

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.112>

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Научная статья

Дёмин Е.А.^{1,*}, Ахтямова А.А.², Каюгина С.М.³

¹ ORCID : 0000-0003-2542-3678;

² ORCID : 0000-0003-0297-6958;

³ ORCID : 0000-0002-3934-835X;

^{1,2,3} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gambitn2013[at]yandex.ru)

Аннотация

Изменение климата – одна из наиболее глобальных проблем современного мира, оказывающая влияние на все стороны жизни. Основной причиной изменения климата принято считать парниковые газы. Доля агропромышленного комплекса в выбросах парниковых газов составляет около четверти от общего количества. Современное сельское хозяйство использует значительное количество минеральных удобрений для повышения продуктивности пашни, это приводит к нарушению естественного процесса почвообразования и оказывает влияние на эмиссию углекислого газа. Цель исследования – установить влияние минеральных удобрений на динамику эмиссии углекислого газа в посевах яровой пшеницы. Установлено, что в начале развития яровой пшеницы минеральные удобрения не оказывают влияния на эмиссию диоксида углерода, значения варьируют от 37,4-41,4 кг CO₂/га*сутки. В течение вегетации отмечается значительное повышение продуцирования углекислого газа на вариантах с внесением удобрений. Максимальная суточная эмиссия отмечается 24 июля и составляет от 100,4 до 161,5 кг CO₂/га*сутки на удобренных вариантах, тогда как на контроле не более 93,2 кг CO₂/га*сутки.

Ключевые слова: минеральные удобрения, эмиссия углекислого газа, диоксид углерода, яровая пшеница.

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON CARBON DIOXIDE EMISSION IN SPRING WHEAT CROPS IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE TRANS-URAL REGION

Research article

Dyomin Y.A.^{1,*}, Akhtyamova A.A.², Kayugina S.M.³

¹ ORCID : 0000-0003-2542-3678;

² ORCID : 0000-0003-0297-6958;

³ ORCID : 0000-0002-3934-835X;

^{1,2,3} Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russian Federation

* Corresponding author (gambitn2013[at]yandex.ru)

Abstract

Climate change is one of the most global problems of the modern world, affecting all aspects of life. Greenhouse gases are generally regarded as the main cause of climate change. The share of the agro-industrial complex in greenhouse gas emissions is about a quarter of the total. Modern agriculture uses a significant amount of mineral fertilizers to increase the productivity of arable land, this leads to disruption of the natural process of soil formation and affects the emission of carbon dioxide. The aim of the study is to determine the effect of mineral fertilizers on the dynamics of carbon dioxide emission in spring wheat crops. It was established that at the beginning of spring wheat development mineral fertilizers have no effect on carbon dioxide emission, the values vary from 37.4-41.4 kg CO₂/ha*day. During the vegetation period, there is a significant increase in carbon dioxide production in the variants with fertilizer application. The maximum daily emission is observed on July 24 and ranges from 100.4 to 161.5 kg CO₂/ha*day on fertilized variants, while on the control no more than 93.2 kg CO₂/ha*day.

Keywords: mineral fertilizers, carbon dioxide emission, carbon dioxide, spring wheat.

Введение

Одна из наиболее существенных проблем современного мира – это глобальное изменение климата, которое оказывают влияние на все стороны жизни, в том числе и на продовольственную безопасность населения [1]. Парниковые газы – основной источник изменения климата. По данным некоторых исследователей, Россия – за год выбрасывает около 1536,9 млн. тонн парниковых газов и занимает четвертое место мире. На долю сельского хозяйства приходится около 25% выбросов парниковых газов, при этом с АПК связывают до 45% глобальной эмиссии диоксида углерода и закиси азота [2]. В рамках решения этой проблемы в 2015 году была разработана и утверждена на конвенции ООН в Париже концепция «4 промилле», по задумке которой для обеспечения снижения пагубного воздействия на климат антропогенных выбросов парниковых газов необходимо увеличивать поглощения углерода пахотными почвами. В 2021 году в законную силу вступил закон 2 июля 2021 года №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», который предусматривает создание государственного учета выбросов парниковых газов и обязательные отчеты о выбросах для крупных организаций [3], [4].

Эмиссия углекислого газа в агроценозах зависит от различных факторов, начиная от видов возделываемых культур до способов обработки почвы и удобрений. Современное сельское хозяйство для получения стабильно высокого урожая культур использует минеральные удобрения, и как показывают исследования, различные дозы удобрений по-разному оказывают влияние на эмиссию диоксида углерода. Использование минеральных удобрений приводит к повышению эмиссии углекислого газа, из-за активизации почвенной микрофлоры. Однако использование высоких доз удобрений может привести к угнетению аборигенной микрофлоры и снизить продуцирование CO_2 [5], [6], [7].

Цель исследования: установить влияние минеральных удобрений на динамику эмиссии углекислого газа в посевах яровой пшеницы.

Методы и принципы исследования

Опыт закладывали в лесостепной зоне Зауралья на черноземе выщелоченном. В зернопаровом севообороте, в который входили однолетние травы, яровая пшеница и овес. Обработка почвы традиционная для данной зоны. Осенью проводили вспашку на глубину 20-22 см навесным плугом. Весной боронили средними зубовыми боронами в два следа. Перед посевом вносили расчетные дозы минеральных удобрений, использовали аммиачную селитру и аммофос (СЗП-3,6). В дальнейшем культивировали на глубину 6-8 см и сразу сеяли (СЗМ-5,4) сорт Тюменская юбилейная с нормой высева 6,0 млн. семян на гектар, после проводили прикатывание кольчато-шпоровыми катками. Схема опыта предусматривала варианты с НРК на 3,0 т/га ($\text{N}_{95}\text{P}_{46}$); НРК на 4,0 т/га ($\text{N}_{153}\text{P}_{94}$); НРК на 5,0 т/га ($\text{N}_{211}\text{P}_{142}$) и НРК на 6,0 т/га ($\text{N}_{270}\text{P}_{190}$) т/га зерна яровой пшеницы. Контроль – естественное плодородие чернозема выщелоченного. Делянка опытная составляла 100 м², учетная – 50 м², повторение 4-х кратное. Учет эмиссии CO_2 проводили каждые 10-16 суток с помощью инфракрасного газоанализатора AZ77535. Для этого перед замером с почвы срезали культурные растения с площади 0,25 м², на это место устанавливали герметичные сосуды фиксированной площади и объема, закопанные на глубину 2 см. По истечению суток проводили замер CO_2 через герметичный клапан, от полученных значений отнимали фоновое содержание углекислого газа в атмосфере. Далее методом перерасчета устанавливали продуцирование углекислого газа на гектар в сутки. Статистическую обработку данных проводили по Доспехову с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Основные результаты

Эмиссия углекислого газа в начале развития яровой пшеницы составляет от 37,4 до 41,4 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$. Минеральные удобрения в этот период не оказывают влияние на интенсивность почвенного дыхания ($\text{НСР}_{05}=4,3$ кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$) (рис.1). В этот период (11 мая) отмечена высокая корреляция (0,74) между дозами минеральных удобрений и эмиссией углекислого газа, это позволило нам провести расчет и установить уравнение регрессии (рис.2). Установлено, что каждые внесенные перед посевом 100 кг/га минеральных удобрений в действующем веществе повышают эмиссию CO_2 на 0,79 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$.

К 25 мая внесенные перед посевом минеральные удобрения достаточно хорошо растворились и начинают оказывать стимулирующее действие на почвенную микрофлору, также повышение температуры почвы положительно сказывалось на усилении продуцирования диоксида углерода. На контроле эмиссия увеличилась на 62% относительно исходных измерений. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность свыше 4,0 т/га зерна яровой пшеницы увеличивало интенсивность газообразных потерь углерода до 68,1-85,6 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$.

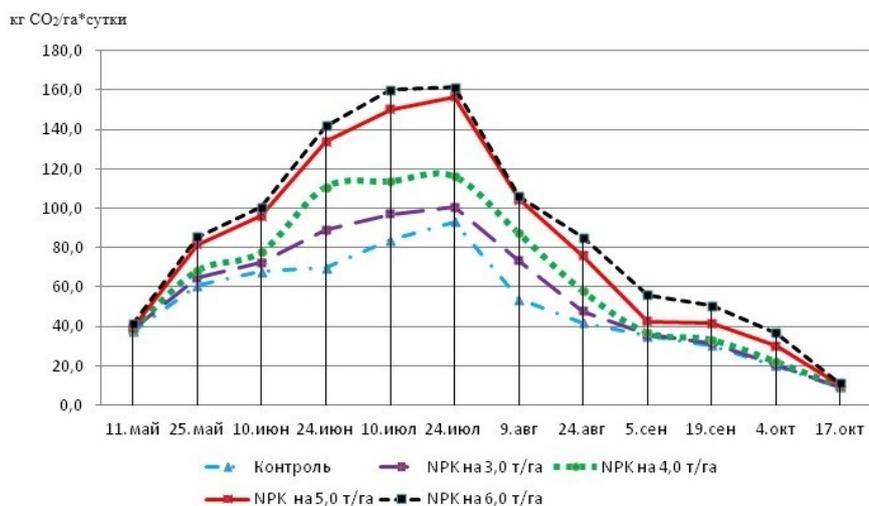


Рисунок 1 - Влияние минеральных удобрений на эмиссию CO_2 в течение вегетации яровой пшеницы
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.112.1>

Высокая отмеченная корреляция (0,94) в этот период (25 мая) между дозами внесенных под посев яровой пшеницы минеральных удобрений и эмиссией CO_2 , что позволило вывести уравнение регрессии (рис.2) и установить, что каждые внесенные перед посевом 10 кг/га минеральных удобрений в действующем веществе повышают эмиссию CO_2 на 0,58 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$. Существенное повышение эмиссии углекислого газа в зависимости от доз минеральных удобрений относительно предыдущего периода времени может быть связано в первую очередь с растворением

удобрений и повышением численности почвенной микробной массы, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [8]. Также более развитой корневой системой растений на удобренных вариантах [9]. Это в последствии и будет оказывать наибольшее влияние на уровень эмиссии CO_2 .

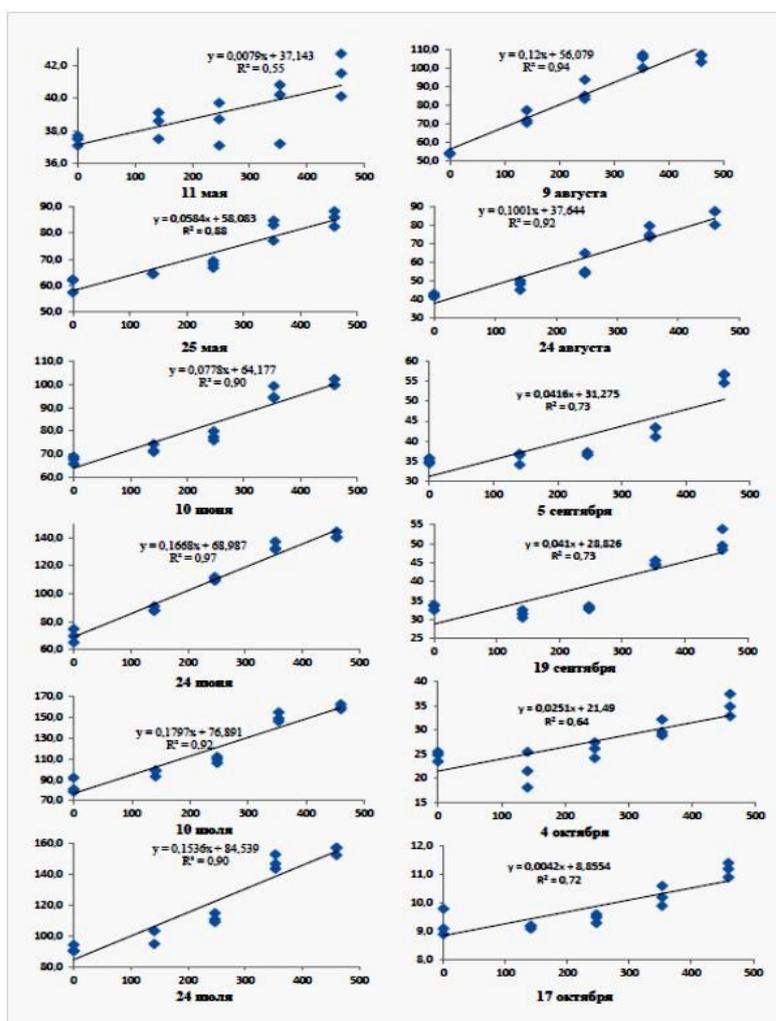


Рисунок 2 - Взаимосвязь доз минеральных удобрений и эмиссии CO_2 в посевах яровой пшеницы в различные периоды времени

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.112.2>

Измерения, которые были проведены 10 июня, позволили установить, что к этому периоду происходит увеличение продуцирования диоксида углерода на всех исследуемых вариантах на 12-18%, в сравнении значениями, полученными 25 мая. На варианте с естественным уровнем питания выделение углекислого газа из почвы не превышало 67,7 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$. Внесение удобрений обеспечивало усиление эмиссии CO_2 на 7-49% в зависимости от внесенных доз удобрений на планируемую урожайность. Это связано с тем, что внесенные ранее минеральные удобрения обеспечили большую численность почвенных микроорганизмов, а также более развитую корневую систему на удобренных вариантах [10]. В этот период также отмечалась высокая зависимость (0,96) между эмиссией CO_2 и дозами минеральных удобрений. В результате расчетов было получено уравнение достоверное в диапазоне внесения доз минеральных удобрений до 460 кг/га. Исходя из которого установлено, что каждые 10 кг/га удобрений в действующем веществе повышают интенсивность выделение CO_2 в посевах яровой пшеницы на 0,78 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$.

Скорость дыхания почвы в посевах яровой пшеницы на контроле 11 июня относительно предыдущих значений не отличалась. Тогда как на вариантах с внесением удобрений эмиссия CO_2 составляла от 88,9 до 141,8 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$, что выше контроля на 27-103%. Это может быть связано с тем, что в этот период естественное плодородие чернозема выщелоченного не способно полностью обеспечить культурные растения необходимым количеством нитратного азота. В результате этого он находится в дефиците и активность почвенной биоты существенно снижается, это подтверждается исследованиями, проведенными на кафедре почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья [12]. Внесение минеральных удобрений с посевом в полной мере компенсирует необходимое количество нитратного азота растениям, что приводит к увеличению численности аборигенной микрофлоры и как правило интенсивности продуцирования CO_2 . В исследованиях также прослеживается высокая зависимость между дозами минеральных удобрений и эмиссией CO_2 (0,95). Разработанное уравнение регрессии, достоверное в диапазоне внесения удобрений до 460 кг/га, показывает, что каждые 10 кг/га удобрений внесенных перед посевом яровой пшеницы увеличивают эмиссию углекислого газа в этот период времени на 1,67 кг $\text{CO}_2/\text{га} \cdot \text{сутки}$.

На всех исследуемых вариантах к 10 июня интенсивность продуцирования углекислого газа повышается. На варианте с естественным плодородием эмиссия составила 83,7 кг CO₂/га*сутки. На удобренных вариантах этот показатель был выше на 13,3-121,3 кг CO₂/га*сутки. Значительное увеличение интенсивности дыхания в этот период на естественном фоне в сравнении с предыдущим, может быть связано с высокой скоростью накопления азота текущей нитрификации, в результате чего баланс азота между накоплением и расходом становится положительным, что приводит к активизации почвенных микроорганизмов и интенсивности дыхания. В этот период времени прослеживается высокая зависимость между дозами минеральных удобрений и эмиссией CO₂ (0,97). Разработанное уравнение показывает, что каждые 10 кг/га удобрений внесенных перед посевом яровой пшеницы увеличивают эмиссию углекислого газа в этот период времени на 1,80 кг CO₂/га*сутки.

Эмиссия углекислого газа 24 июля была максимальной на весь изучаемый период и была выше предыдущих измерений на 0,9-11,3%, это объясняется наиболее благоприятным температурным режимом для почвенной биоты, а также наиболее активной корневой системой яровой пшеницы [13]. Корреляция между дозами минеральных удобрений и эмиссией CO₂ в этот период была высокой и составляла 0,95. Разработанное уравнение (достоверное в диапазоне внесения минеральных удобрений от 0 до 460 кг/га) показывает, что в этот временной интервал каждые 10 кг/га минеральных удобрений увеличивают эмиссию углекислого газа на 1,54 кг CO₂/га*сутки.

В дальнейшем скорость продуцирования углекислого газа снижается из-за понижения температуры как атмосферной, так и почвенной. В связи с чем на естественном фоне интенсивность дыхания к 9 августа снижалась на 42% относительно максимальных значений. На удобренных вариантах снижение эмиссии было не настолько интенсивных и составляло 24,8-34,5%. В этот период по-прежнему отмечается высокая корреляция между продуцированием CO₂ и дозами минеральных удобрений (0,97). Уравнение регрессии разработанное для данного периода времени показывает, что каждые 10 кг/га минеральных удобрений в действующем веществе увеличивают эмиссию CO₂ на 1,20 кг/га в сутки.

К 24 августа уменьшалась интенсивность эмиссии углекислого газа до 41,9 кг CO₂/га*сутки на контроле и до 73,2-105,8 кг CO₂/га*сутки на удобренных вариантах. Высокая корреляция (0,96) доз удобрений и эмиссии CO₂, позволила установить, что каждые внесенные в 10 кг/га удобрений в д.в. повышают интенсивность продуцирования углекислого газа на 1,0 кг/га в сутки.

Газообразные потери углерода 5 сентября на контроле составляли 35,1 кг CO₂/га*сутки, что ниже предыдущих значений на 16%. На вариантах с внесением удобрений на планируемую урожайность 3,0-4,0 т/га зерна существенно не отличались от естественного фона. На высоком минеральном фоне NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна эмиссия была выше контроля на 37-67%.

Отсутствия отличия, в продуцировании диоксида углерода на вариантах с NPK на 3,0 и 4,0 т/га связана с тем, что на них удалось получить планируемую урожайность, в результате чего значительная часть питательных элементов была усвоена яровой пшеницей. На высоком агрофоне из-за не получения расчетной урожайности, неизрасходованные питательные вещества оказывали положительное действие на интенсивность дыхания почвенной биоты. Расчеты показали, что минеральные удобрения и эмиссия CO₂ имеют сильную зависимость (0,85). Установлено, что внесение 10 кг/га минеральных удобрений в д.в. увеличивают продуцирование углекислого газа в этот период времени на 0,42 кг/га в сутки.

К середине сентября интенсивность эмиссии углекислого газа сократилась относительно предыдущих значений на 2,7-13,6%. Однако отмечалась такая же тенденция, как и при предыдущем измерении. Корреляция доз удобрений и эмиссии углекислого газа также высокая (0,90) как и в предыдущие разы. Уравнение регрессии показывает, что каждые 10 кг/га минеральных удобрений в д.в. увеличивает эмиссию CO₂ на 0,41 кг CO₂/га*сутки.

4 октября интенсивность эмиссии диоксида углерода на всех изучаемых вариантах уменьшилась на 27,1-34,3% относительно предыдущих измерений. Наиболее интенсивное снижение было отмечено на вариантах с естественным уровнем питания и с NPK на 3,0 и 4,0 т/га зерна, значения на которых уменьшились на 33,6-34,3 кг CO₂/га*сутки. На вариантах с высоким уровнем питания в этот период продуцирование углекислого газа было выше контроля на 50-83%. В этот период отмечена высокая корреляция доз удобрений на эмиссию углерода (0,89). Разработанное уравнение позволило установить, что внесение 10 кг/га минеральных удобрений в д.в. повышает продуцирование диоксида углерода на 0,25 кг CO₂/га*сутки.

Интенсивность эмиссии углекислого газа 17 октября сократилась более чем на 50%. На варианте с естественным плодородием газообразные потери составляли 9,3 кг CO₂/га*сутки. На удобренных вариантах это показатель варьировал от 9,2 до 11,2 кг CO₂/га*сутки. В исследовании отмечена высокая корреляция минеральных удобрений и эмиссии CO₂ (0,85). Полученное уравнение регрессии показывает, что каждые внесенные 100 кг/га д.в. минеральных удобрений повышают продуцирование углекислого газа лишь на 0,42 кг CO₂/га*сутки, что существенно ниже значений полученных ранее.

Заключение

Минеральные удобрения в течение развития яровой пшеницы оказывают существенное влияние на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы. В начале развития яровой пшеницы удобрения не оказывают существенного влияния на скорость продуцирования углекислого газа, значения которого находятся в диапазоне от 37,4-41,4 кг CO₂/га*сутки. В дальнейшем с растворением минеральных удобрений, развитием корневой системы и повышением температуры почвы, скорость эмиссии диоксида углерода повышается. Максимальная эмиссия CO₂ в посевах яровой пшеницы приходится на 24 июля и достигает 93,2-161,5 кг CO₂/га*сутки. Минимальные значения эмиссии углекислого газа отмечаются осенью в октябре – 9,3-11,2 кг CO₂/га*сутки.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005, <https://rscf.ru/project/23-76-10005>.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Буктыбаева А.Б., Баишев Университет, Актобе, Казахстан
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.112.3>

Funding

Research completed with grant support Russian Science Foundation № 23-76-10005, <https://rscf.ru/en/project/23-76-10005>.

Conflict of Interest

None declared.

Review

Buktibaeva A.B., Baishev University, Aktobe, Kazakhstan
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.112.3>

Список литературы / References

1. Еремин Д.И. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на запасы органического углерода в черноземе выщелоченном / Д.И. Еремин, Е.А. Дёмин // Земледелие. — 2023. — 4. — с. 35-39. — DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-35-39.
2. Hutchinson J.J. Some Perspectives on Carbon Sequestration in Agriculture / J.J. Hutchinson, C.A. Campbell, R.L. Desjardins // Agric Forest Meteorol. — 2007. — 142. — p. 288–302.
3. Иванов А.Л. Инициатива "4 промилле" - новый глобальный вызов для почв России / А.Л. Иванов, В.С. Столбовой // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2019. — 98. — с. 185-202. — DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202.
4. Wang Q Cropping Systems to Improve Carbon Sequestration for Mitigation of Climate Change / Q Wang, Y Li, A Alva // Journal of Environmental Protection. — 2010. — 1. — p. 207-215. — DOI: 10.4236/jep.2010.13025.
5. Касторнова М.Г. Экологическая оценка влияния сельскохозяйственной деятельности на эмиссию углекислого газа из чернозема выщелоченного Тобол-Ишимского междуречья / М.Г. Касторнова, Е.А. Дёмин, Д.И. Еремин // Аграрный вестник Урала. — 2021. — 10(213). — с. 9-20. — DOI: 10.3247/1997-4868-2021-213-10-10-20.
6. Лукин С.М. Эмиссия углекислого газа в агроценозах картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве / С.М. Лукин // Владимирский земледелец. — 2015. — 3-4(73-74). — с. 22-23.
7. Демина О.Н. Влияние минеральных удобрений на изменение численности педотрофной микрофлоры пахотного чернозёма выщелоченного / О.Н. Демина, Д.И. Еремин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2020. — Т. 13. — № 4(67). — с. 198-205. — DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.198.
8. Моисеева М.Н. Влияние минеральных удобрений на накопление азота в зерне и соломе овса в лесостепи Зауралья / М.Н. Моисеева, Д.И. Еремин // Достижения науки и техники АПК. — 2023. — Т. 37. — № 2. — с. 9-16. — DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_9.
9. Ахметов Ш.И. Влияние механического уплотнения и средств химизации на развитие корневой системы сельскохозяйственных культур / Ш.И. Ахметов, Д.И. Иванов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2014. — 4(114). — с. 33-38.
10. Дёмина О.Н. . Влияние минеральных удобрений на динамику нитратов пахотного чернозема под пшеничным агрофитоценозом / О.Н. Дёмина, Д.И. Еремин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2021. — 4(198). — с. 15-23.
11. Дёмина О.Н. Влияние минеральных удобрений на биологическую активность чернозёма выщелоченного лесостепной зоны Зауралья : дис. ...канд. : 06.01.04 : защищена 2021-12-24 : утв. 2021-12-24 / О.Н. Дёмина — Тюмень: 2021. — 169 с.
12. Медведев И.Ф. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений / И.Ф. Медведев, Ф.В. Сиренко, В.И. Ефимова и др. // Достижения науки и техники АПК. — 2013. — 8. — с. 6-10.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Eremin D.I. Vlijanie dlitel'nogo sel'skohozjajstvennogo ispol'zovanija na zapasy organicheskogo ugleroda v chernozeme vyschelochennom [The Effect of Long-term Agricultural Use on the Reserves of Organic Carbon in Leached Chernozem] / D.I. Eremin, E.A. Demin // Agriculture. — 2023. — 4. — p. 35-39. — DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-35-39. [in Russian]
2. Hutchinson J.J. Some Perspectives on Carbon Sequestration in Agriculture / J.J. Hutchinson, C.A. Campbell, R.L. Desjardins // Agric Forest Meteorol. — 2007. — 142. — p. 288–302.
3. Ivanov A.L. Initsiativa "4 promille" - novyj global'nyj vyzov dlja pochv Rossii [The 4 ppm Initiative is a New Global Challenge for Russian Soils] / A.L. Ivanov, V.S. Stolbovoj // Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute. — 2019. — 98. — p. 185-202. — DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202. [in Russian]
4. Wang Q Cropping Systems to Improve Carbon Sequestration for Mitigation of Climate Change / Q Wang, Y Li, A Alva // Journal of Environmental Protection. — 2010. — 1. — p. 207-215. — DOI: 10.4236/jep.2010.13025.
5. Kastornova M.G. Ekologicheskaja otsenka vlijanija sel'skohozjajstvennoj dejatel'nosti na emissiju uglekislogo gaza iz chernozema vyschelochennogo Tobol-Ishimskogo mezhdurech'ja [Ecological Assessment of the Impact of Agricultural Activities on Carbon Dioxide Emissions from the Leached Chernozem of the Tobol-Ishim Interfluve] / M.G. Kastornova, E.A. Demin, D.I. Eremin // Agrarian Bulletin of the Urals. — 2021. — 10(213). — p. 9-20. — DOI: 10.3247/1997-4868-2021-213-10-10-20. [in Russian]

6. Lukin S.M. Emissija uglekisloga gaza v agrotsenozah kartofelja na dernovo-podzolistoj supeschanoj pochve [Carbon Dioxide Emissions in Potato Agroecosystems on Sod-podzolic Sandy Loam Soil] / S.M. Lukin // Vladimir Farmer. — 2015. — 3-4(73-74). — p. 22-23. [in Russian]
7. Demina O.N. Vlijanie mineral'nyh udobrenij na izmenenie chislennosti pedotrofnoj mikroflory pahotnogo chernozema vyschelochennogo [The Effect of Mineral Fertilizers on the Change in the Number of Pedotrophic Microflora of Leached Arable Chernozem] / O.N. Demina, D.I. Eremin // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. — 2020. — Vol. 13. — № 4(67). — p. 198-205. — DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.198. [in Russian]
8. Moiseeva M.N. Vlijanie mineral'nyh udobrenij na nakoplenie azota v zerne i solome ovsy v lesostepi Zaural'ja [The Effect of Mineral Fertilizers on Nitrogen Accumulation in Grain and Oat Straw in the Forest-steppe of the Trans-Urals] / M.N. Moiseeva, D.I. Eremin // Achievements of Science and Technology of Agriculture. — 2023. — Vol. 37. — № 2. — p. 9-16. — DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_9. [in Russian]
9. Ahmetov Sh.I. Vlijanie mehanicheskogo uplotnenija i sredstv himizatsii na razvitie kornevoj sistemy sel'skohozjajstvennyh kul'tur [The Effect of Mechanical Sealing and Chemicalization Agents on the Development of the Root System of Agricultural Crops] / Sh.I. Ahmetov, D.I. Ivanov // Bulletin of the Altai State Agrarian University. — 2014. — 4(114). — p. 33-38. [in Russian]
10. Demina O.N. . Vlijanie mineral'nyh udobrenij na dinamiku nitratov pahotnogo chernozema pod pshenichnym agrofytosenozom [The Effect of Mineral Fertilizers on the Dynamics of Nitrates of Arable Chernozem under Wheat Agrophytocenosis] / O.N. Demina, D.I. Eremin // Bulletin of Altai State Agrarian University. — 2021. — 4(198). — p. 15-23. [in Russian]
11. Demina O.N. Vlijanie mineral'nyh udobrenij na biologicheskiju aktivnost' chernozema vyschelochennogo lesostepnoj zony Zaural'ja [The Effect of Mineral Fertilizers on the Biological Activity of Leached Chernozem of the Forest-steppe Zone of the Trans-Urals] : dis....of PhD in Agriculture : 06.01.04 : defense of the thesis 2021-12-24 : approved 2021-12-24 / O.N. Demina — Tjumen': 2021.— 169 p. [in Russian]
12. Medvedev I.F. Dinamika razvitija kornevoj sistemy jarovoj pshenitsy v uslovijah aktivnogo projavlenija zasuh i razlichnoj obespechennosti elementami pitaniya rastenij [Dynamics of the Development of the Root System of Spring Wheat in Conditions of Active Manifestation of Droughts and Different Availability of Plant Nutrients] / I.F. Medvedev, F.V. Sirenko, V.I. Efimova et al. // Achievements of Science and Technology of Agriculture. — 2013. — 8. — p. 6-10. [in Russian]