

EDN: CEXDWM

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81



Научная статья

УДК 631.95



## Методика оценки уровня выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур

**Нозим Исмоилович Джабборов,**  
доктор технических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: nozimjon-59@mail.ru;

**Алексей Петрович Мишанов,**  
старший научный сотрудник,  
e-mail: amishanov@mail.ru;

**Антон Михайлович Захаров,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: zamsznii@yandex.ru;

**Александр Владимирович Добринов,**  
кандидат технических наук, доцент,  
старший научный сотрудник,  
e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Реферат.** Повышение средней температуры окружающей среды в глобальном масштабе связано с выделением парниковых газов в результате хозяйственной деятельности человека, включая производство продукции растениеводства. Выявлено, что на данный момент отсутствуют системный подход и инструменты, позволяющие комплексно оценить уровень выбросов парниковых газов от растениеводства. (*Цель исследования*) Разработка математических моделей и методики оценки уровня выбросов парниковых газов при производстве сельскохозяйственной продукции. (*Материалы и методы*) Работа выполнена на основании анализа опубликованных данных отечественных и зарубежных ученых. (*Результаты и обсуждение*) Обоснован перечень показателей для оценки уровня выделения парниковых газов при производстве сельскохозяйственной продукции. Новизна методики заключается в синтезе многочисленных показателей и параметров сложного процесса выделения парниковых газов с учетом случайных возмущающих факторов. При этом приемы обработки почвы, расход топлива на единицу выполненной работы, доза, способ и соотношение вносимых удобрений, содержание растительных остатков, гранулометрический состав почвы, другие показатели рассматриваются как случайные величины. В отличие от методики, предложенной в Руководящих принципах МГЭИК, 2006 г. (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) для расчета эмиссии парниковых газов в растениеводстве, разработанная методика позволяет решать более сложные задачи, связанные с процессами, содержащими одновременно элементы как непрерывного, так и дискретного характера. В качестве примера в статье приведены результаты расчетов оценки выделения парниковых газов с использованием предложенной методики для технологии возделывания картофеля. (*Выводы*) Рассчитанное значение вероятностного коэффициента, учитывающего уровень выделяемых парниковых газов  $2,21 > 1$ , свидетельствует о несоответствии применяемой технологии экологическим требованиям. Для снижения уровня выброса парниковых газов требуется разработать технико-технологические решения по оптимизации показателей, используемых при расчетах в предлагаемой методике.

**Ключевые слова:** изменение климата, парниковые газы, растениеводство, критерии оценки, методика оценки, вероятностный коэффициент, обобщенные показатели.

■ **Для цитирования:** Джабборов Н.И., Мишанов А.П., Захаров А.М., Добринов А.В. Методика оценки уровня выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №3. С. 75-81. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81. EDN: CEXDWM.

Scientific article

## Methodology for Assessing the Level of Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Crops Production

**Nozim I. Dzhabborov,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor, leading researcher,  
e-mail: nozimjon-59@mail.ru;

**Aleksey P. Mishanov,**  
senior researcher,  
e-mail: amishanov@mail.ru;

**Anton M. Zakharov,**  
Ph.D.(Eng.), leading researcher,  
e-mail: zamsznii@yandex.ru;

**Aleksandr V. Dobrinov,**  
Ph.D.(Eng.), associate professor, senior researcher,  
e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The global rise in average environmental temperatures is associated with the emission of greenhouse gases due to human economic activities, including crop production. Current findings indicate the absence of a systematic approach and tools for a comprehensive assessment of greenhouse gas emissions from crop production. (*Research purpose*) The study aims to develop mathematical models and methods to assess greenhouse gas emissions in agricultural production. (*Materials and methods*) The work was carried out based on the analysis of published data from both domestic and international researchers. (*Results and discussion*) The research validates a set of indicators for assessing the level of greenhouse gas emissions during agricultural production. The novelty of the methodology involves the integration of numerous indicators and parameters of the greenhouse gas emission process, taking into account stochastic disturbances in the emission process. Factors such as soil tillage methods, fuel consumption per unit of work performed, the dose, method and ratio of applied fertilizers, content of plant residues and soil texture, as well as other variables, are considered as stochastic factors. Unlike the methodology outlined in the 2006 IPCC Guidelines (Intergovernmental Panel on Climate Change) for calculating greenhouse gas emissions from crop production, the developed methodology addresses more complex scenarios associated with processes containing simultaneously the elements that are both continuous and discrete in nature. As an example, the paper presents calculations for estimating greenhouse gas emissions from potato cultivation using the proposed methodology. (*Conclusions*) The calculated probability coefficient, with a value exceeding 2.21, indicates that the technology used does not meet environmental standards. To reduce greenhouse gas emissions, it is necessary to develop technical and technological solutions that optimize the indicators utilized in this methodology.

**Keywords:** climate change, greenhouse gases, crop production, assessment criteria, assessment methodology, probability coefficient, generalized indicators.

■ **For citation:** Dzhaborov N.I., Mishanov A.P., Zakharov A.M., Dobrinov A.V. Methodology for assessing the level of greenhouse gas emissions in agricultural crops production. *Agricultural machinery and technologies*. 2024. Vol. 18. N3. 75-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81. EDN: CEXDWM.

**И**нтенсификация производства, в частности наращивание мощностей растениеводческих предприятий, представляет собой риски негативного экологического эффекта и может стать реальной угрозой воспроизводству природных ресурсов. В этих условиях становятся приоритетными анализ, контроль, прогнозирование и регулирование воздействия интенсивных машинных технологий в растениеводстве на основе изучения тенденций развития системы природопользования, перспектив хозяйственного и научно-технического развития общества.

Снижение технологических рисков представляется важнейшим вызовом и требует рациональных решений. Для этого необходимо проводить фундаментальные исследования, направленные на оптимизацию сельскохозяйственного использования, агроэкологическую оценку земель, создание адаптивных систем и технологий нового поколения на основе цифровизации и регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах.

Глобальное изменение климата вызвано увеличением поступлений климатически активных (парниковых) газов в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека [1, 2]. Большинство стран объединились для выработки совместных решений, в том числе нормативных, по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу. К таким документам относятся «Руководящие

принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭИК, 2006» (2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*). В данном документе определены основные методики расчета парниковых газов от различных отраслей производства, в частности растениеводства. Эти принципы утверждены и признаны странами, подписавшими соглашение по сокращению выбросов климатически активных веществ до 2030 г.

На территории Российской Федерации учет таких выбросов регламентируется в соответствии с «Методическими указаниями по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (Утверждены распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 N20-р). При этом методики расчета выбросов, связанных с растениеводством, заимствованы из МГЭИК, 2006 и распространяются только в отношении диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) при известковании почв, закиси азота (N<sub>2</sub>O) в результате внесения удобрений и метана (CH<sub>4</sub>) при выращивании риса. В расчетах используются данные о количестве известки, удобрений и площади их внесения.

Выделение парниковых газов от растениеводства составляет около 5% от их суммарного объема [3]. Тем не менее, данный показатель требует детального изучения с точки зрения возможности рас-

чета эмиссии на уровне как отдельных культур, так и технологий их возделывания, а также в целях экологической оценки производства продукции растениеводства.

На основании численных значений коэффициентов с большим диапазоном неопределенности проводится окончательный расчет. Такой алгоритм носит поверхностный характер, и оценка может существенно отличаться от реального уровня как в меньшую, так и большую сторону. Выбросы парниковых газов при производстве продукции растениеводства представляют собой более сложный процесс, чем представленный в существующих методиках. Например, эмиссионный фактор от внесения азота с удобрениями под посевы зерновых культур ( $\text{ЭФ}_{\text{N}_{20}}$ ) по результатам расчетов составляет 0,66–0,70, под пропашные в среднем для сахарной свеклы – 0,93, картофеля – 1,96, бахчевых – 0,77, что гораздо ниже оценок, приведенных в кадастре парниковых газов РФ [4].

Эмиссионный фактор варьируется в широком интервале и зависит от почвенно-климатических условий [5], содержания в почвах органических и минеральных форм азота, органического углерода, от внесения в почву разных форм азотных и органических удобрений, растительных остатков, азотсодержащих отходов [6-9], а также от системы земледелия [10, 11]. Кроме того, на секвестрацию углерода и эмиссию закиси азота оказывают влияние известкование и система удобрения (органическая, минеральная, органо-минеральная) [12].

Микробная биомасса является связующим звеном почвенных циклов углерода и азота, стоком и источником биофильных элементов, продуцентом физиологически активных соединений и парниковых газов. Углерод играет особую роль в регулировании минерализационно-иммобилизационного оборота азота в почве [13].

Естественные ценозы (многолетняя залежь) характеризуются меньшим выделением закиси азота по сравнению с сельскохозяйственными угодьями. Величина эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  зависит от содержания в почве нитратного азота, уровня увлажнения [14] и приемов основной обработки [15-17].

На эмиссию  $\text{N}_2\text{O}$  существенное влияние оказывают вид и сочетание органических соединений с минеральными азотными удобрениями при внесении в почву [18]. Эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  зависит от соотношения углерода и азота в почве, принимая наименьшее значение при  $\text{C/N} \geq 30$  и наибольшее при  $\text{C/N} = 11$ . В комбинации с засухой и низкой кислотностью почвы эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  значительно ингибируется при  $\text{C/N} \leq 20$  [19]. Баланс почвенного органического углерода в земледелии относится к главным критериям оценки эмиссии и депонирования  $\text{CO}_2$  агроценозами [20]. Мульчирование материалом с высо-

ким соотношением C/N (например, ржи) позволило увеличить влажность и снизить температуру почвы, но привело к увеличению выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  из органического материала для мульчи [21].

Помимо влияния перечисленных факторов, величина выбросов парниковых газов из почвы носит сезонный характер [22, 23].

На основании аналитического обзора работ ученых разных стран можно сделать вывод, что в существующих методиках отсутствует целый ряд факторов непосредственного влияния процессов в растениеводстве на уровень поступления парниковых газов в окружающую среду.

**Цель исследования.** Разработка математических моделей и методики оценки выбросов парниковых газов при производстве сельскохозяйственной продукции.

**Материалы и методы.** Применялись методы статистического моделирования, обобщения результатов, полученных разными авторами при изучении процесса выделения парниковых газов в растениеводстве.

Исследования проводились в четыре этапа:

- определение видов парниковых газов;
- выявление наиболее значимых показателей оценки эмиссии парниковых газов в окружающую среду;
- формализация основного критерия оценки выделения парниковых газов;
- разработка математических моделей для комплексной оценки и прогнозирования выделения парниковых газов на основе установления равнозначных показателей.

Сущность разработанных математических моделей сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров процесса выделения парниковых газов с учетом случайных возмущающих факторов: приемов обработки почвы, их количества и глубины, расхода топлива на единицу выполненной работы; дозы, соотношения, способа внесения и агрегатного состояния удобрений; содержания растительных остатков; гранулометрического состава почвы.

**Результаты и обсуждение.** Как известно, показатель – это обобщенная характеристика технических средств, процесса или его результата, выраженная в числовой форме. А критерием служит признак, основание, правило принятия решения по оценке чего-либо на соответствие предъявленным требованиям (мере). Критерии выбираются из числа показателей в зависимости от поставленной цели: в данном случае это разработка математических моделей и методики комплексной оценки процесса выделения парниковых газов при производстве продукции растениеводства и поиск возможных путей их снижения.



Рисунок. Схема взаимосвязи критерия минимального количества выделяемых парниковых газов и отдельных показателей оценки эмиссии

Figure. Diagram of the relationship between the minimum emission criterion for greenhouse gases and individual emission assessment indicators

С учетом поставленной цели основным критерием может быть минимум количества выделяемых парниковых газов. Он оценивается по вероятностному коэффициенту  $\lambda_{Q_{ghg}} \rightarrow \min$ , учитывающему уровень эмиссии  $CO_2$ ,  $N_2O$  и  $CH_4$ . По схеме, представленной на рисунке, наглядно прослеживается взаимосвязь выбранного критерия и отдельных показателей оценки эмиссии парниковых газов при производстве растениеводческой продукции. В принципе, каждый из этих показателей в зависимости от требований производства может быть выбран в качестве критерия оптимальности.

На объем парниковых газов наибольшее влияние оказывают: содержание в почве органического вещества (гумуса)  $X_{об}$  и углерода  $C_{yt}$ ; соотношение углерода и азота  $C:N$ , а также натрия, фосфора, калия и органических удобрений  $Na:P:K/Org$ ; количество выбросов вредных веществ при сгорании топлива в двигателях  $B_i$ ; температура  $T$  и влажность  $W$  почвы. Величины перечисленных показателей зависят от приемов, количества и глубины обработки почвы, ее гранулометрического состава, от расхода топлива, дозы, соотношения и приемов внесения удобрений, содержания растительных остатков.

Процесс выделения  $CO_2$ ,  $N_2O$  и  $CH_4$  может быть выражен формулой:

$$Q = f(X_{об}; C_{yt}; N:P:K/Org; B_i; C:N; T; W). \quad (1)$$

Для определения вероятностного коэффициен-

та, учитывающего уровень выделяемых парниковых газов  $CO_2$ ,  $N_2O$  и  $CH_4$ , нами предлагается формула:

$$\lambda_{Q_{ghg}} = 1/7 (\lambda_{X_{об}} + \lambda_{C_{yt}} + \lambda_{N:P:K/Org} + \lambda_{B_i} + \lambda_{C:N} + \lambda_T + \lambda_W), \quad (2)$$

где  $\lambda_{X_{об}}$ ,  $\lambda_{C_{yt}}$ ,  $\lambda_{N:P:K/Org}$ ,  $\lambda_{B_i}$ ,  $\lambda_{C:N}$ ,  $\lambda_T$ ,  $\lambda_W$  – вероятностные коэффициенты соответствующих параметров.

Вероятностные коэффициенты определяют по отношению их среднего значения к базовому:

$$\lambda_{X_{об}} = x_{об}^{cp} / x_{об}^6, \quad (3)$$

$$\lambda_{C_y} = C_y^{cp} / C_y^6, \quad (4)$$

$$\lambda_{N:P:K/Org} = (N:P:K/Org)^{cp} / (N:P:K/Org)^6, \quad (5)$$

$$\lambda_{B_i} = B_{ii}^{cp} / B_i^6. \quad (6)$$

В данной работе при расчете учтены выбросы токсичных компонентов при сгорании 1 кг дизельного топлива ( $e_i = 57$  граммов);

$$\lambda_{C:N} = \lambda_{C:N}^{cp} / \lambda_{C:N}^6; \quad (7)$$

$$\lambda_T = T^{cp} / T^6; \quad (8)$$

$$\lambda_W = W^{cp} / W^6, \quad (9)$$

где  $W^{cp}$  и  $W^6$  – средняя и базовая влажность почвы.

Сущность предложенных моделей сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров сложного процесса выделения парниковых газов. Преимуществом разработанных математических

Показатели оценки эмиссии парниковых газов при возделывании картофеля сорта Удача INDICATORS AND PROBABILITY COEFFICIENTS FOR ESTIMATING GREENHOUSE GASEMISSIONS FROM POTATO CULTIVATION		
Показатель	Среднее значение	Коэффициент вероятности
$X_{OB}$ , %	3	3
$C_{УГ}$ , %	4	4
N:P:K/орг. удобр.	1/1 (50% : 50%)	2
$B_i$ , г	25,6 г (550 кг/га)	1,1
C:N	20:1 (5% : 95%)	2,5
$T$ , °C	15	1,205
$W$ , %	25	1,666

зависимостей является возможность решения задач исключительной сложности параметров и показателей с вероятностной природой их изменения.

В таблице приведены базовые и средние показатели, а также критерий  $Q_{gkg}$  для оценки уровня выделения газов при возделывании картофеля сорта Удача.

Исходя из величин этих показателей, вероятностный коэффициент, учитывающий уровень выделяемых парниковых газов  $CO_2$ ,  $N_2O$  и  $CH_4$  равен:

$$\lambda_{Q_{gkg}} = 1/7 \cdot (3 + 4 + 2 + 1,1 + 2,5 + 1,203 + 1,66) = 2,21.$$

Как следует из результатов расчета, при минимальном выделении парниковых газов (нулевой уровень)  $\lambda_{Q_{gkg}} = 1$ . При использовании различных способов обработки почвы и внесения удобрений его вероятностный коэффициент будет отличаться от единицы. В зависимости от величины и отклонения можно судить о возможном влиянии применяемых технологий на окружающую среду.

Выявление наиболее значимых показателей, влияющих на эмиссии парниковых газов, позволяет разработать соответствующие технико-технологические решения, тем самым повысить экологическую безопасность отрасли растениеводства.

яющих на эмиссии парниковых газов, позволяет разработать соответствующие технико-технологические решения, тем самым повысить экологическую безопасность отрасли растениеводства.

**Выводы.** Разработаны математические модели и методика оценки уровня выброса парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных растений. Сущность математических моделей и методики сводится к синтезу многочисленных показателей и параметров, влияющих на уровень эмиссии парниковых газов при производстве сельскохозяйственной продукции по различным технологиям.

Приведен пример расчета значения вероятностного коэффициента, учитывающего уровень выделяемых парниковых газов. Его численное значение  $2,21 > 1$  свидетельствует о несоответствии применяемой технологии экологическим требованиям. Для снижения уровня выброса парниковых газов требуется разработать технико-технологические решения по оптимизации показателей, используемых при расчетах в предлагаемой методике.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ксенофонтов Б.С., Таранов Р.А., Козляева Е.А. Проблема изменения климата из-за выбросов парниковых газов и возможные пути ее решения // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2022. №6. С. 28-32. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.06.23.
2. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020. Vol. 25(8). 661-687. DOI: 10.1007/s11027-019-09885-2.
3. Carlson K.M., Gerber J.S., Mueller N.D. et al. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. 63-68. DOI: 10.1038/NCLIMATE3158.
4. Кудеяров В.Н. Эмиссионный фактор закиси азота при применении азотных удобрений в земледелии России // *Агрохимия*. 2021. №11. С. 3-15. DOI: 10.31857/S0002188121110089.
5. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Меняйло О.В. и др. Влияние климатических факторов на эмиссию  $CO_2$  из почв в среднетаежных лесах Центральной Сибири: эмиссия как функция температуры и влажности почвы // *Экология*. 2020. №1. С. 51-61. DOI: 10.31857/S0367059720010060.
6. Baresel C., Andersson S., Yang J., Andersen M.H. Comparison of nitrous oxide ( $N_2O$ ) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations. *Advances in Climate Change Research*. 2016. Vol. 7(3). 185-191. DOI: 10.1016/J.ACCRE.2016.09.001.
7. Charles A., Rochette P., Whalen J.K. et al. Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2017. Vol. 236. 88-98. DOI: 10.1016/J.AGEE.2016.11.021.
8. Ding W., Luo J., Li J., et al. Effect of long-term compost and inorganic fertilizer application on background  $N_2O$

- and fertilizer-induced N<sub>2</sub>O emissions from an intensively cultivated soil. *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 465. 115-124. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.020.
9. Дёмин Е.А., Ахтямова А.А., Каюгина С.М. Влияние минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // *Международный научно-исследовательский журнал*. N1. (139). С. 1-6. DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.112.
  10. Кусаинова М.Д., Тойшиманов М.Р., Таменов Т.Б. и др. Изучение эффективности различных систем земледелия для смягчения климата посредством измерения эмиссии парниковых газов // *Центрально-азиатский журнал исследований водных ресурсов*. 2023. N9(2): С. 17-33. DOI: 10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/17-33.rus.
  11. Wachiye Sh., Merbold L., Vesala T. et al. Soil greenhouse gas emissions under different land-use types in savanna ecosystems of Kenya. *Biogeosciences*. 2019. 17. DOI: 10.5194/bg-17-2149-2020.
  12. Сычёв В.Г., Налиухин А.Н., Ерегин А.В. и др. Углерод-секвестрирующая оценка различных систем удобрения и определение эмиссии N<sub>2</sub>O в длительном полевом опыте // *Плодородие*. 2022. N6 (129). С. 73-77. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.19.
  13. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. N6. С. 78-96. DOI: 10.31857/S0002188120060101.
  14. Ogle S.M., Alsaker C., Baldock J. et al. Climate and soil characteristics determine where No-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Sci Rep*. 2019. Vol. 9:11665. DOI: 10.1038/s41598-019-47861-7.
  15. Зинченко С.И., Бучкина Н.П. Влияние приемов основной обработки серой лесной почвы на эмиссию закиси азота // *Владимирский земледелец*. 2018. N4. (86). С. 7-11. DOI: 10.24411/2225-2584-2018-10032.
  16. Mei K., Wang Z., Huang H. et al. Stimulation of N<sub>2</sub>O emission by conservation tillage management in agricultural lands: a meta-analysis. 2018. *Soil Tillage Res*. 182. 86-93. DOI: 10.1016/j.still.2018.05.006.
  17. Li Zh., Zhang Q., Li Zh. et al. Effects of no-tillage on greenhouse gas emissions in maize fields in a semi-humid temperate climate region. *Environmental Pollution*. Vol. 309. 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119747.
  18. Семешкина П.С., Филатов А.Н. Продуктивность звена севооборота в зависимости от энергосберегающих способов обработки почвы и удобрений // *Владимирский земледелец*. 2018. N4. 4-7. DOI: 10.24411/2225-2584-2018-10031.
  19. Oertel C., Matschullat J., Zurba K. et al. Greenhouse gas emissions from soils. A review. *Chemie der Erde*. 2016. Vol. 76. 327-352. DOI: 10.1016/J.CHEMER.2016.04.002.
  20. Сычев В.Г., Налиухин А.Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах Геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами // *Плодородие*. 2021. N6. С. 38-41. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.10.
  21. Dix B.A., Hauschild M.E., Niether W. et al. Regulating soil microclimate and greenhouse gas emissions with rye mulch in cabbage cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 367. DOI: 10.1016/j.agee.2024.108951.
  22. Alskaf K., Mooney S.J., Sparkes D.L. et al. Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 206. DOI: 10.1016/j.still.2020.104803.

## REFERENCES

1. Ksenofontov B., Taranov R. Kozlyayeva E. The problem of climate change due to greenhouse gas emissions and possible solutions. *Modern Science: Current Issues of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2022. N6. 28-32 (In Russian). DOI 10.37882/2223-2966.2022.06.23.
2. Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020. Vol. 25(8). 661-687 (In English). DOI:10.1007/s11027-019-09885-2.
3. Carlson K.M., Gerber J.S., Mueller N.D. et al. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. 63-68 (In English). DOI: 10.1038/NCLIMATE3158.
4. Kudayarov V.N. Nitrous oxide emission factor from Russian arable soils at the fertilizers application. *Agrohimiâ*. 2021. N11. 3-15 (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188121110089.
5. Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Verkhovets S.V. et al. The impact of climatic factors on CO<sub>2</sub> emissions from soils of middle-taiga forests in Central Siberia: emission as a function of soil temperature and moisture. *Russian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 51. N1. 46-56 (In Russian). DOI: 10.31857/S0367059720010060.
6. Baresel C., Andersson S., Yang J., Andersen M.H. Comparison of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations. *Advances in Climate Change Research*. 2016. Vol. 7(3). 185-191 (In English). DOI: 10.1016/J.ACCRE.2016.09.001.
7. Charles A., Rochette P., Whalen J.K. et al. Global nitrous oxide emission factors from agricultural soils after addition of organic amendments: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2017. Vol. 236. 88-98 (In English). DOI:10.1016/J.AGEE.2016.11.021.
8. Ding W., Luo J., Li J., et al. Effect of long-term compost and inorganic fertilizer application on background N<sub>2</sub>O and

- fertilizer-induced N<sub>2</sub>O emissions from an intensively cultivated soil. *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 465. 115-124 (In English). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012. 11.020.
9. Dyomin Y.A., Akhtyamova A.A., Kayugina S.M. Influence of mineral fertilizers on carbon dioxide emission in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Ural region. *International Research Journal*. N1 (139). 1-6 (In Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2024.139.112.
  10. Kussainova M.D., Toishimanov M.R., Tamenov T.B. et al. Studying the climate mitigation efficiency of various land-use systems by measuring greenhouse gas emissions. *Central Asian Journal of Water Research Journal*. 2023. 9(2). 17-33 (In Russian). DOI: 10.29258/CAJWR/2023-R1.v 9-2/17-33.rus.
  11. Wachiye Sh., Merbold L., Vesala T. et al. Soil greenhouse gas emissions under different land-use types in savanna ecosystems of Kenya. *Biogeosciences*. 2019. 17 (In English). DOI: 10.5194/bg-17-2149-2020.
  12. Sychev V.G., Naliukhin A.N., Eregin A.V. et al. Carbon sequestering evaluation of various fertilizer systems and determination of N<sub>2</sub>O emissions in long-term field experience. *Plodorodie*. 2022. N6 (129). 73-77 (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.19.
  13. Semenov V.M. Functions of carbon in the mineralization-immobilization turnover of nitrogen in soil. *Agrohimia*. 2020. N6. 78-96 (In Russian). DOI: 10.31857/S00021881 20060101.
  14. Ogle S.M., Alsaker C., Baldock J. et al. Climate and soil characteristics determine where No-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Sci Rep*. 2019. Vol. 9:11665 (In English). DOI: 10.1038/s41598-019-47861-7.
  15. Zinchenko S.I., Buchkina N.P. Influence of gray forest soil tillage methods on nitrogen oxide emission. *Vladimir agriculturalist*. 2018. N4. 7-11 (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2018-10032.
  16. Mei K., Wang Z., Huang H. et al. Stimulation of N<sub>2</sub>O emission by conservation tillage management in agricultural lands: a meta-analysis. *Soil Tillage Res*. 2018. 182, 86-93 (In English). DOI: 10. 1016/j.still.2018.05.006.
  17. Li Zh., Zhang Q., Li Zh. et al. Effects of no-tillage on greenhouse gas emissions in maize fields in a semi-humid temperate climate region. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 309 (In English). DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119747.
  18. Semeshkina P.S., Filatov A.N. Efficiency of an element of crop rotation independence to energy-saving ways of soil tillage and fertilizers. *Vladimir agriculturalist*. 2018. N4. 4-7 (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2018-10031.
  19. Oertel C., Matschullat J., Zurba K. et al. Greenhouse gas emissions from soils. A review. *Chemie der Erde*. 2016. Vol. 76. 327-352 (In English). DOI: 10.1016/J.CHEMER.2016.04.002.
  20. Sychev V.G., Naliukhin A.N. Study of flows of carbon and nitrogen in long-term field experiments of the Geoset with the purpose of reducing greenhouse gas emissions and increasing the deposition of carbon dioxide by agrocenoses. *Plodorodie*. 2021. N6. 38-41 (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.10.
  21. Dix B.A., Hauschild M.E., Niether W. et al. Regulating soil microclimate and greenhouse gas emissions with rye mulch in cabbage cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 367 (In English). DOI: 10.1016/j.agee.2024.108951.
  22. Alskaf K., Mooney S.J., Sparkes D.L. et al. Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 206 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2020.104803.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Джаббаров Н.И. – концептуализация, научное руководство, разработка методики оценки процесса выделения парниковых газов в растениеводстве;

Мишанов А.П. – методология, обзор и анализ направлений исследований по оценке процессов выделения парниковых газов в растениеводстве, проведение исследований;

Захаров А.М. – методология, поиск и анализ литературы, проведение исследований, визуализация, доработка текста;

Добринов А.В. – методология, проведение исследований, оценка достоверности полученных результатов, формирование общих выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.03.2024

25.04.2024

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Dzhabbarov N.I. – conceptualization, scientific leadership, development of a methodology for evaluating the process of greenhouse gases in crop production;

Mishanov A.P. – methodology, review and analysis of research areas focusing on assessing the greenhouse gas processes in crop production, conducting research;

Zakharov A.M. – methodology, literature search and analysis, conducting research, and data visualization, manuscript refinement;

Dobrinov A.V. – methodology, conducting research, assessment of result reliability, formation of general conclusions.

The authors read and approved the final manuscript.