

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

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВУ  
С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОСТАТКАМИ В ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

Научная статья

Дёмин Е.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-2542-3678;

<sup>1</sup> Федеральний государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Российская Федерация

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

**Аннотация**

Органический углерод – основа плодородия пашни, от его содержания и запасов зависит потенциальная продуктивность культур. Процессы минерализации и гумификации под действием микроорганизмов в почве приводят к выделению углекислого газа. В рамках концепции «4 промилле» необходимо обеспечить повышение содержания органического углерода в почве на 0,4% в год, что нивелирует пагубное воздействие углекислого газа на климат. Основным источником поступления углерода в почву, это растительные остатки. Для разработки технологии положительного баланса углерода в почвах необходимо оценить влияние различных факторов на поступление и эмиссию углерода в агроценозах. Цель исследований – установить влияние различных доз минеральных удобрений на поступление органического углерода в почву с растительными остатками в зерновом агроценозе. Поступление растительных остатков на контроле составляет 5,03 т/га, внесение минеральных удобрений повышает это значение на 33-73%. Минеральные удобрения не оказывают влияния на содержание органического углерода в соломе (45,8-46,6%) и корневых и пожнивных остатках (41,2-42,0%). На естественном питательном фоне в почву поступает 2200 кг/га органического углерода, внесение минеральных удобрений обеспечивает повышение этого показателя на 28-72%, относительно контроля.

**Ключевые слова:** растительные остатки, солома, корневые и пожнивные остатки, минеральные удобрения, органический углерод.

**INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON ORGANIC CARBON INPUT INTO SOIL WITH PLANT  
RESIDUES IN SPRING WHEAT CROPS**

Research article

Dyomin Y.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-2542-3678;

<sup>1</sup> Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russian Federation

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

**Abstract**

Organic carbon is the basis of soil fertility, its content and reserves determine the potential productivity of crops. The processes of mineralization and humification under the action of microorganisms in the soil lead to the release of carbon dioxide. The "4 ppm" concept requires an increase in soil organic carbon content of 0.4% per year, which would offset the deleterious effects of carbon dioxide on the climate. The main source of carbon entering the soil is crop residues. In order to develop technology for positive carbon balance in soils, it is necessary to evaluate the influence of various factors on carbon input and emission in agroecosystems. The aim of the research is to establish the influence of different doses of mineral fertilizers on the input of organic carbon into the soil with plant residues in grain agroecosystem. Input of plant residues in the control is 5.03 t/ha, application of mineral fertilizers increases this value by 33-73%. Mineral fertilizers have no effect on the organic carbon content in straw (45.8-46.6%) and root and crop residues (41.2-42.0%). On the natural nutrient background in the soil comes 2200 kg / ha of organic carbon, the introduction of mineral fertilizers provides an increase in this indicator by 28-72%, relative to the control.

**Keywords:** plant residues, straw, root and crop residues, mineral fertilizers, organic carbon.

**Введение**

Органическое вещество почвы представляет собой значительный резервуар органического углерода ( $C_{орг}$ ), время оборота которого составляет от года до десятков лет (для растительных остатков) и от сотен до тысяч лет (для гумуса почвы) [1]. Органическое вещество почвы – один из наиболее важных компонентов педосферы. Его содержание и запасы определяют плодородие почвы, буферность, эрозионную стойкость, обеспеченность растений питательными веществами и т.д. [2]. Содержание органического углерода в почве зависит множества факторов. К наиболее важным относятся количество поступающих растительных остатков в почву, а также скорость их гумификации и минерализации [3].

Основным источником поступления органического углерода в почву является растительный материал, который в процессе фотосинтеза накапливает в своем составе значительную часть органического вещества и углерода. В агроценозах поступление органического углерода связано с количеством соломы поступившей в почву и оставшимися корневыми и пожнивными остатками на полях после уборки [4], [5].

В рамках проблемы глобального изменения климата была принята концепция «4 промилле», на Конвенции сторон UNFCCC в Париже в 2015 году. Она направлена на стимулирование поглощения углерода пахотными почвами: повышение запасов углерода в пахотном слое на 0,4% в год. По мнению исследователей, это позволит компенсировать все антропогенные выбросы парниковых газов [6]. Выполнение этой задачи требует четкого понимания влияния различных элементов системы земледелия на поступление и секвестрацию органического углерода в почвах, от которого зависит выполнение этого проекта.

Цель исследований: установить влияние различных доз минеральных удобрений на поступление органического углерода в почву с растительными остатками.

### Методы и принципы исследования

Исследования проводились на опытном поле государственного аграрного университета Северного Зауралья на территории лесостепной зоны Тюменской области в зерновом севообороте (однолетние травы – яровая пшеница – овес). Система земледелия включала в себя основную отвальную обработку почвы (ПН-8-35) на глубину 20-22 см после уборки предшественника. Весной, по физически спелой почве, боронили средними боронами в два следа. Перед посевом вносили дозы минеральных удобрений (СЗП-3,6) на планируемую урожайность яровой пшеницы (расчет проводился ежегодно методом элементарного баланса с учетом фактического содержания питательных веществ в почве). В качестве удобрений использовались аммиачная селитра (34% азота) и аммофос ( $N_{12}:P_{52}$ ). Из-за достаточной обеспеченности почвы подвижным калием эти удобрения не вносились. После внесения минеральных удобрений проводили предпосевную культивацию (КПС-4) на глубину 6-8 см. В дальнейшем сеяли (СЗМ-5,4) и проводили прикатывание кольчато-шпоровыми катками. Норма высева яровой пшеницы 6,0 млн. всхожих семян на гектар. Опыт включал в себя варианты с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 ( $N_{95}P_{46}$ ); 4,0 ( $N_{153}P_{94}$ ); 5,0 ( $N_{211}P_{142}$ ) и 6,0 ( $N_{270}P_{190}$ ) т/га зерна яровой пшеницы, в качестве контроля использовался вариант с естественным плодородием чернозема выщелоченного. Размер опытных делянок 100 м<sup>2</sup>, учетных 50 м<sup>2</sup>. Перед уборкой яровой пшеницы с вариантов отбирались снопы с высотой среза 10 см с 1 м<sup>2</sup> в 4-х кратном повторении, в дальнейшем снопы обмолачивали. После уборки яровой пшеницы определялось количество корневых и пожнивных остатков методом Н.З. Станкова в 4-х кратной повторности на каждом варианте. «Отбирается слой почвы толщиной 30 см через рамку 0,25 м<sup>2</sup>, после он промывается через сито размером ячеек 0,25 мм. Полученные образцы соломы, корневые и пожнивные остатки (КПО) высушивали, измельчали и взвешивали. Далее в образцах определяли содержание органического углерода по ГОСТ 27980-88. Статистическую обработку данных проводили по Доспехову с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

### Основные результаты

На контроле масса соломы, оставшаяся после уборки, составляла 2,38 т/га, вариация при этом не превышала 9%, количество корневых и пожнивных остатков (КПО) было выше на 11% и достигало 2,65 т/га (рис.1).

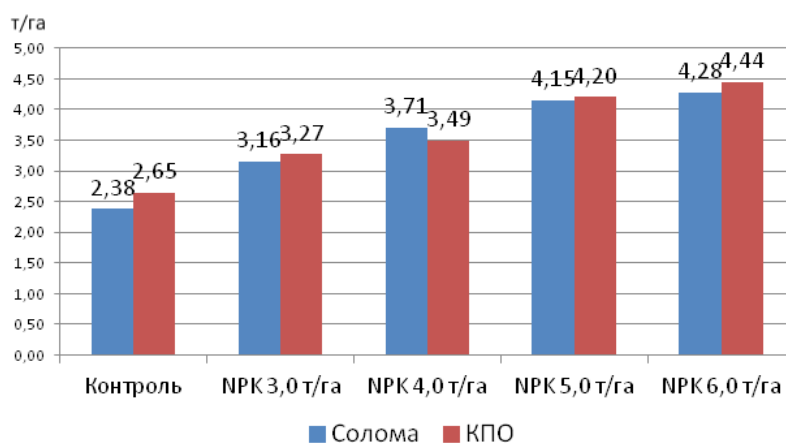


Рисунок 1 - Влияние минеральных удобрений на выход соломы и корневых и пожнивных остатков  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.1>

Внесение минеральных удобрений закономерно повышало количество поступившей в почву соломы и корневых и пожнивных остатков из-за более интенсивного роста и развития растений. Подобная тенденция отмечается в проводимых ранее исследованиях на кафедре почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья [7], [8], [9].

На варианте с НРК на 3,0 т/га зерна яровой пшеницы минеральные удобрения способствовали повышению количества поступившей соломы, которая увеличилась на 33% относительно контроля и достигала 3,16 т/га при НСР<sub>05</sub>=0,27 т/га. Количество КПО также возрастало до 3,27 т/га, что выше контроля на 23% НСР<sub>05</sub>=0,20 т/га.

На варианте с НРК на 4,0 т/га зерна количество образовавшейся соломы составляло 3,71 т/га, а корневых и пожнивных остатков – 3,49 т/га, что на 56 и 32% выше контроля. Количество образовавшейся соломы на вариантах с более высоким уровнем минерального питания составляли 4,16 и 4,28 т/га, что выше контроля 75-80%. Отмечается также и существенное повышение КПО до 4,20 и 4,44 т/га, что выше контроля на 58-68%.

В исследованиях была отмечена высокая зависимость между дозами удобрений и образованием соломы в посевах яровой пшеницы (0,96). В результате удалось разработать уравнение, достоверное в диапазоне внесения минеральных удобрений до 460 кг/га, которое показывает, что каждые внесенные 100 кг/га минеральных удобрений в действующем веществе (д.в.) повышают образование соломы на 0,43 т/га (рис. 2).

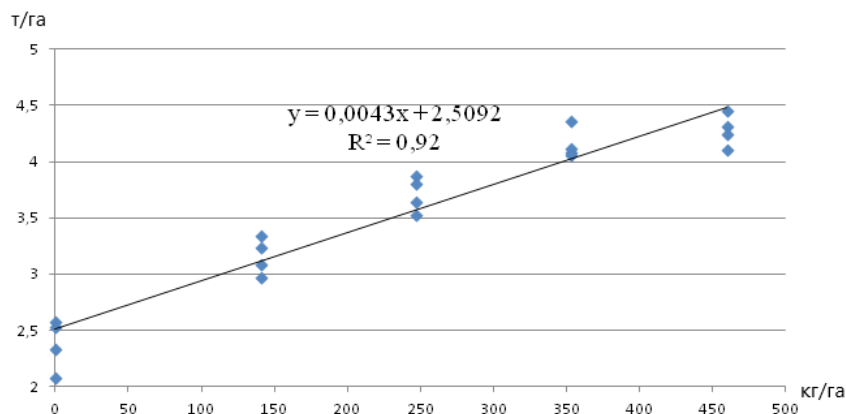


Рисунок 2 - Взаимосвязь минеральных удобрений и поступления соломы  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.2>

Установлена высокая корреляция (0,96) между дозами минеральных удобрений и образованием корневых и пожнивных остатков, которая показывает, что внесение 100 кг/га в действующем веществе повышает образование КПО на 0,4 т/га (рис.3).

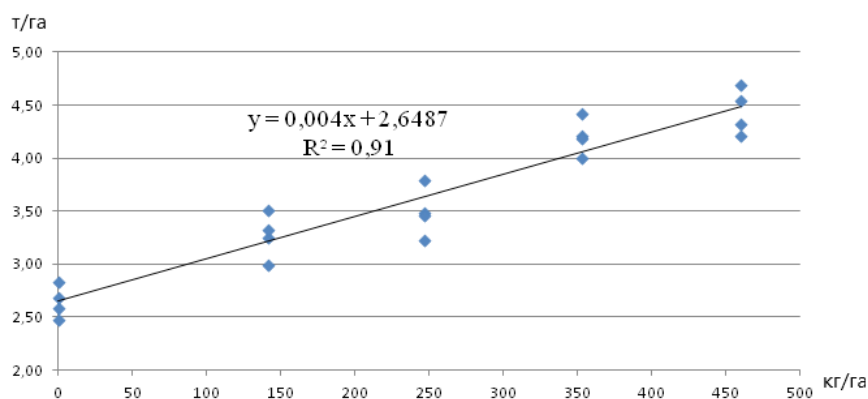


Рисунок 3 - Взаимосвязь минеральных удобрений и поступления КПО  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.3>

Содержание органического углерода в соломе яровой пшеницы было значительно выше, чем в корневых и пожнивных остатках. На контроле составляло 46,6% сухого вещества. В корневых и пожнивных остатках из-за высокой концентрации минеральных соединений содержание углерода было ниже – 41,2% (рис.4).

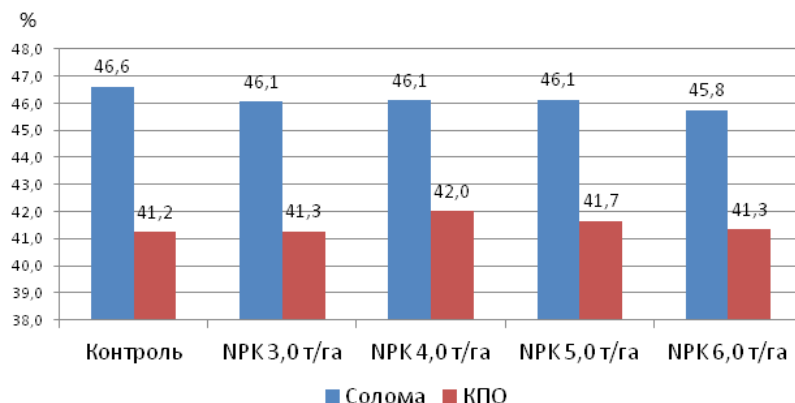


Рисунок 4 - Влияние минеральных удобрений на содержание органического углерода в соломе и КПО  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.4>

На вариантах с внесением минеральных удобрений содержание углерода в соломе незначительно снижалось до 46,1-45,8% сухого вещества, однако находилось в пределах ошибки исследования  $HCР_{05}=0,7\%$ . Не смотря, на это отмечается обратная зависимость средней силы (-0,52) между дозами минеральных удобрений и содержание углерода в соломе яровой пшеницы. Однако не удалось получить модель уравнения показывающую высокий коэффициент детерминации. Содержание углерода в корневых и пожнивных остатках на удобренных вариантах варьировало незначительно от 41,3-42,0% при  $HCР_{05}=1,2\%$ .

Проведя расчет с учетом массы соломы, корневых и пожнивных остатков и содержания в них углерода, установили, что при отказе от использования минеральных удобрений в почву поступает 2200 кг/га углерода. С соломой в почву возвращается до 1109 кг/га органического углерода с корневыми и пожнивными остатками 1091 кг/га (рис.5).

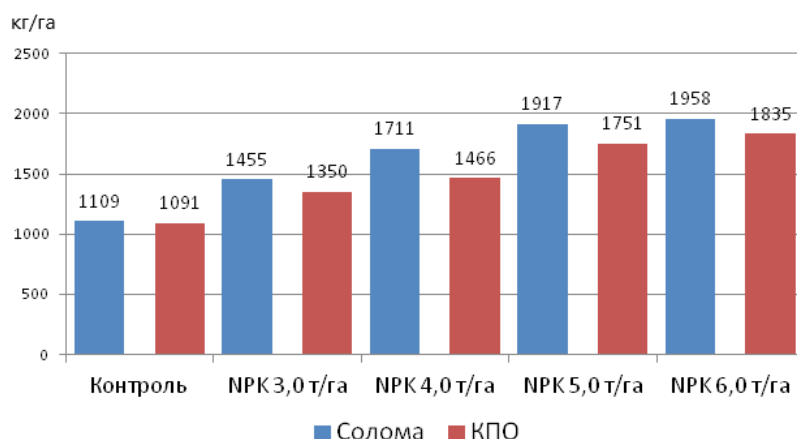


Рисунок 5 - Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода с соломой и корневыми и пожнивными остатками  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.5>

Использование минеральных удобрений в посевах яровой пшеницы обеспечивает увеличение поступления органического углерода, как с соломой, так и корневыми и пожнивными остатками. На варианте с NPК на 3,0 т/га зерна в почву с растительными остатками поступало 2805 кг/га углерода, что на 28% выше контроля. Около 52% углерода возвращалось с соломой, на корневые и пожневные остатки приходилось 1350 кг/га. На варианте с NPК на 4,0 т/га зерна в почву возвращалось 3177 кг/га углерода. Основная часть, из которых приходилась на солому 1711 кг/га, и лишь 46% приходилось на КПО. На варианте с NPК на 5,0 т/га зерна в почву поступало на 67% больше углерода, чем на контроле, что составляло 3668 кг/га. На солому приходилось 1917 кг/га, что составляло 52% от общего количества. Соответственно на КПО приходилось 48% или 1751 кг/га. На максимально изучаемом уровне питания в почву поступало 3793 кг/га, что 72% выше контроля, на солому приходилось 1958 кг/га на КПО 1835 кг/га. Была отмечена высокая корреляция между дозами минеральных удобрений и поступлением органического углерода в почву с соломой и корневыми и пожнивными остатками (0,95). Уравнение регрессии показывают, что каждые внесенные 100 кг/га минеральных удобрений в д.в. повышают поступление органического углерода в почву с соломой до 192,5 кг/га (рис.6) и с корневыми и пожнивными остатками до 167,0 кг/га (рис.7)

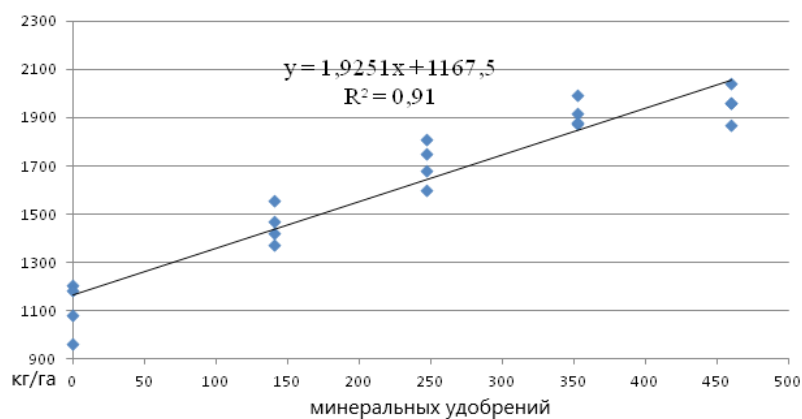


Рисунок 6 - Взаимосвязь минеральных удобрений и поступления углерода в почву с соломой  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.6>

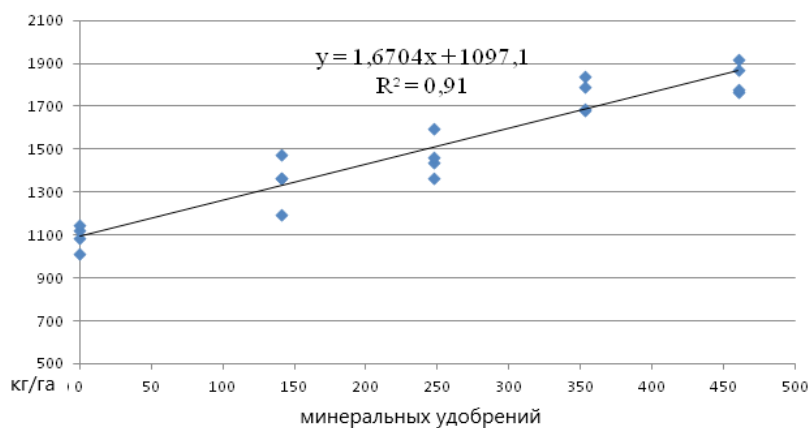


Рисунок 7 - Взаимосвязь минеральных удобрений и поступления органического углерода в почву с корневыми и пожнивными остатками  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18.7>

Минеральные удобрения оказывают существенное влияние на образование растительных остатков в зерновых агроценозах и поступления углерода в почву. Подобная тенденция подтверждается в большом количестве исследований [10], [11], [12].

#### Заключение

Поступление растительных остатков в почву при естественном плодородии чернозема выщелоченного составляет 5,03 т/га. Внесение минеральных удобрений обеспечило повышение поступления растительных остатков на 33-73% относительно контроля. Установлено, что внесение 100 кг/га минеральных удобрений в д.в. повышает поступление соломы на 0,43 т/га и КПО на 0,40 т/га. Содержание углерода в растительных остатках не зависит от уровня минерального питания и находится на уровне 45,8-46,6% в соломе и 41,2-42,0% в КПО. На естественном питательном фоне поступление органического углерода с растительными остатками составляет 2200 кг/га, внесение минеральных удобрений повышает поступление  $C_{орг}$  на 28-72% выше контроля. Установлено, что внесение 100 кг/га минеральных удобрений в д.в. повышает поступление органического углерода с соломой на 192,5 кг/га и с КПО на 167,0 кг/га.

#### Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Funding

The research was carried out with grant support of the Russian Science Foundation № 23-76-10005.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Щепашенко Д.Г. Запасы органического углерода в почвах России / Д.Г. Щепашенко, Л.В. Мухортова, А.З. Швиденко и др. // Почвоведение. — 2013. — 2. — с. 123-132. — DOI: 10.7868/S0032180X13020123.
2. Когут Б.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом / Б.М. Когут, В.М. Семенов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2020. — 102. — с. 103-124. — DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124.
3. Холодов В.А. Содержание органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, М.А. Яшин и др. // Почвоведение. — 2021. — 3. — с. 320-326. — DOI: 10.31857/S0032180X21030072.
4. Хлыстов И.А. Углерод и азот органических соединений почвы в условиях загрязнения выбросами Медеплавильного завода / И.А. Хлыстов // Вестник КрасГАУ. — 2015. — 5(104). — с. 17-22.
5. 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.
6. 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.
7. Абрамов Н.В. Производительность агроэкосистем и состояние плодородия почв в условиях Западной Сибири / Н.В. Абрамов — 2013: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2013. — 254 с.
8. Ахтямова А.А. Роль запахаиваемой соломы в стабилизации гумусового состояния пахотных чернозёмов / А.А. Ахтямова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2018. — 3(71). — с. 23-24.
9. Дёмин Е.А. Влияние минеральных удобрений и сроков посева на урожайность зеленой массы кукурузы в лесостепной зоне Зауралья / Е.А. Дёмин, Д.В. Еремина // Вестник КрасГАУ. — 2020. — 10(163). — с. 27-33. — DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33.
10. Еремина Д.В. К вопросу об экономической эффективности заправки соломы на полях Северного Зауралья / Д.В. Еремина // Агропродовольственная политика России. — 2017. — 12(72). — с. 79-83.
11. Русакова И.В. Влияние соломы зерновых и зернобобовых культур на содержание углерода, агрохимические свойства и баланс элементов питания в дерново-подзолистой почве / И.В. Русакова // Агрохимический вестник. — 2015. — 6. — с. 6-10.
12. Пинаева М.И. Влияние органических и минеральных удобрений на содержание углерода органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / М.И. Пинаева, Ю.А. Акманаева // Пермский аграрный вестник. — 2022. — 1(37). — с. 68-74. — DOI: 10.47737/2307-2873\_2022\_37\_68.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Schepaschenko D.G. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah Rossii [Reserves of Organic Carbon in the Soils of Russia] / D.G. Schepaschenko, L.V. Muhortova, A.Z. Shvidenko et al. // Soil Science. — 2013. — 2. — p. 123-132. — DOI: 10.7868/S0032180X13020123. [in Russian]
2. Kogut B.M. Otsenka nasychennosti pochvy organicheskim uglerodom [Assessment of Soil Saturation with Organic Carbon] / B.M. Kogut, V.M. Semenov // Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute. — 2020. — 102. — p. 103-124. — DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-103-124. [in Russian]
3. Holodov V.A. Soderzhanie organicheskogo ugleroda i azota v razmernykh fraktsijah agregatov tipichnykh chernozemov [The Content of Organic Carbon and Nitrogen in the Size Fractions of Aggregates of Typical Chernozems] / V.A. Holodov, N.V. Jaroslavtseva, M.A. Jashin et al. // Soil Science. — 2021. — 3. — p. 320-326. — DOI: 10.31857/S0032180X21030072. [in Russian]
4. Hlystov I.A. Uglerod i azot organicheskikh soedinenij pochvy v usloviyah zagraznenija vybrosami Medeplavil'nogo zavoda [Carbon and Nitrogen of Organic Soil Compounds in Conditions of Pollution by Emissions from a Copper Smelter] / I.A. Hlystov // Bulletin of KrasSAU. — 2015. — 5(104). — p. 17-22. [in Russian]
5. 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]
6. 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]
7. Abramov N.V. Proizvoditel'nost' agroekosistem i sostojanie plodorodija pochv v usloviyah Zapadnoj Sibiri [Productivity of Agroecosystems and the State of Soil Fertility in Western Siberia] / N.V. Abramov — 2013: State Agrarian University of Northern Trans-Urals, 2013. — 254 p. [in Russian]
8. Ahtjamova A.A. Rol' zapahivaemoj solomy v stabilizatsii gumusovogo sostojanija pahotnykh chernozemov [The Role of Ploughed Straw in Stabilizing the Humus State of Arable Chernozems] / A.A. Ahtjamova // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. — 2018. — 3(71). — p. 23-24. [in Russian]
9. Demin E.A. Vlijanie mineral'nyh udobrenij i srokov poseva na urozhajnost' zelenoj massy kukuruzy v lesostepnoj zone Zaural'ja [The Influence of Mineral Fertilizers and Sowing Dates on the Yield of Green Mass of Corn in the Forest-steppe Zone Zaural'ja] [The Influence of Mineral Fertilizers and Sowing Dates on the Yield of Green Mass of Corn in the Forest-steppe Zone

of the Trans-Urals] / E.A. Demin, D.V. Eremina // *Bulletin of KrasSAU*. — 2020. — 10(163). — p. 27-33. — DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-27-33. [in Russian]

10. Eremina D.V. K voprosu ob ekonomicheskoj effektivnosti zapashki solomy na poljah Severnogo Zaural'ja [On the Question of the Economic Efficiency of Plowing Straw in the Fields of the Northern Trans-Urals] / D.V. Eremina // *Agri-food Policy of Russia*. — 2017. — 12(72). — p. 79-83. [in Russian]

11. Rusakova I.V. Vlijanie solomy zernovyh i zernobobovyh kul'tur na sodержanie ugleroda, agrohimicheskie svojstva i balans elementov pitaniya v dernovo-podzolistoj pochve [The Effect of Straw of Grain and Leguminous Crops on the Carbon Content, Agrochemical Properties and Balance of Nutrients in Sod-podzolic Soil] / I.V. Rusakova // *Agrochemical Bulletin*. — 2015. — 6. — p. 6-10. [in Russian]

12. Pinaeva M.I. Vlijanie organicheskikh i mineral'nyh udobrenij na sodержanie ugleroda organicheskogo veschestva dernovo-podzolistoj srednesuglinistoj pochvy [The Effect of Organic and Mineral Fertilizers on the Carbon Content of Organic Matter of Sod-podzolic Medium Loamy Soil] / M.I. Pinaeva, Ju.A. Akmanaeva // *Perm Agrarian Bulletin*. — 2022. — 1(37). — p. 68-74. — DOI: 10.47737/2307-2873\_2022\_37\_68. [in Russian]