

А.Ю. Брюханов  
Е.В. Шалавина ✉  
Э.В. Васильев

Институт агрогенерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

✉ shalavinaev@mail.ru

Поступила в редакцию:  
05.06.2023

Одобрена после рецензирования:  
14.09.2023

Принята к публикации:  
28.09.2023

## Анализ методик определения эмиссии закиси азота от систем переработки побочных продуктов животноводства

### РЕЗЮМЕ

Существующие методики расчета эмиссии закиси азота ( $N_2O$ ) от систем переработки побочных продуктов животноводства (навоза и помета) используют коэффициенты выбросов, зависящие от применяемых технологий и природно-климатических условий. Расчет по Методическим рекомендациям по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации является укрупненным. Он выполняется по трем методическим уровням. 1-й применяется с использованием коэффициентов выбросов  $N_2O$  по умолчанию. Более детальный метод 1-го уровня учитывает среднегодовую экскрецию азота. В методе 2-го уровня расчеты производятся с учетом рациона кормления и данных по среднегодовой экскреции азота. Каждый метод дает в результате большой диапазон расчетных значений эмиссии  $N_2O$ . Более конкретный расчет предлагается методикой, разработанной в рамках международного проекта «Навозные стандарты».

Цель работы – расчет эмиссии  $N_2O$  на примере комплекса крупного рогатого скота (далее – КРС) в Ленинградской области по указанным методикам для определения коэффициентов выбросов, требующих уточнения.

Исследованиями установлено, что эмиссия  $N_2O$ , рассчитанная по методике проекта «Навозные стандарты», составляет 336 кг/год. Эмиссии  $N_2O$ , рассчитанные по Методическим рекомендациям, колеблются от 182,04 до 1604,6 кг/год в зависимости от значений коэффициентов выбросов. Полученный широкий диапазон значений говорит о необходимости уточнения коэффициентов выбросов, характеризующих технологии переработки побочных продуктов животноводства, для повышения точности информации, подаваемой в Национальный кадастр антропогенных выбросов.

**Ключевые слова:** закись азота, парниковые газы, побочные продукты животноводства, технологии, экология, навоз

**Для цитирования:** Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Анализ методик определения эмиссии закиси азота от систем переработки побочных продуктов животноводства. Аграрная наука. 2023; 375(10): 133–138. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-133-138>

© Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-133-138

Aleksandr Yu. Briukhanov  
Ekaterina V. Shalavina ✉  
Eduard V. Vasiliev

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russia

✉ shalavinaev@mail.ru

Received by the editorial office:  
05.06.2023

Accepted in revised:  
14.09.2023

Accepted for publication:  
28.09.2023

## Analysis of methods for determining nitrogen oxide emission from processing systems of animal by-products

### ABSTRACT

Existing methods for calculating nitrous oxide ( $N_2O$ ) emissions from animal by-products processing systems (manure and manure) use emission factors depending on the technologies used and climatic conditions. The calculation based on Methodological Recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the constituent entities of the Russian Federation is consolidated. It is performed on three methodological levels. The 1st is applied using the default  $N_2O$  emission factors. A more detailed level 1 method takes into account the average annual nitrogen excretion. In the level 2 method, calculations are made taking into account the feeding ration and data on the average annual nitrogen excretion. Each method results in a large range of calculated values of  $N_2O$  emission. A more specific calculation is offered by the methodology developed within the framework of the international project «Manure Standards».

The purpose of the work is to calculate  $N_2O$  emissions using the example of a cattle complex (hereinafter referred to as cattle) in the Leningrad Region using the specified methods to determine emission factors that require clarification.

Studies have established that the  $N_2O$  emission calculated according to the methodology of the «Manure Standards» project is 336 kg/year.  $N_2O$  emissions calculated according to the Methodological Recommendations range from 182.04 to 1604.6 kg/year, depending on the values of the emission factors.

**Key words:** nitrogen oxide, greenhouse gases, animal by-products, technologies, ecology, manure

**For citation:** Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasiliev E.V. Analysis of methods for determining nitrogen oxide emission from processing systems of animal by-products. Agrarian science. 2023; 375(10): 133–138 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-133-138>

© Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasiliev E.V.

## Введение/Introduction

Основными парниковыми газами, в отношении которых осуществляется государственный учет, являются диоксид углерода ( $CO_2$ ), метан ( $CH_4$ ) и закись азота ( $N_2O$ )<sup>1</sup>. От систем переработки побочных продуктов животноводства происходят эмиссии метана и закиси азота [1, 2].

В настоящее время идет формирование технических рабочих групп по актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ) 41-2023 «Интенсивное разведение свиней»<sup>2</sup> и ИТС НДТ 42-2023 «Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы»<sup>3</sup>.

По итогам работы в справочниках будут определены маркерные вещества для эмиссий в окружающую среду, разработан перечень технологических показателей, которые лягут в основу технологического нормирования предприятий отрасли I категории негативного воздействия на окружающую среду. Дополнительно в справочнике появятся целевые показатели ресурсной (в том числе энергетической) эффективности, а также индикативные показатели удельных выбросов парниковых газов. Для актуализации ИТС НДТ необходимо определение репрезентативных данных по выбросам парниковых газов от систем обращения с побочными продуктами животноводства (навозом и пометом)<sup>4</sup>.

В конце 2021 года вступил в силу Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»<sup>5</sup>, которым предусмотрена новая категория имущественных прав — углеродная единица (верифицированный результат реализации климатического проекта, выраженный в массе парниковых газов, эквивалентной 1 т углекислого газа). Постановлением Правительства РФ от 30 апреля 2022 года № 790 предусмотрено ведение реестра углеродных единиц. Эмиссии закиси азота от систем переработки побочных продуктов животноводства пересчитываются на углерод и входят составной частью в реестр углеродных единиц.

Расчет эмиссии закиси азота осуществляется по Методическим рекомендациям по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации<sup>6</sup>. Данный расчет можно также выполнить по методике, разработанной в рамках реализации международного научного проекта «Улучшенные навозные стандарты для устойчивого управления питательными веществами и сокращения эмиссий (“Навозные стандарты”)»<sup>7</sup> по Программе сотрудничества ЕС «Интеррег. Регион Балтийского моря» 2014–2020 гг.

В обеих методиках используются коэффициенты для расчета выбросов от систем сбора, хранения и использования побочных продуктов животноводства [3–6]. Применяемые технологии переработки побочной продукции животноводства оказывают значительное влияние на эмиссии парниковых газов [7, 8]. В зависимости от различных условий и используемых на предприятиях технологий применяются различные коэффициенты, в зависимости от которых получают большие диапазоны расчетных результатов эмиссии закиси азота.

Цель работы — расчет эмиссии закиси азота ( $N_2O$ ) по двум методикам для определения коэффициентов выбросов, требующих уточнения.

Такой расчет позволит выявить в применяемых в РФ методических рекомендациях требующие уточнения коэффициенты, характеризующие технологии переработки побочных продуктов животноводства, и повысить точность информации, подаваемой в Национальный кадастровый антропогенных выбросов, представляемый Российской Федерацией в секретариат Рамочной конвенции ООН об изменении климата<sup>8</sup>.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для расчетов эмиссии закиси азота использованы данные действующего комплекса КРС (март 2023 года), расположенного в Ленинградской области. Единовременно на комплексе содержатся 811 коров на 1–3-й стадиях лактации и сухостойные: 235 телят старше 6 месяцев и 203 теленка до 6 месяцев. Дойные коровы содержатся привязным и беспривязным способами. В первом случае навоз удаляется транспортером КСНФ 100, во втором — скреперной установкой УС-Ф-170 (рис. 1).

**Рис. 1.** Технологии содержания коров на комплексе: а — беспривязное содержание коров, б — привязное содержание коров

**Fig. 1.** Cow housing practices on the pilot complex: a — free-stall housing, b — tied housing



<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 22.10.2021 № 2979-р «Об утверждении перечня парниковых газов, в отношении которых осуществляются государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202110260021>

<sup>2</sup> Приказ Минпромторга России от 17.02.2023 № 533 «О создании технической рабочей группы “Интенсивное разведение свиней”». <https://burondt.ru/trg/2023/1937/info>

<sup>3</sup> Приказ Минпромторга России от 27.02.2023 № 616 «О создании технической рабочей группы “Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы”». [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UriId=1889&etkstructure\\_id=1938](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UriId=1889&etkstructure_id=1938)

<sup>4</sup> Федеральный закон от 14.07.2022 № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202207140005>

<sup>5</sup> Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». <https://docs.cntd.ru/document/607142402>

<sup>6</sup> Распоряжение Минприроды России от 16 апреля 2015 года № 15-р «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». <https://docs.cntd.ru/document/420278225>

<sup>7</sup> Instructions for Manure Properties Calculation Tool. [https://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuvenergia\\_keskus/manure\\_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20Tool%20Instructions\\_ENG.pdf](https://tek.emu.ee/userfiles/yksused/tek/taastuvenergia_keskus/manure_standards/outputs/final/Manure%20Standards%20Calculation%20Tool%20Instructions_ENG.pdf)

<sup>8</sup> Национальный кадастровый антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2021 гг. <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/32581/>

**Рис. 2.** Технологии содержания телят: а — содержание телят до 6 месяцев, б — содержание телят старше 6 месяцев  
**Fig. 2.** Technologies for keeping calves: a — keeping calves up to 6 months, b — keeping calves older than 6 months



Телята до 6 месяцев содержатся в боксах на глубокой подстилке. Навоз удаляется мобильными средствами. Телята старше 6 месяцев содержатся в загонах. Удаление навоза также осуществляется скреперной установкой УС-Ф-170 (рис. 2).

Масса подстилочного материала (опилок) составляет: при привязном содержании — 1,5 кг/гол в сутки, при беспривязном содержании — 0,5 кг/гол в сутки. Масса технологической воды: для дойных коров — 35 л/гол в сутки, для остальных категорий животных — 1,5 л/гол в сутки.

Переработка побочного продукта животноводства (навоза КРС) осуществляется методом пассивного компостирования на бетонированной площадке. Готовое органическое удобрение (переработанный побочный продукт животноводства) накапливается на полевой площадке до момента внесения на земельные угодья сельскохозяйственного назначения (рис. 3).

Расчет  $N_2O$  выполнялся по двум методикам:

- методическим рекомендациям по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации по трем методическим уровням.

Метод 1-го уровня применяется с использованием коэффициентов выбросов  $N_2O$  по умолчанию. Более детальный метод 1-го уровня учитывает среднегодовую экскрецию азота. В методе 2-го уровня расчеты производятся с учетом рациона кормления и данных по среднегодовой экскреции азота.

Расчет прямых выбросов  $N_2O$  для более детального 1-го уровня и 2-го уровня производится по формуле 1:

$$N_{2O_D(mm)} = [\sum_s (\sum_T (N_{(T)} \times N_{ex(T)} \times M_{S(T,S)}) \times E_{F3(S)})] \times \frac{44}{28}, \quad (1)$$

где:  $N_{2O_D(mm)}$  — прямые выбросы  $N_2O$  в результате сбора и хранения побочного продукта животноводства в регионе, кг  $N_2O$  / год;  $N_{(T)}$  — количество голов вида (категории, подкатегории) скота и птицы Т в регионе;  $N_{ex(T)}$  — среднегодовое выделение азота на одну голову скота вида (категории, подкатегории) Т в регионе, кг  $N$  / животное × год;  $M_{S(T,S)}$  — доля суммарного

**Рис. 3.** Переработка побочного продукта животноводства: а — специализированная площадка переработки побочного продукта животноводства, б — накопление переработанного побочного продукта животноводства перед внесением на земельные угодья сельскохозяйственного назначения  
**Fig. 3.** Processing of animal by-product: a — specialized processing pad of animal by-product, b — accumulation of processed animal by-product before field application



годового выделения азота для каждого вида (категории, подкатегории) скота и птицы Т, которая обрабатывается в рамках системы S сбора и хранения побочного продукта животноводства в данном регионе, не имеет размерности;  $E_{F3(S)}$  — коэффициент выбросов для прямых выбросов  $N_2O$  от системы сбора и хранения побочных продуктов животноводства S в регионе, кг  $N_2O-N$  / кг  $N$  в системе S; S — система сбора и хранения побочного продукта животноводства; Т — вид (категория, подкатегория) скота и птицы; 44/28 — коэффициент преобразования выбросов из единиц азота ( $N_2O-N$ ) в выбросы  $N_2O$ .

Расчет потерь азота через улетучивание в результате сбора и хранения навоза ведется по формуле 2:

$$N_{\text{улетучивание\_MMS}} = [\sum_s (\sum_T (N_{(T)} \times N_{ex(T)} \times M_{S(T,S)}) \times (\frac{Frac_{TAZ\_MS}}{100}))_{T,S}], \quad (2)$$

где  $Frac_{TAZ\_MS}$  — процентная доля азота в обработанном навозе скота и птицы категории (подкатегории) Т, которая улетучивается в виде  $NH_3$  и  $NO_x$  в данной системе сбора и хранения навоза и помета S, %.

Расчет косвенных выбросов  $N_2O$ , связанных с улетучиванием азота в результате сбора и хранения навоза, ведется по формуле 3:

$$N_{2O_{G(mm)}} = (N_{\text{улетучивание\_MMS}} \times E_{F4}) \times \frac{44}{28}, \quad (3)$$

где  $E_{F4}$  — коэффициент выбросов  $N_2O$  в результате осаждения азота из атмосферы на почву и водные поверхности, кг  $N_2O-N$  / кг улетучившихся  $NH_3-N + NO_x-N$ .

Расчет потерь азота в результате вымывания из систем сбора и хранения навоза ведется по формуле 4:

$$N_{\text{Вымывание\_MMS}} = [\sum_s (\sum_T (N_{(T)} \times N_{ex(T)} \times M_{S(T,S)}) \times (\frac{Frac_{ВымывMS}}{100}))_{T,S}], \quad (4)$$

где  $Frac_{ВымывMS}$  — процентная доля потерь азота обрабатываемого навоза скота категории (подкатегории) Т в результате стока и вымывания при твердом и жидким хранении навоза.

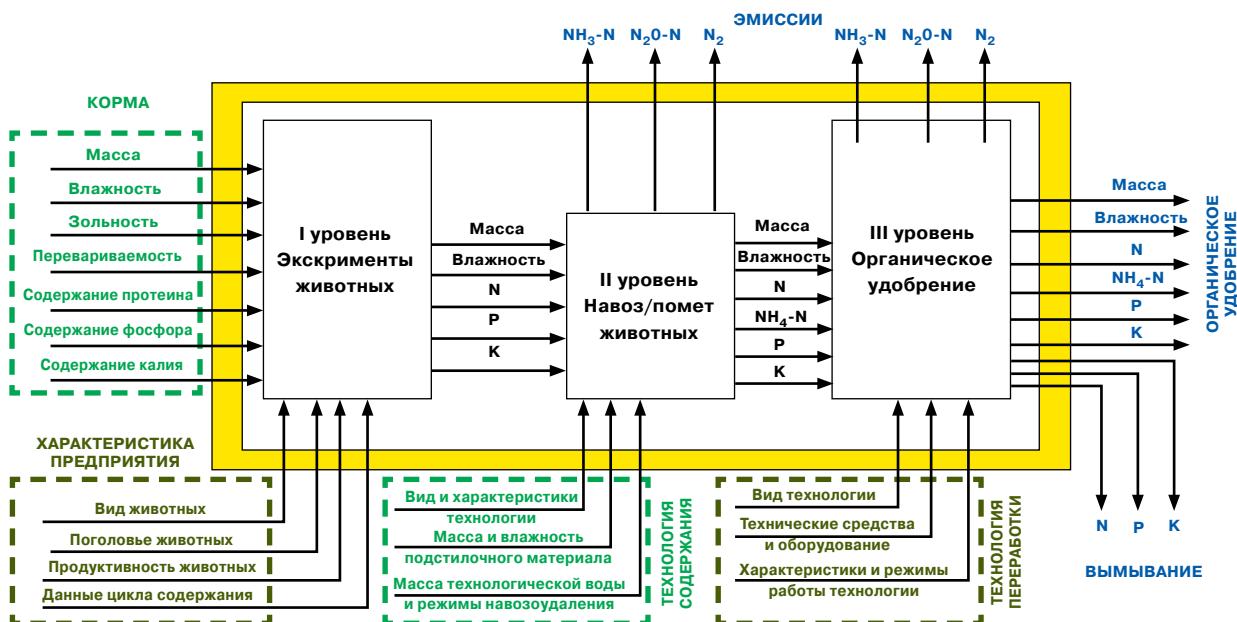
Расчет косвенных выбросов  $N_2O$  в результате вымывания при уборке, хранении и использовании навоза ведется по формуле 5:

$$N_{2O_{L(mm)}} = (N_{\text{Вымывание\_MMS}} \times E_{F5}) \times \frac{44}{28}, \quad (5)$$

где  $E_{F5}$  — коэффициент выбросов  $N_2O$  в результате вымывания и стока азота, кг  $N_2O-N$  / кг вымываемого азота.

- методике, разработанной в рамках проекта «Навозные стандарты».

Значения эмиссии закиси азота  $N_2O$  при расчете по методическим рекомендациям зависят от показателей, характеризующих поголовье животных, рационы кормления и применяемые технологии переработки побочного продукта животноводства (навоза КРС).

Рис. 4. Общий методический подход к расчету выбросов  $N_2O$  по Методике проекта «Навозные стандарты»Fig. 4. General methodological approach to the calculation of  $N_2O$  emissions according to the Methodology of the «Manure Standards» project

В соответствии с Методикой проекта «Навозные стандарты» эмиссия за-киси азота  $N_2O$  рассчитывается с учетом поголовья животных, рационов кормления животных, продуктивности животных, применяемых технологий содержания животных, удаления и переработки навоза (рис. 4).

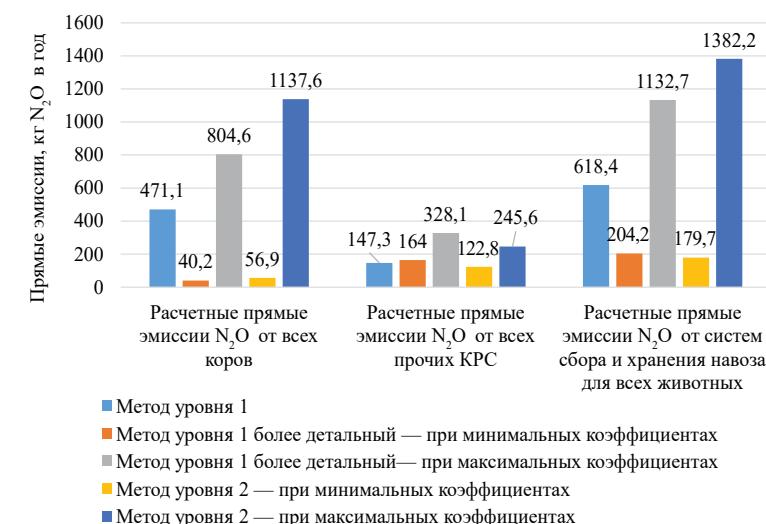
В рамках реализации проекта специалисты каждой страны региона Балтийского моря совместно с основными разработчиками инструмента для расчетов обосновывали коэффициенты, закладываемые в модели и алгоритмы методики.

Методика с обоснованными коэффициентами была апробирована на ряде пилотных предприятий (КРС, свиноводческие комплексы и птицефабрики), расположенных в регионе Балтийского моря<sup>9</sup>. Результаты апробации показали отличие между расчетными и экспериментальными значениями не более 15%, что говорит о достоверности расчетов и возможности использования методики для укрупненного расчета количественных и качественных характеристик экспериментов, навоза и органического удобрения.

#### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты расчета прямых эмиссий  $N_2O$  для метода 1-го уровня (с использованием коэффициентов по умолчанию, без привязки к технологиям) представлены на рисунке 5. При расчете использованы коэффициенты эмиссии по умолчанию для каждой категории животных.

Результаты расчета прямых эмиссий  $N_2O$  для методического 1-го уровня (более детального) (с использованием коэффициентов выбросов, характеризующих технологии, без привязки к рационам кормления животных) представлены на рисунке 5. Коэффициенты, характеризующие технологии, имеют диапазон значений

Рис. 5. Расчет прямых эмиссий  $N_2O$  от выбранного комплекса КРСFig. 5. Calculation of direct  $N_2O$  emissions from a selected cattle complex

в зависимости от региона размещения предприятия и применяемых технических решений. На рисунке 5 отображены значения, полученные для минимальных и максимальных значений данных коэффициентов.

На величины прямых эмиссий  $N_2O$  сильное влияние оказывают два коэффициента, характеризующие технологии обработки (переработки) навоза (побочного продукта животноводства):

1)  $MS_{(T, S)}$  — значение которого находится в диапазоне от 0,1 до 1;

2)  $EF3_{(S)}$  — значение которого находится в диапазоне от 0,005 до 0,01.

Результаты расчета прямых эмиссий  $N_2O$  для метода 2-го уровня представлены на рисунке 5.

На величины прямых эмиссий  $N_2O$  также сильное влияние оказывают два коэффициента, характеризующие технологии обработки (переработки) навоза (побочного продукта животноводства), —  $MS_{(T, S)}$  и  $EF3_{(S)}$ .

<sup>9</sup> Manure data collection — experiences from pilot farms. <https://projects.luke.fi/manurestandards/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/Manure-data-collection-experiences-from-pilot-farms.pdf>

Результаты расчета косвенных эмиссий  $N_2O$  для метода 1-го уровня (с использованием коэффициентов по умолчанию, без привязки к технологиям) представлены на рисунке 6.

Результаты расчета косвенных эмиссий  $N_2O$  (при улетучивании и вымывании) для метода 1-го уровня (более детального) и метода 2-го уровня представлены на рисунке 6.

Для точного учета эмиссий  $N_2O$  необходимо уточнить три коэффициента:

- $Frac_{газ\_MS}$  — коэффициент, характеризующий долю улетучивания  $NH_3$  и  $NO_x$  в системе переработки навоза, значение которого требует уточнения;

- $EF_4$  — коэффициент, который не зависит от технологии переработки навоза, однако имеет значительный диапазон неопределенности (0,002–0,05);

- $EF_5$  — коэффициент, характеризующий долю эмиссии  $N_2O$  в результате вымывания и стока азота, имеющий значительный диапазон неопределенности (0,0005–0,025).

В результате расчетов установлено, что на значения эмиссий  $N_2O$  влияют следующие коэффициенты:

- $MS_{(T, S)}$  — доля суммарного годового выделения азота для каждого вида (категории, подкатегории) скота и птицы, которая обрабатывается в рамках системы сбора и хранения побочного продукта животноводства в данном регионе;

- $EF_3(S)$  — коэффициент эмиссии для прямых выбросов  $N_2O$  от системы сбора и хранения побочных продуктов животноводства в регионе;

- $EF_4$  — коэффициент эмиссии  $N_2O$  в результате осаждения азота из атмосферы на почву и водные поверхности;

- $Frac_{вымывMS}$  — процентная доля потерь азота обрабатываемого навоза скота категории (подкатегории) в результате стока и вымывания при твердом и жидким хранении навоза;

- $EF_5$  — коэффициент эмиссии  $N_2O$  в результате вымывания и стока азота;

- $Frac_{газ\_MS}$  — процентная доля азота в обработанном навозе скота и птицы категории (подкатегории), которая улетучивается в виде  $NH_3$  и  $NO_x$  в данной системе сбора и хранения навоза и помета.

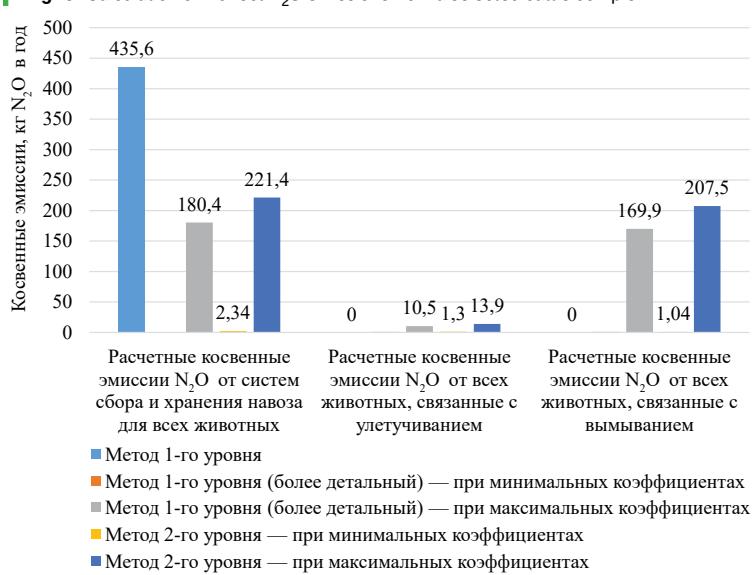
На рисунке 7 представлены значения эмиссий  $N_2O$ , полученные: в результате расчета для метода 1-го уровня; в результате расчета для метода 1-го уровня (более детального); в результате расчета для метода 2-го уровня; в результате расчета по методике, разработанной в рамках проекта «Навозные стандарты» (получено расчетным путем 336,6 кг  $N_2O$  в год на комплекс КРС).

Расчет проведен по максимальным и минимальным значениям коэффициентов выбросов.

Как видно (рис. 7), значение эмиссий  $N_2O$ , полученное для конкретного хозяйства в Ленинградской области по методике, разработанной в рамках проекта «Навозные стандарты» (336 кг/год), находится в диапазоне значений, полученных по методическим рекомендациям, в зависимости от значений применяемых коэффициентов.

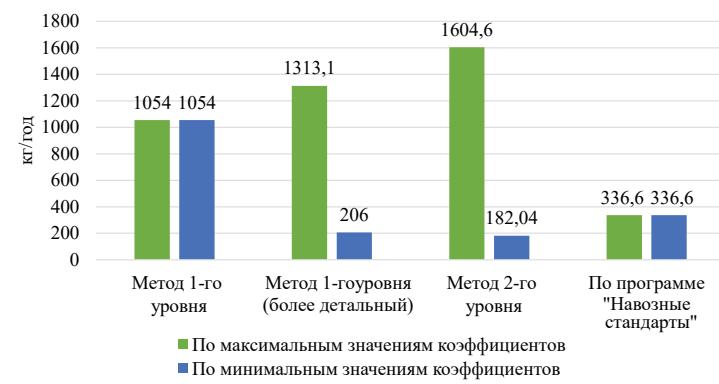
При расчете по методическим рекомендациям с учетом максимальных значений коэффициентов по умолчанию значение эмиссий  $N_2O$  находится в диапазоне от 1054 до 1604,6 кг/год. При расчете по методическим

**Рис. 6. Расчет косвенных эмиссий  $N_2O$  от выбранного комплекса КРС**  
**Fig. 6. Calculation of indirect  $N_2O$  emissions from a selected cattle complex**



**Рис. 7 Результаты расчета эмиссий  $N_2O$**

**Fig. 7. Calculation results of  $N_2O$  emissions**



рекомендациям с учетом минимальных значений коэффициентов по умолчанию значение эмиссий  $N_2O$  находится в диапазоне от 182,04 до 1054 кг/год.

### Выводы/Conclusion

В результате исследований выполнен расчет эмиссий  $N_2O$  для типового комплекса КРС, расположенного в Ленинградской области. Расчет проведен по Методическим рекомендациям для метода 1-го уровня, метода 1-го уровня (более детального) и метода 2-го уровня и по методике, разработанной в рамках международного проекта «Навозные стандарты».

Значение эмиссий  $N_2O$ , полученное для конкретного хозяйства в Ленинградской области по методике, разработанной в рамках проекта «Навозные стандарты» (336 кг/год), находится в диапазоне значений, полученных по Методическим рекомендациям, в зависимости от применяемых для расчета значений коэффициентов по умолчанию.

В результате исследований установлено, что для расчета эмиссий от конкретного предприятия (при достаточности исходных данных) корректнее использовать методику, разработанную в рамках проекта «Навозные стандарты». Для оценки региона или области правильнее использовать Методические рекомендации.

Выявленные коэффициенты выбросов, которые необходимо более детально рассмотреть и уточнить:

- $MS_{(T, S)}$  — доля суммарного годового выделения азота для каждого вида (категории, подкатегории)

скота и птицы, которая обрабатывается в рамках системы сбора и хранения побочного продукта животноводства в данном регионе;

- $EF_{(S)}$  — коэффициент эмиссий для прямых выбросов  $N_2O$  от системы сбора и хранения побочных продуктов животноводства в регионе;

- $Frac_{газ\_MS}$  — процентная доля азота в обработанном навозе скота и птицы, которая улетучивается в виде  $NH_3$  и  $NO_x$  в данной системе сбора и хранения навоза и помета;

- $Frac_{ВымывMS}$  — процентная доля потерь азота обрабатываемого навоза скота в результате стока и вымывания при твердом и жидкокомпактном хранении навоза;

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Рабочей программы FGUN-2022-0010 «Разработать экологически чистые технологии, комплексы машин и оборудование для управления сельскохозяйственными экосистемами при интенсивном и органическом производстве сельскохозяйственной продукции».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Ya., Karaban R.T. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020; 45(2): 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
2. Строков А.С., Депперман А., Поташников В.Ю., Романовская А.А., Гавлик П. Проблемы адаптации аграрной политики России к целям устойчивого развития. *Экономическая политика*. 2020; 15(6): 140–165. <https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-6-140-165>
3. Строков А.С. Эмиссия парниковых газов при производстве растениеводческой продукции. *Вестник Российской академии наук*. 2021; 91(3): 265–272. <https://doi.org/10.31857/S0869587321030099>
4. Романовская А.А. и др. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. М.: ИГКЭ. 2019; 1: 479. <https://www.elibrary.ru/swouuw>
5. Гитарский М.Л. Уточнение руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2019; (2): 5–13. <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2019-2-05-13>
6. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптивные меры (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. Эдельгериец Р.С.-Х. (ред.). М.: Издательство МБА. 2021; 3: 700. ISBN 978-5-6045103-9-1 <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
7. Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Результаты агроэкологических исследований в рамках европейских программ сотрудничества. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019; (1): 236–247. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10142>
8. Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020; (1): 65–90. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-1-65-90>

## ОБ АВТОРАХ

**Александр Юрьевич Брюханов,**  
член-корреспондент РАН, доктор технических наук,  
директор,  
[szni@ya.ru](mailto:szni@ya.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

**Екатерина Викторовна Шалавина,**  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
[shalavinaev@mail.ru](mailto:shalavinaev@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>  
Тел. +7 (962) 715-10-70

**Эдуард Вадимович Васильев,**  
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
[szni6@ya.ru](mailto:szni6@ya.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

Институт агринженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,  
Фильтровское шоссе, 3, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196634,  
Россия

- $EF_4$  — коэффициент эмиссий  $N_2O$  в результате осаждения азота из атмосферы на почву и водные поверхности;

- $EF_5$  — коэффициент эмиссий  $N_2O$  в результате вымывания и стока азота.

Полученный широкий диапазон значений эмиссий  $N_2O$  говорит о необходимости уточнения коэффициентов выбросов, характеризующих технологии переработки побочных продуктов животноводства для повышения точности информации, подаваемой в Национальный кадастровый реестр антропогенных выбросов, представляемый Российской Федерацией в секретариат Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.  
The authors declare no conflict of interest.

## FUNDING

The study was performed within the framework of the Working Program 2023 FGUN-2022-0010 «To develop environmentally friendly technologies, complexes of machinery and equipment for managing agricultural ecosystems in the intensive and organic agricultural production.»

## REFERENCES

1. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Ya., Karaban R.T. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020; 45(2): 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
2. Strokov A.S., Deppermann A., Potashnikov V.Yu., Romanovskaya A.A., Gavlik P. Problems of Agricultural Policy Adaptation within Sustainable Development Goals. *Ekonicheskaya Politika*. 2020; 15(6): 140–165 (In Russian). <https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-6-140-165>
3. Strokov A.S. Greenhouse Gas Emissions in Crop Production. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2021; 91(2): 197–203. <https://doi.org/10.1134/S1019331621020088>
4. Romanovskaya A.A. et al. National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990–2017. Moscow: IGCE. 2019; 1: 479 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/swouuw>
5. Gitarsky M.L. Clarification of the IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. *Fundamental and applied climatology*. 2019; (2): 5–13 (In Russian). <https://doi.org/10.21513/0207-2564-2019-2-05-13>
6. Global climate and soil cover in Russia: drought manifestations, prevention, control, mitigation and adaptive measures (agriculture and forestry). National Report. Edelgerieva R.S.-Kh. (ed.). Moscow: Publishing house MBA. 2021; 3: 700 (In Russian). ISBN 978-5-6045103-9-1 <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
7. Briukhanov A.Yu., Maksimov D.A., Subbotin I.A., Vasilev E.V., Shalavina E.V. Results of agro-environmental studies in the framework of European cooperation programmes. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkciyu rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019; (1): 236–247 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10142>
8. Lipka O.N., Romanovskaya A.A., Semenov S.M. Applied aspects of adaptation to climate change in Russia. *Fundamental and applied climatology*. 2020; (1): 65–90 (In Russian). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-1-65-90>

## ABOUT THE AUTHORS

**Aleksandr Yuryevich Briukhanov,**  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,  
Doctor of Technical Sciences, Director,  
[szni@yandex.ru](mailto:szni@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

**Ekaterina Viktorovna Shalavina,**  
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
[shalavinaev@mail.ru](mailto:shalavinaev@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>  
Tel. +7 (962) 715-10-70

**Eduard Vadimovich Vasilev,**  
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,  
[szni6@ya.ru](mailto:szni6@ya.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
3 Filitrovskoe shosse, 3, pos. Tyarlevo, Saint Petersburg, 196634,  
Russia