

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

УДК 631.582:631.452

## Продуктивность севооборотов с разными видами пара и их влияние на содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья

© 2024. Д. С. Фомин, С. С. Полякова , Дм. С. Фомин

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

Исследования проводили в условиях Пермского края на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в длительном стационарном опыте, заложенном в 1977 г. Цель исследований – изучить влияние различных видов пара на продуктивность севооборотов и содержание гумуса в почве. Данные приведены за две ротации (2009–2022 гг.) парозернотравяных севооборотов с различными видами пара – унавоженный чистый, занятый клеверный, занятый донниковый, сидеральный клеверный и сидеральный донниковый – без внесения минеральных удобрений и с внесением удобрений (N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub>). Установлено, что в занятых парах масса корневых и поукосных растительных остатков клевера лугового и донника желтого в зависимости от фона питания достигала 4,08–4,36 т/га с содержанием азота 41,8–46,9 кг/га, фосфора 16,7–18,6 кг/га и калия 42,7–69,6 кг/га. В сидеральных парах с биомассой клевера и донника в почву поступало соответственно 6,99–9,04 и 6,83–8,53 т/га сухого вещества с содержанием 133,5–148,1 кг/га азота, 34,3–41,2 фосфора и 121,2–148,9 калия. Внесение органических удобрений в паровом поле способствовало повышению содержания гумуса на 0,19 абс. % к исходному (2,04 %) в варианте без внесения минеральных удобрений и на 0,69 абс. % к исходному (2,08 %) в варианте с внесением минеральных удобрений. Клеверный сидеральный пар также способствовал увеличению содержания гумуса в почве на 0,38–0,52 абс. %. Отмечена повышенная продуктивность севооборота с сидеральным донниковым паром (2,22–2,25 т/га з. ед. в год) относительно традиционного севооборота с чистым паром (2,08–2,11 т/га з. ед. в год). Возделывание культур во всех изучаемых севооборотах было энергетически эффективным, коэффициент энергетической эффективности составил в вариантах без внесения минеральных удобрений 3,63...4,48, на фоне NPK – 2,38...3,21.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, органическое вещество, длительный стационарный опыт, побочный продукт животноводства

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122032200247-7).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Фомин Д. С., Полякова С. С., Фомин Дм. С. Продуктивность севооборотов с разными видами пара и их влияние на содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(2):207–215. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

Поступила: 01.11.2023

Принята к публикации: 04.03.2024

Опубликована онлайн: 24.04.2024

## Productivity of crop rotations with different types of fallow and their effect on the humus content in sod-podzolic soil the Middle Urals

© 2024. Denis S. Fomin, Sofia S. Polyakova , Dmitry S. Fomin

Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

The research was carried out in the conditions of the Perm Region on sod-podzolic heavy loamy soils in a long stationary plot trial, laid down in 1977. The purpose of the research is to study the effect of various types of fallow on crop rotation productivity and humus content in the soil. The data are given for two rotations (2009–2022) of fallow-grain-grass crop rotations with various types of fallow – with manurial, sown with clover, sown with melilot, sideral with clover and sideral with melilot – without mineral fertilizers and with fertilizers (N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub>). It was found that in the sown fallows, the mass of root and mowing plant residues of meadow clover and yellow melilot, depending on the nutrition background, reaches 4.08–4.36 t/ha with a nitrogen

content of 41.8–46.9 kg/ha, phosphorus 16.7–18.6 kg/ha and potassium 42.7–69.6 kg/ha. In sideral fallow with clover and clover biomass, 6.99–9.04 t/ha and 6.83–8.53 t/ha of dry matter with a content of 133.5–148.1 kg/ha of nitrogen, 34.3–41.2 phosphorus and 121.2–148.9 potassium were supplied to the soil, respectively. The application of organic fertilizers in the fallow field contributed to an increase in the humus content by 0.19 abs.% to the initial (2.04 %) in the variant without mineral fertilizers and by 0.69 abs.% in the variant with the introduction of mineral fertilizers to the initial (2.08 %) Clover sideral fallow also contributed to an increase in the humus content in the soil by – 0.38–0.52 abs.%. There was an increased productivity of crop rotation with sideral mellilot fallow (2.22–2.25 t/ha of grain units per year) relative to the traditional crop rotation with pure fallow (2.08–2.11 t/ha of grain units per year). Cultivation of crops in all studied crop rotations was energetically efficient, the energy efficiency coefficient was 3.63...4.48 in the variants without mineral fertilizers, against the background of NRK – 2.38...3.21.

**Keywords:** mineral fertilizers, organic matter, long stationary plot trial, a byproduct of animal husbandry

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122032200247-7).

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

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Fomin D. S., Polyakova S. S., Fomin Dm. S. Productivity of crop rotations with different types of fallow and their effect on the humus content in sod-podzolic soil the Middle Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(2):207–215. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.207-215>

Received: 01.11.2023

Accepted for publication: 04.03.2024

Published online: 24.04.2024

В большинстве сельскохозяйственных предприятий Пермского края, в современных условиях слабого ресурсного обеспечения, использование минеральных удобрений и побочных продуктов животноводства (ППЖ) с целью повышения плодородия наиболее распространенных дерново-подзолистых почв (70,1 %) сильно ограничено. По данным ряда исследований, сокращение использования ППЖ (с 4,6 до 1,7 т/га), в том числе навоза, привело к отрицательному балансу гумуса на полях [1, 2, 3], также сократилось использование и других элементов интенсивных технологий<sup>1</sup> [4]. В связи с этим, при разработке систем ведения сельского хозяйства, необходимо уделять особое внимание чередованию культур, которое играет ключевую роль в агротехнологиях – помогает регулировать почвенные процессы, способствует сохранению и рациональному использованию запасов влаги в почве, облегчает борьбу с сорняками, болезнями и вредителями. Не менее актуальными остаются задачи использования земель с сохранением их плодородия, применения ресурсо- и энергосберегающих технологий возделывания с.-х. культур для получения экономически выгодной продукции сельскохозяйственного производства [5, 6].

Севообороты решают еще ряд важных вопросов, связанных с воспроизводством плодородия почвы: реализация адаптивного и биологического потенциала культурных растений, повышение устойчивости агрофитоценозов и эффективности использования земельных ресурсов. Один из главных способов решения –

биологизация и экологизация земледелия, связанные с расширением посевов бобовых культур, особенно многолетних, в занятых и сидеральных парах.

Бобовые культуры (клевер, люцерна, донник) и зернобобовые (горох, фасоль, вика, соя и люпин) имеют высокую способность фиксировать азот из воздуха и переводить его в доступные для растений формы. Благодаря этому, они могут улучшать плодородие почвы и способствовать росту растений, особенно в условиях недостаточного количества азота в почве. Кроме того, бобовые культуры являются хорошими сидератами и способны улучшать структуру почв. Однако при слишком высокой насыщенности бобовыми культурами в севообороте может возникнуть проблема избытка азота в почве и накопления нитратов в получаемом урожае [7].

Поэтому для достижения максимальной продуктивности севооборота с бобовыми культурами, необходимо правильно выбирать их количество и время посева. Важно также регулировать внесение питательных веществ в зависимости от потребности в них других культур севооборота.

Кроме того, необходимо учитывать агроклиматические условия при выборе культур для севооборота. Например, в засушливых регионах бобовые культуры могут помочь сохранить влагу в почве и улучшить её структуру, что в свою очередь может повысить урожайность других культур [8].

<sup>1</sup>Пермский край в цифрах. 2023: краткий статистический сборник. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. Пермь, 2023. 197 с.

URL: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Пермский%20край%20в%20цифрах%202023.pdf>

В условиях Среднего Предуралья, которые все чаще характеризуются засушливыми периодами вегетации, применение парового клина становится практически единственным способом повысить урожайность, стабильность и качество зернопроизводства при недостаточном внесении в почву питательных веществ. При этом, несмотря на недостатки, сопряженные с использованием парового клина – деградация структуры почвы, повышение риска эрозии, ускорение минерализации органического вещества и гумуса, отсрочка отдачи инвестиций на год – паровое поле стоит рассматривать как важнейший способ интенсификации растениеводства, обеспечивающий возможность значительного улучшения фитосанитарного состояния почвы, аккумуляции влаги и азотных соединений, внесения удобрений и проведения мелиоративных работ. Выбор конкретного типа парового поля определяется агроландшафтными условиями и возможностью осуществления полного комплекса агротехнических операций в оптимальные для культивируемой культуры сроки.

Альтернативной заменой чистых паров на отдаленных участках от мест хранения или получения ППЖ в Среднем Предуралье должны стать сидеральные и занятые пары, которые являются важными элементами севооборота, так как позволяют улучшить плодородие почвы и повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Принимая во внимание позитивные и негативные стороны различных паровых систем, исследование эффективности севооборотов с разными видами пара и долей бобовых культур в условиях Среднего Предуралья не теряет своей актуальности, так как позволяет определить оптимальные схемы чередования культур и параметры пара для конкретных условий региона. Такое изучение может иметь большое практическое значение для сельхозтоваропроизводителей, которые смогут повысить урожайность возделываемых культур и снизить затраты на их производство.

**Цель исследований** – изучить влияние различных видов пара на продуктивность севооборотов и содержание гумуса в дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья.

**Задачи исследования:**

1. Изучить влияние севооборотов с сидеральными и занятыми парами на содержание гумуса в почве.

2. Оценить энергетическую эффективность производства продукции в изучаемых севооборотах.

3. Определить оптимальные схемы севооборотов для условий Среднего Предуралья с использованием различных видов пара.

*Научная новизна* – изучение изменений содержания гумуса в дерново-подзолистой почве за две ротации парозернотравяных севооборотов под воздействием чистых, занятых и сидеральных паров, а также оценка биоэнергетической эффективности получения продукции в севооборотах в зависимости от использования вида пара, органических и минеральных удобрений.

**Материал и методы.** Исследования проводили в длительном стационаре на опытном поле Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН в 2009–2022 гг. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, характеризовалась перед закладкой опыта в 1977 г. как малогумусная (1,90 %) и среднекислая ( $pH_{\text{кол}} = 4,8$ ), с высоким содержанием подвижных форм фосфора (174 мг/кг почвы) и повышенным – калия (158 мг/кг почвы) (по Кирсанову). В 2009 г. в вариантах опыта установилась среднекислая и слабокислая реакция почвенной среды ( $pH_{\text{кол}} = 5,00 \pm 0,35$ ), содержание подвижных форм фосфора и калия в почве достигло высоких значений –  $230 \pm 10$  и  $190 \pm 8$  мг/кг почвы соответственно, почвы характеризовались по содержанию гумуса как малогумусные и среднегумусные ( $2,10 \pm 0,65$  %).

#### **Схема опыта**

*Севообороты с разными видами пара (фактор А):*

- I. Чистый пар (унавоженный) – контроль.
- II. Занятый пар (клевер 1 г. п.).
- III. Сидеральный пар (клевер 1 г. п.).
- IV. Занятый пар (донник 1 г. п.).
- V. Сидеральный пар (донник 1 г. п.).

*Минеральные удобрения (фактор В):*

1. Без удобрений (0) – контроль.
2.  $N_{60}P_{30}K_{60}$ .

Чередование культур в севооборотах

#### **I (контроль)**

1. Унавоженный чистый пар.
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес.

## II

1. Занятый пар (клевер 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + клевер.

## III

1. Сидеральный пар (клевер 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень + клевер.
7. Овес + клевер.

## IV

1. Занятый пар (донник 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + донник.

## V

1. Сидеральный пар (донник 1 г. п.).
2. Озимая рожь.
3. Пшеница яровая + клевер.
4. Клевер 1 г. п.
5. Клевер 2 г. п.
6. Ячмень.
7. Овес + донник.

Повторность вариантов опыта 3-кратная. Общая площадь делянки для фактора А (севооборот) – 1800 м<sup>2</sup>, фактора В (удобрения) – 150 м<sup>2</sup>. В севооборотах возделывали рекомендуемые для Пермского края сорта зерновых и многолетних трав.

Минеральные удобрения использовали в следующих количествах: азотные и калийные – по 60 кг д. в., фосфорные – по 30 кг д. в. на гектар, вносили перед посевом яровых зерновых культур под культивацию в виде аммиачной

селитры, аммофоса и хлористого калия, под озимую рожь – перед посевом под культивацию в форме аммиачной селитры (половинная доза), простого суперфосфата и хлористого калия, после схода снега проводили подкормку в форме аммиачной селитры (половинная доза). Навоз вносили в паровое поле контрольного севооборота с насыщенностью 6-7 тонн на гектар пашни.

Агротехника культур включала в себя зяблевую вспашку оборотным плугом KUHN MULTI MASTER 113 NSH-5, ранневесеннее боронование боронами БЗСТ-1, предпосевную культивацию универсальным культиватором КБМ-8П, посев сеялкой Amazone D9-4000, послепосевное прикатывание катками ЗКК-8. Уборку зерновых проводили при полной спелости комбайном Samro SR-2010, многолетних трав – в фазу цветения методом площадок.

В почвенных образцах определяли содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021), подвижного фосфора и обменного калия (ГОСТ 54650-2011), в растительных образцах – содержание основных питательных элементов (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) по В. В. Пиневич в модификации В. Т. Куркаева<sup>2</sup>. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову<sup>3</sup>. Энергетическую эффективность получения продукции в севооборотах рассчитывали по рекомендациям Ю. Н. Зубарева с соавт.<sup>4</sup>, количество поступающего в почву органического вещества – по методике Т. А. Кротких и Л. А. Михайловой<sup>5</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Роль чистого пара в севооборотах связывается с оптимальными условиями окультуривания почвы: внесением органических и минеральных удобрений, известкованием, фосфоритованием, борьбой с сорной растительностью, накоплением и сохранением почвенной влаги. Недостатком чистого пара является потеря органического вещества, составляющая от 0,5 до 2 т/га на полях без растительного покрова за счёт его минерализации в процессе обработки [9].

<sup>2</sup>Куркаев В. Т. Ускоренное определение азота, фосфора и калия в растениях из одной навески. Почвоведение. 1959;(9):114–117.

<sup>3</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

<sup>4</sup>Зубарев Ю. Н., Елисеев С. Л., Васильев А. А., Галкин В. Д., Чесноков А. В., Калинин С. О. Агро- и зооэнергетическая оценка технологий и операций в сельскохозяйственном производстве Предуралья. Пермь, 2001. 113 с.

<sup>5</sup>Воспроизводство и оптимизация плодородия почв при возделывании с. х. культур в севооборотах и выведенных полях: методическое пособие. Сост. Т. А. Кротких, Л. А. Михайлова. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 24 с.

Ранее проведёнными исследованиями [10, 11] в условиях Среднего Предуралья установлено, что внесение в поле с чистым паром 42–49 т/га навоза обеспечивает бездефицитный баланс гумуса и поступление азота от 162,0 до 198,4 кг на гектар.

По нашим расчетам, за две ротации севооборота с 2009 по 2022 год (14 лет) количество новообразованного органического вещества при внесении навоза в паровое поле контрольного севооборота составило 3215 кг/га на фоне без внесения минеральных удобрений и 3656 кг/га по фону NPK, или 459–522 кг/га в год соответственно. Систематическое внесение навоза в паровое поле способствовало повышению содержания гумуса на 0,19 абс.%, а при дополнительном использовании минеральных удобрений под культуры севооборота – на 0,69 абс.% (табл. 1.). Как отмечает ряд авторов, одним из основных преимуществ совместного внесения органических и минеральных удобрений является усиление процесса гумификации в почве [12, 13].

Перспективным и дешёвым способом окультуривания почв на участках, отдалённых от ферм и мест хранения ППЖ, должна стать

запашка зелёной массы бобовых культур, использование их симбиотической деятельности как «даровой силы природы» в интенсификационных процессах земледелия [14].

Использование биомассы клевера 1 г. п. на сидерат способствовало увеличению содержания гумуса в почве за две ротации севооборота (2009–2022 гг.) на 0,38–0,52 абс.% при максимальном приросте к исходному содержанию на фоне без внесения минеральных удобрений. Возделывание донника жёлтого, как сидеральной культуры, не привело к увеличению содержания гумуса (-0,33 и -0,57 абс.%), что объясняется низкой продуктивностью его вегетативной массы.

Отчуждение биомассы клевера 1 г. п. в занятом пару способствовало незначительному снижению содержания гумуса в почве на 0,07 абс.% на фоне внесения минеральных удобрений. В свою очередь, возделывание в занятом пару донника жёлтого за две ротации севооборота (2009–2022 гг.) привело к более заметному снижению содержания гумуса на 0,77 абс.% без минеральных удобрений и 0,84 абс.% при внесении NPK (табл. 1).

**Таблица 1 – Влияние парозанимающих культур, органических и минеральных удобрений на изменение содержания гумуса в почве за две ротации севооборота /**

**Table 1 – The effect of fallow-raising crops, organic and mineral fertilizers on changes in the humus content in the soil during two rotations of crop rotation**

Вид пара в севообороте / Type of fallow in crop rotation	Фон питания / Background of nutrition	Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменение содержания гумуса, ± / Changes in humus content, ±
		в начале V ротации (2009 г.) / at the beginning of the V rotation (2009)	в конце VI ротации (2022 г.) / at the end of the VI rotation (2022)	
Чистый пар + навоз / «Black» fallow + manure	0	2,04	2,23	0,19
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,08	2,77	0,69
Занятый пар – клевер 1 г. п. / Sown fallow – clover first-cut	0	2,18	2,03	-0,15
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	1,97	1,90	-0,07
Сидеральный пар – клевер 1 г. п. / Green manured fallow – clover first-cut	0	1,51	2,03	0,52
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	1,60	1,98	0,38
Занятый пар – донник 1 г. п. / Sown fallow – melilot first-cut	0	2,27	1,50	-0,77
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,46	1,62	-0,84
Сидеральный пар – донник 1 г. п. / Green manured fallow – melilot first-cut	0	2,23	1,90	-0,33
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,66	2,09	-0,57

Результаты наших исследований показали, что с многолетними бобовыми травами в занятых и сидеральных парах поступает органическое вещество, различное по массе и

химическому составу. Так, например, в занятых парах масса корневых и поукосных растительных остатков клевера лугового и донника жёлтого, в зависимости от фона питания, достигает

4,08–4,36 т/га, обеспечивает поступление 41,8–46,9 кг/га азота, 16,7–18,6 кг/га фосфора и 42,7–69,6 кг/га калия. В сидеральных парах за счет неотчуждаемой растительной массы в почву поступает существенно больше биомассы как клевера (6,99–9,04 т/га), так и донника (6,83–8,53 т/га), что влечет за собой увели-

ченное поступление азота 133,5–148,1 кг/га, фосфора 34,3–41,2 и калия 121,2–148,9 кг/га (табл. 2). Сравнивая сидеральные культуры, предпочтение стоит отдавать клеверу – культуре, способной продуцировать большую биомассу по сравнению с донником (на 0,34 т/га в среднем по вариантам).

*Таблица 2 – Поступление сухого вещества и питательных элементов с биомассой многолетних трав (в среднем за V и VI ротации) /*

*Table 2 – The supply of dry matter and nutrients from the biomass of perennial grasses (on average for V and VI rotations)*

Культура / Crop	Фон питания / Background of nutrition	Поступило с культурой / It entered with crop			
		биомассы, т/га сухого вещества / total biomass, t/ha of dry matter	питательных элементов, кг/га / nutrients, kg/ha		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Занятый пар (поукосные и корневые остатки) / Sown fallow (leftover and root residues)					
Клевер / Clover	0	4,17	45,0	16,7	44,2
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	4,08	46,9	17,5	63,2
Донник / Melilot	0	4,32	41,9	18,6	42,7
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	4,36	41,8	17,4	69,6
Сидеральный пар (вся биомасса) / Green manured fallow (all biomass)					
Клевер / Clover	0	6,99	141,6	38,5	121,8
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	9,04	129,6	36,7	129,6
Донник / Melilot	0	6,83	148,1	41,2	121,2
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	8,53	133,5	34,3	148,9

Таким образом, полученные данные подтверждают эффективность включения в севообороты сидерального клеверного и чистого унавоженного паров в целях сохранения и повышения содержания гумуса в почве. Дополнительного увеличения содержания гумуса можно достичь за счёт внесения полного минерального удобрения под культуры севооборотов.

Влияние различных видов паров на продуктивность изучаемых севооборотов отражено данными таблицы 3.

Анализ продуктивности севооборотов, выраженной в зерновых единицах, позволил выявить количественную сторону полученной продукции. Установлено, что использование занятых (клеверного и донникового) и сидерального (клеверного) паров приводит к существенному снижению продуктивности севооборотов (на 0,06–0,14 т/га з. ед.), за исключением варианта с сидеральным донниковым паром, где отмечено увеличение продуктивности севооборота на 0,14 т/га зерновых единиц в год по сравнению с контрольным севооборотом, где в чистом пару вносится навоз.

Дополнительное внесение минеральных удобрений (N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub>) не обеспечивает существенный рост продуктивности культур, отмечается тенденция роста продуктивности на 0,08 т/га з. ед. Наибольшая продуктивность отмечена в севообороте с сидеральным донниковым паром и внесением N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub> – 2,25 т/га з. ед. в год.

Проведенный расчет энергетической эффективности выращивания культур в различных севооборотах позволил сделать вывод о высокой результативности во всех экспериментально реализованных вариантах. Так, например, коэффициент энергетической эффективности (окупаемости энергии) в вариантах, где не использовались удобрения, составил 3,63–4,48, а в случаях с применением минеральных удобрений – 2,38–3,21, что свидетельствует о высокой степени эффективности использования ресурсов. Результаты исследования доказывают, что использование минеральных удобрений не всегда является оптимальным решением, в некоторых случаях их применение может привести к снижению коэффициента энергетической эффективности.

Таблица 3 – Влияние парозанимающих культур, органических и минеральных удобрений на биоэнергетическую эффективность севооборота (в среднем за V и VI ротации) /  
Table 3 – The effect of fallow-raising crops, organic and mineral fertilizers on the bioenergetic efficiency of crop rotation (on average for V and VI rotations)

Вид пара в севообороте (фактор A) / Type of fallow in crop rotation (factor A)	Фон питания (фактор B) / Background of nutrition (factor B)	Продуктивность севооборота в зерновых единицах, т/га/год / Productivity of crop turnover in grain units, t/ha/year	Энергоемкость затрат ГДж/га / Energy Intensity of costs GJ/ha	Энергоемкость единицы продукции, МДж/т / Energy consumption of the product unit, MJ/t	Продукция в энергетическом эквиваленте, ГДж/т / Products in energy equivalent, GJ/t	Коэффициент окупаемости энергии / Energy payback ratio
Чистый пар + навоз / «Black» fallow + manure	0	2,08	12,40	4507	51,40	3,68
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,11	33,14	13261	51,72	2,57
Занятый пар – клевер 1 г. п. / Sown fallow – clover first-cut	0	1,97	12,03	4588	49,25	3,76
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,10	33,25	12446	52,25	2,39
Сидеральный пар – клевер 1 г. п. / Green manured fallow – clover first-cut	0	1,83	11,81	5118	46,12	3,63
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,08	33,19	13007	51,43	2,38
Занятый пар – донник 1 г. п. / Sown fallow – melilot first-cut	0	2,00	11,92	4798	50,70	3,98
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	1,94	32,80	14293	48,68	2,63
Сидеральный пар – донник 1 г. п. / Green manured fallow – melilot first-cut	0	2,22	12,15	5224	56,58	4,48
	N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>	2,25	33,19	15946	56,96	3,21
НСР <sub>05</sub> главных эффектов / LSD <sub>05</sub> of the main effects	A	0,65	0,99	3622	16,04	1,05
	B	0,20	0,30	3050	5,15	0,35
НСР <sub>05</sub> частных различий / LSD <sub>05</sub> of particular differences	A	0,92	1,40	5123	22,68	1,48
	B	0,44	0,67	6820	11,52	0,78

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что в условиях Среднего Предуралья использование парозернотравяных севооборотов с унавоженным чистым паром и клеверным сидеральным паром привело в течение двух ротаций к увеличению содержания гумуса в почве соответственно на 0,19–0,69 и 0,38–0,52 абс.% по сравнению с исходными значениями. Сравнивая сидеральные культуры, предпочтение стоит отдавать клеверу – культуре, способной продуцировать большую биомассу (на 0,16–0,51 т/га сухого вещества) по сравнению с донником желтым. В наших исследованиях севообороты с включением донникового сидерального пара и занятых паров с клевером и донником не привели к накоплению гумуса в почве.

Возделывание культур во всех изучаемых севооборотах было энергетически эффективным (коэффициент энергетической эффективности – 2,38...4,48), что доказывает необходимость использования паровых полей в производстве на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья. Однако для сохранения и увеличения содержания гумуса в почве стоит соблюдать севообороты с унавоженным чистым паром, а на участках, отдалённых от мест хранения органических удобрений, – с сидеральным клеверным паром. При принятии решений, связанных с использованием минеральных удобрений и выбором оптимальных севооборотов, необходимо учитывать биоэнергетическую составляющую процесса возделывания сельскохозяйственных культур.

*Список литературы*

1. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия. *Плодородие*. 2018;(2(101)):26–29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35176669> EDN: XRVFYL
2. Гасанова Е. С., Кожокина А. Н., Мязин Н. Г., Стекольников К. Е., Мухина С. В. Изменение содержания и строения гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и дефеката. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019;12(4(63)):113–122. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.4.113> EDN: SUTGZI
3. Завьялова Н. Е., Широких И. Г., Васбиева М. Т., Фомин Д. С. Влияние различных типов землепользования на прокариотные сообщества и стабилизацию органического вещества дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*. 2021;(2):232–239. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167> EDN: GVBIOS
4. Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Влияние севооборотов и бессменных посевов на агрохимические свойства и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья. *Агрохимия*. 2019;(1):5–10. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010162> EDN: YVTRON
5. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Постников П. А., Зубарев Ю. Н. Оценка эффективности факторов биологизации в земледелии Уральского региона. *Пермский аграрный вестник*. 2019;(1(25)):34–41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xftlqp> EDN: XFTLQP
6. Линьков В. В. Организационно-управленческие подходы прогрессивной агрономии в направлении экономически оправданной экологизации производства растениеводческой продукции. Безопасность и качество товаров: мат-лы XIV Международ. научн.-практ. конф. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2020. С. 142–147. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393880> EDN: ZHKIOS
7. Койка С. А., Скоринов В. Т. Нитраты и нитриты в продукции растениеводства. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2008;(3):58–63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jsgset> EDN: JSGSET
8. Киришин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019;(9):1130–1139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062> EDN: MUWEQK
9. Пегова Н. А. Влияние вида пара и системы обработки почвы на урожайность культур звена севооборота. *Бюллетень науки и практики*. 2018;4(11):166–173. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488139> EDN: VMNPNK
10. Косолапова А. И., Завьялова Н. Е., Митрофанова Е. М., Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Эффективность длительного применения удобрений на дерново-подзолистых почвах Предуралья. *Агрохимия*. 2018;(2):42–55. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188118020047> EDN: YTEATS
11. Соснина И. Д. Влияние парозанимающих культур, севооборота и фона питания на баланс гумуса и трансформацию органического вещества в дерново-подзолистой почве Предуралья. *Аграрный вестник Урала*. 2012;(9(101)):8–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18893193> EDN: PXLLCR
12. Завьялова Н. Е., Косолапова А. И., Ямалтдинова В. Р. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на трансформацию органического вещества дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*. 2005;(6):5–10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144073> EDN: HSCPJD
13. Ямалтдинова В. Р., Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Васбиева М. Т. Влияние систем удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020;(1):29–32. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-29-32> EDN: ZSQUWL
14. Лысенкова С. А., Скируха А. Ч., Порхунцова О. А. Продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом плодосменном севообороте. Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: мат-лы XIX Международ. научн.-практ. конф. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. С. 137–140.

*References*

1. Loshakov V. G. Green manure as a factor of soil fertility improving, biologization and ecologization of agriculture. *Plodorodie*. 2018;(2(101)):26–29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35176669>
2. Gasanova E. S., Kozhokina A. N., Myazin N. G., Stekolnikov K. E., Mukhina S. V. Changes in the content and structure of humic acids in leached chernozem under the effect of fertilizers and defecate. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2019;12(4(63)):113–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.4.113>
3. Zavyalova N. E., Shirokikh I. G., Vasbieva M. T., Fomin D. S. Influence of different types of land use on the microbial communities and organic matter stabilization in soddy-podzolic soil. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2021;(2):232–239. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020167>
4. Zavyalova N. E., Fomin D. S., Teterlev I. S. Effect of crop rotations and monoculture on agrochemical properties and nitrogen regime of sod-podzolic soil of the Cis-Ural region. *Agrokhimiya*. 2019;(1):5–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010162>

5. Zezin N. N., Namyatov M. A., Postnikov P. A., Zubarev Yu. N. Evaluation of the effectiveness of biological factors in agriculture of the Ural region. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2019;(1(25)):34–41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xftlqp>
6. Linkov V. V. Organizational and managerial approaches of progressive agronomy in the direction of economically justified greening of crop production. Safety and quality of goods: International standards. scientific-practical conf. Saratov: *Saratovskiy GAU im. N. I. Vavilova*, 2020. С. 142–147. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393880>
7. Kojka S. A., Skorikov V. T. Nitrates and nitrites in production vegetative. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2008;(3):58–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jsgset>
8. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(9):1130–1139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>
9. Pegova N. A. Effect of fallow and system of tillage on crop yield of element of crop rotation. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2018;4(11):166–173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488139>
10. Kosolapova A. I., Zavyalova N. E., Mitrofanova E. M., Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Fomin D. S., Teterlev I. S. Efficiency of long-term fertilization on the sod-podzolic soils of Cis-Ural region. *Agrokimiya*. 2018;(2):42–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188118020047>
11. Sosnina I. D. Influence of break crops, crop rotation and nutrient status on humus balans and organic matter transformation in the sod podzol soil of the Cis-Ural region. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2012;(9(101)):8–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18893193>
12. Zavyalova N. E., Kosolapova A. I., Yamaltdinova V. R. Effect of the long-term application of organic and mineral fertilizers on the transformation of organic matter in soddy-podzolic soil. *Agrokimiya*. 2005;(6):5–10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144073>
13. Yamaltdinova V. R., Zavyalova N. E., Fomin D. S., Vasbieva M. T. Influence of fertilizer systems on fertility indicators of sod-podzolic heavy loamy soil of Pre-Urals. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2020;(1):29–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-29-32>
14. Lysenkova S. A., Skirukha A. Ch., Porkhuntsova O. A. Productivity of agricultural crops in the field fruit-bearing crop rotation. Technological aspects of crop cultivation: the materials of the XIX International. scientific-practical conf. Gorki: *Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*, 2022. pp. 137–140.

#### **Сведения об авторах**

**Фомин Денис Станиславович**, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

✉ **Полякова София Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, email: [ss.polyakova@yandex.ru](mailto:ss.polyakova@yandex.ru)

**Фомин Дмитрий Станиславович**, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0718-7632>

#### **Information about the authors**

**Denis S. Fomin**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

✉ **Sofia S. Polyakova**, junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, email: [ss.polyakova@yandex.ru](mailto:ss.polyakova@yandex.ru)

**Dmitry S. Fomin**, junior researcher at the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: [pniish@rambler.ru](mailto:pniish@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0718-7632>

✉ – Для контактов / Corresponding author