

Пространственное распределение выбросов метана от стационарных источников сжигания топлива на территории РФ

Л.В. Кудрявцева, Н.С. Попов, В.А. Гинзбург*

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Адрес для переписки: *kikimo@mail.ru

Реферат. Цель работы – оценка выбросов метана от стационарных источников на территории РФ. На основе данных Росстата о сжигании топлива в различных видах производства и данных спутникового мониторинга о сжигании попутного нефтяного газа на факелах выполнены расчеты с использованием национальных коэффициентов выбросов метана, рекомендуемых в национальных методиках и утвержденных в России. Рассчитаны годовые выбросы метана в 8 Федеральных округах и территориальных образованиях в каждом округе. Определен вклад каждого вида топлива в выбросы метана. Получено пространственное распределение и определены приоритетные источники выбросов метана на территории РФ.

Ключевые слова. Метан, стационарное сжигание, ископаемое топливо.

Spatial distribution of methane emissions from stationary fuel combustion sources on the territory of the Russian Federation

L.V. Kudryavtseva, N.S. Popov, V.A. Ginzburg*

Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

Correspondence address: *kikimo@mail.ru

Abstract. The purpose of the work is to estimate methane emissions from stationary sources on the territory of the Russian Federation. Based on Rosstat data on fuel combustion in various types of production and satellite monitoring data on associated petroleum gas flaring, calculations were performed using national methane emission factors recommended in national methodologies and approved in Russia. Annual methane emissions in 8 federal districts and territorial units in each district were calculated. The contribution of each type of fuel to methane emissions

is determined. The spatial distribution was obtained and the priority sources of methane emissions on the territory of the Russian Federation were determined.

Keywords. Methane, stationary combustion, fossil fuels.

Введение

Метан является парниковым газом более сильным, чем углекислый газ, из-за наличия глубоких колебательно-вращательных полос поглощения его молекул в инфракрасном спектре. Однако время жизни метана в атмосфере невелико (от нескольких месяцев до нескольких лет), поскольку он окисляется кислородом до углекислого газа в тропосфере под действием грозových разрядов и в стратосфере под действием УФ-С излучения Солнца. Потенциал глобального потепления (ПГП) метана, который используется в настоящее время для пересчета метана в эквивалент CO_2 , равен 25 (IPCC, 2007). При переходе к отчётности по Парижскому соглашению, уже с 2024 года используемое значение ПГП метана изменится на 28, в соответствии с данными 5-го Оценочного доклада МГЭИК (IPCC, 2013), что приведет к росту оцененного относительного вклада метана в суммарные выбросы парниковых газов. Потенциал глобального потепления метана изменяется в зависимости от источников происхождения: метан из источников ископаемого топлива имеет более высокие значения выбросов (29.8), чем метан из других источников (27.2). Анализ влияния использования различных метрик на оценку вклада метана в выбросы парниковых газов проведен в монографии «Метан и климатические изменения...» (2022).

Метан является основным компонентом природного газа, который используется для производства электроэнергии при сжигании его в газовых турбинах или парогенераторах, подаётся в дома для отопления и приготовления пищи. По сравнению с другими видами углеводородного топлива при сжигании природного газа образуется меньше углекислого газа на единицу произведенного тепла или энергии. Теплота сгорания метана около 891 кДж/моль (или 39 мДж/м³), что ниже, чем у любого другого углеводорода. Сжиженный природный газ (СПГ) так же представляет собой преимущественно метан (CH_4), сжижаемый для удобства хранения и/или транспортировки.

В последние 8-10 лет появилось ряд сообщений о заметном воздействии на климатическую систему короткоживущих климатически активных веществ антропогенного происхождения. К ним в том числе относится и метан. В отличие от долгоживущих парниковых газов (время жизни которых 100 и более лет), короткоживущие парниковые агенты не способны к продолжительной циркуляции в системе атмосфера – океан – экосистемы суши. Поэтому сокращение объема их выбросов может сказаться на их содержании в атмосфере сравнительно быстро – на временных масштабах порядка 10 лет и менее. Считается, что наряду с контролем выбросов диоксида углерода (CO_2), меры по сокращению выбросов короткоживущих парниковых агентов могут снизить антропогенное повышение глобальной температуры еще на 0.5°C к 2050 г. (UNEP, 2021).

Метан входит и в список трех основных парниковых газов, подлежащих контролю согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) (РКИК ООН, 2005). Россия, как и другие развитые страны Приложения 1 регулярно представляют отчеты по выбросам этих веществ в Секретариат РКИК ООН, где эти данные ежегодно проходят международный аудит. Основным методическим документом в рамках отчетности по РКИК являются Руководящие принципы национальных инвентаризаций (МГЭИК, 2006). Информация о выбросах метана ежегодно включается в Национальный доклад о кадастре Российской Федерации (2022). Выбросы метана от источников стационарного сжигания топлива не являются ключевыми источниками национального кадастра, их суммарный вклад в выбросы от сжигания топлива составляет менее 1% от выбросов в секторе Энергетика и 3.3% суммарного выброса метана в стране без учета сектора ЗИЗЛХ.

Целью настоящей работы является оценка сопоставимости и различия между подходами международной и российской методики к расчетам выбросов метана от источников стационарного сжигания топлива и определение их пространственного распределения по регионам России.

Данные и методы

При расчете выбросов метана использовались методические подходы, представленные в Руководящих принципах МГЭИК (2006) по умолчанию, Методических рекомендациях по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации Министерства природных ресурсов и экологии РФ (2015) и в Кадастре выбросов парниковых газов Газпром (2005). В качестве исходных данных для оценки выбросов метана от таких категорий источников, как производство электроэнергии и тепла, производственные отрасли, жилой сектор и сельское хозяйство использованы данные Росстата 2013 г. о расходе различных видов топлива в год. Сравнение коэффициентов эмиссии метана по различным методикам для различных методик по категориям источников и видам топлива представлены в табл. 1.

В категории Стационарное сжигание в отраслях энергетики национальная методика оценки выбросов загрязняющих веществ (Методические рекомендации ..., 2015) предлагает коэффициенты эмиссии метана аналогичные коэффициентам МГЭИК (2006). В Кадастре выбросов (2005) применяются коэффициенты (кг CH_4 на ТДж) 2 вместо 3 для дизельного топлива и 5 вместо 1 для природного газа. Применение более высоких коэффициентов (Кадастр выбросов..., 2005) приводит к увеличению значений выбросов в этой категории в 2-2.5 раза по сравнению с выбросами, рассчитанными по коэффициентам МГЭИК, используемым по умолчанию.

Применение отечественных коэффициентов при расчетах выбросов в категории Стационарное сжигание в производственных отраслях и строительстве приводит к увеличению их значений в 2-3 раза по сравнению с выбросами, рассчитанными по коэффициентам МГЭИК.

Таблица 1. Сравнительная характеристика удельных коэффициентов выбросов метана (кг CH₄ на ТДж) для международных и российских методик

Table 1. Comparative characteristics of specific methane emission factors (kg CH₄ per TJ) for international and Russian methods

Виды топлива / Методики	МГЭИК, 2006	Методические рекомендации ..., 2015	Кадастр выбросов парниковых газов ..., 2005
Стационарное сжигание в отраслях энергетики			
Нефть, мазут	3	3	
Дизельное топливо	3		2
Сжиженный газ, Газ нефтеперерабатывающий, сухой, Антрацит, Коксующийся уголь, Каменный уголь, Бурый уголь, Торф, Угольные брикеты, Кокс металлургический сухой, Газ горючий искусственный коксовый	1		
Природный газ	1	1	5
Промышленные отходы	30	30	
Биомасса. Древесный уголь	200	200	
Древесина/отходы древесины	30	30	
Стационарное сжигание в производственных отраслях и строительстве			
Нефть Дизельное топливо Мазут	3	2	2
Сжиженный газ (природный)	3		
Газ нефтеперерабатывающий, сухой	1		2
Антрацит Коксующийся уголь	10	10	10
Каменный уголь			
Бурый уголь	10	10	10
Торф	2		
Угольные брикеты	1		
Кокс металлургический сухой	10		30
Газ горючий искусственный коксовый	1		10
Природный газ	1	5	5
Промышленные отходы	30	30	
Древесный уголь	200	200	
Древесина/отходы древесины	30	30	30
Топливо печное бытовое	3		300

Продолжение таблицы 1

Виды топлива	Методики	МГЭИК, 2006	Методические рекомендации ..., 2015	Кадастр выбросов парниковых газов ..., 2005
Стационарное сжигание в коммерческой категории				
Нефть. Дизельное топливо. Мазут		10	10	10
Сжиженный газ (нефтяной)		10		5
Газ нефтеперерабатывающий, сухой		5		10
Антрацит. Коксующийся уголь. Каменный уголь. Бурый уголь		10	10	300
Торф		1	10	300
Газ горючий искусственный коксовый		5		
Природный газ		5	5	5
Промышленные отходы Древесина/ отходы древесины		300	300	
Биомасса. Древесный уголь		200	200	
Топливо печное бытовое		10		300
Стационарное сжигание в категории коммунального /сельского/лесного/ рыбного хозяйства и рыбоводства				
Нефть Дизельное топливо. Мазут		10	10	10
Сжиженный газ (нефтяной)				
Газ нефтеперерабатывающий, сухой		5		5
Антрацит Коксующийся уголь Каменный уголь		300	300	10
Бурый уголь. Торф. Угольные брикеты. Кокс металлургический сухой		300	300	
Газ горючий искусственный коксовый		5	5	
Природный газ		5	5	5
Промышленные отходы		300	300	
Бытовые отходы		300		
Биомасса. Древесный уголь		200	200	
Древесина/отходы древесины		300	300	
Топливо печное бытовое		10		300

Стационарное сжигание в категории коммунального /сельского/лесного/рыбного хозяйства и рыбоводства, а также других категорий национальные коэффициенты эмиссии метана не больше, указанных в методических руководящих принципах МГЭИК (2006), а в коммерческой категории даже могут быть ниже.

Для оценки выбросов по регионам России использовались данные о сжигании топлива, приведенные в форме статистической отчетности 4-ТЭР за 2013 год.

Для оценки выбросов от сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) в различных субъектах РФ (табл. 2) привлекались данные спутникового мониторинга (Матвеев и др., 2018; Böttche et al., 2021). Сравнение объемов сжигания ПНГ по данным, используемым в (НДК, 2022) показало, что при одинаковой динамике изменения объемов сжигания (по абсолютным значениям) суммарные объемы сжигания ПНГ, приведенные в кадастре Газпрома (Кадастр выбросов..., 2005) меньше значений, определяемых по спутниковым данным. Уровни сжигания ПНГ в России в 2012-2017 гг. держались на уровне 17-18 млрд м³/год, согласно данным Росстата и «ЦДУ ТЭК», далее отмечалось падение с 17 до 11-12 млрд м³/год.

Таблица 2. Выбросы метана по субъектам Российской Федерации за 2013 г.
(по данным Матвеев и др., 2018; Böttcher et al., 2021)

Table 2. Methane emissions by subjects of the Russian Federation for 2013
(according to Matveev et al., 2018; Bitcher et al., 2021)

Субъекты РФ	% от 15.6 млрд м ³	млн м ³	кг
Пермская обл.	2.2	343.2	4118.4
Оренбургская обл.	7.7	1201.2	14414.4
Самарская обл.	2.5	390	4680
Красноярский край	3.3	514.8	6177.6
Иркутская обл.	10.4	1622.4	19468.8
Томская обл.	6.7	1045.2	12542.4
Ненецкая АО	3.1	483.6	5803.2
Республика Коми	3.3	514.8	6177.6
ХМАО	27.7	4321.2	51854.4
ЯНАО	17.8	2776.8	33321.6
Волгоградская обл.	0.05	7.8	93.6
Республика Адыгея	0.01	1.3	15.6
Ставропольский край	0.11	17.5	210
Республика Башкортостан	7.2	1123	13500
Чеченская Республика	7.6	1185.6	14250

При сжигании на факелах коэффициенты эмиссии метана, рекомендуемые МГЭИК, составляют 0.012 Гг на млн м³ сожженного газа; Российская методика расчета выбросов от факельных установок (Методика расчета..., 1996) дает различные коэффициенты удельных выбросов метана в зависимости от расположения факельных установок и сжигаемой углеводородной смеси:

0.0005 г/г – для горизонтальных высотных установок и некондиционных газовых и газоконденсатных смесей;

0.03 г/г – для наземных установок и некондиционного углеводородного конденсата.

При отсутствии конкретных данных о системах сжигания принималось среднее значение 0.015 г/г, что при средней плотности углеводородной смеси 0.82 кг составляет 0.0123 Гг на млн м³ сожженного газа, и в целом совпадает с данными МГЭИК.

Плотность сжигаемых углеводородов была уточнена по данным об усреднённом составе ПНГ (табл. 3), в расчете которого учитывался состав углеводородной смеси, сжигаемой на крупнейших нефтегазовых месторождениях и газоперерабатывающих заводах Российской Федерации, а также их вклад в общий объём сжигания ПНГ в России (Попов и др., 2021). Оценка плотности производилась по компонентному составу ПНГ по формуле:

$$p_{i,j,y} = X_{i,j,y} \times p_{ci}, \quad (1)$$

где $p_{i,j,y}$ – плотность i -го компонента внутри j -й углеводородной смеси на факельной установке за период y , кг/м³ (рассчитывается согласно ГОСТ 30319.1-1996 и ГОСТ 30319.1-2015);

$X_{i,j,y}$ – молярная доля i -го компонента внутри j -й углеводородной смеси на факельной установке за период y (определяется согласно ГОСТ 30319.1-1996);

p_{ci} – плотность чистого i -го компонента при стандартных условиях, кг/м³ (определяется согласно ГОСТ 30319.1-2015).

Таблица 3. Усреднённый состав ПНГ, сжигаемого на месторождениях Российской Федерации

Table 3. Average composition of APG burned at the deposits of the Russian Federation

Компонент ПНГ	Объём (доля), %
Метан, CH ₄	66.36
Этан, C ₂ H ₆	8.56
Пропан, C ₃ H ₈	10.93
Бутан, C ₄ H ₁₀	6.04
Пентан, C ₅ H ₁₂	2.03
Гексан, C ₆ H ₁₄ +высшие	0.46
Кислород, O ₂	0.05
Азот, N ₂	2.997
Диоксид углерода, CO ₂	0.78
Сероводород, H ₂ S	0.45
Бутилен, C ₄ H ₈	0.18
Прочие (Гелий, Не)	0.78

Полученное значение средневзвешенной плотности ПНГ равно 1.05 кг/м³. Состав природного газа, добываемого в РФ и сжигаемого на факеле, показан в табл. 4.

Таблица 4. Средний примерный состав добываемого природного газа в РФ, %

Table 4. Average approximate composition of produced natural gas in the Russian Federation, %

Компонент	Объем, %
Метан, CH_4	90.4
Этан, C_2H_6	1.7533
Пропан, C_3H_8	0.6599
Бутан, C_4H_{10}	0.2277
Пентан, C_5H_{12}	0.2083
Диоксид углерода, CO_2	0.6621
Азот, N_2	0.7908
Гелий, He	0.235
Сероводород, H_2S	0.1132

Средневзвешенная плотность природного газа, добываемого в РФ и сжигаемого на факеле, составляет 0.68608 кг/м^3 .

Для расчетов выбросов метана при сжигании природного газа на факельной установке российская методика (Методика расчета..., 1996) дает коэффициент 0.0005 г/г или $0.000343 \text{ Гг на млн м}^3$. Принимая во внимание, что объем сжигаемого газа составляет 0.03% от добытого (Dedikov et al., 1999), получаем, что выбросы метана от добытого газа составляют $1.03 \times 10^{-7} \text{ Гг на млн м}^3$, что меньше рекомендаций МГЭИК ($7.6 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$) (ЕМЕП/ЕАОС, 2016; ЕЕА ЕМЕР/ЕЕА, 2019).

Результаты

На рис. 1 представлены абсолютные и относительные значения выбросов метана от стационарных источников сжигания топлива в 2013 г. в различных округах РФ.

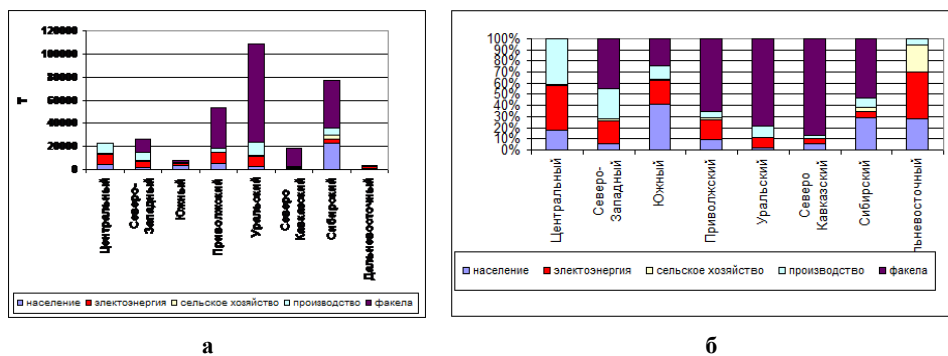


Рисунок 1. Выбросы метана в Федеральных округах РФ, а) в тоннах, б) в %

Figure 1. Methane emissions in Federal Districts of Russia, a) in tons, b) in %

Максимальные выбросы дают Уральский и Сибирский округа, главным образом, за счет сжигания ПНГ. В округах без нефтедобычи максимальные

выбросы обусловлены различными категориями источников: в ЦФО это производство (41%) и электроэнергия 40%, в ДФО электроэнергия (42%) и население 28%, в ЮФО – население 41%.

На рис. 2-9 представлены значения годовых выбросов метана в различных субъектах каждого Федеративного округа.

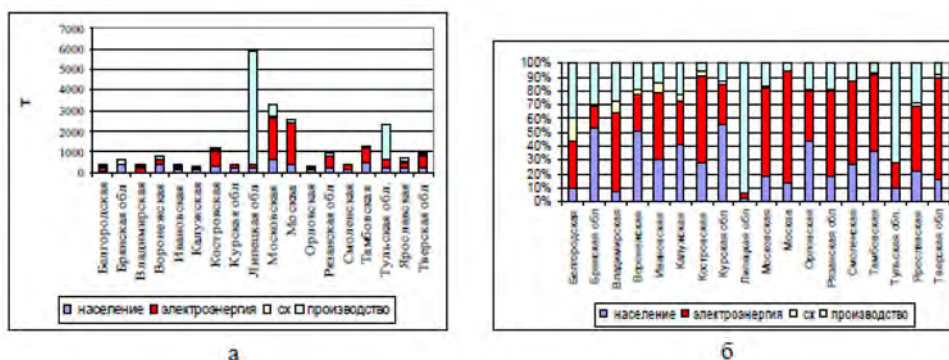


Рисунок 2. Выбросы метана в различных субъектах Центрального ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 2. Methane emissions in various subjects of the Central Federal District, a) in tons, b) in %

Максимальные значения выбросов метана дают Липецкая и Тульская области в основном за счет производства (95% и 70%), а также Москва и Московская область (80% и 60%) в категории Стационарное сжигание в отраслях энергетики.

Вклад каждой топливной группы в суммарные выбросы метана представлен в табл. 5. Максимальные выбросы метана 50-96% дает сжигание газообразного топлива во всех категориях источников, кроме производства, где преобладают выбросы от сжигания твердого топлива (57%). Жидкое топливо существенно только в категории бытовое сжигание 25%. Биомасса дает минимальный вклад 2-14% с преобладанием в категории бытовое сжигание.

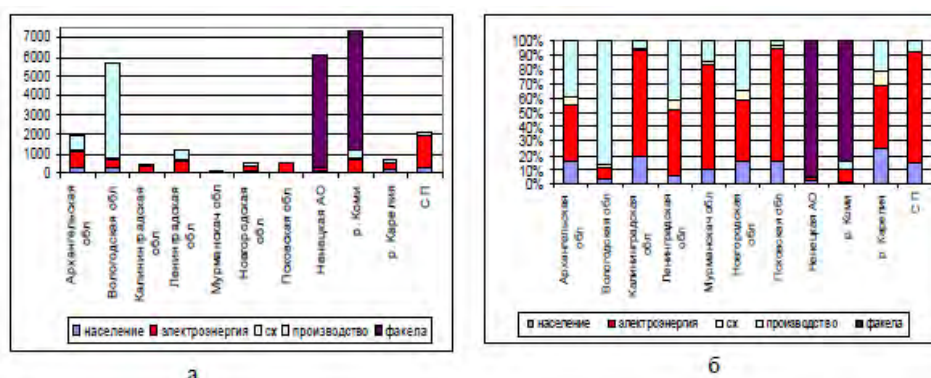


Рисунок 3. Выбросы метана в различных субъектах Северо-западного ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 3. Methane emissions in various subjects of the Northwestern Federal District, a) in tons, b) in %

СЗФО – район нефтедобычи в Ненецкой АО и Республике Коми, выбросы от факелов в этих регионах составляют 85-98% от суммарных. Также существенны выбросы в Вологодской области – 85% в категории бытового сжигания и Санкт-Петербурге – 83% при производстве электроэнергии.

В СЗФО вклад в выбросы метана от сжигания газообразного топлива максимальный в категории производство электроэнергии (68%), твердого топлива – в обрабатывающем производстве (61%), жидкого – при бытовом сжигании (38%), биотоплива – в сельском хозяйстве (70%) (табл. 5).

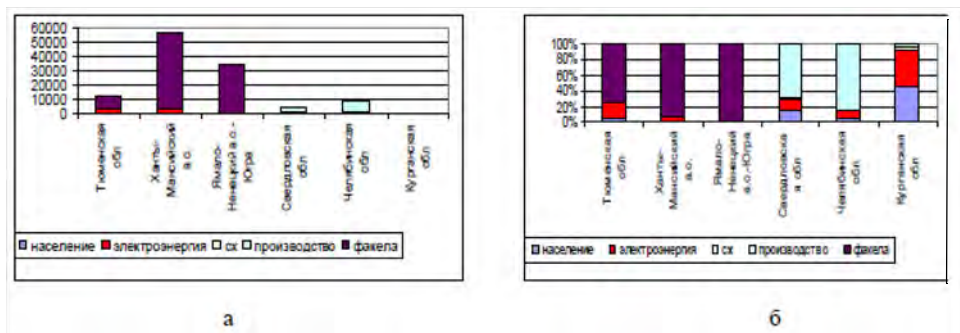


Рисунок 4. Выбросы метана в различных субъектах Уральского ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 4. Methane emissions in various subjects of the Ural Federal District, a) in tons, b) in %

Уральский округ – лидер по объемам добычи нефти. В Тюменской области, Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком округах выбросы метана от факелов составляют 65-100% от суммарных, в других областях преобладают выбросы от производства (85% в Челябинской и 65% в Свердловской областях) и сжигания населением (45% в Курганской области).

В других категориях источников вклад в выбросы метана от сжигания газообразного топлива дает производство электроэнергии – 73%. В обрабатывающем производстве 91% обусловлено сжиганием твердого топлива. Существенен вклад биотоплива – 45-61% в бытовом сжигании и сельском хозяйстве. Сжигание жидкого топлива мало влияет на выбросы метана – 0.5-19%.

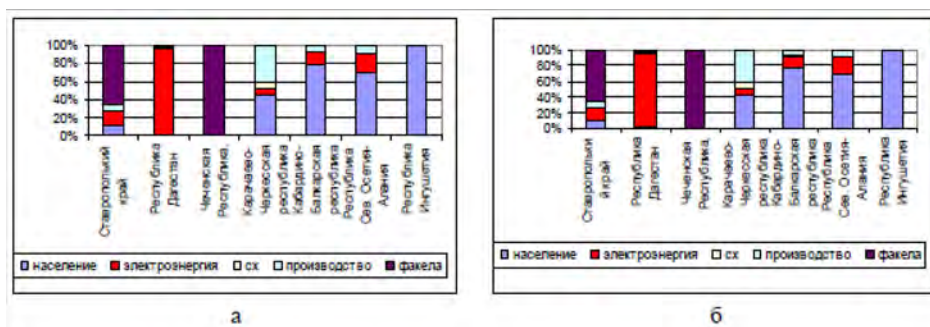


Рисунок 5. Выбросы метана в различных субъектах Северо-Кавказского ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 5. Methane emissions in various subjects of the North Caucasus Federal District, a) in tons, b) in %

Основным источником выбросов метана в Северо-Кавказском ФО являются предприятия нефтяного комплекса в Чеченской Республике, факела которых дают почти 100% от суммарных выбросов. В остальных регионах СКФО преобладают выбросы от сжигания населением 80-100%. Выбросы при производстве электроэнергии наиболее существенны в Республике Дагестан (около 100%)

Кроме факелов, максимальный вклад в выбросы метана вносит твердое топливо в категории обрабатывающее производство – 99.5%. В других категориях существенно преобладают выбросы от сжигания газообразного топлива – 82-99.8%.

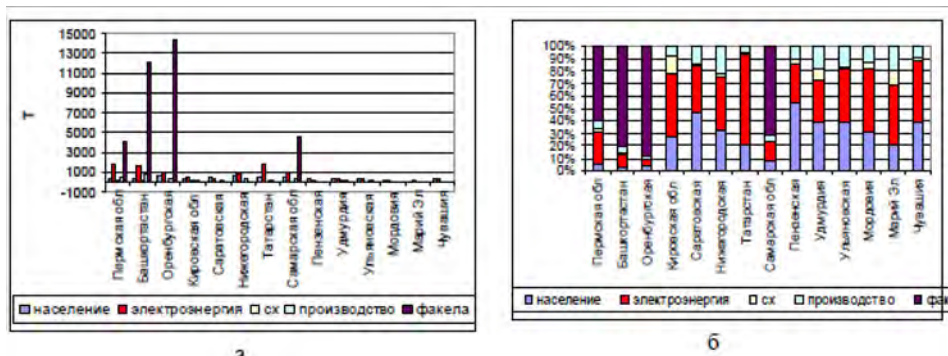


Рисунок 6. Выбросы метана в различных субъектах Приволжского ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 6. Methane emissions in various subjects of the Volga Federal District, in tons, b) in %

Основными источниками выбросов метана в Приволжском ФО являются области нефтедобычи – Оренбургская (90% от суммы), Самарская и Пермская область (60%), Республика Башкортостан (80%). В других областях преобладают выбросы от производства электроэнергии (до 95% в Татарстане) и бытовое сжигание (20-50%).

Среди топливных групп (табл. 5) максимальные выбросы метана дает сжигание газообразного топлива – 66-94% во всех категориях источников, кроме сельского хозяйства, где преобладают выбросы от сжигания биотоплива – 70%.

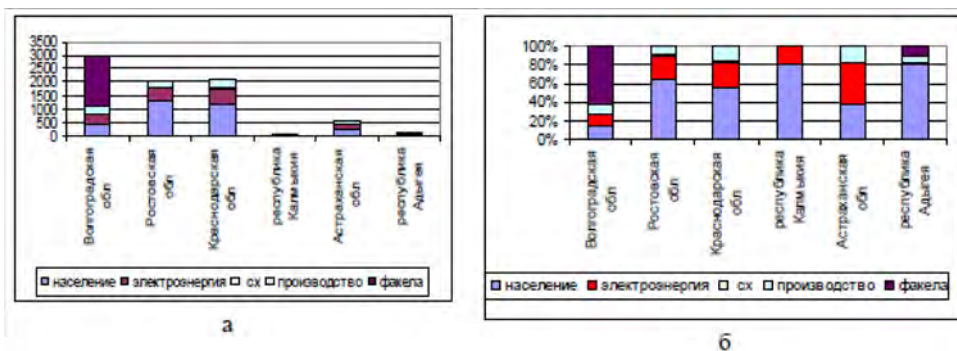


Рисунок 7. Выбросы метана в различных субъектах Южного ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 7. Methane emissions in various subjects of the Southern Federal District, a) in tons, b) in %

Выбросы метана в Южном ФО невелики и составляют 2.5% от суммарных. Максимальные выбросы в Волгоградской (75% от факелов), Ростовской (60%) областях и Краснодарском крае (55%) в категории бытовое сжигание.

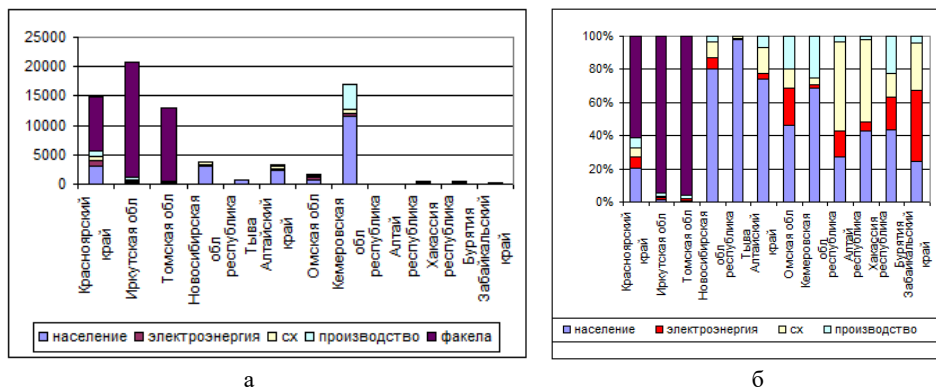


Рисунок 8. Выбросы метана в различных субъектах Сибирского ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 8. Methane emissions in various subjects of the Siberian Federal District, a) in tons, b) in %

В Сибирском ФО основными источниками выбросов метана являются нефтедобывающие регионы: Иркутская, Томская области и Красноярский край (60-100% от суммарных выбросов). В других регионах наибольший вклад в выбросы дает бытовое сжигание: до 98% в Тыве, 75% в Алтайском крае и 70% в Кемеровской области.

Выбросы метана обусловлены главным образом сжиганием твердого топлива 79-92% во всех категориях, кроме обрабатывающего производства, где к ним добавляется жидкое топливо 34% и древесина 31%.

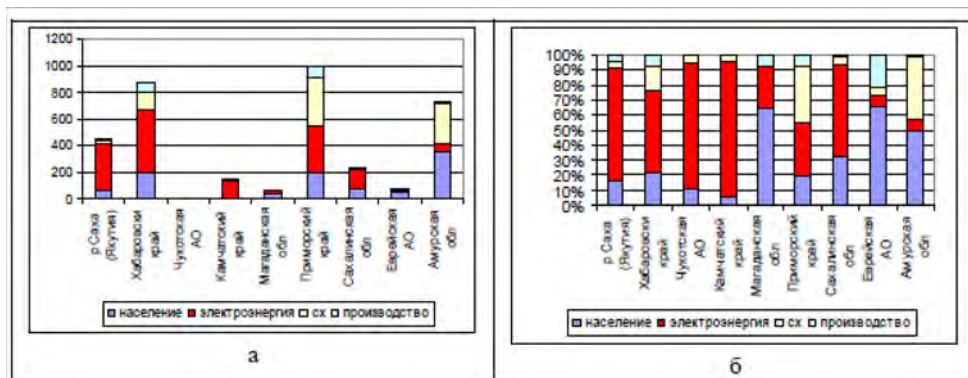


Рисунок 9. Выбросы метана в различных субъектах Дальневосточного ФО, а) в тоннах, б) в %

Figure 9. Methane emissions in various subjects of the Far Eastern Federal District, in tons, b) in %

В Дальневосточном ФО основным источником выбросов метана является производство электроэнергии (35-85%) и, соответственно, сжигание газообразного топлива (54%) (табл. 5). В другие категории источников основной вклад вносит твердое топливо (60-77%).

Таблица 5. Вклад каждой топливной группы в суммарные выбросы, %

Table 5. Contribution of each fuel group to total emissions, %

Категория источника	Жидкое топливо	Твердое топливо	Газообразное топливо	Биотопливо
Центральный ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	0.5	1	96	2.5
Обрабатывающие производства	0.5	67	32	0.5
Бытовое сжигание	25	12	49	14
Сельское хозяйство, рыболовство	3	12	82	3
Северо-Западный ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	2	2	68	28
Обрабатывающие производства	2	61	29	3
Бытовое сжигание	38	15	19	28
Сельское хозяйство, рыболовство	1	19	10	70
Уральский ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	1	73	26	
Обрабатывающие производства	0.5	5.5	91	3
Бытовое сжигание	19	4	32	45
Сельское хозяйство, рыболовство	0.5	20.5	18	61
Северо-Кавказский АО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	0.2	0	99.8	0
Обрабатывающие производства	0.3	99.5	0.2	0
Бытовое сжигание	5	3	90	2
Сельское хозяйство, рыболовство	6	4	82	8
Приволжский ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	0.2	0.3	94	5.5
Обрабатывающие производства	4.5	8	86	1.5
Бытовое сжигание	17	3	66	14
Сельское хозяйство, рыболовство	1	8	21	70

Продолжение таблицы 2

Категория источника	Жидкое топливо	Твердое топливо	Газообразное топливо	Биотопливо
Южный ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	0.2	4.7	95	0.1
Обрабатывающие производства	1	5.7	93.3	0
Бытовое сжигание	20	19	60	1
Сельское хозяйство, рыболовство	11	38	40	11
Сибирский ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	34	35	31	0
Обрабатывающие производства	1	79	19	1
Бытовое сжигание	2	92	1	5
Сельское хозяйство, рыболовство	2	92	1	5
Дальневосточный ФО				
Производство электроэнергии и тепловой энергии	9	21	54	16
Обрабатывающие производства	4	58	36	2
Бытовое сжигание	17	62	8	13
Сельское хозяйство, рыболовство	0.2	77	0.2	22.6

Сжигание твердого топлива дает максимальные выбросы черного углерода при производстве электро- и тепловой энергии (40 %). Так же около 40% вносит сжигание твердого топлива в категориях обрабатывающие производства и бытовое сжигание, а в категории коммунальные услуги – 30%. Жидкое топливо вносит наибольший вклад в выбросы в категориях: другие источники выбросов, обрабатывающие производства, коммунальные услуги и сельское хозяйство (53-63%). Вклад выбросов от газообразного топлива существенный только для категории централизованное производство тепло- и электроэнергии. Биотопливо вносит существенных вклад в категориях бытовое сжигание и сельское хозяйство (36-49%).

На рис. 10 представлено пространственное распределение выбросов метана на территории РФ от разных категорий источников.

Из представленного рисунка видно, что максимальные выбросы метана дают Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО, а плотность выбросов наибольшая в Европейской части. Это соответствует результатам базы данных EDGAR (EC-JRC/PBL, 2012), согласно которым максимальное значение выбросов в районе Санкт-Петербурга составляет 8 т/км², в Архангельской области

0.05 т/км², в Ямало-Ненецком АО 0.06 т/км², что вполне отвечает нашим расчетам, соответственно, 1.5, 0.07 и 0.05 т/км².

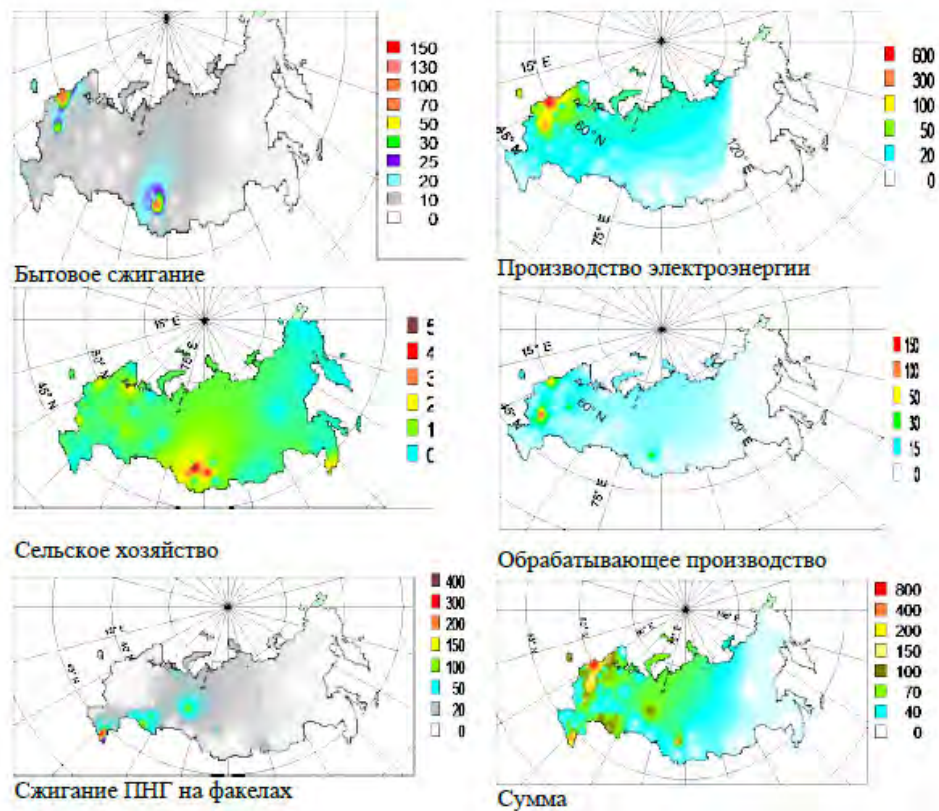


Рисунок 10. Пространственное распределение выбросов метана (кг/км²) на территории РФ от разных категорий источников

Figure 10. Spatial distribution of methane emissions (kg/km²) on the territory of the Russian Federation from different source categories

Выводы

Расчеты выбросов метана от стационарных источников на территории РФ показали, что основным их источником является сжигание попутного нефтяного газа на факелах в районах нефтедобычи, поэтому максимальные выбросы дают Уральский (110 тыс. т) и Сибирский (80 тыс. т) федеральные округа. В округах без нефтедобычи максимальные выбросы обусловлены различными категориями источников: в ЦФО это сжигание в отраслях производства (41%) и энергетики (40%), в ДФО – сжигание в отраслях энергетики (42%) и бытовое сжигание (28%), в ЮФО – бытовое сжигание (41%).

Определен вклад каждой топливной группы в суммарные выбросы метана. Максимальные выбросы метана (50-96%) дает сжигание газообразного топлива во всех категориях источников, кроме производства, где преобладают выбросы от сжигания твердого топлива (57%). Вклад в выбросы метана жидкого топлива существенен только в категории бытовое сжигание

(25%). Биомасса дает минимальный вклад – 2-14% с преобладанием в категории бытовое сжигание.

Полученные результаты предоставляют широкие возможности для комплексного анализа загрязнения территории России и разработки мер по снижению негативного воздействия.

Список литературы

ГОСТ 30319.1 (1996) *Межгосударственный стандарт. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки*, М., ИПК Изд-во стандартов, 20 с.

ГОСТ 30319.1 (2015) *Межгосударственный стандарт. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки. Общие положения*, М., ИПК Изд-во стандартов, 20 с.

ЕМЕР/ЕАОС (2016) *Руководство ЕМЕР/ЕАОС по инвентаризации выбросов. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризационных выбросов*, ЕАОС, Копенгаген, 37 с.

Кадастр выбросов парниковых газов (2005) Общие требования к содержанию и оформлению, СТО Газпром.

Матвеев, А.М., Жижин, М.Н., Пойда, А.А. (2018) Применение алгоритма спутникового мониторинга сжигания попутного нефтяного газа Viirs Nightfire на территории России и его результаты, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, сб. тезисов докладов 16 Всероссийской открытой конф.*, с. 100.

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата*, Под ред. С. Игглестона, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара и К. Танабе, т. 1-5, ИГЕС, Хайяма.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты (2022) под ред. Б.Г. Бандура, И.И. Мохова, Макоско, М., РАН, 388 с.

Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей (1996) Москва, ВНИИгаз.

Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации (2015) Утв. Министерством природных ресурсов и экологии РФ от 16 апреля 2015 г, № 15-р, 716 с.

НДК (2022) *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2020 гг.*, Москва, с. 58-61.

Попов, Н.В., Говор, И.Л., Гитарский, М.Л. (2021) Эмиссия парниковых газов от сжигания попутного нефтяного газа в России, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 54-61.

РКИК ООН (2005) *Рамочная Конвенция ООН об изменении климата. Секретариат РКИК ООН при поддержке Отделения ООН в Женеве*, Женева, 41 с.

Böttcher Kristin, Ville-Veikko Paunu, Kaarle Kupiainen, Mikhail Zhizhin, Alexey Matveev, Mikko Savolahti, Zbigniew Klimont, Sampsa Väättäin, Heikki Lamberg, Niko Karvosenoja (2021) *Black carbon emissions from flaring in Russia in the period 2012-2017*.

Dedikov, J.V., Akopova, G.S., Gladkaja, N.G., Piotrovskij, A.S., Markellov, V.A., Salichov, S.S., Kaesler, H., Ramm, A., Muller von Blumencron, A., Lelieveld, J. (1999) Estimating Methane Releases from Natural Gas Production and Transmission in Russia, *Atmospheric Environment*, no. 33, pp. 3291-3299.

EC-JRC/PBL (2012) *Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)*, release EDGARv4.2 FT2012, available at: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu> (last access: 15 January 2018).

EEA EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2019) European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

IPCC (2007) *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

UNEP (2021) *Emissions Gap Report 2021. The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered*, Nairobi, available at: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021>.

References

GOST 30319.1 (1996) *Mezhdgosudarstvennyj standart. Gaz prirodnyj. Metody rascheta fizicheskix svojstv. Opredelenie fizicheskix svojstv prirodnogo gaza, ego komponentov i produktov ego pererabotki* [Interstate standard. Natural gas. Methods for calculating physical properties. Determination of the physical

properties of natural gas, its components and products of its processing], IPK Publishing House of Standards, Moscow, Russia, 20 p.

GOST 30319.1 (2015) *Mezhhgosudarstvennyj standart. Gaz prirodnyj. Metody rascheta fizicheskix svojstv. Opredelenie fizicheskix svojstv prirodnogo gaza, ego komponentov i produktov ego pererabotki* [Interstate standard. Natural gas. Methods for calculating physical properties. Determination of the physical properties of natural gas, its components and products of its processing], IPK Publishing House of Standards, Moscow, Russia, 20 p.

ЕМЕР/EAOS (2016) *Rukovodstvo EMER/EAOS po inventarizacii vybrosov 2016. Obshchie rukovodyashchie ukazaniya po podgotovke nacional'nyh inventarizacionnyh vybrosov* [Guidelines for Emission Inventories 2016. General guidelines for the preparation of national emission inventories], Kopenhagen, Denmark.

Kadastr vybrosov parnikovyh gazov. Obshchie trebovaniya k sodержaniyu i oformleniyu [Inventory of greenhouse gas emissions. General requirements for content and design] (2005) STO Gazprom, Russia.

Matveev, A.M., Zhizhin, M.N., Pojda, A.A. (2018) *Primenenie algoritma sputnikovogo monitoringa szhiganiya poputnogo neftyanogo gaza Viirs Nightfire na territorii Rossii i ego rezul'taty* [Application of the Viirs Nightfire associated petroleum gas flaring satellite monitoring algorithm in Russia and its results], *Sbornik tezisov dokladov Shestnadcatoj vsерossijskoj otkrytoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa»*, [Modern problems of remote sensing of the Earth from space, collection of abstracts of reports of the 16th All-Russian open conference], Russia, p. 100.

MGEIK (2006) *Rukovodyashchie principy nacional'nyh inventarizacij parnikovyh gazov Mezhpriavitel'stvennoj gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata* [Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories of the Intergovernmental Panel on Climate Change], in S. Igglestona, L. Buendia, K. Miva, T. Ngara, K. Tanabe (eds.), vol. 1-5, IGES, Hajyama.

Metan i klimaticheskie izmeneniya: nauchnye problemy i tekhnologicheskie aspekty (2022) [Methane and climate change: scientific problems and technological aspects], in B.G. Bandura, I.I. Mohova, A.A. Makosko (eds.), Rossijskaya akademiya nauk, Russia.

Metodika rascheta parametrov vybrosov i valovyh vybrosov vrednyh veshchestv ot fabel'nyh ustanovok szhiganiya uglevodorodnyh smesej [Methodology for calculating the parameters of emissions and gross emissions of harmful substances from flare installations for the combustion of hydrocarbon mixtures] (1996), VNIlgaz, Moscow, Russia.

Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu dobrovol'noj inventarizacii ob"ema vybrosov parnikovyh gazov v sub"ektah Rossijskoj federacii [Methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the subjects of the Russian Federation] (2015) Utv. Ministerstvom prirodnyh resursov i ekologii RF ot 16 aprelya 2015 g., no. 15-r, 716 p.

Nacional'nyj doklad o kadastrе antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov. ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990-2020 gg. (2022) [National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases. not regulated by the Montreal Protocol for 1990-2020], Moscow, Russia, pp. 58-61.

Popov, N.V., Govor, I.L., Gitarskij, M.L. (2021) Emissiya parnikovyh gazov ot szhiganiya poputnogo neftyanogo gaza v Rossii [Greenhouse gas emissions from associated petroleum gas flaring in Russia], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 54-61.

RKIK OON (2005) *Ramochnaya Konvenciya OON ob izmenenii klimata. Sekretariat RKIK OON pri podderzhke Otdeleniya OON v Heneve* [United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC Secretariat with the support of the United Nations Office at Geneva], Geneva, Switzerland, 41 p.

Böttcher Kristin, Ville-Veikko Paunu, Kaarle Kupiainen, Mikhail Zhizhin, Alexey Matveev, Mikko Savolahti, Zbigniew Klimont, Sampsa Väättäin, Heikki Lamberg, Niko Karvosenoja (2021) *Black carbon emissions from flaring in Russia in the period 2012-2017*.

Dedikov, J.V., Akopova, G.S., Gladkaja, N.G., Piotrovskij, A.S., Markellov, V.A., Salichov, S.S., Kaesler, H., Ramm, A., Muller von Blumencron, A., Lelieveld, J. (1999) Estimating Methane Releases from Natural Gas Production and Transmission in Russia, *Atmospheric Environment*, no. 33, pp. 3291-3299.

EC-JRC/PBL (2012) *Emission Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR), release EDGARv4.2 FT2012, available at: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu> (last access: 15 January 2018).

EEA EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2019) European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

IPCC (2007) *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

UNEP (2021) *Emissions Gap Report 2021. The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered*, Nairobi, available at: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021>.

Поступила в редакцию:

Доработана после рецензирования:

Для цитирования / For citation:

Кудрявцева, Л.В., Попов, Н.С., Гинзбург, В.А. (2024) Пространственное распределение выбросов метана от стационарных источников сжигания топлива на территории РФ, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 3-4, с. 18-37, doi: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-18-37.

Kudryavtseva, L.V., Popov, N.S., Ginzburg, V.A. (2024) Spatial distribution of methane emissions from stationary fuel combustion sources on the territory of the Russian Federation, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXV, no. 3-4, pp. 18-37, doi: 10.24412/2782-3237-2024-3-4-18-37.