

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ МГЭИК ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ¹

ПЕТРОВ Сергей Павлович, к.э.н., petrov.s.p@mail.ru, Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
ORCID: 0000-0002-6330-3602

В статье представлены оценки выбросов диоксида углерода в черной металлургии по федеральным округам России. Расчеты проведены на основе подхода, разработанного Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) с адаптацией для применения на региональном уровне. Основным дополнением к используемым методам расчета выбросов является проведение на первоначальном этапе регионализации производства черных металлов с учетом способа производства и применяемой шихты. Это позволило оценить производство стали по федеральным округам и применяемым технологическим схемам, на основе чего проведены оценки выбросов диоксида углерода. Определение распределения выбросов черной металлургии России по федеральным округам дало возможность выделить пространственные и технологические региональные факторы, определяющие объемы выбросов, что может лечь в основу разработки направлений декарбонизации черной металлургии.

Ключевые слова: черная металлургия, парниковые газы, выбросы диоксида углерода, пространственное распределение, Кадастр парниковых газов РФ.

DOI: 10.47711/0868-6351-202-81-89

Введение. Черная металлургия России является крупной углеродоемкой отраслью, занимающей одно из лидирующих положений в стране по вкладу как в экономику [1; 2], так и в загрязнение окружающей среды. Выбросы вредных загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями черной металлургии составляют 5-6% общего объема по стране. Поэтому не удивительно, что в состав самых «грязных» российских городов входят города размещения предприятий черной металлургии, среди которых Новокузнецк, Череповец, Липецк, Магнитогорск, Челябинск, Нижний Тагил [3, с. 71]. Высокое воздействие на окружающую среду определило то, что важной проблемой современного металлургического производства стало изменение климата [4, р. 636; 5, с. 890-892]. Возникли риски, которые включают в себя как правовые, например, введение углеродного налога, так и репутационные, связанные с изменением интересов общества в сторону увеличения роли экологии. Как результат, это влияет на инвестиционную привлекательность металлургических компаний [6, с. 71] и побуждает их увеличивать объемы инвестиций на охрану атмосферного воздуха [7, с. 199].

Основными парниковыми газами, образующимися в производственных процессах черной металлургии, являются оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO₂) и метан (CH₄) [8, с. 59]. Доминирующим фактором загрязнения окружающей среды в черной металлургии выступают выбросы диоксида углерода, поскольку на предприятиях данной отрасли активно используются вторичные энергетические ресурсы, в состав которых входит и метан, что приводит к сгоранию основной массы других вредных веществ до диоксида углерода [9, с. 625; 10, с. 102].

¹ Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы «Описание подхода к учету региональных особенностей функционирования экономики России в рамках единой методики формирования сценариев развития экономики и энергетики России и мира в условиях реализации климатической повестки и политики низкоуглеродного развития» Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», утвержденного Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 3240-р.

Производство черных металлов включает ряд этапов с использованием различных технологий и процессов, характеризующихся определенным уровнем выбросов вредных веществ. Основными их источниками в черной металлургии являются стадии производства до получения стальной заготовки. Выбросы при производстве проката и трубной продукции незначительны, поскольку связаны с сопровождающими операциями в процессе производства. Согласно существующим оценкам, выбросы в прокатном производстве составляют менее 0,1 т CO₂ на 1 т продукции [11]. Для сравнения: выбросы парниковых газов при производстве 1 т чугуна составляют 1,35 т CO₂ [12].

Черная металлургия России включает три металлургических района, состоящих из предприятий с различными технологическими схемами производства. Наиболее крупным является Центральный металлургический район. Уральский и Сибирский металлургические районы характеризуются доминированием производства черных металлов на металлургических комбинатах, в основе которого лежит классическая доменно-конвертерная схема получения стали. Многие из них включают в свой состав электросталеплавильное производство, но применяют чугун в составе шихты. Это, хотя и приводит к снижению выбросов парниковых газов по сравнению с выплавкой стали в кислородных конвертерах [13, с. 625], но определяет повышенный уровень выбросов по сравнению с бездоменной технологией. В Центральном металлургическом районе и Дальневосточном федеральном округе получило развитие электросталеплавильное производство на основе лома и железа прямого восстановления.

Пространственное размещение предприятий черной металлургии и технологическая неоднородность организации производств определяют неравномерное распределение выбросов парниковых газов на территории страны [14, с. 76]. Цель данной работы – оценить распределение выбросов диоксида углерода, формируемых в черной металлургии, по федеральным округам (ФО) России, и выявить факторы, определяющие такое распределение. Регионализация парниковых газов формирует основу для выявления региональных и отраслевых факторов, объясняющих уровень воздействия черной металлургии на окружающую среду. Это позволяет определить инструменты декарбонизации конкретных территорий, которые будут иметь наибольший эффект от применения.

Метод исследования. Основным документом, отражающим влияние черной металлургии России на окружающую среду, является «Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбации поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом» (Кадастр)². Выбросы парниковых газов от деятельности черной металлургии приведены в разделе 4.4 «Металлургия» Кадастра и рассчитаны на основе методики, разработанной Межправительственной группой экспертов по изменению климата и представленной в [12]. В Кадастре приведены оценки выбросов парниковых газов на национальном уровне без разбивки по металлургическим районам, федеральным округам или субъектам Федерации.

Согласно методике МГЭИК выделяются три уровня метода оценки выбросов в зависимости от доступной информации. Выбросы CO₂ от производства окатышей рассчитаны в Кадастре по методу уровня 1, по которому выбросы от производства определяются путем умножения коэффициентов выбросов диоксида углерода на национальные данные о производстве. При расчете выбросов от производства чугуна и стали применен метод уровня 2, основанный на национальных данных об использовании материалов в процессе производства чугуна и стали, агломерата,

² Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбации поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. / ФГБУ «ИГКЭ», 2022. URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/>

окатышей и железа прямого восстановления. Оценки выбросов CO₂ при производстве железа прямого восстановления получены методом уровня 3, основанным на использовании заводских данных о выбросах CO₂, либо заводских данных о производстве с применением конкретных восстановителей отработанных газов и других технологических материалов и продуктов, что дает более точную оценку по сравнению с методами уровня 1 и 2.

Для сопоставимости оценок пространственного распределения выбросов парниковых газов с показателями национального уровня, представленными в Кадастре (что, как отмечено в работе [15, с. 722], является главным требованием к методологии расчетов парниковых газов), в данном исследовании оценки выбросов CO₂ рассчитывались по федеральным округам с использованием метода уровня 1 методики МГЭИК. Выбор уровня обусловлен также тем, что по ФО доступна информация об объемах производства, представленная Росстатом, но не доступны данные о затратах сырья, материалов, топлива и т. д. или информация по конкретным предприятиям.

В официальной статистике не приводится разбивка производства стали по применяемым технологическим схемам. Поэтому для оценки пространственного распределения выбросов парниковых газов в черной металлургии России на первоначальном этапе обобщена информация относительно регионального размещения предприятий отрасли. Разбивка предприятий по регионам проведена с учетом их типов, а именно: комбинат, электросталеплавильный завод, металлургический завод, трубный завод. Для каждого предприятия выделены применяемые технологические схемы производства. Далее на основе данных по отчетности предприятий проведена разбивка производств по составу применяемой шихты в электросталеплавильном производстве на три группы:

- производство с использованием в шихте чугуна и лома черных металлов в соотношении 30% – чугун и 70% – лом;
- применение только лома черных металлов;
- применение железа прямого восстановления.

В связи с отсутствием точной информации относительно состава шихты, применяемой на каждом предприятии, соотношение ее компонентов внутри групп принято неизменным по предприятиям.

После получения оценок объемов выпуска стали по федеральным округам с учетом технологической схемы производства и состава применяемой шихты проводилась оценка эмиссии CO₂. Для этого в качестве коэффициентов выбросов CO₂ на одну тонну продукции взяты коэффициенты, приведенные в Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК с разбивкой по производству различного типа сырья и категориям сочетания переделов производства стали [12, с. 4.27–4.28]. Они включают следующие удельные показатели выбросов CO₂, т/т:

- при производстве агломерата – 0,2; окатышей – 0,03; железа прямого восстановления – 0,7; чугуна – 1,35;
- при производстве стали в кислородных конвертерах на основе выпуска чугуна в аглодоменном производстве – 1,46;
- при производстве стали в мартеновских печах – 1,72;
- при производстве стали в электродуговых печах с использованием лома черных металлов – 0,08;
- при производстве стали в электродуговых печах с использованием железа прямого восстановления – 0,08.

По удельным выбросам CO₂ при производстве стали в электродуговых печах с использованием лома черных металлов и чугуна аглодоменного производства использована оценка автора – 0,485 т/т.

В соответствии с методикой МГЭИК для определения выбросов CO₂ в черной металлургии проведены расчеты по федеральным округам выбросов от производства агломерата, окатышей, железа прямого восстановления и чугуна литейного. Далее определены суммарные выбросы от указанных типов продукции и чугуна передельного, и стали. При этом выбросы от чугуна передельного отдельно не оцениваются, поскольку их удельные значения включены в коэффициенты выбросов от производства стали. Отметим, что выбросы парниковых газов от производства кокса как основного топлива при производстве чугуна, согласно методике МГЭИК, относятся к сектору «Энергетика», поэтому в расчет выбросов черной металлургии по округам они не включены.

Регионализация выбросов парниковых газов в черной металлургии России. Наибольшие объемы выбросов CO₂ от деятельности черной металлургии приходятся на Уральский, Центральный, Северо-Западный и Сибирский ФО (табл. 1). Такое распределение объясняется, на наш взгляд, во-первых, размещением производственных мощностей и, во-вторых, применяемыми технологическими схемами производства.

Таблица 1

Оценки выбросов CO₂ от производства окатышей, чугуна, стали и железа прямого восстановления в России по федеральным округам в 2019-2021 гг., млн т

Федеральный округ	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Центральный	30,31	32,70	31,02
Северо-Западный	17,12	17,13	17,51
Южный	0,34	0,34	0,37
Приволжский	1,76	1,75	1,81
Уральский	35,75	34,64	34,25
Сибирский	11,78	11,87	11,18
Дальневосточный	0,08	0,06	0,07
Северо-Кавказский	0,0116	0,0064	0,0053
Российская Федерация	97,14	98,49	96,20

Источник: расчеты автора.

Из табл. 2 видно, что в указанных округах выплавляется основная часть стали в стране. Важнейшим фактором размещения производств является структура промышленного производства регионов, определяющая наличие спроса со стороны основных потребителей, среди которых предприятия машиностроения и строительства [16, р. 38]. Ведущую роль в выпуске машиностроительной продукции занимают Центральный, Северо-Западный, Приволжский и Уральский округа [17]. В строительстве лидирующие позиции по объему введенных зданий занимают Центральный и Приволжский ФО, доля которых в 2020 г. составила 36,4% и 17,77% общероссийского объема³.

Не меньшее значение имеет близость экспортных рынков. Основные объемы экспорта черных металлов в рассматриваемый период приходились на Центральный, Приволжский и Уральский ФО (табл. 3). При этом наибольшая доля приходится на Центральный ФО с экспортом в страны Европы.

Технологические факторы пространственного распределения выбросов CO₂ в черной металлургии. Кроме размещения предприятий черной металлургии, пространственное распределение выбросов парниковых газов также зависит от применяемых технологических схем, поскольку они определяют состав применяемой железорудной части шихты, тип восстановителя, топлива и т. д. Как видно из табл. 2, основной объем выпуска стали произведен в кислородных конвертерах, доля которого составила в 2019, 2020 и 2021 гг. 64,1%, 65,9% и 59% соответственно. Это

³ Рассчитано на основе [18].

означает, что основным сырьем для производства стали в России является чугун, выпуск которого в доменных печах дает наибольшие выбросы CO₂. Пространственно мощности кислородно-конвертерного производства размещены в федеральных округах с наибольшими выбросами парниковых газов. Отметим, что в 2021 г. произошло снижение производства стали в кислородных конвертерах, что привело к снижению выбросов CO₂, однако относительно меньшими темпами, поскольку, во-первых, часть чугуна используется как сырье в электродуговых печах, во-вторых, существенно возросло электросталеплавильное производство.

Таблица 2

Производство стали по федеральным округам России в 2019-2021 гг., млн т

Федеральный округ	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Центральный	17,6	19,1	20,0
Северо-Западный	11,5	11,5	11,8
Южный	4,3	4,3	4,6
Приволжский	4,4	4,7	5,0
Уральский	27,3	25,6	28,1
Сибирский	7,7	7,8	7,3
Дальневосточный	1,0	0,7	0,9
Северо-Кавказский	0,13	0,1	0,1
Кислородно-конвертерное производство			
Центральный	12,9	14,5	13,1
Северо-Западный	9,1	9,1	9,3
Южный	-	-	-
Приволжский	-	-	-
Уральский	20,1	19,5	18,4
Сибирский	6,3	6,4	6,0
Дальневосточный	-	-	-
Северо-Кавказский	-	-	-
Электросталеплавильное производство			
Центральный	4,6	4,6	6,9
Северо-Западный	2,1	2,1	2,2
Южный	4,3	4,3	4,6
Приволжский	4,3	4,5	5,0
Уральский	7,2	6,1	9,7
Сибирский	1,2	1,2	1,2
Дальневосточный	1,0	0,7	0,9
Северо-Кавказский	0,1	0,1	0,1

Источник: [18]. Показатели по производству стали в кислородных конвертерах, электродуговых и мартеновских печах – оценки автора.

Таблица 3

Региональная структура общего объема экспорта черных металлов России в 2019-2021 гг., %

Федеральный округ	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Центральный	41,75	38,35	42,50
Северо-Западный	16,80	18,12	16,37
Южный	5,38	5,89	5,50
Приволжский	5,81	5,63	5,02
Уральский	15,73	16,47	18,14
Сибирский	11,17	12,92	9,33
Дальневосточный	3,27	2,52	3,07

Источник: рассчитано на основе данных Сайта Федеральной таможенной службы. URL: <https://customs.gov.ru>

Технология производства стали определяет состав железорудной части шихты, что особенно ярко проявляется в электросталеплавильном производстве [19, с. 69-70]. Это

обосновывает в качестве фактора пространственного распределения выбросов парниковых газов региональные особенности, связанные с обеспеченностью железорудным сырьем. В Уральском ФО выбросы выше как за счет большего количества комбинатов полного цикла, выплавляющих сталь преимущественно в кислородных конвертерах, так и за счет использования чугуна в шихте электросталеплавильного производства. Географическая близость богатой железной руды Курской магнитной аномалии в сочетании с большей обеспеченностью ломом приводит к меньшим выбросам в электросталеплавильном производстве Центрального и Северо-Западного округов благодаря возможности использовать в меньших объемах чугун. Совокупная обеспеченность Центрального и Северо-Западного округов ломом на 2018 г. составила 35%, Уральского и Приволжского ФО – 28%⁴. В руде Курской магнитной аномалии, обеспечивающей сырьем комбинаты Центра, Урала и Западной Сибири [20, с. 92], среднее содержание железа составляет 39%, и она не требует применения сложных схем обогащения. Пятая часть запасов руды имеет высокую концентрацию железа – около 60%, однако они сложны в освоении из-за гидро- и горно-геологических условий. Наличие такой руды вблизи центров металлургического производства позволяет снизить транспортные затраты, а также производить окатыши и прямовосстановленное железо с высокой степенью металлизации. Запасы руд Северо-Западного ФО по объемам незначительны, однако содержание железа в них составляет 26-32%. Уральские руды характеризуются содержанием железа 14-16,55%, что требует использования доменного производства [21].

Еще одним фактором, влияющим на структуру производства черной металлургии по регионам, являются цены на различное железорудное сырье. В декабре 2020 г. цена за 1 т железной руды составила 2995 руб., концентрата – 6305 руб., окатышей – 7770 руб. [22]. Низкая цена руды (по сравнению с другими видами сырья), необходимость ее транспортировки до мест потребления в совокупности со сложившейся технологической структурой производства, обуславливают более выгодное использование в Уральском и Сибирском округах агломерационного производства (по сравнению со строительством новых мощностей для производства сырья более высоких переделов и использованием концентратов и окатышей, которые могут обеспечить основу для применения технологических схем с меньшими объемами выбросов).

Заключение. Оценки по федеральным округам выбросов CO₂ в черной металлургии России показывают неравномерность их распределения. Наибольшие объемы приходятся на основные центры производства черных металлов – Уральский и Центральный ФО. Кроме того, высоки выбросы в Северо-Западном и Сибирском округах, где также размещены крупные предприятия черной металлургии. В остальных округах выбросы существенно ниже, при этом отсутствует производство стали в кислородных конвертерах. Как результат, можно выделить следующие группы факторов, определяющих пространственное распределение уровня выбросов CO₂ в черной металлургии.

1. Размещение производственных мощностей, которое в первую очередь зависит от наличия центров спроса на продукцию черной металлургии, в том числе, на внешних рынках.

2. Территориальное распределение технологических схем производства, которые включают применяемые технологии производства стали, состав шихты, вид восстановителя и топлива и т. д. К данной группе факторов можно отнести региональные особенности, связанные с обеспеченностью сырьем, что задает выбор технологической схемы при модернизации существующего или создании нового производства.

⁴ Справка по рынку лома 2018 / НСПО «РУСЛОМ.КОМ». URL: <https://ruslom.com/wp-content/uploads/2019/02/spravka-po-rynku-loma-2018>

Оценки пространственного распределения выбросов в черной металлургии в совокупности с выделенными региональными особенностями могут лечь в основу разработки точечных программ декарбонизации как для отрасли (на основе законодательно закрепленного обязательства внедрения наилучших доступных технологий [23, с. 374]), так и для регионов размещения металлургических предприятий. С учетом применяемых технологических схем основным потенциалом снижения выбросов обладают регионы размещения электросталеплавильного производства, в первую очередь, в которых в состав шихты включается чугун. Наибольший эффект может быть достигнут в Уральском ФО. Однако замена чугуна в электросталеплавильном производстве ломом черных металлов приведет к проблеме его дефицита, а также росту его цены в случае увеличения спроса, поэтому заменителем может также выступить прямовосстановленное железо, при производстве которого имеются перспективы снижения выбросов за счет использования в качестве восстановителя водорода (вместо природного газа). Основной потенциал снижения выбросов за счет применения железа прямого восстановления имеется в Центральном ФО. Потенциал снижения выбросов вследствие развития электросталеплавильных производств может быть усилен за счет использования более чистой энергии благодаря атомной и гидрогенерации, возобновляемым источникам энергии [24, с. 72]. Дополнительными источниками снижения негативного воздействия на окружающую среду могут стать техногенные месторождения вторичных ресурсов железа, т. е. накопленные отходы производства, размещенные преимущественно в металлургических центрах страны [25].

Литература / References

1. Новиков Н.И., Подъяпольский Д.В., Новикова Г.В. Роль черной металлургии в развитии национальной и региональной экономики // Вестник Кемеровского государственного университета. 2014. Т. 2. № 2 (58). С. 254-258. [Novikov N.I., Pod'yapol'skii D.V., Novikova G.V. Role of Steel in the Development of National and Regional Economy // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. Vol. 2. No. 2 (58). Pp. 254-258. (In Russ.)]
2. Малышев М.К. Роль крупного бизнеса в развитии территорий (на примере металлургических корпораций России) // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2020. № 6. С. 144-155. DOI: 10.21686/2413-2829-2020-6-144-155. [Malyshev M.K. The Role of Big Business in the Development of Territories (Illustrated by Steel-Making Corporations of Russia) // Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova. 2020. No. 6. Pp. 144-155. (In Russ.)]
3. Казакова Н.А., Когденко В.Г. Анализ факторов, оказывающих влияние на уровень экологических рисков компаний черной металлургии // Черные металлы. 2021. № 2. С. 69-75. DOI: 10.17580/chm.2021.02.12. [Kazakova N.A., Kogdenko V.G. Analysis of Factors Influencing the Level of Environmental Risks of Ferrous Metallurgy Companies // Chernye metally. 2021. No. 2. Pp. 69-75. (In Russ.)]
4. Gordon Y., Kumar S., Freislich M., Yaroshenko Y. The Modern Technology of Iron and Steel Production and Possible Ways of Their Development // Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2015. Vol. 58. No. 9. Pp. 630-637.
5. Башмаков И.А. Выбросы парниковых газов от мировой черной металлургии: прошлое, настоящее и будущее // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 8. С. 882-901. DOI: 10.32339/0135-5910-2021-8-882-901. [Bashmakov I.A. Greenhouse Gas Emissions Caused by Global Steel Industry: the Past, the Present and the Future // Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information. 2021. Vol. 77. No. 8. Pp. 882-901. (In Russ.)]
6. Казакова Н.А., Когденко В.Г. Методика исследования экологических рисков крупнейших российских компаний черной металлургии // Черные металлы. 2021. № 4. С. 69-75. DOI: 10.17580/chm.2021.04.12. [Kazakova N.A., Kogdenko V.G. Methods of Research of Environmental Risks of Largest Russian Companies of Ferrous Metallurgy // Chernye Metally. 2021. No. 4. Pp. 69-75. (In Russ.)]
7. Буданов И.А., Устинов В.С. Социальные проблемы металлургии // Научные труды. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2021. С. 192-215. DOI: 10.47711/2076-318-2021-192-215. [Budanov I.A., Ustinov V.S. Social Priorities of Metallurgy // Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences. 2021. Pp. 192-215. (In Russ.)]
8. Лаптева А.В., Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Загайнов С.А. Методика определения интегральной эмиссии диоксида углерода в процессах черной металлургии для их сравнительной оценки // Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности: Сборник докладов международной научно-практической конференции. 2015. С. 58-62. [Lapteva A.V., Lisienko V.G., Chesnokov Yu.N., Zagainov S.A. Metodika opredeleniya integral'noi emissii dioksida ugleroda v protsessakh chernoi metallurgii dlya ikh sravnitel'noi otsenki // Sovremennye nauchnye dostizheniya metallurgicheskoi teplotekhniki i ikh realizatsiya v promyshlennosti: Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2015. S. 58-62. (In Russ.)]
9. Лисиенко В.Г., Лаптева А.В., Чесноков Ю.Н., Луговкин В.В. Сравнительная эмиссия парникового газа CO₂ в пределах черной металлургии // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 9.

- C. 625-629. DOI: 10.17073/0368-0797-2015-9-625-629. [Lisienko V.G., Lapteva A.V., Chesnokov Yu.N., Lugovkin V.V. Comparative Emission of Greenhouse Gas CO₂ in the Processing of Ferrous Metallurgy / *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya*. 2015. Vol. 58. No. 9. Pp. 625-629. (In Russ.)]
10. Овчинников К.Н. Карбоновый след металлургической промышленности и обзор перспективных решений по ее декарбонизации в Китае, США и Германии // *Экология недропользования*. 2022. № 5 (97). С. 97-107. [Ovchinnikov K.N. The Carbon Footprint of the Metallurgical Industry and an Overview of Solutions for its Decarbonization in China, the USA and Germany // *Ekologiya nedropol'zovaniya*. 2022. No. 5 (97). Pp. 97-107. (In Russ.)]
 11. Декарбонизация в горно-металлургическом секторе: возможные решения для компаний в СНГ / Ernst & Young, 2021. URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_kz/topics/climate-change/ey-metals-mining-decarbonization-v2-kfs.pdf [De karbonizatsiya v gorno-metallurgicheskom sektore: vozmozhnye resheniya dlya kompanii v SNG / Ernst & Young, 2021. (In Russ.)]
 12. «Выбросы металлургической промышленности». Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, глава 4 / IPCC, 2006. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf [«Vybrosty metallurgicheskoi promyshlennosti». Rukovodyashchie printsipy natsional'nykh inventarizatsii parnikovyykh gazov MGEIK, glava 4 / IPCC, 2006. (In Russ.)]
 13. Лисенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В. Использование триады доменная печь, кислородный конвертер, электродуговая печь для уменьшения углеродного следа // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 8. С. 623-628. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-8-623-628. [Lisienko V.G., Chesnokov Yu.N., Lapteva A.V. The Use of Triad of Blast Furnace, Oxygen Converter and Electric Arc Furnace for Carbon Footprint Reduction // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya*. 2017. Vol. 60. No. 8. Pp. 623-628. (In Russ.)]
 14. Петров С.П. Технологические тенденции и направления развития черной металлургии Азиатской России // *Черные металлы*. 2022. № 8. С. 76-82. DOI: 10.17580/chm.2022.08.13. [Petrov S.P. Technological Trends and Directions of Development of Ferrous Metallurgy in Asian Russia // *Chernye metally*. 2022. No. 8. Pp. 76-82. (In Russ.)]
 15. Симонян Л.М. Анализ методологии определения выбросов CO₂ на территории РФ применительно к черной металлургии // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2018. Т. 61. № 9. С. 721-730. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-721-730. [Simonyan L.M. Analysis of the Methodology for Determining CO₂ Emissions on the Territory of the Russian Federation in Respect to the Ferrous Metallurgy // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya*. 2018. Vol. 61. No. 9. Pp. 721-730. (In Russ.)]
 16. Skelton A.C.H., Allwood J.M. The Incentives for Supply Chain Collaboration to Improve Material Efficiency in the Use of Steel: An Analysis Using Input-Output techniques // *Ecological Economics*. 2013. No. 89. Pp. 33-42. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2013.01.021.
 17. Пацала С.В., Горошко Н.В. Современная пространственная структура машиностроения России // *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2021. № 56. С. 37-49. DOI: 10.17223/19988648/56/3. [Patsala S.V., Goroshko N.V. The Modern Spatial Structure of Mechanical Engineering in Russia // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*. 2021. No. 56. Pp. 37-49. (In Russ.)]
 18. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://fedstat.ru/> [Edinaya mezvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema (EMISS). (In Russ.)]
 19. Протасов А.В., Сивак Б.А. Эволюция электро-металлургических мини-заводов. М., Типография «Ваш формат». 2019. 1044 с. [Protasov A.V., Sivak B.A. Evolyutsiya elektro-metallurgicheskikh mini-zavodov. M., Tipografiya «Vash format». 2019. 1044 p. (In Russ.)]
 20. Гальянов А.В., Яковлев В.Л. Сырьевая база промышленного комплекса черной металлургии России. М., Вологда. Инфра-Инженерия. 2022. 340 с. [Gal'yanov A.V., Yakovlev V.L. Syr'yevaya baza promyshlennogo kompleksa chernoi metallurgii Rossii. M., Vologda. Infra-Inzheneriya. 2022. 340 s. (In Russ.)]
 21. Железные руды России. 2017 год / NEDRADV. URL: <https://nedradv.ru/nedradv/ru/resources?obj=ab05b068239ede80d3dd35cf40488eca> [Zheleznyye rudy Rossii. 2017 god / NEDRADV. (In Russ.)]
 22. Катунин В.В., Зиновьева Н.Г., Иванова И.М., Петракова Т.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2020 г. // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2021. Т. 77. № 4. С. 367-392. DOI: 10.32339/0135-5910-2021-4-367-392. [Katunin V.V., Zinov'eva N.G., Ivanova I.M., Petrakova T.M. Basic Indicators of Steel Industry of Russia Operation in 2020 // *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*. 2021. Vol. 77. No. 4. Pp. 367-392. (In Russ.)]
 23. Царев Н.С., Аксенов В.И. Проблемы внедрения наилучших доступных технологий на промышленных предприятиях // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2019. Т. 75. № 3. С. 373-378. DOI: 10.32339/0135-5910-2019-3-373-378. [Tsarev N.S., Aksekov V.I. Problems of Implementation of Best Available Technologies at Industrial Plants // *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*. 2019. Vol. 75. No. 3. Pp. 373-378. (In Russ.)]
 24. Яшалова Н.Н., Васильцов В.С., Потравный И.М. Декарбонизация черной металлургии: цели и инструменты регулирования // *Черные металлы*. 2020. № 8. С. 70-74. [Yashalova N.N., Vasil'tsov V.S., Potravnyi I.M. Decarbonization of Ferrous Metallurgy: Objectives and Regulatory Instruments // *Chernye metally*. 2020. No. 8. Pp. 70-74. (In Russ.)]
 25. Sayadova Yu.B., Chernousov P.I., Golubev O.V. Econometric Modeling of Secondary Resources of Iron // *CIS Iron and Steel Review*. 2019. Vol. 18. Pp. 69-71. DOI 10.17580/cisr.2019.02.14.



Статья поступила в редакцию 15.05.2023. Статья принята к публикации 15.06.2023.

Для цитирования: С.П. Петров. Применение методики МГЭИК для оценки пространственного распределения выбросов CO₂ в черной металлургии России // Проблемы прогнозирования. 2024. № 1 (202). С. 81-89.
DOI: 10.47711/0868-6351-202-81-89

Summary

APPLICATION OF THE IPCC METHODOLOGY TO ASSESS THE SPATIAL DISTRIBUTION OF CO₂ EMISSIONS IN RUSSIAN FERROUS METALLURGY

S.P. PETROV, Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
ORCID: 0000-0002-6330-3602

Abstract: The article presents estimates of carbon dioxide emissions in the ferrous metallurgy for the federal districts of Russia. Calculations were carried out based on the approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) with adaptation for application at the regional level. The main addition to the emission calculation methods used is the initial regionalization of ferrous metal production, taking into account the production method and the charge used. This made it possible to evaluate steel production by federal districts and the technological schemes used, on the basis of which estimates of carbon dioxide emissions were made. Determining the distribution of emissions from the Russian ferrous metallurgy by federal districts made it possible to identify spatial and technological regional factors that determine the volume of emissions, which can form the basis for developing directions for decarbonization of the ferrous metallurgy.

Keywords: ferrous metallurgy, greenhouse gases, carbon dioxide emissions, spatial distribution, Inventory of greenhouse gases of the Russian Federation.

Received 15.05.2023. Accepted 15.06.2023.

For citation: S.P. Petrov. Application of the IPCC Methodology to Assess the Spatial Distribution of CO₂ Emissions in Russian Ferrous Metallurgy // Studies on Russian Economic Development. 2024. Vol. 35. No. 1. Pp. 54–59.
DOI: 10.1134/S1075700724010131