

ПРОБЛЕМЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

М. М. Хисматуллин, А. В. Ивойлов, А. А. Лукманов, М. М. Хисматуллин

Реферат. Рост содержания парниковых газов (ПГ) в атмосфере, влияющий на потепление климата на Земле, – один из основных вызовов XXI века. В значительной степени это связывается с антропогенной деятельностью (использование ископаемых видов топлива транспортом, при выработке энергии, при производстве продукции в промышленности и сельском хозяйстве и др.). Цель исследований – ретроспективный анализ планетарного потепления климата, обусловленного деятельностью человека для определения проблем, связанных с декарбонизацией отрасли растениеводства. Методология исследования основана на изучении и анализе публикаций отечественных и зарубежных авторов по карбоновой тематике с использованием общенаучных методов. Считать антропогенную деятельность основным виновником потепления климата на планете некорректно. Декарбонизация отраслей экономики путем снижения эмиссии в атмосферу CO_2 , метана, оксида азота – приоритетное направление при разработке и использовании технологий в различных сферах материального производства, в том числе в сельском хозяйстве. В то же время переход растениеводства на низкоуглеродные модели сталкивается с множеством сложностей, требующих философского, методологического и методического анализа. Почвы и агрофитоценозы выполняют важную роль в регулировании содержания ПГ в тропосфере. Одной из ключевых проблем выступает отсутствие унифицированной методики для оценки объемов депонирования и эмиссии ПГ в сельском хозяйстве, что затрудняет объективную оценку полученных результатов, а также нормативной базы по эмиссии и депонированию их разными типами почвы по широкому спектру сельскохозяйственных культур при различных технологиях возделывания. Инвентаризация источников и количественная оценка потоков ПГ в растениеводстве и земледелии позволит разрабатывать адекватные уровню хозяйствования стратегии снижения их углеродной нейтральности для сдерживания темпов глобального изменения климата.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, диоксид углерода, метан, оксид азота, секвестрация парниковых газов, эмиссия, почвы.

Введение. Одним из наиболее значимых вызовов современности выступает рост концентрации парниковых газов в атмосфере, что связывается с концепцией глобального потепления (global warming). Согласно этой концепции, повышение средней температуры поверхности Земли обусловлено антропогенными выбросами парниковых газов, прежде всего диоксида углерода (CO_2). Этот процесс требует не только научного осмысления, но и разработки практических решений для смягчения его последствий. Термин «глобальное потепление» появился в 70-х годах прошлого века с легкой руки американского исследователя Уоллеса Брокера (Wallace Smith Broecker) [1] и породил не прекращающуюся вот уже около 50 лет дискуссию о вкладе деятельности людей в этот процесс на Земле.

Согласно современным научным воззрениям, ключевым фактором, ответственным за повышение среднегодовой температуры поверхности Земли, выступает увеличение концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы. К ним относятся углекислый газ (CO_2), гексафторид серы (SF_6), метан (CH_4), оксид азота (N_2O), трифторид азота (NF_3), а также фторорганические соединения, используемые в качестве хладагентов. Эти газы, удерживая инфракрасное излучение солнечной радиации вблизи поверхности планеты, создают парниковый эффект, что приводит к нагреванию Земли. Чем выше их

концентрация, тем интенсивнее становится глобальное потепление [2].

Эффективным решением для снижения выбросов парниковых газов служит декарбонизация экономики. Это включает переход на низкоуглеродные источники энергии, такие как возобновляемая энергетика, повышение энергоэффективности, сокращение выбросов метана (например, предотвращение утечек природного газа), а также увеличение поглощения углерода экосистемами и технологическими средствами. Кроме того, необходимо внедрение низкоуглеродных технологий в ключевых отраслях: в металлургии и химической промышленности, при производстве цемента, в сельском хозяйстве и др. [3, 4].

Цель исследований – ретроспективный анализ и нетривиальный взгляд на проблему планетарного потепления климата, связанную с деятельностью людей, означить проблемы декарбонизации отрасли растениеводства при переходе на достижение углеродной нейтральности.

Условия, материалы и методы. Методология исследования основана на изучении и анализе публикаций отечественных и зарубежных авторов по карбоновой тематике с использованием общенаучных и методов исследования – системного подхода, обобщения, восхождения от абстрактного к конкретному и др.

Результаты и обсуждение. У концепции, что виной «глобального потепления»

выступает антропогенный фактор, имеются как сторонники, так и противники [5]. Известно, что климат Земли никогда не был постоянным. Наличие в атмосфере парниковых газов периодически создавало парниковый эффект на нашей планете и в доиндустриальный период [6]. Энергогенерация вследствие использования угля, нефти, природного газа, определяя формирование прибавочной стоимости и материально-финансовых ресурсов, в рамках рыночной парадигмы выступает соблазнительным инструментом конкуренции и различных манипуляций [7]. Поэтому научная дискуссия по этому вопросу плавно перетекла из экологической проблемы в политическую плоскость, завязанную на экономике. В этом контексте невозможно не согласиться с мнением члена-корреспондента РАН, доктора экономических наук И. С. Королева, который отмечает: «Глобальное потепление представлено как главная угроза человечеству, превосходящая даже социальное неравенство, бедность, болезни и риск ядерного конфликта. Этот нарратив используется для оправдания форсированного перехода к возобновляемым источникам энергии, несмотря на значительные экономические и социальные издержки. Климатическая повестка стала инструментом политической игры, направленной на получение выгод отдельными государствами и корпорациями. Ярким примером является решение Европейского союза ввести углеродный налог на импорт товаров с высоким углеродным следом, включая минеральное сырье, металлы, цемент, удобрения и другие продукты» [8].

Известно, что в основном парниковый эффект создает водяной пар, о чем в большинстве случаев умалчивают при обсуждении карбоновой проблемы. Его же вклад составляет примерно 50%, облачности – 25%, то есть суммарное вложение атмосферной влаги в парниковый эффект достигает 75%. При этом доля CO_2 составляет 20%, а на вклад всех остальных газов приходится не более 5% [9]. В то же время эмиссия парниковых газов, связанная с растениеводством, составляет примерно 5% всех их выбросов, вызванных деятельностью человека [10].

Кроме людей, значительная лепта в повышение выбросов в атмосферу парниковых газов, и в первую очередь CO_2 , принадлежит естественным для планеты процессам – извержениям вулканов [11], выделению диоксида углерода Мировым океаном в процессе нагревания его вод и др. Известно, например, что растворимость газа и его накопление в воде увеличивается при понижении температуры; и наоборот, при повышении температуры воды депонирование CO_2 уменьшается, о чем свидетельствуют публикации [12].

Из всего сказанного следует, что некорректно однозначно считать антропогенную деятельность основным виновником потепления климата на планете.

Рассмотрим другой аспект проблемы декарбонизации экономики – вклад аграрного сектора в эмиссию парниковых газов. Опубликованы данные, которые показывают, что мировой агропромышленный комплекс образует от 1 до 12% парниковых газов от всего антропогенного объема [13], а объединенный вклад сельского и лесного хозяйства по оценкам 2022 года равен 24% [14]. При этом основные составляющие растениеводства и земледелия – почва и сельскохозяйственные культуры – выступают одновременно в качестве поглотителей и эмитентов парниковых газов. Так, дыхание почвы [15] и растений вносят значительный вклад в эмиссию CO_2 в атмосферу. В то же время растения в ходе фотосинтеза поглощают CO_2 из атмосферы с образованием органического вещества. По экспертным оценкам усвоение диоксида углерода в процессе фотосинтеза в течение года составляет около 260 млрд т, что эквивалентно $7,8 \times 10^{10}$ т углерода [16]. Установлено, что при концентрации CO_2 в 300 ppm потенциал фотосинтеза используется лишь наполовину. По данным С. D. и К. E. Idso [17], удвоение текущей концентрации диоксида углерода приведет (в среднем) к ускорению прироста биомассы у C_3 растений (большинство известных видов) на 41%, а у C_4 (некоторые травянистые растения, в том числе важные сельскохозяйственные культуры – кукуруза, сорго, сахарный тростник, просо и др.) – на 22%. Это успешно используют при производстве сельскохозяйственной продукции (овощей, ягод, цветов) в закрытых объемах (теплицах). Практически у всех видов растений рост концентрации CO_2 в воздухе приводит к активизации фотосинтеза и росту продуктивности растений. По расчетам В. А. Ковды [18], без непрерывного поступления диоксида углерода из почвы в атмосферу существующих запасов его хватило бы не более чем на 35 лет.

С биосферной точки зрения, ключевым процессом, обеспечивающим круговорот углерода, служит фотосинтез. Он выступает основным источником кислорода и потребителем углекислого газа. Углерод накапливается в живой биомассе, органическом веществе, известковых породах, горючих ископаемых, гумусовом слое почв и каустобиолитах [19]. В агроэкосистемах круговорот углерода определяется балансом между его поглощением растениями для синтеза органического вещества и выделением в процессе дыхания почв и растений. Почвы играют двойную роль: они выступают источником CO_2 (так называемое «почвенное дыхание») и одновременно представляют собой важный буферный резервуар как органического (гумус, пожнивнокорневые остатки), так и неорганического углерода [20]. Карбонаты, присутствующие в твердой и жидкой фазах почвы, находятся в динамическом равновесии с углекислым газом почвенной атмосферы. В зависимости от условий, они могут либо аккумулировать CO_2 ,

либо высвободить его, регулируя газообмен между почвой, атмосферой и другими геосферами [15]. Углерод, выступая одним из ключевых элементов процессов фотосинтеза растений (так называемого воздушного питания растений), также занимает значительную долю в структуре гумуса, участвует в процессах минерализации и иммобилизации азота, выступает источником питания микроорганизмов, чувствителен к воздействию удобрений [20, 21].

Одной из проблем повышения углеродной нейтральности агропромышленного производства выступает отсутствие общепринятой единой методики определения объемов депонирования и эмиссии парниковых газов в растениеводстве, что затрудняет объективно анализировать и оценивать полученные результаты [2, 22, 23].

В октябре 2021 года была утверждена Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, основная цель которой – обеспечение углеродной нейтральности при стабильном росте экономики страны и среднем темпе не менее 3% годовых ВВП [24]. В ней, кроме прочих, разработаны конкретные мероприятия и для растениеводческой составляющей сельского хозяйства:

распространение применения медленнодействующих минеральных удобрений и удобрений с ингибиторами процессов нитрификации, которые растворяются и высвобождают азот медленнее, нежели традиционные азотные удобрения, соблюдение норм и сроков внесения удобрений в почву, изменение способов внесения удобрений [25, 26]; дифференцированное внесение на возделываемых землях агрохимикатов, использование наилучших доступных технологий в сельском хозяйстве, применение дистанционного зондирования Земли из космоса для наблюдения за состоянием почв и мониторинга посевов [27]; использование прогрессивных агрономических методов (регенеративных технологий), повышающих урожайность и способствующих более интенсивному поглощению остаточного углерода [28, 29]; противозерозионные и полезащитные мелиоративные мероприятия [28, 30]; обеспечение накопления углерода в почвах сельскохозяйственных земель [24].

Предложенные меры способствуют частичному решению задачи достижения углеродной нейтральности в сельском хозяйстве. Однако вопрос накопления углерода в почвах сельскохозяйственных угодий требует дополнительного глубокого анализа. Например, депонирование углерода в форме органического вещества (гумуса) сопровождается фиксацией азота, который часто находится в дефиците для большинства культур. Это вынуждает фермеров вносить азотные удобрения, что создает дополнительные сложности.

Более того, значительное увеличение содержания гумуса в почвах возможно только при применении специальных мер, таких как внесение больших доз органических удобрений или перевод земель в залежь, что не всегда экономически оправдано [31].

Долгосрочные исследования показывают, что традиционные агротехнические методы, направленные на повышение урожайности (оптимизация доз удобрений, минимизация обработки почвы, отказ от чистого пара), приводят лишь к незначительному увеличению содержания гумуса в почве (на 0,1...0,2%) [31, 32, 33]. Даже систематическое внесение растительных остатков (соломы, корневых и пожнивных остатков) не обеспечивает непрерывного накопления углерода. На определенном уровне достигается равновесие между поступлением углерода и его потерями в процессе минерализации («дыхания почвы») [34, 35, 36].

Выводы. Анализ зарубежных и отечественных публикаций по вопросам «глобального потепления климата» и «карбоновой тематики» указывает, что однозначно считать антропогенную деятельность основным и главным виновником потепления климата на Земле некорректно. Это планетарный процесс, в котором задействовано множество «игроков».

Растениеводческая отрасль сельского хозяйства практически единственная сфера, которая способна стать поглотителем выбросов парниковых газов и депонирования углерода.

Декарбонизация сельскохозяйственной отрасли и ее отдельных элементов – комплексный и многоступенчатый процесс. Вряд ли возможно найти универсальный подход к достижению углеродной нейтральности растениеводства, который будет оптимальным для всех регионов и хозяйств разных форм собственности и уровней интенсивности технологий возделывания культур как с точки зрения сокращения эмиссии парниковых газов и депонирования углерода, так и по критерию экономической эффективности.

Отсутствие научно обоснованной и общепринятой нормативной базы по эмиссии и депонированию парниковых газов разными почвами и широким спектром сельскохозяйственных культур при различных технологиях их возделывания (системах и способах обработки, уровнях удобренности и методах защиты растений от вредных организмов и др.), отсутствие адекватной методики определения потоков CO_2 , CH_4 , N_2O в растениеводстве, затрудняет возможности объективного сравнения и оценки полученных результатов.

Инвентаризация источников и количественная оценка объемов поступления и использования парниковых газов в растениеводстве и земледелии позволит разрабатывать стратегии достижения углеродной нейтральности адекватные уровню хозяйствования.

Литература

1. Broecker W. S. Climatic change; are we on the brink of a pronounced global warming. // Science. 1975. Vol. 189. No. 4201. P. 460–463.
2. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / А. Ю. Иванов, Н. Д. Дурманов, М. П. Орлов и др. / под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
3. Башмаков И. А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 51–74.
4. Перспективы декарбонизации мировой экономики в контексте реализации Парижского климатического соглашения ООН / Г. В. Сафонов, М. Л. Козельцев, А. В. Стеценко и др. // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2022. Т. 17. № 4. С. 38–61. doi:10.17323/1996-7845-2022-04-02.
5. Maslin M. Global Warming: A Very Short Introduction. Oxford University Press; 3 edition (December 1, 2014). 200 p.
6. Глаголев М. В., Сабреков А. Ф. Ответ А. В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5. № 2. С. 50–70.
7. Снакин В. В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. Т. 41. № 2. С. 148–164.
8. Королев И. С. «Глобальное потепление» и энергетический переход (внешнеэкономический аспект) // Анализ и прогноз. Журнал ИМЭМО РАН. 2022. № 2. С. 13–22.
9. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач и др. // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223.
10. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands / K. M. Carlson, J. S. Gerber, N.D. Mueller, et al. // Nature Climate Change. 2017. Vol. 7. P. 63–68.
11. The emissions of CO₂ and other volatiles from the world's subaerial volcanoes / T. P. Fischer, S. Arellano, S. Carn, et al. // Scientific reports. 2019. Vol. 9. No. 1. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54682-1> (дата обращения: 18.01.2025). doi: 10.1038/s41598-019-54682-1.
12. Гудзенко В. Т., Вареничев А. А., Громова М. П. Мировая экономика и газогидраты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 10. С. 43–57.
13. Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France / B. Loubet, P. Laville, S. Lehuger, et al. // Plant Soil. 2011. Vol. 343. P. 109–137.
14. Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU) / G. J. Nabuurs, R. Mrabet, A. A. Hatab, et al. // Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2023. P. 747–860.
15. Кудряков В. Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России // Почвоведение. 2018. № 6. С. 643–658.
16. Ивлев А. А. Фотосинтез и оценки баланса углерода в глобальном цикле углерода // Геология нефти и газа. 2020. № 3. С. 71–77. doi: 10.31087/0016-7894-2020-3-71-77.
17. Idso C. D., Idso K. E. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO₂ concentration // Technology 7 (suppl). 2000. P. 33–56.
18. Ковда В. А. Основы учения о почвах. В 2 кн.: Общая теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 448 с. Кн. 2. 468 с.
19. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 264 с.
20. Strawn D. G., Bohn H. L., O'Connor G. A. Soil Chemistry. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2015. 397 p.
21. Семенов В. М., Лебедева Т. Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. 2015. № 11. С. 3–12.
22. Особенности оценки углеродного следа в сельском хозяйстве: сравнительный анализ методических подходов / Б. А. Красноярова, А. Е. Назаренко, Т. Г. Плуталова и др. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2024. № 1. С. 76–88. doi: 10.18522/1026-2237-2024-1-76-88.
23. Методические указания по количественному определению объема парниковых газов. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-п. URL: https://eipc.center/pdf/analytic/gaspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf (дата обращения: 18.01.2025).
24. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-29102021-n-3052-r-ob-utverzhdenii/> (дата обращения: 18.01.2025).
25. Хисматуллин М. М., Хисматуллин М. М., Сафиоллин Ф. Н. Практические приемы частичной замены минеральных удобрений листовой подкормкой многолетних трав на серых лесных почвах Среднего Поволжья // Кормопроизводство. 2019. № 7. С. 12–18.
26. Хисматуллин М. М. Агроэнергетическая и экономическая эффективность поверхностного улучшения пойменных лугов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2010. Т. 5. № 1 (15). С. 120–122.
27. Техника и технология поверхностного улучшения пойменных лугов Республики Татарстан / Ф. Н. Сафиоллин, А. Р. Валиев, С. Р. Сулейманов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 4 (68). С. 50–55. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.
28. Сычев В. Г., Хисматуллин М. М., Хисматуллин М. М. Роль мелиорации в повышении эффективности сельскохозяйственного производства и плодородия почв: экономико-правовые аспекты // Плодородие. 2023. № 1 (130). С. 57–63. doi: 10.25680/S19948603.2023.130.14.
29. Антистрессовые и фитогормонные препараты в технологии возделывания ярового рапса на серых лесных почвах Республики Татарстан / Д. Г. Гатауллин Ф. Н. Сафиоллин, Г. С. Миннуллин и др. // Агрохимический вестник. 2021. № 2. С. 45–49. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.

30. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / А.Р. Валиев, Н.М. Асадуллин, Л.В. Михайлова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 199–205. doi: 10.12737/2073-0462-2023-199-205
31. Шарков И. Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.
32. Дедов А. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2017. № 9. С. 25–32.
33. Шарков И. Н., Антипина П. В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. e175. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-uglerod-sekvestiruyushey-sposobnosti-pahotnyh-pochv/viewer> (дата обращения: 18.01.2025). doi: 10.31251/pos.v5i2.175.
34. Демин Е. А., Миллер С. С., Ахтямова А. А. Влияние минеральных удобрений и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 1. С. 17–22. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22.
35. Демин Е. А., Миллер С. С. Влияние различных способов обработки и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 4. С. 13–18. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18.
36. Мирсаяпов Р. Р., Низаметдинов З. М., Асылбаев И. Г. Оценка эмиссии и секвестрация углерода сельскохозяйственными культурами // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 12. С. 35–40. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35.

Сведения об авторах:

Хисматуллин Марс Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, директор¹, научный сотрудник², e-mail: rezi-almet@yandex.ru

¹Управление «Приволжскмелиоводхоз», г. Казань, Россия

²Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия

Ивойлов Александр Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры, e-mail: ivoilov.av@mail.ru

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Лукманов Анас Ахтямович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Центр агрохимической службы «Татарский», г. Казань, Россия

Хисматуллин Марсель Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики и организации производства, e-mail: marselmansurovic@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

PROBLEMS OF DECARBONIZATION OF PLANT PRODUCTION SECTOR AT THE PRESENT STAGE

M. M. Khismatullin, A. V. Ivoilov, A. A. Lukmanov, M. M. Khismatullin

Abstract. The growth of greenhouse gas content in the atmosphere, which affects global warming on Earth, is one of the main challenges of the 21st century. To a large extent, this is associated with anthropogenic activity (the use of fossil fuels in transport, energy production, industrial and agricultural production, etc.). The purpose of the research is a retrospective analysis of planetary warming caused by human activity to identify problems associated with the decarbonization of the plant production sector. The research methodology is based on the study and analysis of publications by domestic and foreign authors on carbon topics using general scientific methods. It is incorrect to consider anthropogenic activity as the main culprit of global warming on the planet. Decarbonization of economic sectors by reducing emissions of CO₂, methane, and nitrogen oxide into the atmosphere is a priority in the development and use of technologies in various areas of material production, including agriculture. At the same time, the transition of crop production to low-carbon models faces many difficulties that require philosophical, methodological and methodical analysis. Soils and agrophytocoenoses play an important role in regulating the content of greenhouse gas in the troposphere. One of the key problems is the lack of a unified methodology for assessing the volumes of greenhouse gas deposition and emission in agriculture, which complicates an objective assessment of the results obtained, as well as a regulatory framework for their emission and deposition by different types of soil for a wide range of agricultural crops under various cultivation technologies. An inventory of sources and a quantitative assessment of greenhouse gas flows in crop production and agriculture will allow developing strategies for reducing their carbon neutrality that are adequate to the level of management in order to curb the pace of global climate change.

Key words: climate change, greenhouse gases, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, greenhouse gas sequestration, emissions, soil.

References

1. Broecker WS. Climatic change; are we on the brink of a pronounced global warming. Science. 1975; Vol.189. No.4201. 460-463 p.
2. Ivanov AYU, Durmanov ND, Orlov MP. [Battle for the climate: carbon farming as a stake for Russia: expert report]. Moscow: Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki. 2021; 120 p.
3. Bashmakov IA. [Strategy of low-carbon development of the Russian economy]. Voprosy ekonomiki. 2020; 7.51-74 p.
4. Safonov GV, Kozeltsev ML, Stetsenko AV. [Prospects of the world economy decarbonization in the context of implementation of the UN Paris Climate Agreement]. Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy: obrazovanie, nauka, novaya ekonomika. 2022; Vol.17. 4. 38-61 p. doi: 10.17323/1996-7845-2022-04-02.
5. Maslin M. Global warming: a very short introduction. Oxford University Press; 3 edition (December 1, 2014). 200 p.
6. Glagolev MV, Sabrekov AF. [A reply to A.V. Smagin: II. Carbon balance of Russia]. Dinamika okruzhayushchey sredy i globalnye izmeneniya klimata. 2014; Vol.5. 2. 50-70 p.
7. Snakin VV. [Global climate change: forecasts and reality]. Zhizn Zemli. 2019; Vol.41. 2. 148-164 p.
8. Korolev IS. [“Global warming” and energy transition (external economic aspect). Analysis and forecast]. Zhurnal IMEMO RAN. 2022; 2. 13-22 p.
9. Syrchina NV, Kantor GYa, Pugach VN. [Contribution of carbon dioxide and water to the greenhouse effect]. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2021; 4. 218-223 p.
10. Carlson KM, Gerber JS, Mueller ND. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. Nature Climate Change. 2017; Vol.7. 63-68 p.

11. Fischer TP, Arellano S, Carn S. The emissions of CO₂ and other volatiles from the world's subaerial volcanoes. [Internet]. Scientific reports. 2019; Vol.9. No.1. [cited 2025, January 18]. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54682-1>. doi: 10.1038/s41598-019-54682-1.
12. Gudzenko VT, Varenichev AA, Gromova MP. [Global economy and gas hydrates]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2018; 10. 43-57 p.
13. Loubet B, Laville P, Lehuger S. Carbon, nitrogen and greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France. Plant Soil. 2011; Vol.343. 109-137 p.
14. Nabuurs GJ, Mrabet R, Hatab AA. Agriculture, forestry and other land uses (AFOLU). Climate Change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2023; 747-860 p.
15. Kudryarov VN. [Soil respiration and biogenic sink of carbon dioxide in Russia]. Pochvovedenie. 2018; 6. 643-658 p.
16. Ivlev AA. [Photosynthesis and carbon balance estimates in the global carbon cycle]. Geologiya nefi i gaza. 2020; 3. 71-77 p. doi: 10.31087/0016-7894-2020-3-71-77.
17. Idso CD, Idso KE. Forecasting world food supplies: the impact of rising atmospheric CO₂ concentration. Technology 7 (suppl). 2000; 33-56 p.
18. Kovda VA. Osnovy ucheniya o pochvakh. V 2 kn.: obshchaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsesssa. [Fundamentals of soil science. in 2 books: general theory of soil-formation process]. Moscow: Nauka. 1973; Kn.1. 448 p. Kn. 2. 468 p.
19. Kovda VA. Biogeokhimiya pochvennogo pokrova. [Biogeochemistry of soil cover]. Moscow: Nauka. 1985; 264 p.
20. Strawn DG, Bohn HL, O'Connor GA. Soil chemistry. Fourth edition. John Wiley & Sons, Ltd. 2015; 397 p.
21. Semenov VM, Lebedeva TN. [The problem of carbon in sustainable agriculture: agrochemical aspects]. Agrokhiimiya. 2015; 11. 3-12 p.
22. Krasnoyarskaya BA, Nazarenko AE, Plutalova TG. [Features of carbon footprint assessment in agriculture: a comparative analysis of methodological approaches]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestv. nauki. 2024; 1. 76-88 p. doi: 10.18522/1026-2237-2024-1-76-88.
23. Methodological guidelines for the quantitative determination of greenhouse gases. [Internet]. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of June 30, 2017 No 20-r. [cited 2025, January 18]. Available from: https://eipc.center/pdf/analitich/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf.
24. Order of the government of the Russian Federation of October 29, 2021 No. 3052-r "On approval of the strategy for the social and economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050". [Internet]. Legalacts. [cited 2025, January 18]. Available from: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-29102021-n-3052-r-ob-utverzhdenii/>.
25. Khismatullin MM, Khismatullin MM, Safiollin FN. [Practical methods for partial replacement of mineral fertilizers with foliar feeding of perennial grasses on gray forest soils of the Middle Volga region]. Kormoproduktstvo. 2019; 7. 12-18 p.
26. Khismatullin MM. [Agroenergetic and economic efficiency of surface improvement of floodplain meadows]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010; Vol.5. 1 (15). 120-122 p.
27. Safiollin FN, Valiev AR, Suleymanov SR. [Technique and technology of surface improvement of floodplain meadows of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 4 (68). 50-55 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-50-55.
28. Sychev VG, Khismatullin MM, Khismatullin MM. [The role of land reclamation in increasing the efficiency of agricultural production and soil fertility: economic and legal aspects]. Plodorodie. 2023; 1 (130). 57-63 p. doi: 10.25680/S19948603.2023.130.14.
29. Gataullin DG, Safiollin FN, Minnullin GS. [Anti-stress and phytohormonal preparations in the technology of spring rape cultivation on gray forest soils of the Republic of Tatarstan]. Agrokhimicheskiy vestnik. 2021; 2. 45-49 p. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-009.
30. Valiev AR, Asadullin NM, Mikhaylova LV. [On the development and economic efficiency of land reclamation industry of the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2 (70). 199-205 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-199-205.
31. Sharkov IN. [The concept of humus reproduction in soils]. Agrokhiimiya. 2011; 12. 21-27 p.
32. Dedov AA, Nesmeyanova MA, Dedov AV. [The influence of biologization techniques of agriculture and soil cultivation methods on the content of organic matter in typical chernozem and the productivity of crop rotations]. Agrokhiimiya. 2017; 9. 25-32 p.
33. Sharkov IN, Antipina PV. Some aspects of the carbon sequestering capacity of arable soils. [Internet]. Soils and environment. 2022; Vol.5. 2. e175 p. [cited 2025, January 18]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-uglerod-sekvestiruyushey-sposobnosti-pahotnyh-pochv/viewer>. doi: 10.31251/pos.v5i2.175.
34. Demin EA, Miller SS, Akhtyamova AA. [Influence of mineral fertilizers and soil temperature on carbon dioxide emission in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Urals]. Zemledelie. 2024; 1. 17-22 p. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-17-22.
35. Demin EA, Miller SS. [Effect of various tillage methods and soil temperature on carbon dioxide emission in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Urals]. Zemledelie. 2024; 4. 13-18 p. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18.
36. Mirsayapov RR, Nizametdinov ZM, Asylbaev IG. [Emission assessment and carbon sequestration by agricultural crops]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024; Vol.38. 12. 35-40 p. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35.

Authors:

Khismatullin Mars Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, director¹, researcher², e-mail: rezi-almet@yandex.ru

¹Privolzhskmeliiovodkhoz Department, Kazan, Russia

²Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Ivoylov Aleksandr Vasilevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agronomy and Landscape Architecture Department, e-mail: ivoilov.av@mail.ru

Mordovian State University named after N.P.Ogarev, Saransk, Russia

Lukmanov Anas Akhtyamovich – Doctor of Agricultural Sciences, Director, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru

Center for Agrochemical Service "Tatarskiy", Kazan, Russia

Khismatullin Marsel Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Economics and Organization of Production Department, e-mail: marselmansurovic@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.