

Анализ подходов к разработке коэффициентов выбросов парниковых газов от добычи и подготовки нефти и газового конденсата

Н.В. Попов, О.С. Третьяк*

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
Российская Федерация, 107258, Москва, Глебовская, 20Б

*Адрес для переписки: nikitappv@igce.ru

Реферат. Летучие выбросы парниковых газов от добычи и подготовки нефти и газового конденсата в РФ составляют примерно 2% от общего количества антропогенных выбросов парниковых газов. Категория выбросов от добычи и подготовки нефти и газового конденсата является ключевой в Национальном докладе о кадастре выбросов парниковых газов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом. Для оценки описанной категории применяется среднее значение из диапазона параметров, указанных для развитых стран в Руководящих принципах МГЭИК 2006 г. В данном диапазоне максимальное значение в 2000 раз больше минимального, что обуславливает необходимость разработки более точных национальных коэффициентов выбросов. Были проанализированы 3 подхода к разработке национального коэффициента выбросов: первый – с использованием данных о технологических потерях попутного нефтяного газа, второй – с использованием данных о газовом факторе месторождений РФ и третий – с использованием информации о выбросах метана как загрязняющего вещества на месторождениях. По результатам анализа было обнаружено, что использование первых двух подходов сильно снизит текущие значения выбросов парниковых газов, в то время как удельные коэффициенты, полученные с использованием третьего подхода наиболее близки по своим значениям к коэффициентам выбросов, приведенных в Руководящих принципах МГЭИК 2006 г. Был сделан вывод о целесообразности использования комбинированного подхода: учитывать при разработке национального коэффициента данные о расходе попутного нефтяного газа на собственные нужды стравливания и газоотведения и технологические потери вместе с данными о выбросах метана как загрязняющего вещества на месторождениях.

Ключевые слова. Методика разработки коэффициентов выбросов, парниковые газы, выбросы при добыче нефти, выбросы при подготовке нефти, МГЭИК 2006, национальный кадастр.

Analysis of approaches to develop greenhouse gas emission factors from oil and gas condensate production and upgrading

N.V. Popov, O.S. Tret'yak*

Abstract. Fugitive greenhouse gas emissions from oil and gas condensate production and treatment account for around 2% of total national anthropogenic emissions in Russia. The oil and gas condensate production and treatment emissions category is the key category in National inventory report on greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol. For greenhouse gas emissions accounting in this category the average value from the range of parameters specified for developed countries in the IPCC 2006 guidelines (here in after IPCC 2006) is used. Within this range the maximum value is 2000 times higher than the minimum value, which is the reason why more accurate national emission factors should be developed. There were 3 approaches to develop greenhouse gas national emission factors which was analyzed: first – with use of associated petroleum gas technical losses data, second – with use of gas/oil ratio factors on oil and gas field of Russia, and third – with use of data of methane emissions on fields as a pollutant. According to the results of the analysis it was found that use of first two approaches will strongly reduce current emission estimates from observed category, while emission factors obtained with use of third approach are the closest to IPCC 2006 emission factor values. There where made a conclusion that is reasonable to use combined approach to develop national emission factors: account for associated petroleum gas use on field own needs for venting and technical losses together with methane as a pollutant emission on fields data.

Keywords. Emission factor methodology, greenhouse gases, greenhouse gas emission from oil production, greenhouse gas emission from oil treatment, IPCC 2006, national inventory report.

Введение

В настоящее время в Национальном кадастре (НДК, 2023) наибольший вклад от общего количества выбросов парниковых газов (ПГ) составляют выбросы в секторе «Энергетика» (приблизительно 80%). Сектор «Энергетика» включает выбросы, происходящие от сжигания топлива с целью получения энергии и тепла (подсектор 1.A) и летучие, или фугитивные выбросы (подсектор 1.B), составляющие 86 и 14 % соответственно. Категория выбросов метана и диоксида углерода при операциях с нефтью в подсекторе «Фугитивные выбросы» является одной из ключевых в Национальном кадастре, основными источниками выбросов в ней являются выбросы от разведки (бурения, опробования и обслуживания), добычи и подготовки нефти и газового конденсата (НДК, 2023).

На рис. 1 приведено распределение общего выброса парниковых газов по секторам и относительный вклад суммарных выбросов ПГ от операций по разведке, добыче и подготовке нефти в национальный выброс парниковых

газов без учёта сектора «Землепользование, изменение в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ).

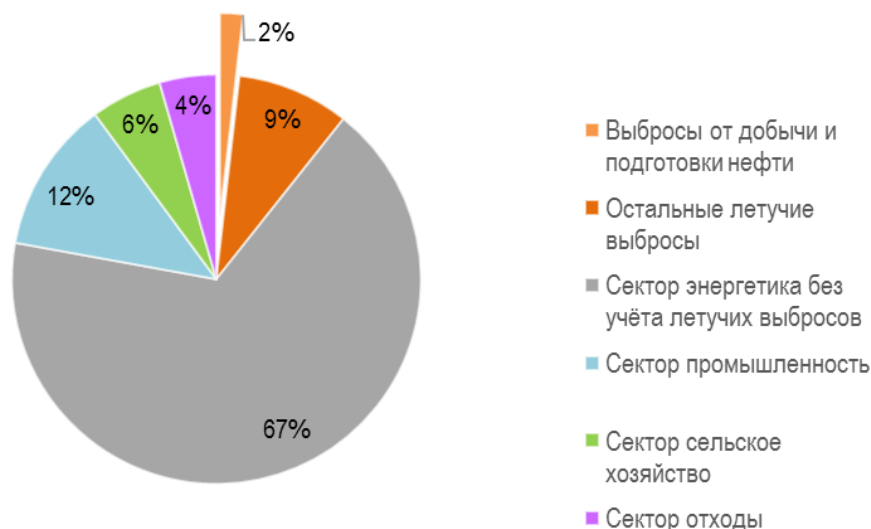


Рисунок 1. Относительный вклад выбросов парниковых газов от операций по добыче и подготовке нефти в суммарные эмиссии приведённые в национальном кадастре

Figure 1. Relative contribution of greenhouse gas emissions from oil and gas condensate production and upgrading operations in to summarized emissions included in national inventory report

Из рисунка видно, что вклад выбросов от операций по добыче и подготовке нефти и газового конденсата составляет почти 2% от общего количества выбросов в Национальном кадастре без учёта сектора ЗИЗЛХ.

Для оценки выбросов метана от добычи и подготовки нефти и газового конденсата в Национальном кадастре были использованы коэффициенты, указанные в табл. 4.2.4 тома 2 главы 4 Руководящих принципов МГЭИК 2006 г. (МГЭИК, 2006). В указанной таблице приведён диапазон коэффициента выбросов метана, который возможно применять при оценке выбросов от рассматриваемой категории в развитых странах: он составляет от 1.5×10^{-6} до 3.6×10^{-3} Гг CH_4 на тыс. м^3 добычи нефти и газового конденсата. Максимальное значение коэффициента из указанного диапазона более чем в 2000 раз больше минимального значения. В качестве источника данных параметров в МГЭИК 2006 приведены источники 1996, 1999, и 2004 гг. В Национальном кадастре использовано среднее значение из указанного диапазона (НДК, 2023). Можно предположить, что применяемый в Национальном кадастре коэффициент может не релевантно отображать фактический уровень выбросов парниковых газов в CO_2 эквиваленте от добычи и подготовки нефти и газового конденсата. Начиная с 2012 г., нефтегазовыми компаниями России стали активно внедряться инвестиционные газовые программы по утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) – основного углеводородного сырья, выбрасываемого в атмосферу при добыче и подготовке нефти (Отчёт об устойчивом развитии, 2023). Также, начиная с 2015 г., нефтегазовыми компаниями

активно внедряются низкоуглеродные стратегии развития на предприятиях, что способствует снижению выбросов парниковых газов.

Учитывая выше сказанное, можно сказать, что существует достаточно оснований для обновления коэффициента выброса метана от добычи и подготовки нефти и газового конденсата. Данную работу предполагается выполнить в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения (далее – ВИП ГЗ).

Для выполнения выше указанной работы необходимо сделать предварительный анализ возможных подходов к разработке указанного коэффициента с целью выбора наиболее оптимальной методики его расчёта. Анализ каждой методики требует приблизительной оценки выбросов метана и их сопоставление с выбросами, приведёнными в Национальном кадастре.

Методы и материалы

Был проведён анализ трёх подходов к определению коэффициентов выбросов метана и диоксида углерода от добычи и подготовки нефти и газового конденсата за 2020 и 2021 г.:

1. Расчёт коэффициентов с использованием, регулярных статистических данных о технологических потерях ПНГ и нефти за год.
2. Расчёт коэффициентов выбросов с использованием газового фактора нефтедобывающих месторождений.
3. Расчёт коэффициентов выбросов с использованием статистики по выбросам метана как загрязняющего вещества на нефтедобывающих месторождениях

Для анализа каждого подхода проводился расчёт предварительных величин коэффициентов выбросов за 2020 и 2021 г. и их сопоставление с используемыми в настоящее время в кадастре коэффициентами выбросов метана и диоксида углерода от добычи и подготовки нефти и газового конденсата, которые приведены в таблице 4.2.4 тома 2 главы 4 МГЭИК 2006, в категориях 1.B.2.a.iii.2 (утечки для суши) и 1.B.2.a.i.

Первый подход

В анализе метода расчёта коэффициента с использованием технологических потерь использовалась формула 3.1 Приказа Минприроды России от 27.05.2022 N 371 "Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов" (Приказ, 2022), где « $FC_{j,y}$ » было заменено на технологические потери ПНГ за год в тыс. м³.

Итоговые выбросы CO₂ и CH₄ были поделены на объёмы добычи нефти за 2020 г. и 2021 г. для сравнения с коэффициентами выбросов и оценками эмиссий, согласно МГЭИК 2006.

Второй подход

Анализ второго подхода производился с использованием формулы 1 (МГЭИК, 2006).

$$E_{\text{газ, доб. нефти, удаление}} = GOR \times Q_{\text{нефть}} \times (1 - CE) \times (1 - X_{\text{Сож. в факелах}}) \times \quad (1) \\ \times M_{\text{газ}} \times y_{\text{газ}} \times 42.3 \times 10^{-6}$$

где: $E_{\text{газ, доб. нефти, удаление}}$ – прямое количество (Гг/год) парникового газа i , поступившего в атмосферу при продувках, стравливаниях и удалении, или газоотведении на объектах нефтедобычи;

GOR (*gas to oil ratio*) – газовый фактор нефтедобывающих месторождений;

$Q_{\text{НЕФТЬ}}$ – объёмы добычи нефти;

CE – коэффициент, или уровень утилизации ПНГ на месторождении;

$X_{\text{Сож. в факелах}}$ – доля из общего объёма нерационального утилизированного ПНГ, которая была сожжена в факелах, а не выпущена в атмосферу (включая стравливание и рассеяние);

$M_{\text{газ}}$ – молекулярный вес интересующего газа (например, 16.043 для CH_4 и 44.011 для CO_2);

$y_{\text{газ}}$ – объемная доля попутного газа состоящего из вещества i (например, CH_4 , CO_2 или ЛНОС).

Итоговые выбросы CO_2 и CH_4 были поделены на объёмы добычи нефти за 2020 г. и 2021 г. для сравнения с коэффициентами выбросов и оценками эмиссий, согласно МГЭИК 2006.

Третий подход

Анализ третьего подхода производился с использованием статистики по выбросам метана из общего реестра объектов негативного воздействия на окружающую среду (НВОС) Росприроднадзора (Государственный реестр объектов..., 2023). Для оценки выбросов были отобраны несколько месторождений: Самотлорское, Ванкорское, Русское, Восточно-Таркосалинское, Ярудейское. По выборке месторождений была собрана статистика по суммарным выбросам метана на разных объектах, площадках, цехах и др. Полученные суммарные оценки выбросов метана (в тоннах) были отнесены к добыче нефти (формула 2) за 2020 и 2021 гг. и сопоставлены с коэффициентами выбросов и оценками эмиссий, согласно МГЭИК 2006.

$$EF_{\text{CH}_4, y} = \frac{E_{\text{CH}_4, y}}{V_{\text{доб. нефти, y}}}; \quad (2)$$

где: $EF_{\text{CH}_4, y}$ – выбросы метана за период y , тыс. т/тыс. м³;

$E_{\text{CH}_4, y}$ – выбросы метана за период y , тыс. т;

$V_{\text{доб. нефти, y}}$ – объём добычи нефти за период y , тыс. м³

Результаты

Первый подход

Результаты анализа первого подхода приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты анализа подхода по расчёту выбросов парниковых газов от технологических потерь углеводородов

Table 1. Results of counting GHG emissions from hydrocarbon technical losses

Использованные параметры		
Объёмная доля CH ₄ в пластовых нефтях, %	27.85	
Объёмная доля CH ₄ в составе ПНГ, %	66.36	
Объёмная доля CO ₂ в составе ПНГ, %	0.78	
Результаты расчёта		
Год	2020 г.	2021 г.
Технологические потери ПНГ, тыс. м ³	211 080	236 202
Потери нефти при добыче всего, тыс. м ³	554 968	514 864
Выброс CH ₄ при добыче и подготовке нефти и ГК, тонн.	196873	200549
Выброс CO ₂ при добыче и подготовке нефти и ГК, тонн.	3028	3389
удельный коэффициент выбросов тыс. т CO ₂ экв/ тыс. м ³ нефти	7.99×10 ⁻³	8.97×10 ⁻³
Добыча нефти, тыс. м ³	659 466	603 652
Выброс т.CO ₂ экв/год (удел. коэффициент)	4 924 843	5 017 116
коэфф. выбросов МГЭИК (продувки) тыс. т CO ₂ экв/ тыс. м ³ нефти	1.81×10 ⁻²	
Выброс т.CO ₂ экв/год (с использованием коэфф. МГЭИК)	11 933 046	10 923 070
Отношение коэфф. МГЭИК к удельному коэффициенту	2.02	

Из табл. 1 видно, что вклад суммарных выбросов CO₂ и CH₄ (в CO₂ экв.) от продувок при добыче нефти и газового конденсата, рассчитанных с применением коэффициента выбросов от продувок МГЭИК 2006, в 2 раза больше оценок выбросов по данным о технологических потерях ПНГ. Потенциально, причиной таких расхождений могут быть завышенные значения коэффициентов МГЭИК 2006, а также недоучёт в показателе технологических потерь оценок выбросов определённых категорий эмиссий парниковых газов от утечек и газоотведения при использовании ПНГ на собственные нужды месторождения, которые не включены в объёмы технологических потерь ПНГ (МГЭИК, 2006; Методические рекомендации, 2018).

Второй подход

Был проведён расчёт с использованием двух газовых факторов 60 и 140 м³/м³, характерных для месторождений Западной Сибири (Нефтяные и газовые месторождения, 1987). Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты анализа подхода по расчёту выбросов парниковых газов с использованием газового фактора месторождений (GOR)

Table 2. Results of counting GHG emissions with use of gas/oil ratio (GOR)

Использованные параметры		
Средний газовый фактор м ³ /м ³ (GOR) 1 и 2 варианты	60/140	
Объёмная доля CH ₄ в составе ПНГ (y gas)	0.6636	
Объёмная доля CO ₂ в составе ПНГ (y gas)	0.0078	
Молек. вес CH ₄ (Mgas)	16.043	
Молек. вес CO ₂ (Mgas)	44.011	
Результаты расчёта		
Год	2019	2020
Объём сжигания ПНГ в РФ, млн м ³	20470	19320
Тех. потери ПНГ, млн. м ³	211	236
Уровень утилизации ПНГ (CE)	0.81	0.82
Отношение сжиг. ПНГ к сумме сжиг. ПНГ+ тех. потери ПНГ (X flared)	0.99	0.99
Добыча нефти, тыс. м3 (Q oil)	659 466.48	603 651.52
Выбросы CH ₄ Гг, GOR60 м ³ /м ³	34.55	35.46
Выбросы CO ₂ Гг, GOR60 м ³ /м ³	1.11	1.14
Выбросы CO2 экв тонн, GOR60 м3/м3	864 980	887 650
Выбросы CO2 экв тонн, GOR 140 м3/м3	2 018 000	2 071 000

При использовании второго метода расчёта суммарные выбросы CO₂ и CH₄ (в CO₂ экв.), полученные с применением коэффициента выбросов МГЭИК 2006, в 10 и 5 раз больше, чем оценки выбросов с использованием газовых факторов 60 и 140 м³/м³ соответственно. Можно сказать, что использование подхода с применением газового фактора резко повлияет на тренд выбросов от рассматриваемой категории.

Третий подход

Результаты анализа третьего подхода приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что, в среднем, использование данных по выбросам метана как загрязняющего вещества от добычи и подготовки нефти и газового конденсата на месторождениях наиболее близко по своим значениям к коэффициенту выбросов от утечек МГЭИК 2006. Следует отметить, что значения удельных выбросов (УВ) и их доли от коэффициентов МГЭИК 2006 меняются в зависимости от месторождений. Также, рассчитанные УВ имеют большие значения неопределённости, что может быть связано с информацией о выбросах в реестре объектов НВОС открытого доступа: в данном реестре приводятся суммарные значения выбросов метана как загрязняющего вещества от всех источников, расположенных на нефтедобывающих месторождениях в том числе и факельного сжигания. Таким образом, потенциально, вышеприве-

дённые оценки могут быть не сопоставимы с показателями утечек и продувок от добычи и подготовки нефти.

Таблица 3. Результаты анализа подхода к оценке выбросов парниковых газов с использованием данных о выбросах метана как загрязняющего вещества от нефтегазовых объектов

Table 3. Results of analysis of GHG counting method with use of methane as pollutant data

Месторождения	Самот- лорское	Ван- корское	Русское	Вос- точно- Тарско- салин- ское	Ярудейское	Среднее значение
Выброс CH ₄ как ЗВ, согласно реестру объ- ектов НВОС, тонн	37 307.00	21 811.02	9 048.12	1 508.06	2 478.99	
Добыча нефти в 2021 г., тыс.м ³	19 306	12 114	2 912	2 319	3 589	
Удельный выброс (УВ) CH ₄ , т./тыс. м ³	1.93×10 ⁻³	1.80×10 ⁻³	3.11×10 ⁻³	6.5×10 ⁻⁴	6.91×10 ⁻⁴	1.56×10 ⁻³
Доля УВ от суммы коэффициентов выбро- сов CH ₄ (утечки+про- дувки) МГЭИК	0.77	0.71	1.23	0.26	0.27	0.62
Доля УВ от общего коэффициента утечек CH ₄ МГЭИК	1.07	1.00	1.73	0.36	0.38	0.87
Доля УВ от общего коэффициента выбро- сов CH ₄ от продувок МГЭИК	2.68	2.50	4.32	0.90	0.96	2.17

Выводы

По результатам анализа были сделаны следующие выводы:

– для разработки национального коэффициента выбросов наиболее релевантными являются данные об организованных и неорганизованных выбросах метана как загрязняющего вещества на объектах добычи и подготовки нефти и газового конденсата;

– при разработке национального коэффициента может использоваться комбинированный подход, в котором учитывается сумма выбросов метана как загрязняющего вещества и выбросов метана и диоксида углерода в составе ПНГ и испарений нефти от продувок, стравливания, газоотведения, технологических потерь и утечек на месторождениях нефти (с исключением двойного учёта выбросов).

Список литературы

НДК (2023) *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг.* Часть 1, Москва, 479 с., электронный ресурс, URL: http://downloads.igce.ru/kadastr/RUS_NIR_2023_rev2.zip (дата обращения 27.12.2023).

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Том 2. Энергетика*, электронный ресурс, URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol2.html> (дата обращения).

Отчёт об устойчивом развитии ПАО «НК «Роснефть» за 2020 год, электронный ресурс, URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR2020_RUS.pdf; (дата обращения 16.12.2023).

Приказ (2022) *Приказ Минприроды России от 27.05.2022 N 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»*, Электронный ресурс, URL: <https://carbonreg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%D0%A%D0%A4%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf>, (дата обращения 19.12.2023).

Государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере охраны окружающей среды (2023) электронный ресурс, URL: https://uonvos.rpn.gov.ru/rpn/pto-uonvos/onv_registry (дата обращения 28.12.2023).

Методические рекомендации (2018) *Методические рекомендации по определению и обоснованию технологических потерь природного газа, газового конденсата и попутного газа при добыче, технологически связанных с принятой схемой и технологией разработки месторождения* (утв. Министерством энергетики РФ 12 апреля 2018 г.), электронный ресурс, URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71823792/> (дата обращения 28.12.2023).

Нефтяные и газовые месторождения СССР (1987) Справочник в двух книгах. Под ред. С.П. Максимова. Книга вторая. Азиатская часть СССР. М., Недра, 303 с.

References

НДК (2023) *Nacionalniy doklad antropogennikh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovij gazov, nereguliruemij Monrealskim protokolom* [The National Report of the Russian Federation on the Inventory of the Anthropogenic Emissions and Sinks of Greenhouse Gases Not Controlled by the Montreal Protocol for the years 1990-2021 y.] Part 1, Moscow, Russia, 479 p.,

available at: http://downloads.igce.ru/kadastr/RUS_NIR_2023_rev2.zip (access data 27.12.2023).

MGEIK (2006) *Rukovodiashie principy nacionalich inventarizaciy parnikovich gazov* [IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories], vol. 2, Energy sector. Web resource. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol2.htm>.

Othcet ob ustoichivom razvitii PAO «NK «Rosneft» za 2020 god [Rosneft Sustainability report for 2020 year], available at: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR2020_RUS.pdf; (access data 16.12.2023).

Prikaz (2022) *Prikaz Minprirody Rossii ot 27.05.2022 N 371 «Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob"emov vybrosov parnikovych gazov i pogloshchenij parnikovych gazov»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of Russia from 27.05.2022 N 371 "On Approval of Methods for Quantitative Determination of Greenhouse Gas Emissions and Greenhouse Gas Absorptions"], available at: <https://carbonreg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A%D0%A4%20%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf> (access data 19.12.2023).

Gosudarstvennyj reestr ob"ektov, okazyvayushchih negativnoe vozdejstvie na okruzhayushchuyu sredu, oficial'nyj sayt Federal'noj sluzhby po nadzoru v sfere ohrany okruzhayushchej sredy [State Register of Objects with Negative Environmental Impact, official website of the Federal Service for Supervision of Environmental Protection], available at: https://uonvos.rpn.gov.ru/rpn/pto-uonvos/onv_registry (access data 28.12.2023).

Metodicheskie rekomendacii (2018) *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu i obosnovaniyu tekhnologicheskikh poter' prirodnogo gaza, gazovogo kondensata i poputnogo gaza pri dobyche, tekhnologicheski svyazannyh s prinyatoj skhemoj i tekhnologiej razrabotki mestorozhdeniya (utv. Ministerstvom energetiki RF 12 aprelya 2018 g.)* [Methodological Recommendations for Determination and Justification of Technological Losses of Natural Gas, Gas Condensate and Associated Gas during Production Technologically Related to the Adopted Field Development Scheme and Technology (approved by the Ministry of Energy of the Russian Federation on April 12, 2018)], available at: Webresource: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71823792/> (access data 28.12.2023).

Neftyanye i gazovye mestorozhdeniya SSSR. Spravochnik v dvuh knigah in S.P. Maksimova (ed) (1987) [USSR oil and gas field. Reference book in 2 volumes/ edited by S.P. Maksimova], «Nedra», Moscow, Russia, 303 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 10.01.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 06.05.2024.

Для цитирования / For citation

Попов, Н.В., Третьяк, О.В. (2024) Анализ подходов к разработке коэффициентов выбросов парниковых газов от добычи и подготовки нефти и газового конденсата, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 1-2, с. 62-72, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-62-72.

Popov, N.V., Tret'yak, O.S. (2024) Analysis of approaches to develop greenhouse gas emission factors from oil and gas condensate production and upgrading, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXV, no. 1-2, с.62-72, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-62-72.