

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

УДК 631.433.3

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья

© 2024. Е. А. Дёмин ✉, С. С. Миллер

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация

Мировое сообщество в настоящее время решает несколько взаимосвязанных проблем глобального изменения климата и продовольственной безопасности. Основополагающим в решении этих проблем является углерод, входящий в состав наиболее активных парниковых газов, а также гумусовых веществ, которые являются основой плодородия пашни. Для выполнения принятой концепции «4 промилле» необходимо найти решения для увеличения поглощения органического углерода пахотными почвами и подобрать оптимальные элементы системы земледелия для конкретных почвенно-климатических условий. Цель исследования – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы 2023 г. в условиях Тюменской области (лесостепная зона Зауралья). Схема опыта: контроль (естественный уровень питания) и варианты с дозами $N_{95}P_{46}$, $N_{153}P_{94}$, $N_{211}P_{142}$ и $N_{270}P_{190}$. Измерение эмиссии диоксида углерода проводили камерным методом с помощью инфракрасного газоанализатора AZ77535. Перед уборкой отбирали снопы для определения выхода соломы в 4-кратном повторении с 1 м², после уборки – почву для определения количества корневых и пожнивных остатков (КПО) по методу Н. З. Станкова. В дальнейшем в растительных остатках определяли содержание органического углерода (C_{org}) по ГОСТ 27980. За вегетацию в посевах яровой пшеницы без использования удобрений эмиссия углерода составила около 2400 кг/га. Внесение минеральных удобрений увеличивало продуцирование диоксида углерода на 28–73% относительно контроля. Отмечено, что каждые 10 кг/га д.в. минеральных удобрений повышали эмиссию углерода на 40,6 кг/га в пересчете на чистый углерод. Удобрения в дозах $N_{95-153}P_{46-94}$ не оказали влияния на содержание C_{org} в соломе яровой пшеницы. Использование более высоких доз минеральных удобрений привело к снижению этого показателя на 0,8 %. Не отмечено достоверного влияния минеральных удобрений на содержание C_{org} в КПО, значения которого варьировали от 41,3 до 42,0 % сухого вещества. Возврат органического углерода в почву с растительными остатками в контроле достиг 2,2 т/га, на удобренных вариантах данный показатель повысился до 2,8–3,8 т/га. При отказе от применения удобрений в почве наблюдается отрицательный баланс углерода – потери C_{org} за год исследования составили 196 кг/га. Внесение удобрений в дозах от $N_{95}P_{46}$ до $N_{153}P_{94}$ обеспечило прирост C_{org} в почве в размере 93–96 кг/га за период исследования. Внесение удобрений в дозах свыше $N_{211}P_{142}$ привело к отрицательному балансу C_{org} в почве – потери достигали 188–350 кг/га.

Ключевые слова: диоксид углерода, дозы удобрений, солома, корневые и пожнивные остатки, баланс углерода**Благодарности:** работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005, <https://rscf.ru/project/23-76-10005/>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Дёмин Е. А., Миллер С. С. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1069–1080. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

Поступила: 12.06.2024

Принята к публикации: 03.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals

© 2024. Evgeniy A. Demin ✉, Stanislav S. Miller

Northern Trans-Urals State Agricultural University, Tyumen, Russian Federation

The global community is currently solving several interconnected problems of global climate change and food security. The key to solving these problems is carbon, which is one of the most active greenhouse gases, as well as humic substances, which are the basis of arable land fertility. To implement the adopted "4 ppm" concept, it is necessary to find solutions to increase the absorption of organic carbon by arable soils and select the optimal elements of the farming system for specific

soil and climatic conditions. The objective of the study was to study the effect of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in 2023 in the, Tyumen Region (forest-steppe zone of the Trans-Urals). The scheme of the experiment: control (natural nutrition level) and variants with doses of NP fertilizers calculated for the planned yield: 3.0 t/ha ($N_{95}P_{46}$); 4.0 t/ha ($N_{153}P_{94}$); 5.0 t/ha ($N_{211}P_{142}$) and 6.0 t/ha ($N_{270}P_{190}$). Carbon dioxide emissions were measured using a chamber method and an AZ77535 infrared gas analyzer. Before harvesting, sheaves were sampled to determine the straw yield in 4-fold repetitions per 1 m², after harvesting – soil to determine the amount of root and stubble residues (RCR) using the method of N. Z. Stankov. Subsequently, the organic carbon content in plant residues was determined according to GOST 27980. During the growing season, carbon emissions in spring wheat crops without the use of fertilizers amounted to about 2400 kg/ha. The application of mineral fertilizers increased carbon dioxide production by 28–73 % relative to the control. It was noted that every 10 kg/ha active ingredient of mineral fertilizers increased carbon emission by 40.6 kg/ha in terms of pure carbon. Fertilizers in doses of $N_{95}P_{46}$ did not affect the C_{org} content in spring wheat straw. The use of higher doses of mineral fertilizers led to a decrease in this indicator by 0.8 %. No reliable effect of mineral fertilizers on the C_{org} content in RCR was noted, the values of which varied from 41.3 to 42.0 % of dry matter. The return of organic carbon to the soil with plant residues in the control reached 2.2 t/ha, in the fertilized variants this indicator increased to 2.8–3.8 t/ha. When refusing to use fertilizers, a negative carbon balance is observed in the soil – C_{org} losses over the year of study amounted to 196 kg/ha. Fertilizer application at doses from $N_{95}P_{46}$ to $N_{153}P_{94}$ provided an increase in C_{org} in the soil of 93–96 kg/ha over the study period. Fertilizer application at doses above $N_{211}P_{142}$ led to a negative balance of C_{org} in the soil – losses reached 188–350 kg/ha.

Keywords: carbon dioxide, doses of fertilizers, straw, root and crop residues, carbon balance

Acknowledgments: the research was carried out under the support of Russian Science Foundation No. 23-76-10005, <https://rscf.ru/en/project/23-76-10005/>

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Demin E. A., Miller S. S. The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1069–1080. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

Received: 12.06.2024

Accepted for publication: 03.12.2024

Published online: 25.12.2024

В настоящее время перед мировым сообществом стоит несколько глобальных проблем, одна из которых – изменение климата, вторая – продовольственная безопасность населения [1]. Обе эти проблемы непосредственно связаны с собой круговоротом углерода в системе почва – растения – атмосфера.

Основными источниками изменения климата, по мнению ученых, являются парниковые газы [2], к одним из них относится диоксид углерода, который под действием почвенных микроорганизмов и в результате сложных биохимических процессов, а также дыхания корневой системы поступает из почвы в атмосферу [3]. В результате процесса фотосинтеза углерод, находящийся в структуре углекислого газа, переходит в части растений. В дальнейшем растительные остатки поступают в почву, и органический углерод трансформируется в гумусовые вещества, которые являются основой плодородия пахотных почв [4]. По мнению некоторых исследователей, доля сельского хозяйства в общемировых выбросах диоксида углерода очень значительная и составляет около 45 % [5, 6]. Однако в сельском хозяйстве существует реальная возможность снижения выбросов углекислого газа и увеличения поступления органического углерода с растительными остатками, позволяющими получать положительный баланс углерода при подборе соответствующей технологии карбонового земледелия.

В связи с этим была разработана и принята концепция «4 промилле» на заседании ООН. Данный документ предлагает увеличивать запасы органического углерода во всех пахотных почвах мира на 0,4 % в год [7], что должно полностью исключить негативное влияние парниковых газов на климат. Дополнительная задача, которая решается в данной концепции – это улучшение плодородия пашни и обеспечение продовольственной безопасности населения. Однако некоторые исследователи считают, что в настоящее время нет единой технологии, позволяющей выполнить данную программу в связи с различными почвенно-климатическими условиями. Ученые отмечают, что концепция «4 промилле» в настоящее время призывает мировое сообщество к изучению влияния различных агротехнических приемов на баланс органического углерода в пахотных почвах различных агроклиматических зон [8, 9].

Интенсивно развивающееся сельское хозяйство широко использует средства химизации и минеральные удобрения, которые как показывают исследования, существенно влияют на активность почвенной биоты, интенсивность эмиссии и секвестрации углерода [10, 11]. В связи с этим изучение проблемы баланса органического углерода в пахотных почвах является своевременной.

Цель исследования – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья.

Научная новизна – впервые в условиях лесостепной зоны Зауралья проведен комплексный опыт по изучению влияния минеральных удобрений на баланс $C_{орг}$ в посевах яровой пшеницы. Определено влияние различных доз минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа и количество поступающего $C_{орг}$ с растительными остатками в посевах яровой пшеницы. Установлены корреляционно-регрессионные связи влияния минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа, образования растительных остатков и поступления органического углерода с побочной продукцией.

Материал и методы. Исследования проводили в 2023 г. на базе стационара кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», заложенного с 1995 г. на территории лесостепной зоны Тюменской области.

Опытный участок представлен черноземом выщелоченным, маломощным тяжелосуглинистым, имеющим основные агрохимические характеристики: органическое вещество – $7,5 \pm 0,3$ % (ГОСТ 26213-2021¹); обменная кислотность – $5,6 \pm 0,1$ ед. pH (ГОСТ Р 58594-2019²); содержание подвижных форм фосфора – 60 ± 12 мг/кг и калия – 160 ± 20 мг/кг (ГОСТ 26204-91³).

Опыт включал варианты:

1. Контроль – естественный уровень питания.
2. NPK на планируемую урожайность 3 т/га зерна – $N_{95}P_{46}$.
3. NPK – на 4 т/га зерна – $N_{153}P_{94}$.
4. NPK – на 5 т/га зерна – $N_{211}P_{142}$.
5. NPK – на 6 т/га зерна – $N_{270}P_{190}$.

Повторение опыта 4-кратное. Опытные и учетные делянки имели размер 100 и 50 м² соответственно.

Районированный сорт яровой пшеницы Тюменская юбилейная возделывали в зерновом севообороте (однолетние травы – яровая пшеница – овес) с рекомендованной для северной лесостепи нормой высева 6,0 млн всхожих семян на гектар.

Система земледелия за годы исследований не менялась и была традиционной для зоны северной лесостепи. Предусматривалось осенью после уборки предшественника проведение отвальной обработки почвы на глубину 20–22 см. Весной проводили боронование в два следа. В дальнейшем вносили расчётные дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность (аммиачная селитра N_{34} и аммофос $N_{12}:P_{52}$) методом взвешивания в почву сеялкой СЗП-3,6. Почву культивировали (КПС-4), проводили посев (СЗМ-5,4) и прикатывание. Урожай убирали 22 сентября методом прямого комбайнирования.

Замеры продуцирования углекислого газа проводили через каждые 10–16 суток газовым анализатором диоксида углерода AZ77535. Для этого с участка почвы срезали растения и на их место устанавливали герметичные сосуды с клапаном фиксированного объема и площади, закопанные на 2 см в глубину для предотвращения потерь CO_2 . По истечении суток через герметичный клапан проводили замер концентрации CO_2 . Методом пересчета, с учетом содержания CO_2 в атмосфере, устанавливали эмиссию диоксида углерода с гектара, а также потери углерода из почвы в сутки. Перед уборкой отбирали снопы для определения выхода соломы в 4-кратном повторении с 1 м², после уборки – почву для определения количества корневых и пожнивных остатков (КПО) по методу Н. З. Станкова. Для этого отбирали слой почвы глубиной 30 см с 0,25 м² в 4-кратном повторении, который в дальнейшем промывали водой через сито с ячейками 0,25 мм. Далее образцы растительного материала высушивали и устанавливали содержание органического углерода по аттестованной методике (ГОСТ 27980-88⁴). Затем расчетным методом определяли баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы. Более подробно методика исследований описана в ранее опубликованных работах [12, 13]. Статистическую обработку данных проводили дисперсионным методом по Б. А. Доспехову с использованием пакетной надстройки AgCStat для программного обеспечения Microsoft Excel.

¹ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

²ГОСТ Р 58594-2019. Почвы. Методы определения обменной кислотности. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/719/71986.pdf>

³ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828276.pdf>

⁴ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

Погодные условия 2023 г. существенно отличались от среднесезонных значений повышенной температурой воздуха на протяжении всего периода исследований и неравномерным распределением осадков [12].

Результаты и их обсуждение. В начале развития яровой пшеницы (11.05), минеральные удобрения в дозах до $N_{211}P_{142}$, внесенные перед посевом не оказывали достоверного влияния на эмиссию углерода из почвы, где суточное продуцирование варьировало от 10,2 до 10,8 кг/га при $HCP_{05} = 0,7$ кг/га. Это связано с тем, что внесенные перед посевом удобрения не успели полностью раствориться и не оказывали

стимулирующего действия на микробиоту, участвующую в почвенном газообмене. Яровая пшеница в это время находится на начальном этапе развития и уровень питания не влиял на массу корневой системы, которая участвует в процессе дыхания почвы (табл. 1). В варианте с максимальной дозой ($N_{270}P_{190}$) отмечено увеличение продуцирования углерода до 11,3 кг/га, которое объясняется длительным использованием растениями высоких доз удобрений, что при неполучении планируемой урожайности приводит к накоплению питательных веществ в почве и усилению активности почвенной микробиоты.

Таблица 1 – Влияние различных доз минеральных удобрений на динамику эмиссии диоксида углерода из почвы в посевах яровой пшеницы, кг/га в сутки (2023 г.) /

Table 1 – The effect of different doses of mineral fertilizers on the dynamics of carbon dioxide emissions from soil in spring wheat crops, kg/ha per day (2023)

Вариант	11.05	25.05	10.06	24.06	10.07	24.07	09.08	24.08	05.09	19.09	04.10	17.10
Контроль – без удобрений / Control – without fertilizers	10,2	16,6	18,5	19,1	22,9	25,4	14,7	11,4	9,6	8,3	5,5	2,5
$N_{95}P_{46}$	10,5	17,6	19,8	24,3	26,5	27,4	20,0	13,0	9,8	8,6	5,7	2,5
$N_{153}P_{94}$	10,5	18,6	21,2	30,2	31,0	31,7	23,9	15,8	10,0	9,0	6,0	2,6
$N_{211}P_{142}$	10,8	22,3	26,2	36,6	41,0	42,8	28,5	20,7	11,6	11,3	8,2	2,8
$N_{270}P_{190}$	11,3	23,4	27,4	38,7	43,7	44,1	28,9	23,2	15,3	13,8	10,0	3,1
HCP_{05} / LSD_{05}	0,7	0,8	0,8	1,5	2,3	1,4	2,0	1,3	0,5	0,8	0,9	0,1

В связи с повышением температуры воздуха и прогревом почвы увеличивается активность почвенной микробиоты, а корневая система начинает интенсивно развиваться, что приводит к возрастанию продуцирования диоксида углерода. В связи с чем к 25 мая скорость эмиссии углерода в контроле увеличилась на 6,4 кг/га в сутки, что на 63 % выше предыдущих значений. На более высоком уровне питания ($N_{95}P_{46}$) эти значения также были выше, чем в начале мая на 68 %, при этом относительно контроля возрастали на 1,0 кг/га, или 6 % ($HCP_{05} = 0,8$ кг/га). Дозы удобрений, внесенные на планируемую урожайность 3,0–6,0 т/га зерна ($N_{153}P_{94}$ и $N_{270}P_{190}$), способствовали повышению эмиссии на 12–41 % относительно варианта с питательным фоном контроля и были выше предыдущих измерений на 8,1–12,1 кг/га в сутки. Увеличение эмиссии углерода из почвы в вариантах с систематическим внесением высоких доз минеральных удобрений связано с повышением содержания доступных питательных веществ в почве, которые, как показывают исследования, усиливают активность почвенной биоты и, как следствие, увеличивают эмиссию CO_2 [14].

Эмиссия углерода в сутки к 10 июня увеличивалась во всех исследуемых вариантах на 11,5–17,5 % относительно предыдущих измерений. При этом суточные потери углерода при повышении доз на удобренных вариантах возрастали на 7–48 % относительно контроля и достигали 19,8–27,4 кг/га в сутки ($HCP_{05} = 0,8$ кг/га).

Существенных изменений 24 июня относительно предыдущего измерения в варианте с естественным уровнем питания не наблюдали. На удобренных вариантах скорость эмиссии углерода повысилась на 22,8–42,4 % относительно значений 10 июня. На минеральных фонах в этот период времени скорость газообразных потерь углерода была на 5,2–19,6 кг/га, или 27–103 % выше контроля ($HCP_{05} = 1,5$ кг/га).

К 10 июля интенсивность продуцирования CO_2 в контроле повысилась на 20 % относительно предыдущих значений. На удобренных вариантах скорость эмиссии углерода была выше на 2,6–12,8 % прошлого периода измерений. С повышением доз удобрений почвенное дыхание увеличивалось до 26,5–43,7 кг/га в сутки, что выше контроля на 18–91 % ($HCP_{05} = 2,3$ кг/га).

24 июля отмечена максимальная эмиссия углерода из почвы во всех исследуемых вариантах. В контроле она составила 25,4 кг/га в сутки, что на 11 % выше предыдущих измерений. В варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га зерна ($N_{95}P_{46}$) за сутки продуцирование CO_2 было выше на 8 %, чем в варианте с естественным питательным фоном. С дальнейшим повышением доз удобрений скорость эмиссии в этот период времени увеличилась на 25–74 % относительно контроля ($HCP_{05} = 1,4$ кг/га). Максимально отмеченная скорость продуцирования углерода на всех исследуемых участках в этот период может быть связана с высокой активностью почвенной микробиоты в результате максимально отмеченной температуры почвы 20,7–21,4 °C за период исследования.

В дальнейшем с понижением температуры почвы до 19,0–19,5 °C отмечали тенденцию снижения скорости продуцирования CO_2 во всех изучаемых вариантах. В контроле к 9 августа эмиссия углерода составила 14,7 кг/га в сутки, что на 42 % ниже предыдущих значений. На удобренных вариантах почвенное дыхание уменьшилось на 23–35 % относительно максимально отмеченных значений ($HCP_{05} = 2,0$ кг/га).

5 сентября дыхание почвы в контроле составило 9,6 кг/га CO_2 в сутки, что на 16 % ниже предыдущего периода. В вариантах с дозами $N_{95}P_{46}$ и $N_{153}P_{94}$, что соответствует планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га зерна, существенных отличий с контролем не отмечено, отклонения находились в диапазоне неопределенности ($HCP_{05} = 0,5$ кг/га). Однако в вариантах с высокими дозами удобрений $N_{211}P_{142}$ и $N_{270}P_{190}$, что соответствует планируемой урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна, эмиссия углерода была выше контроля на 21 и 59 % соответственно. Повышенная эмиссия на высокоудобренных вариантах, ориентированных на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна, в этот период времени может быть связана с рядом причин. Первая причина – микрофлора, несмотря на снижение температуры почвы на удобренных вариантах, остается более активной из-за большего количества неиспользованных питательных веществ в результате неполучения планируемой урожайности, что приводит к повышению интенсивности дыхания. Второй причиной является то, что на высокоудобренных вариантах остается больше органических остатков, которые подвергаются разложению и минерализации. Подобная тенденция по общему снижению скорости эмиссии диоксида углерода во всех исследуемых вариантах и более высокой скорости продуцирования углекислого газа относительно

естественного питательного фона на высокоудобренных вариантах (дозы NP на 5,0 и 6,0 т/га зерна) отмечена до 4 октября.

К 17 октября эмиссия в контроле снизилась до 2,5 кг/га в сутки. В вариантах с внесением удобрений, ориентированных на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна, достоверных отличий с контролем в скорости продуцирования CO_2 в этот период времени не наблюдали ($HCP_{05} = 0,1$ кг/га). Это может быть связано с тем, что в данных вариантах получили планируемую урожайность и питательные вещества, внесенные с удобрениями, полностью усвоились. В вариантах с внесением высоких доз ($N_{211-270}P_{142-190}$) из-за неполучения планируемой урожайности неизрасходованные питательные вещества стимулировали активность почвенной биоты, что приводило к повышению эмиссии углерода до 2,8–3,1 кг/га.

Отмеченная в работе динамика повышения скорости эмиссии углерода в течение вегетации на удобренных вариантах связана с тем, что минеральные удобрения способствуют более активному набору массы корневой системы яровой пшеницы, которая участвует в процессе дыхания. Также фактором, оказывающим влияние на скорость продуцирования CO_2 в вариантах с минеральным фоном, является большее количество образующихся растительных остатков в виде соломы, корневых и пожнивных остатков, которые являются источником питания для многочисленного количества почвенных микроорганизмов, участвующих в процессе минерализации органического вещества, что приводит к повышению продуцирования CO_2 . Дополнительным катализатором интенсивности почвенного дыхания является то, что систематическое использование минеральных удобрений сопровождается повышением содержания питательных веществ в почве из-за нестабильного получения планируемой урожайности на высоких питательных фонах. Это приводит к увеличению численности целлюлозоразлагающей микробиоты и к интенсивности продуцирования CO_2 из почвы.

Практически единственным источником поступления органического углерода в пахотные почвы являются растительные остатки. Для зернового агроценоза основной источник возврата углерода в почву – это солома, корневые и пожнивные остатки (КПО) [15,16].

В 2023 г. в посевах яровой пшеницы при отказе от использования удобрений в почву возвратилось до 2,38 т/га соломы и 2,65 т/га КПО (рис. 1). Увеличение уровня питания за счет использования минеральных удобрений

закономерно повышает качество образующейся побочной продукции в связи с более интенсивным нарастанием биомассы растений и развитием корневой системы [17]. В связи с этим использование минеральных удобрений в дозе $N_{95}P_{46}$, что соответствует планируемой урожайности 3,0 т/га зерна, приводило к лучшему развитию яровой пшеницы и увеличению количества образовавшихся растительных остатков

в виде соломы и КПО, сухая масса которых достигала 6,43 т/га. Соломы при этом поступало на 38 % больше ($HCP_{05} = 0,27$), чем в контроле, а КПО – на 23 % ($HCP_{05} = 0,20$). Количество образовавшейся соломы и КПО получено на 1,33 и 0,84 т/га больше контроля в варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га зерна ($N_{153}P_{94}$), что практически в два раза выше, чем на естественном питательном фоне.

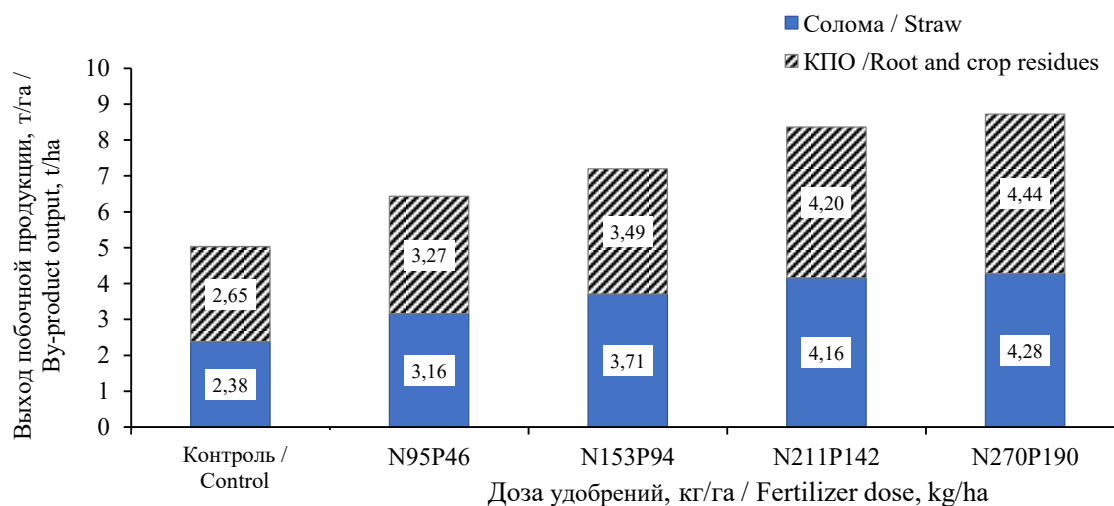


Рис. 1. Влияние различных доз минеральных удобрений на выход побочной продукции яровой пшеницы (2023 г.), т/га (солома – $HCP_{05} = 0,27$ т/га; КПО – $HCP_{05} = 0,20$ т/га) /

Fig. 1. The effect of different doses of mineral fertilizers on the yield of by-products of spring wheat (2023), t/ha (straw – $LSD_{05} = 0,27$ t/ha; root and crop residues – $LSD_{05} = 0,20$ t/ha)

Дальнейшее повышение уровня питания до $N_{211}P_{142}$ способствовало увеличению количества образовавшихся растительных остатков на 66 % относительно контроля, при этом соломы и КПО в почву поступало на 75 и 58 % больше, чем в контроле. Высокий питательный фон обеспечил более интенсивный набор биомассы яровой пшеницы – 8,72 т/га, чуть больше половины из них приходилось на корневые и пожнивные остатки. В исследовании была отмечена высокая корреляция между суммой доз азотных, фосфорных удобрений и полученной массой соломы ($r = 0,98$) и КПО ($r = 0,99$). Это позволило разработать линейные уравнения, представленные в таблице 2, которые показывают, что внесение каждых 10 кг/га д. в. минеральных удобрений способствует увеличению образования общей биомассы соломы и КПО на 0,04 т/га.

Установлено, что количество органического углерода в соломе значительно выше, чем в КПО вне зависимости от исследуемых доз удобрений. В соломе контрольного варианта содержание органического углерода составило 46,6 %, в КПО концентрация $C_{орг}$ – ниже на 5,4 % (рис. 2).

Использование доз удобрений ($N_{95-211}P_{46-142}$) для получения планируемой урожайности от 3,0 до 5,0 т/га зерна яровой пшеницы не оказывало существенного влияния на содержание органического углерода в соломе, отклонения находились в диапазоне неопределенности при $HCP_{05} = 0,7$ %. На максимальном изучаемом питательном фоне ($N_{270}P_{190}$) отмечено статистически значимое снижение содержания $C_{орг}$ в соломе до 45,8 % сухого вещества, которое может быть связано с более продолжительным периодом созревания зерна, в связи с чем в соломе остаются неизрасходованные минеральные вещества. В исследовании отмечается высокая обратная зависимость ($r = -0,90$) между суммой азотных, фосфорных удобрений и содержанием $C_{орг}$ в соломе (табл. 2). Расчеты показали, что в исследуемом году внесение каждых 100 кг/га д. в. минеральных удобрений приводит к снижению содержания $C_{орг}$ в соломе на 0,14 %. При этом корреляция между суммой доз минеральных удобрений и содержанием $C_{орг}$ в КПО слабая ($r = 0,30$) и вариация между вариантами незначительная, не более 0,7 % ($HCP_{05} = 1,2$ %), что не дает возможности вывести достоверное уравнение.

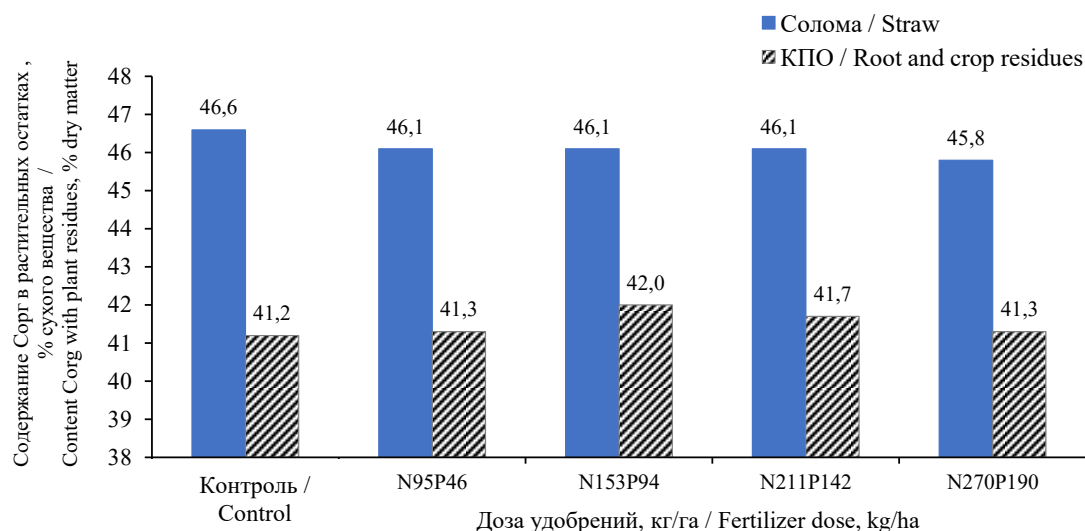


Рис. 2. Влияние различных доз минеральных удобрений на содержание органического углерода в растительных остатках яровой пшеницы (2023 г.), % сухого вещества (солома – НСР₀₅ = 0,70 %; корневые и пожнивные остатки – НСР₀₅ = 1,20 %) /

Fig. 2. The effect of different doses of mineral fertilizers on the content of organic carbon in plant residues of spring wheat (2023), % dry matter (straw – LSD₀₅ = 0.70 %; root and crop residues – LSD₀₅ = 1.20 %)

Возделывание яровой пшеницы без использования минеральных удобрений способно обеспечить возврат $C_{орг}$ с растительными остатками в почву на уровне 2200 кг/га (рис. 3). Дополнительно внося удобрения в почву перед посевом яровой пшеницы, можно повысить количество поступающего $C_{орг}$ в почву на 605–1593 кг/га в зависимости от используемых доз удобрений. Стоит отметить, что несмотря на

высокую биомассу КПО, удобрения в большей степени способствуют повышению количества поступающего органического углерода в почву с соломой нежели с КПО, т. к. в ней содержится больше углерода. Расчеты показали, что с соломой в почву поступает 19,3 кг/га $C_{орг}$ при внесении 10 кг/га удобрений, с КПО – лишь 16,7 кг/га (табл. 2).

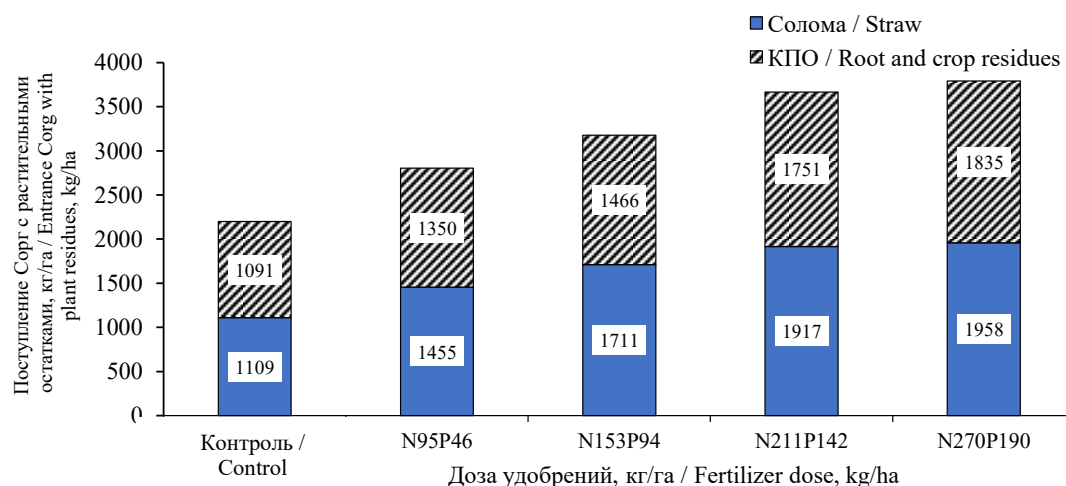


Рис. 3 Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода с растительными остатками яровой пшеницы (2023 г.), кг/га (солома – НСР₀₅ = 136 кг/га; корневые и пожнивные остатки – НСР₀₅ = 97 кг/га) /

Fig. 3. The effect of mineral fertilizers on the supply of organic carbon with plant residues of spring wheat (2023), kg/ha (straw – LSD₀₅ = 136 kg/ha; root and crop residues – LSD₀₅ = 97 kg/ha)

Результаты расчета баланса органического углерода показали, что плодородие чернозема выщелоченного при возделывании яровой пшеницы без внесения удобрений не способно обеспечить положительный баланс $C_{орг}$ в почве.

Это связано с малым количеством поступающего $C_{орг}$ с растительными остатками 2200 кг/га, в то время как эмиссия углерода составляет 2396 кг/га (рис. 4), что в 2023 году привело к потерям $C_{орг}$ в количестве 196 кг/га (рис. 5).

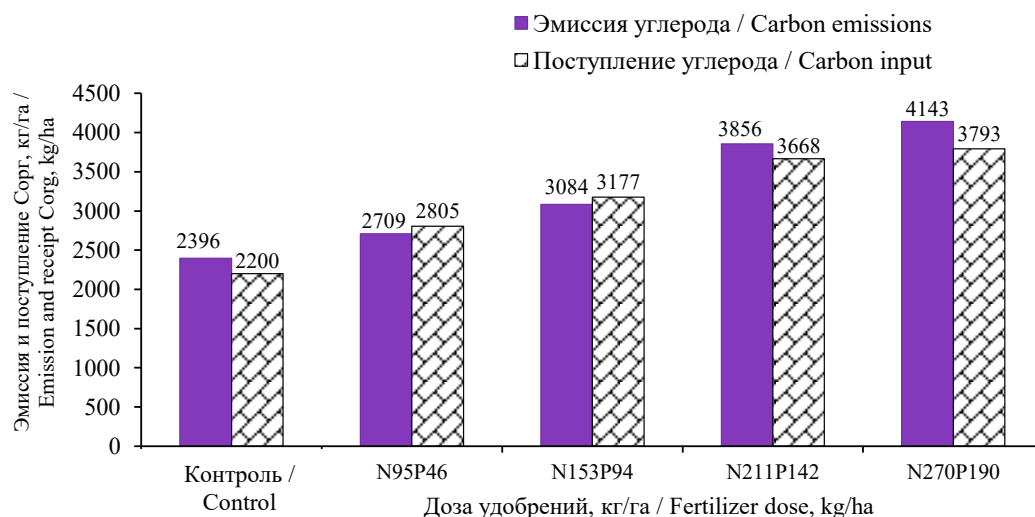


Рис. 4. Влияние минеральных удобрений на эмиссию и поступление C_{org} в посевах яровой пшеницы, кг/га (2023 г.)

Fig. 4. The effect of mineral fertilizers on the emission and intake of C_{org} in spring wheat crops, kg/ha (2023)

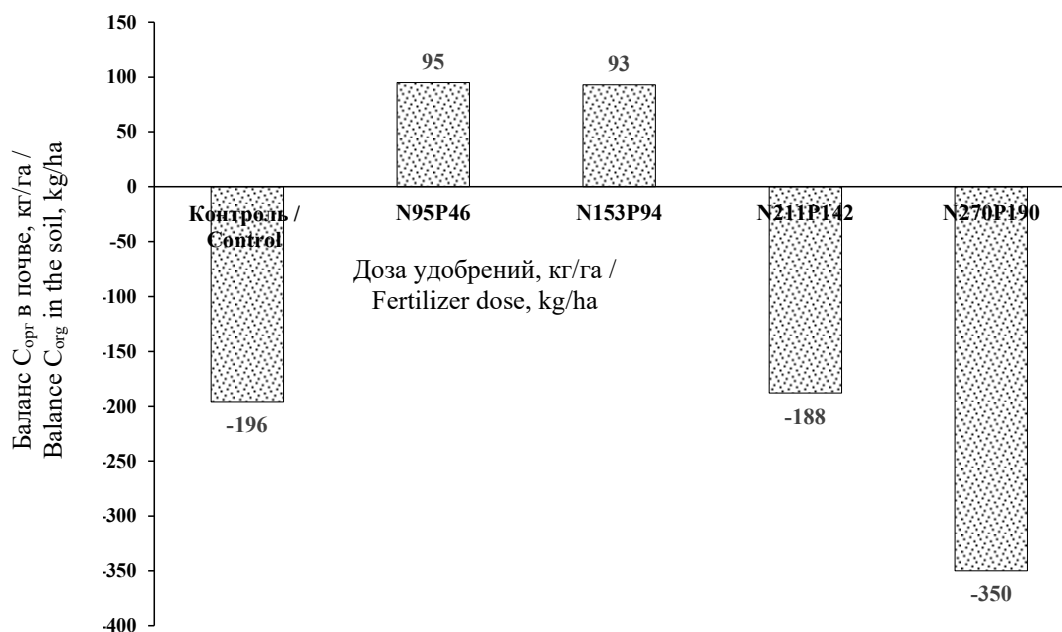


Рис. 5. Влияние минеральных удобрений на баланс органического углерода в черноземе выщелоченном при возделывании яровой пшеницы, кг/га (2023 г.) /

Fig. 5. The effect of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in leached chernozem during the cultivation of spring wheat, kg/ha (2023)

Внесение удобрений в дозе $N_{95}P_{46}$, что соответствует планируемой урожайности 3,0 т/га зерна, увеличивало продуцирование углерода из почвы на 13 % относительно контроля, при этом отмечалось повышение количества, поступающего C_{org} в почву с растительными остатками на 28 % относительно контроля, что в исследуемом периоде обеспечило положительный баланс углерода в почве и увеличение его на 96 кг/га. В варианте с уровнем питания, рассчитанным на получение 4,0 т/га зерна

яровой пшеницы ($N_{153}P_{94}$), также отмечается положительный баланс C_{org} в почве, где его запасы за период исследования увеличились на 93 кг/га. Это происходит по причине того, что эмиссия углерода в данном варианте повысилась лишь на 29 % (3084 кг/га) относительно контроля, а поступление C_{org} с растительными остатками возросло на 44 % (3177 кг/га).

Использование более высоких доз минеральных удобрений, рассчитанных на получение планируемой урожайности 5,0 и 6,0 т/га

зерна ($N_{170}P_{190} - N_{211}P_{142}$) приводило к увеличению эмиссии углерода из почвы на 61–73 % относительно контроля. Неполучение в 2023 г. планируемого урожая из-за особенностей погодных условий привело к тому, что потенциал яровой пшеницы в образовании побочной продукции был не до конца раскрыт. В почву с растительными остатками возвратилось лишь 3668 и 3793 кг/га $C_{орг}$, которого не хватило для покрытия эмиссии CO_2 , в результате этого за период исследования был получен отрицательный баланс $C_{орг}$ в почве, где потери $C_{орг}$ составили 188 и 350 кг соответственно.

В работе установлена корреляция высокой силы между суммой минеральных удобрений и эмиссией углерода ($r = 0,98$). Разработанное уравнение показывает, что в период исследования повышение дозы удобрений (сумма азотных и фосфорных) на 10 кг/га в д. в. ускоряет продуцирование диоксида углерода из почвы на 40,6 кг/га в пересчете на чистый углерод. В 2023 году повышение массы внесенных азотных и фосфорных удобрений на 10 кг/га в д. в. увеличило суммарное поступление органического углерода с растительными остатками на 36,0 кг/га (табл. 2).

Таблица 2 – Корреляционная и регрессионная связь между дозами минеральных удобрений и факторами, влияющими на баланс $C_{орг}$ в посевах яровой пшеницы (2023 г.) /

Table 2– Correlation and regression relationship between doses of mineral fertilizers and factors affecting the balance of sorghum in spring wheat crops (2023)

Фактор / Factor	r	R^2	Уравнение регрессии / regression equation
Выход соломы / Straw yield	0,98	0,96	$y = 0,0043x + 2,51$
Выход корневых и пожнивных остатков / Yield of root and crop residues	0,99	0,98	$y = 0,004x + 2,65$
Содержание $C_{орг}$ в соломе / Content of $C_{орг}$ in straw	-0,90	0,81	$y = -0,0014x + 46,49$
Содержание $C_{орг}$ в КПО / Content of $C_{орг}$ in root and crop residues	0,30	0,09	$y = 0,0006x + 41,36$
Поступление $C_{орг}$ с соломой / Intake of $C_{орг}$ with straw	0,98	0,96	$y = 1,9245x + 1167,7$
Поступление $C_{орг}$ с КПО / Intake of $C_{орг}$ with root and crop residues	0,99	0,98	$y = 1,6703x + 1097,4$
Потери $C_{орг}$ в виде CO_2 за вегетацию / Losses of $C_{орг}$ in the form of CO_2 over the vegetation	0,98	0,96	$y = 4,0609x + 2262,2$
Общее поступление $C_{орг}$ в почву с растительными остатками / Total intake of $C_{орг}$ to the soil with plant residues	0,99	0,98	$y = 3,5967x + 2264,5$

Таким образом, проведенное исследование показало, что в 2023 г. положительный баланс углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья был получен лишь при использовании минеральных удобрений в определенных дозах $N_{95-153}P_{46-94}$.

Внесение минеральных удобрений вне диапазона приводило к отрицательному балансу органического углерода в почве. Установлено, что максимальный положительный баланс $C_{орг}$ в почве был получен при внесении суммы азотных и фосфорных удобрений в дозе 141 кг/га д. в. Данная доза минеральных удобрений в исследуемом периоде обеспечивала максимальный положительный баланс углерода в почве (96 кг/га), который соответствует ежегодному приросту органического углерода в почве на

уровне 80–100 кг/га. Закономерные данные с подобной тенденцией были получены в других работах, проведенных в условиях лесостепной зоны Зауралья [18, 19].

Заключение. Проведенные исследования по изучению влияния возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы на выщелоченном черноземе в условиях лесостепной зоны Зауралья показали, что в 2023 году минеральные удобрения в дозах до $N_{211}P_{142}$, внесенных перед посевом яровой пшеницы, в начале вегетации (11 мая) не оказали влияния на эмиссию углерода из почвы, где значения варьировали в узком диапазоне по вариантам от 10,2 до 10,8 кг/га. В дальнейшем продуцирование углерода повышалось к 24 июля до 25,4 кг/га

в контроле. Внесение удобрений на планируемую урожайность от 3,0 до 6,0 т/га зерна (от N₉₅P₄₆ до N₂₇₀P₁₉₀) увеличивало скорость продуцирования углерода в этот период на 8–74 % относительно контроля. В дальнейшем интенсивность эмиссии углерода снижалась к 17 октября до 2,5–3,1 кг/га во всех изучаемых вариантах. Возделывание яровой пшеницы без удобрений обеспечивало поступление в почву 5,03 т/га побочной продукции в виде соломы и КПО. Минеральные удобрения способствовали увеличению образования побочной продукции более чем в 1,3–1,7 раза. Внесение удобрений не оказывало влияния на содержание C_{орг} углерода в соломе, где значения варьировали от 46,1 до 46,6 % сухого вещества. Лишь внесение максимальной дозы содействовало снижению содержания C_{орг} в соломе на 0,8 % относительно

контроля. Установлено, что эмиссия углерода за вегетацию повышалась на 40,6 кг/га при дополнительном внесении каждые 10 кг/га в д. в. минеральных удобрений, при этом поступление C_{орг} в почву с растительными остатками увеличилось на 36,0 кг/га. Отказ от использования минеральных удобрений приводил к отрицательному балансу C_{орг} в посевах яровой пшеницы, где потери за 2023 г. составили 196 кг/га. Внесение доз удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна (от N₉₅P₄₆ до N₁₅₃P₉₄) обеспечивали положительный баланс углерода в почве, где в исследуемый год прирост достигал 93–96 кг/га. Использование высоких доз удобрений для получения планируемой урожайности от 5,0 до 6,0 т/га зерна яровой пшеницы приводило к отрицательному балансу C_{орг} – потери за 2023 г. составили 188–350 кг/га.

Список литературы

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». Под ред. Р. С. Х. Эдельгериева. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. 700 с.
DOI: <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1> EDN: MFABZG
2. Огнивцев С. Б. Использование агроэкспертных систем для оценки выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023;(10(104)):123–130. DOI: <https://doi.org/10.33938/2310-123> EDN: EVASBS
3. Суховеева О. Э. Приложение модели DNDC к оценке параметров углеродного и азотного обмена в пахотных почвах Нечерноземья. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018;(2):74–85. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2587556618020073> EDN: LBLCHR
4. Помазкина Л. В., Соколова Л. Г., Звягинцева Е. Н., Семенова Ю. В., Кириллова Н. Н. Трансформация и баланс углерода в агроэкосистемах интенсивного севооборота на агросерых почвах лесостепи Прибайкалья. Агрохимия. 2013;(4):3–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18970396> EDN: PZDJED
5. Анфиногентова А. А., Дудин М. Н., Лясников Н. В., Проценко О. Д. Методика оценки качества деятельности предприятий АПК на основе экологически ответственного подхода. Экономика региона. 2017;13(2):579–590. DOI: <https://doi.org/10.17059/2017-2-22> EDN: YSPBDX
6. Сафин Р. И., Валиев А. Р., Колесар В. А. Современное состояние и перспективы развития углеродного земледелия в Республике Татарстан. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021;16(3(63)):7–13. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-7-13> EDN: ZVZFMX
7. Иванов А. Л., Столбовой В. С. Инициатива "4 промилле" - новый глобальный вызов для почв России. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2019;(98):185–202.
DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202> EDN: GGDDKL
8. Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(7):19–26. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703> EDN: HOCVJH
9. Когут Б. М., Семенов В. М., Артемьева З. С., Данченко Н. Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода. Агрохимия. 2021;(5):3–13. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070> EDN: SQOUYM
10. Шулико Н. Н., Тимохин А. Ю., Хамова О. Ф., Бойко В. С., Тукмачева Е. В., Корчагина И. А., Вейнбендер А. А. Биологические и агрохимические свойства лугово-черноземной почвы Омского Прииртышья в связи с продуктивностью кормовых культур при применении минеральных удобрений. Сельскохозяйственная биология. 2024;59(1):156–173. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.156rus> EDN: CTISQB
11. Кудрявцев А. Е., Ваганов Е. С., Канунников С. В., Локтионов В. А. Факторы, определяющие секвестрацию, депонирование, эмиссию углекислого газа в агроценозах. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024;(1(231)):37–44. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44> EDN: VYGPEW
12. 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):17–22. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-17-22> EDN: GIWLSZ

13. Демин Е. А. Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода в почву с растительными остатками в посевах яровой пшеницы. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(11(39)):11. DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18> EDN: KJHVDE
14. Чернов Т. И., Семенов М. В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор). *Почвоведение*. 2021;(12):1506–1522. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120029> EDN: QFVIQH
15. Ахтямова А. А., Еремин Д. И. Деструкция растительных остатков на чернозёме выщелоченном. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018;(4(72)):30–33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/xykudr> EDN: XYKUDR
16. 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;(6(123)):38–41. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10> EDN: MALLBW
17. Абрамов Н. В. Производительность агроэкосистем и состояние плодородия почв в условиях Западной Сибири. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2013. 254 с.
18. Еремин Д. И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрений под зерновые культуры в Северном Зауралье. *Аграрный вестник Урала*. 2010;(8(74)):35–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15237358> EDN: MVLKSH
19. Demin E. A. Intake and fixation of organic carbon in grain agrophytocenosis of Western Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 1043(1):012027. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012027>

References

1. National report "Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control, mitigation and adaptation measures (agriculture and forestry)". *Pod red. R. S. Kh. Edel'gerieva*. Moscow: OOO «Izd-vo MBA», 2021. 700 p. DOI: <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
2. Ognitsev S. B. Using agricultural expert systems for assessing greenhouse gas emissions from crop growing. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2023;(10(104)):123–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33938/2310-123>
3. Sukhoveeva O. E. Application of the DNDC model for estimation of carbon and nitrogen exchange parameters in arable soils in Non-chernozem zone. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2018;(2):74–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S2587556618020073>
4. Pomazkina L. V., Sokolova L. G., Zvyagintseva E. N., Semenova Yu. V., Kirillova N. N. Carbon transformation and budget in agroecosystems of intensive crop rotations on agrogray soils of the forest-steppe zone in the Baikal region. *Agrokhiimiya*. 2013;(4):3–10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18970396>
5. Anfinogentova A. A., Dudin M. N., Lysanikov N. V., Protsenko O. D. Methodology for assessing the quality of agribusiness activity based on the environmentally responsible approach. *Ekonomika regiona = Economy of Regions*. 2017;13(2):579–590. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17059/2017-2-22>
6. Safin R. I., Valiev A. R., Kolesar V. A. Current state and prospects of carbon farming development in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2021;16(3(63)):7–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-7-13>
7. Ivanov A. L., Stolbovoy V. S. The Initiative “4 per 1000” - a new global challenge for the soils of Russia. *Byulleten' Pochvennogo institutaim. V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2019;(98):185–202. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202>
8. Stolbovoy V. S. Regenerative agriculture and climate change mitigation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;34(7):19–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
9. Kogut B. M., Semenov V. M., Artemyeva Z. S., Danchenko N. N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agrokhiimiya*. 2021;(5):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
10. Shuliko N. N., Timokhin A. Yu., Khamova O. F., Boyko V. S., Tukmacheva E. V., Korchagina I. A., Veynbender A. A. Biological and agrochemical properties of the meadow-chnozem soil of Omsk Irtysh region and fodder crop productivity as influenced by mineral fertilizers. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2024;59(1):156–173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2024.1.156rus>
11. Kudryavtsev A. E., Vaganov E. S., Kanunnikov S. V., Loktionov V. A. Factors determining sequestration, deposition, and carbon dioxide emissions in agroecosystems. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024;(1(231)):37–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44>
12. Demin E. A., Miller S. S., Akhtyamova A. A. The influence of mineral fertilizers and soil temperature on carbon dioxide emissions in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Zemledelie*. 2024;(1):17–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-17-22>

13. Demin E. A. Influence of mineral fertilizers on organic carbon input into soil with plant residues in spring wheat crops. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(11(39)):11. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18>

14. Chernov T. I., Semenov M. V. Management of soil microbial communities: opportunities and prospects (A review). *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2021;(12):1506–1522. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120029>

15. Akhtyamova A. A., Yeregin D. I. Destruction of vegetable residues on leached out chernozem. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(4(72)):30–33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/xykudr>

16. 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. *Plodородие*. 2021;(6(123)):38–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10>

17. Abramov N. V. Agroecosystem productivity and soil fertility in Western Siberia. Tyumen': *GAU Severnogo Zaural'ya*, 2013. 254 p.

18. Eremin D. I. The humus state of leached chernozem with prolonged use of a mineral fertilizer system for grain crops in the Northern Urals. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010; (8(74)):35–37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15237358>

19. Demin E. A. Intake and fixation of organic carbon in grain agrophytocenosis of Western Siberia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022; 1043(1):012027.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012027>

Сведения об авторе

✉ **Дёмин Евгений Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625003, e-mail: pr@gausz.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3678>, e-mail: gambitn2013@yandex.ru

Миллер Станислав Сергеевич, кандидат с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625003, e-mail: pr@gausz.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-0142>

Information about the authors

✉ **Evgeniy A. Demin**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Northern Trans-Urals State Agricultural University, st. Respubliki, 7, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625003, e-mail: pr@gausz.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3678>, e-mail: gambitn2013@yandex.ru,

Stanislav S. Miller, PhD in Agricultural Science, associate professor, Northern Trans-Urals State Agricultural University, st. Respubliki, 7, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625003, e-mail: pr@gausz.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-0142>

✉ – Для контактов / Corresponding author