации (масса добычи на месторождении) и глубины, с которых ведется добыча угля, могут отличаться от аналогичных показателей предыдущих лет. В этом случае и величины метаноносности и метанообильности будут разными год от года. Кроме того, они будут различаться в зависимости от регионов страны, в которых расположены месторождения или их группы (угольные бассейны) с разными условиями добычи и свойствами угля.

Национальный кадастр парниковых газов подготавливается на основе государственных статистических данных, собираемых в пределах административно-территориальных образований (федеральных округов) Российской Федерации. Соответственно национальные коэффициенты выбросов разрабатывались так, чтобы их можно было применять с данными государственной статистики для федеральных округов, в пределах которых осуществляется угледобыча.

Первичной задачей нашего исследования был сбор необходимой совокупности данных о массе добытого угля, а также метаноносности и абсолютной метанообильности разрабатываемых угольных пластов. С этой целью были подготовлены специальные запросы, которые затем направили во все угледобывающие предприятия (компании), осуществлявшие производственную деятельность на территории Российской Федерации в период с 2006 по 2021 гг. включительно. Полученные данные были проанализированы и систематизированы по месторождениям и угольным бассейнам в пределах угледобывающих федеральных округов с детализацией отдельно по подземному и открытому способам добычи с помощью следующих переменных:

$I$  – общее число месторождений в федеральном округе, в пределах которого осуществляется добыча угля подземным или открытым способами;

$i$  – идентификатор (порядковый номер) месторождения,  $i = 1, \dots, I$ ;

$Y$  – число лет, для которых имеются данные;

$y$  – идентификатор (порядковый номер) года из временного ряда лет, для которых имеются данные;  $y = 1, \dots, Y$ ;

$A_{i,y}$  – метанообильность подземного месторождения  $i$  в году  $y$ ,  $\text{м}^3 \text{мин}^{-1}$  (по данным, полученным от угледобывающих предприятий);

$m_{i,y}$  – масса добычи угля на месторождении  $i$  в году  $y$ , т (по данным угледобывающих предприятий);

$C_{i,y}$  – метаноносность открытого месторождения  $i$  в году  $y$ ,  $\text{м}^3 \text{т}^{-1}$  (по данным угледобывающих предприятий).

Анализ поступившей информации также включал ее сопоставление с данными научной отраслевой литературы (Газоносность, 1980; Угольная база, 2003). Оценку репрезентативности полученной информации проводили на основе сравнения данных об угледобыче в ответах угледобывающих предприятий с данными государственной статистики о добыче угля российской угольной отраслью с 2006 по 2021 гг. включительно, содержащимися в национальных кадастрах, представленных в органы РКИК ООН.

В данной работе актуализированные коэффициенты эмиссии метана определялись отдельно для каждого месторождения, способа и года добычи, обобщались по федеральным округам, где находятся конкретные месторождения или угольные бассейны, а затем вычислялись средние за несколько лет значения. Рассчитывались следующие коэффициенты:

$K_{i,y}$  – коэффициент эмиссии  $\text{CH}_4$  для месторождения  $i$  ( $i = 1, \dots, I$ ) и года  $y$  ( $y = 1, \dots, Y$ );  $\text{м}^3 \text{т}^{-1}$ ;

$F_y$  – коэффициент эмиссии  $\text{CH}_4$  для федерального округа в год  $y$  ( $y = 1, \dots, Y$ );  $\text{м}^3 \text{т}^{-1}$ ;

$EF$  – обобщенный коэффициент эмиссии  $\text{CH}_4$  для федерального округа;  $\text{м}^3 \text{т}^{-1}$ .

Эти три коэффициента имеют одинаковую размерность  $\text{м}^3 \text{т}^{-1}$ , то есть представляют собой удельные выбросы метана в атмосферу. Они специфичны соответственно для:

- данного месторождения и года,
- для федерального округа и года и
- федерального округа.

Для месторождений, разрабатываемых открытым способом в заданном году, коэффициент эмиссии  $\text{CH}_4$  принимался равным удельной метаносности месторождения:  $K_{i,y} = C_{i,y}$ .

Для определения коэффициента эмиссии  $\text{CH}_4$  при подземной добыче угля, значение метанообильности каждой подземной шахты пересчитывалось на год по формуле (1):

$$K_{i,y} = \frac{A_{i,y} \times 60 \times 24 \times 365}{m_{i,y}}. \quad (1)$$

Далее, с использованием систематизированных данных была рассчитана масса угля  $M_y$ , добывавшегося каждый год на всех месторождениях федерального округа (т). Расчеты производили отдельно для подземного и открытого способов угледобычи по формуле (2):

$$M_y = \sum_{i=1}^I m_{i,y} \quad (y = 1, \dots, Y). \quad (2)$$

Значение годового коэффициента эмиссии метана для угледобывающего федерального округа  $F_y$  определяли по формуле (3) как средневзвешенное

значение коэффициентов эмиссии всех месторождений, где в отчетном году осуществлялась добыча угля открытым или подземным способами:

$$F_y = \frac{\sum_{i=1}^I (K_{i,y} \times m_{i,y})}{M_y}. \quad (3)$$

Коэффициенты  $F_y$  были рассчитаны для 2006-2021 гг. На отрезке времени 2016-2021 гг. их значения, хотя и заметно изменчивы, не обнаружили трендов. Поэтому в качестве обобщенного коэффициента эмиссии  $\text{CH}_4$  предлагается использовать истинное, теоретическое среднее значение  $EF$ , т.е. математическое ожидание величины  $F$  для тех лет, для которых отсутствовали выраженные тренды (2016-2021 гг.).

Для оценки  $EF$  используется выборочное среднее значение (4):

$$\widehat{EF} = \frac{1}{N} \sum_{y=Y_1}^{Y_2} F_y, \quad (4)$$

где  $Y_1 = 11$  и  $Y_2 = 16$  – соответственно порядковые номера 2016-го и 2021-го годов, а  $N = Y_2 - Y_1 + 1$  есть длина временного отрезка от года 2016 до года 2021.

Среднеквадратическое отклонение выборочного среднего  $\widehat{EF}$  от истинного, теоретического значения  $EF$ , определяется из формулы (5) (ГОСТ 34100.3-2017, 2018):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{y=Y_1}^{Y_2} (F_y - \widehat{EF})^2}{N(N-1)}}. \quad (5)$$

Для нахождения доверительного интервала, в котором находится  $EF$ , воспользуемся квантилью  $t$  распределения Стьюдента (ГОСТ 34100.3-2017, 2018):

$$EF_{min} = \widehat{EF} - ts < EF < \widehat{EF} + ts = EF_{max}.$$

Для 95%-го доверительного интервала и 5 степеней свободы  $t = 2.571$ .

Степень неопределенности положения  $EF$  относительно  $\widehat{EF}$  можно указать и в процентах по формуле (6):

$$\pm \frac{ts}{\widehat{EF}} 100\%. \quad (6)$$

Для оценки диапазона изменчивости реализаций годовых коэффициентов эмиссии  $F$  используется оценка (7) среднеквадратического отклонения:

$$s_F = \sqrt{\frac{\sum_{y=Y_1}^{Y_2} (F_y - \widehat{EF})^2}{(N-1)}}. \quad (7)$$

В качестве диапазона изменчивости  $F$  принимается следующий:

$$[(EF)] - 1.96s_F; EF_{max} + 1.96s_F).$$

Здесь 1.96 – двусторонняя 95%-я квантиль нормального распределения.

Диапазон изменчивости  $F$  относительно  $\widehat{EF}$  можно указать и в процентах по формуле (8):

$$\pm \frac{(ts + 1.96s_F)}{\widehat{EF}} 100\%. \quad (8)$$

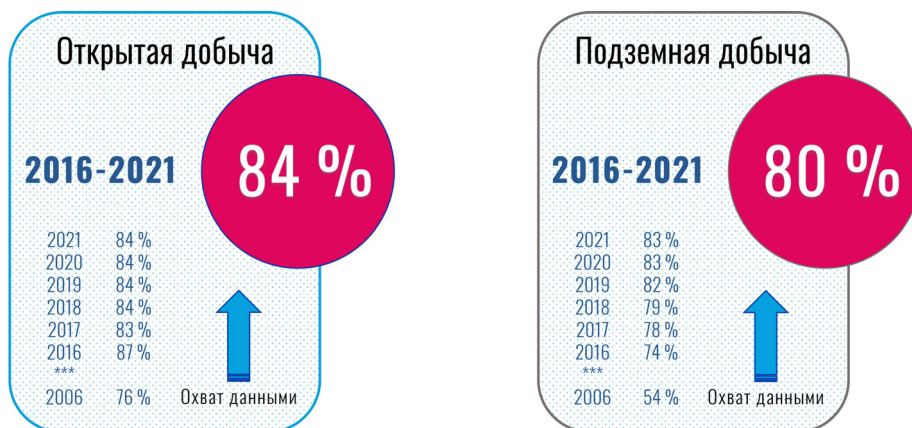
Разработанный методический подход также применялся для расчета коэффициентов эмиссии метана при последующем обращении с углем, добытым подземным способом, которое, согласно МГЭИК (МГЭИК, 2006), включает его складирование на поверхности и транспортировку. При расчетах учитывали предварительную дегазацию угольных пластов, которая осуществляется на шахтах Печорского угольного бассейна, а также на некоторых шахтах Кузнецкого угольного бассейна, и приводит к снижению выбросов метана. В связи с этим при расчете коэффициентов эмиссии для последующего обращения с углем, добытым на шахтах с предварительной дегазацией угольных пластов, применяли рекомендуемый МГЭИК понижающий коэффициент 0.1, на который умножали ранее рассчитанные коэффициенты эмиссии  $CH_4$  для месторождений  $K_{i,y}$ . Для остальных шахт Российской Федерации, где предварительная дегазация не проводится, принимался понижающий коэффициент 0.3 (МГЭИК, 2006).

В следующем разделе, в том числе, полученные значения актуализированных обобщенных коэффициентов эмиссии метана и их неопределенности сравнивались с применяемыми до настоящего времени в национальном кадастре.

## Результаты и обсуждение

При активном содействии Минэнерго России авторами были получены ответы от 203 угледобывающих предприятий, разрабатывающих в общей сложности 120 угольных месторождений на территории России. Сопоставление данных об открытой и подземной добыче угля в национальных кадастрах с 2006 по 2021 годы с аналогичными данными, собранными из ответов угле-

добывающих предприятий, показало, что информация из ответов охватывала от 54% производственного функционала российской угледобывающей отрасли в 2006 году до 84% в 2021 году. Оценки получены в предположении, что полный охват угольной отрасли (100%) будет достигнут при равенстве суммарных значений массы угледобычи в национальном кадастре и во всех ответах компаний за соответствующий год (рис. 1).



**Рисунок 1.** Репрезентативность данных о добыче угля по результатам ответа угледобывающих компаний, где 100% соответствует полному совпадению данных о массе добытого в стране угля в национальном кадастре и в ответах угольных предприятий за соответствующий год

**Figure 1.** Coal mining data representativeness based on the data from coal companies with assumption that 100 percent corresponds to complete coincidence between the coal mining data from the National Inventory Report and the coal companies as for the respective year

Репрезентативность является главным условием при определении временного отрезка при расчете обобщенных коэффициентов эмиссии метана для угледобывающих федеральных округов.

Как следует из рис. 1, если одновременно рассматривать открытый и подземный способы добычи угля, показатель соответствия 74% и более между рассмотренными массивами данных достигается на временном отрезке с 2016 по 2021 гг. (средняя величина показателя за этот период для обоих способов добычи составляет 80% и более). Низкие показатели соответствия за предшествующие 2006-2015 годы, скорее всего, связаны с нестабильной работой предприятий в силу экономических причин, в том числе из-за смены форм собственности на шахты и разрезы, при которой не всегда обеспечивается корректность в архивировании и передаче данных и часть необходимой информации оказывается утерянной (рис. 1).

Помимо сравнительного анализа данных угледобычи, для этого же временного отрезка была рассмотрена межгодовая изменчивость коэффициента  $F$ , определенного отдельно для открытого и подземного способов добычи на основе полученных данных о всех действующих в пределах угледобывающих федеральных округов месторождений. Результаты анализа показали, что с 2006 до 2015 гг. значения  $F_y$  для открытой и подземной добычи сильно варьи-

руют по годам, тогда как с 2016 амплитуда колебаний  $F_y$  около среднего значения  $\overline{EF}$  за 2016-2021 гг. становится незначительной, а существенного тренда не обнаруживается.

В этой связи было решено отказаться от использования данных за 2006-2015 гг. при расчете актуализированных обобщенных коэффициентов выбросов  $EF$ , а ограничиться данными за 2016-2021 гг.

Актуализированные коэффициенты  $EF$  являются репрезентативными не только для расчета выбросов метана за пятилетний период с 2016 по 2021 гг., но и могут быть рекомендованы для расчетов в последующие годы, поскольку отражают современное состояние угольной отрасли, включая произошедшие в ней технологические изменения, о которых упоминалось выше.

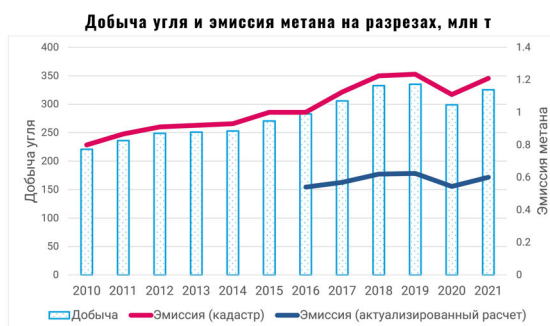
На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов коэффициентов  $EF$  для угледобывающих федеральных округов. Расчеты выполнены в пределах временного ряда с 2016 по 2021 гг., а полученные значения актуализированных коэффициентов сравниваются со значениями, применяемыми в национальном кадастре. На графиках представлены данные о добыче угля и сопоставлены величины эмиссии метана, рассчитанные с использованием действующих и актуализированных коэффициентов эмиссии. Расчеты выполнены отдельно для открытого (рис. 2) и подземного (рис. 3) способов добычи угля. В Центральном, Уральском и Приволжском федеральных округах добыча угля в настоящее время не ведется, поэтому актуализация коэффициентов для них не проводилась.

**Коэффициенты эмиссии метана на разрезах,  $m^3 t^{-1}$**

Федеральный округ	Кадастровое значение	Актуализированное значение
Дальневосточный	5.6	0.8
Северо-Западный	6.0	3.5
Сибирский	5.5	3.3
Центральный	2.0	-
Уральский	2.0	-
Приволжский	2.0	-

Последующее обращение		
Федеральный округ	Кадастровое значение	Актуализированное значение
Дальневосточный	0.2	0.2
Северо-Западный	0.2	0.2
Сибирский	0.2	0.2
Центральный	0.1	-
Уральский	0.1	-
Приволжский	0.1	-



**Рисунок 2.** Актуализированные коэффициенты эмиссии метана при открытой добыче угля для различных угледобывающих федеральных округов (слева) и сопоставление суммарной эмиссии метана с территории страны, рассчитанной с использованием актуализированных коэффициентов, с аналогичными расчетами из национального кадастра (справа)

**Figure 2.** The updated methane emission factors for open-pit mining in the federal regions of the Russian Federation (left) and the comparison of total methane emissions from the territory of the country, calculated using the updated emission factors, with similar calculations from the National Inventory Report (right)

Из рис. 2 и 3 видно, что актуализированные коэффициенты эмиссии для Дальневосточного, Северо-Западного, Сибирского, а также Южного (в случае

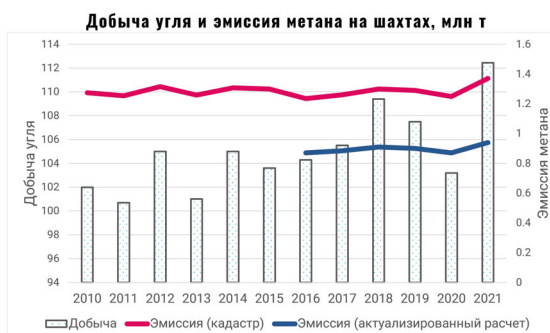
подземной добычи) федеральных округов оказались ниже, чем те, которые используются в национальном кадастре. Расчетная эмиссия метана с 2016 по 2021 гг. также сократилась по сравнению с оценками, приведенными в национальном кадастре.

**Коэффициенты эмиссии метана на шахтах, м<sup>3</sup> т<sup>-1</sup>**

Федеральный округ	Кадастровое значение	Актуализированное значение
Дальневосточный	18.9	6.2
Северо-Западный	32.1	14.2
Сибирский	15.7	13.0
Южный	28.4	1.0
Центральный	8.0	-
Уральский	13.8	-
Приволжский	13.8	-

**Последующее обращение**

Дальневосточный	2.6	1.9
Северо-Западный	1.1	1.4
Сибирский	3.0	3.5
Южный	7.3	0.3
Центральный	0.6	-
Уральский	0.6	-
Приволжский	0.6	-



**Рисунок 3.** Актуализированные коэффициенты эмиссии метана при подземной добыче угля для различных угледобывающих федеральных округов (слева) и сопоставление суммарной эмиссии метана с территории страны, рассчитанной с использованием актуализированных коэффициентов, с аналогичными расчетами из национального кадастра (справа)

**Figure 3.** The updated methane emission factors for underground mining in the federal regions of the Russian Federation (left) and the comparison of total methane emissions from the territory of the country, calculated using the updated emission factors, with similar calculations from the National Inventory Report (right)

Расчет актуализированных коэффициентов эмиссии метана был практически полностью основан на данных угледобывающих предприятий. Это данные абсолютной метанообильности ( $\text{м}^3 \text{мин}^{-1}$ ) действующих шахт, полученные путем инструментальных контрольных замеров на устьях воздуховыдающих вентиляционных стволов общешахтных выработок и дегазационных газоотсасывающих установок. В случае открытой добычи – это результаты измерения метаносности угольных пластов. Актуализированные обобщенные коэффициенты выбросов практически во всех случаях оказались ниже тех, которые в настоящее время используются в национальном кадастре. Это обусловлено не только более стабильной работой угледобывающих предприятий, но и качественными изменениями в угольной отрасли, проявившимися в повсеместном внедрении высокоэффективных и низкоуглеродных технологий угледобычи, о которых говорилось выше.

В следующей таблице приведены характеристики неопределенности актуализированных значений обобщенных коэффициентов эмиссии  $EF$ , а также характеристики варьирования коэффициентов годовых эмиссий  $F$ . Они приведены в процентах относительно выборочной оценки  $\widehat{EF}$ .

Из таблицы следует, что варьирование актуализированных коэффициентов эмиссии существенно ниже того, которым характеризуются коэффициенты годовых эмиссий, используемые в национальном кадастре. Данные

измерений также позволили снизить неопределенность величин полученных коэффициентов выбросов.

**Таблица.** Неопределенность актуализированных значений обобщенных коэффициентов эмиссии и сравнение варьирования актуализированных и используемых в национальном кадастре коэффициентов годовых эмиссий

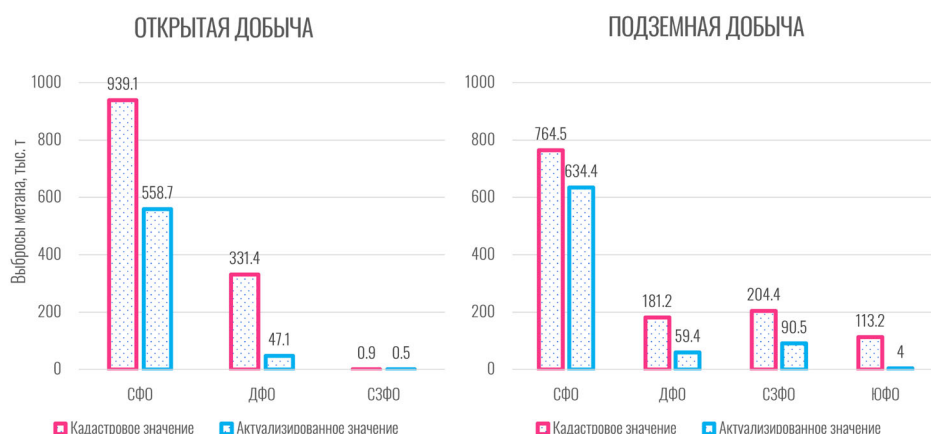
**Table.** Uncertainty of updated values of generalized emission factors and comparison of variations in annual emission factors updated and used in the National Inventory Report

Наименование вида деятельности угледобывающей отрасли	Неопределенность актуализированных значений обобщенных коэффициентов эмиссии, %	Характеристика варьирования актуализированных коэффициентов годовых эмиссий, %	Характеристика варьирования коэффициентов годовых эмиссий (национальный кадастр), %
Открытая добыча	5.8	16.6	21.6
Подземная добыча	4.7	13.6	19.2
Последующие операции с углем	7.3	21.0	40.9

Низкие по абсолютной величине значения актуализированных обобщенных коэффициентов эмиссии метана свидетельствуют о качественных изменениях в угледобывающей отрасли, о тенденции ее перехода на низкоуглеродное развитие.

На рис. 4 представлена сравнительная оценка результатов расчетов выбросов метана при открытом и подземном способах добычи угля, выполненных, по состоянию на 2022 год, с использованием применяемых в национальном кадастре и актуализированных коэффициентов выбросов для различных угледобывающих федеральных округов. Как видно из рисунка, наиболее существенные сокращения выбросов метана отмечаются в случае открытой добычи угля в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах.

Использование актуализированных коэффициентов привело к сокращению расчетных эмиссий метана в 2022 году от открытой добычи угля на 665 тыс. т, а от добычи угля подземным способом – на 475.1 тыс. т по сравнению с аналогичными оценками, выполненными с использованием коэффициентов эмиссий, применяемых в национальном кадастре (рис. 4). Рассчитанная аналогично суммарная масса сокращений выбросов метана при последующих операциях с углем, добытым подземным способом, составила 7.32 тыс. т. В целом, использование актуализированных коэффициентов эмиссий, разработанных на основе данных угледобывающих предприятий, обеспечило снижение расчетной массы выбросов метана при добыче угля в Российской Федерации в 2022 году более чем на 40%.



**Рисунок 4.** Сравнение значений расчетной эмиссии метана при добыче угля открытым и подземным способами за 2022 год для различных федеральных округов, тыс. т (СФО – Сибирский федеральный округ; ДФО – Дальневосточный федеральный округ; СЗФО – Северо-Западный федеральный округ; ЮФО – Южный федеральный округ)

**Figure 4.** Comparison of calculated methane emissions from open-pit and underground coal mining in 2022 within the federal regions of the Russian Federation, Kt (СФО – Siberian Federal Region; ДФО – Far Eastern Federal Region; СЗФО – North-Western Federal Region; ЮФО – Southern Federal Region)

При актуализации коэффициентов эмиссии авторы не ставили цель учесть выбросы метана, которые могут быть при разведке угольных месторождений, из законсервированных или ликвидированных шахт, а также от каких-либо видов деятельности по ликвидации накопленного вреда окружающей среде. Кроме того, не учитывались и выбросы от самопроизвольного возгорания угля, включая эндогенные пожары. Можно предположить, что величины выбросов метана и диоксида углерода от указанных категорий источников будут незначительными по сравнению с основной производственной деятельностью угледобывающей отрасли. Их анализ должен быть предметом отдельных исследований.

## Заключение

Учет эмиссии метана при добыче и последующем обращении с углем важен для выполнения международных климатических обязательств России, обеспечения безопасности горных работ, разработки мероприятий по повышению эффективности дегазации угольных пластов, а также для демонстрации в будущем целей ESG-повестки.

Российские угледобывающие предприятия осуществляют технологическую модернизацию, внедряют наилучшие доступные технологии, проводят цифровизацию, в том числе совершенствуют учет выбросов метана. Поэтому данные, полученные непосредственно от действующих предприятий, обеспечивают наиболее адекватные, достоверные и точные оценки эмиссий.

В рамках данной работы впервые выполнены столь масштабные сбор, систематизация и анализ фактических данных метанообильности и метаносности от действующих угледобывающих предприятий России за 2006-2021 годы. Эта информация использовалась авторами при разработке методических подходов к актуализации коэффициентов эмиссий в целях уточнения выбросов метана от российской угледобывающей отрасли, данные о которой, в том числе, представляются в национальный кадастр.

В данной работе рассчитаны актуализированные обобщенные коэффициенты эмиссии метана, отражающие современный уровень развития угледобывающей отрасли – усовершенствование технологий добычи и удаления метана угольных пластов, а также обращения с добытым углем. Полученные коэффициенты эмиссии свидетельствуют не только о стабильной работе угледобывающих предприятий, но и внедрении на них низкоуглеродных технологий, следствием которого является снижение с 2016 года общей углеродоемкости российской угледобывающей отрасли. Перерасчет суммарной эмиссии метана с использованием актуализированных коэффициентов дает снижение расчетных выбросов метана на величину около 1 млн т ежегодно, начиная с 2016 года.

Низкие показатели неопределенности актуализированных коэффициентов эмиссии метана дают основание рекомендовать их для внедрения в национальный кадастр. При этом рекомендуется выполнить перерасчет эмиссии метана от добычи и последующих операций с углем с использованием актуализированных коэффициентов за временной отрезок с 2016 по 2021 годы, а также применять эти коэффициенты для расчета выбросов за 2022 и последующие годы.

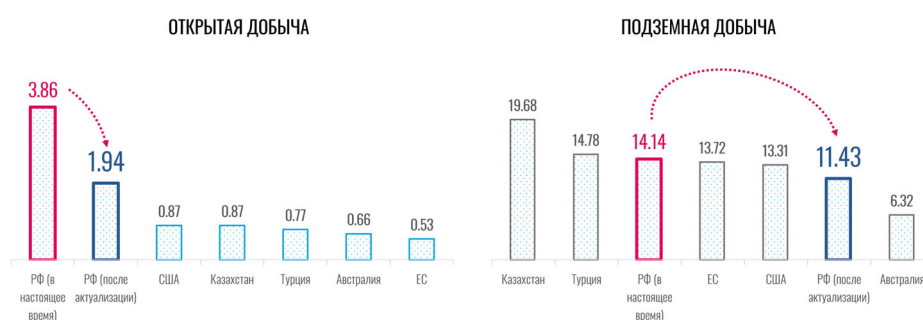
Сравнение применяемых в национальном кадастре и актуализированных коэффициентов эмиссии метана с коэффициентами других стран РКИК ООН приведены на рис. 5. Сравнение показывает, что актуализированные значения хорошо согласуются с коэффициентами выбросов других угледобывающих стран (Australia, 2022; EU, 2022; Национальный доклад Республики Казахстан, 2022; US, 2022; Turkey, 2022).<sup>7)</sup>

Разработанный авторами методический подход является эффективным инструментом повышения качества количественных оценок выбросов метана и, кроме того, подтверждает предпринятые российской угольной отраслью меры в области низкоуглеродного развития. Снижение негативного воздействия на окружающую среду и климат является одним из императивов производственного функционала угледобывающей отрасли России. Поэтому актуализацию коэффициентов эмиссии метана следует проводить на регуляр-

---

<sup>7)</sup> В задачи выполненного исследования не входило проведение анализа использованных методов для оценки величин коэффициентов эмиссии метана в зарубежных странах (рекомендуемые МГЭИК коэффициенты или уточненные по национальным данным значения). Для авторов представлялось важным сопоставить величины коэффициентов эмиссий, представленные в официальной отчетности стран перед РКИК ООН, например, отчетность стран 2023 года – <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023>.

ной основе, по мере дальнейшего совершенствования технологий добычи и последующего обращения с углем.



**Рисунок 5.** Коэффициенты эмиссии метана (кг т<sup>-1</sup>) в некоторых странах-членах РКИК ООН

**Figure 5.** Methane emission factors (kg t<sup>-1</sup>) in some UNFCCC member-states

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке и непосредственном участии Министерства энергетики Российской Федерации.*

Авторы выражают признательность А.И. Нахутину и М.М. Дыгану за ценные замечания и предложения, высказанные при подготовке статьи.

### Список литературы

*Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР (1980) В 3 т. Гл. ред. А.И. Кравцов, М., Недра.*

ГОСТ 34100.3-2017 (2018) *Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения*, М., Стандартинформ, 112 с.

ИТС 37-2023 (2023) *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля*, М., Бюро НДТ, 319 с.

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов*. Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Игглестон Х. С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т. и Танабе К. (Ред.) МГЭИК-ИГЕС, электронный ресурс, URL: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2\\_Volume2/V2\\_4\\_Ch4\\_Fugitive\\_Emissions.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf) (дата обращения 19.09.2024).

*Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. Часть I. (2023) М., ИГКЭ, 479 с., электронный ресурс, URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023/> (дата обращения 27.09.2024).*

*Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом о кадастре парниковых газов за 1990-2020 гг.* (2022) Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 500 с., электронный ресурс, URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (дата обращения 27.09.2024).

*Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 октября 2023 г. № 2909-р.* (2023) Электронный ресурс, URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310230035> (дата обращения 19.09.2024).

*«О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях». Проект Федерального закона* (2024) Электронный ресурс, URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/594956-8> (дата обращения 19.09.2024).

РКИК ООН (2022) *Доклад Конференции Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения, о работе ее третьей сессии, состоявшейся в Глазго с 31 октября по 13 ноября 2021 года. Часть вторая: Меры, принятые Конференцией Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения, на ее третьей сессии*, электронный ресурс, URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_10a01R.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10a01R.pdf) (дата обращения 19.09.2024).

РКИК ООН (2024) *Доклад Конференции Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения, о работе ее пятой сессии, состоявшейся в Объединенных Арабских Эмиратах с 30 ноября по 13 декабря 2023 года. Часть вторая: Меры, принятые Конференцией Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения, на ее пятой сессии*, электронный ресурс, URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023\\_16a01R.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_16a01R.pdf) (дата обращения 19.09.2024).

Тайлаков О.В., Кормин А.Н., Гитарский М.Л., Тайлаков В.О. (2009) Эмиссия метана при добыче угля в России, В сб.: *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 22, гл. ред. Ю.А. Израэль, М., ИГКЭ, с. 216-227.

*Угольная база России* (2003) В 5 т., гл. ред. В.Ф. Череповский, М., ЗАО «Геоинформмарк», 1997-2003.

EU (2022) *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022*. Submission to the UNFCCC Secretariat. 27 May 2022, 961 p., URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (дата обращения 27.09.2024).

Australia (2022) *National Inventory Report 2020. The Australian Government Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Australian National Greenhouse Accounts. Vols. 1-5*, Commonwealth of Australia. 2022, URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (дата обращения 27.09.2024).

---

Turkey (2022) *Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2020. Annual Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Turkish Statistical Institute. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change.* April 2022, 576 p., URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (дата обращения 27.09.2024).

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. 2021. Nairobi: United Nations Environment Programme,* URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/vsemirnaya-ocenka-metana-vygody-i-zatraty-ot-snizheniya-urovnya-vybrosov-metana> (дата обращения 19.09.2024).

US (2022) *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2020. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-22-003, 2022, 841 p.,* URL: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (дата обращения 27.09.2024).

## References

*Gazonosnost' ugol'nyh bassejnov i mestorozhdenij SSSR* [Gas content of coal basins and deposits of the USSR: in 3 vols.] (1980) In F.I. Kravtsov (ed.), Nedra, Moscow, Russia.

*GOST 34100.3-2017 (2018) Neopredelennost' izmereniya. Chast' 3. Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelennosti izmereniya. ISO/IEC Guide 98-3:2008.* [Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). 2008], Moscow, Russia, 130 p.

ITS 37-2023 (2023) *Informacionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam ITS 37-2023. Dobycha i obogashchenie uglja* [Information and technical reference book on the best available technologies ITS 37-2023. Coal mining and preparation], Moscow, Russia, 319 p.

MGEIK (2006) *Rukovodyashchie principy nacional'nyh inventarizacij parnikovyyh gazov. Podgotovleno Programmoj MGEIK po nacional'nyh kadastram parnikovyyh gazov* [IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories], vol. 2 Energy, ch. 4, p. 4.6, available at: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_4\\_Ch4\\_Fugitive\\_Emissions.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf) (accessed 19 September 2024).

Nacional'nyj doklad (2023) *Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyyh gazov ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom za 1990-2021 gg. Chast' I,* [National Report on the Anthropogenic Emissions from Sources and Removals by Sinks of the Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol for the 1990-2021], part I, IGCE, Moscow, Russia, 479 p., available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

---

Nacional'nyj doklad Respubliki Kazahstan (2022) *Nacional'nyj doklad Respubliki Kazahstan o kadastrе antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom o kadastrе parnikovyh gazov za 1990-2020 gg.* [National Report on the Anthropogenic Emissions from Sources and Removals by Sinks of the Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol for the 1990-2020], Almaty, 500 p., available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

Pravitel'stvo RF (2023) *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 20 oktyabrya 2023 g. № 2909-r* [Decree of the Government of the Russian Federation no. 2909-r dated October 20, 2023], available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310230035> (accessed 19 September 2024).

Proekt (2024) «*O vnesenii izmenenij v Kodeks Rossijskoj Federacii ob administrativnyh pravonarusheniyah*». *Proekt Federal'nogo zakona* [Draft Federal Law 'On Amendments to the Code of the Russian Federation on Administrative Offences'], available at: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/594956-8> (accessed 19 September 2024).

RKIK OON (2022) *Doklad Konferencii Storon, dejstvuyushchej v kachestve soveshchaniya Storon Parizhskogo soglasheniya, o rabote ee tret'ej sessii, sostoyavshejsya v Glazgo s 31 oktyabrya po 13 noyabrya 2021 goda. Chast' vtoraya: Mery, prinyatyе Konferenciej Storon, dejstvuyushchej v kachestve soveshchaniya Storon Parizhskogo soglasheniya, na ee tret'ej sessii* [Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its third session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021. Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at its third session], available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_10\\_add1\\_adv.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10_add1_adv.pdf) (accessed 19 September 2024).

RKIK OON (2024) *Doklad Konferencii Storon, dejstvuyushchej v kachestve soveshchaniya Storon Parizhskogo soglasheniya, o rabote ee pyatoj sessii, sostoyavshejsya v Ob"edinennyh Arabskih Emiratah s 30 noyabrya po 13 dekabrya 2023 goda. Chast' vtoraya: Mery, prinyatyе Konferenciej Storon, dejstvuyushchej v kachestve soveshchaniya Storon Parizhskogo soglasheniya, na ee pyatoj sessii* [Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its fifth session, held in the United Arab Emirates from 30 November to 13 December 2023. Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at its fifth session], available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023\\_16a01E.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_16a01E.pdf) (accessed 19 September 2024).

Taylakov, O.V., Kormin, A.N., Gitarskiy, M.L., Taylakov, V.O. (2009) Emissiya metana pri dobyche uglya v Rossii [Methane emissions from coal mining in Russia], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling], vol. XXII, Moscow, Russia, pp. 216-227.

---

Ugol'naya baza (2003) *Ugol'naya baza Rossii*. [Coal Base of Russia], In V.F. Cherepovskiy (ed.), vols. 1-5, Geionformmark, Moscow, Russia.

EU (2022) *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022*, Submission to the UNFCCC Secretariat. 27 May 2022, 961 p., available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

Australia (2022) National Inventory Report 2020. *The Australian Government Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Australian National Greenhouse Accounts. May 2022, vols. 1-3, Commonwealth of Australia, available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

Turkey (2022) *Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2020. Annual Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Turkish Statistical Institute. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, April 2022, 576 p., available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

UNEP (2021) *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. Nairobi: United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. United Nations Environment Programme, available at: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/vsemirnaya-ocenka-metana-vygoty-i-zatraty-ot-snizheniya-urovnya-vybrosov-metana> (accessed 19 September 2024).

US (2022) *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2020*. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-22-003, 841 p., available at: <http://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022/> (accessed 27 September 2024).

Статья поступила в редакцию (Received): 04.08.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 01.10.2024.

Принята к публикации (Accepted): 13.10.2024.

### Для цитирования / For citation:

Бердин, В.Х., Уледова, Н.В., Кевбрина, И.А., Миронов, А.А., Попов, Н.В., Третьяк, О.С., Бобылев, П.М., Кабанов, Н.С., Гитарский, М.Л. (2024) Актуализация оценок эмиссии метана в угледобывающей промышленности России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 4, с. 541-560, doi:10.21513/2410-8758-2024-4-541-560.

Berdin, V.Kh., Uledova, N.V., Kevbrina, I.A., Mironov, A.A., Popov, N.V., Tret'yak, O.S., Bobylev, P.M., Kabanov, N.S., Ginarskiy, M.L. (2024) The update of methane emission estimates for the coal mining sector in the Russian Federation, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 4, pp.541-560, doi:10.21513/2410-8758-2024-4-541-560.

---