

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>

УДК 631.582:631.57:633



Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы

© 2019. С. А. Замятин ✉, А. Ю. Ефимова, С. А. Максуткин

Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», п. Руэм, Республика Марий Эл, Российская Федерация

Цель работы – провести сравнительную оценку количества запахиваемых растительных остатков в различных полевых севооборотах в условиях Республики Марий Эл. Работа выполнена в 2013–2018 гг. на стационарном участке в двухфакторном опыте. Фактор А – виды севооборотов и чередование культур: 1. Зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимая рожь, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, ячмень). 2. I плодосменный (викоовсяная смесь на зеленый корм, озимая рожь, ячмень, картофель, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница). 3. II плодосменный (викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, картофель с внесением навоза (80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимая рожь, картофель, овес). 4. III плодосменный (ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, клевер 2 г. п. на зеленую массу, озимая рожь, картофель, овес). Фактор В – минеральные удобрения: 1. Без удобрений. 2. N60P60K60. В контрольном зернотравяном севообороте с одногодичным использованием клевера в среднем за год поступило $3,02 \pm 0,06$ т/га пожнивно-корневых остатков. В I плодосменном севообороте за счет замены клевера на картофель остатков образовалось $2,14 \pm 0,04$ т/га, что значительно меньше контрольного варианта ($НСР_{05}$ по фактору А – 0,21 т/га). Во II плодосменном севообороте накопление пожнивно-корневых остатков составило $2,91 \pm 0,07$ т/га. По сравнению с контролем это в пределах ошибки опыта. Наибольшее количество пожнивно-корневых остатков накопилось в пахотном слое III плодосменного севооборота ($3,37 \pm 0,07$ т/га). Применение минеральных удобрений существенно увеличило массу пожнивно-корневых остатков во всех севооборотах в среднем за год на 0,16 т/га ($НСР_{05}$ по фактору В – 0,15). Соотношение углерода к азоту (С:N) в пожнивно-корневых остатках клевера и картофеля составило 18...20, викоовсяной смеси – 25...31, яровых зерновых культур – 39...41, озимой ржи – 53.

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, зернотравяной севооборот, плодосменный севооборот, соотношение углерода к азоту, минеральные удобрения

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0767-2019-0091).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Замятин С. А., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(6):594-601. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>

Поступила: 04.07.2019

Принята к публикации: 22.10.2019

Опубликована онлайн: 16.12.2019

The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil

© 2019. Sergei A. Zamyatin ✉, Aleksandra Yu. Efimova, Sergey A. Maksutkin

Mari Agricultural Research Institute –Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation

The aim of the research is to take a comparative assessment of the amount of plowed down plant residues in various field crop rotations in the conditions of the Republic of Mari El. The study was carried out in 2013–2018 on a stationary site in a two-factor experiment. Factor A – types of crop rotations and shift of crops: 1. Grain and grass crop rotation (oats + clover, clover of the 1st year of use (y.u.) for green mass, winter rye, vetch and oat mixture for grain, spring wheat, barley. 2. I fruit-changing crop rotation (vetch and oat mix for green fodder, winter rye, barley, potato, vetch and oat mixture for grain, spring wheat). 3. II fruit-changing crop rotation (vetch and oat mixture for grain, spring wheat, potato with manure (80 t/ha), barley + clover, clover of the 1st year of use for green mass, winter rye). 4. III fruit-changing crop rotation (barley + clover, clover of the 1st year of use for green mass, clover of the 2nd year of use for green mass, winter rye, potato, oats). Factor B – mineral fertilizers: 1. Without fertilizers. 2. N60P60K60. In the control grain and grass crop rotation with a one-year use of clover, 3.02 ± 0.06 t/ha of crop-root residues were received per year on the average. In the I fruit-changing crop rotation, due to the replacement of clover with potato, residues formed 2.14 ± 0.04 t/ha, which was significantly less than the control variant (LSD_{05} in factor A – 0.21). In the II fruit-changing crop rotation, the accumulation of crop-root residues

amounted to 2.91 ± 0.07 t/ha. Compared to the control, it was within the limits of experimental error. The largest number of crop-root residues was accumulated in the III fruit-changing crop rotation (3.37 ± 0.07 t/ha). The use of mineral fertilizers significantly increased the bulk of crop-root residues in all crop rotations by 0.16 t/ha per year on the average (LSD_{05} in factor B – 0.15). Carbon to nitrogen ratio (C:N) in the crop-root residues of clover and potato was 18...20, in the vetch-oat mixture it was 25...31, in spring grain crops it was 39...41, and in winter rye it was 53.

Key words: crops, grain and grass crop rotation, fruit-changing crop rotation, carbon to nitrogen ratio, mineral fertilizers

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No.0767-2019-0091).

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

For citation: Zamyatin S. A., Efimova A. Yu., Maksutkin S. A. The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(65):594-601. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>

Received: 04.07.2019

Accepted for publication: 22.10.2019

Published online: 16.12.2019

В Республике Марий Эл основная часть возделываемых земель – дерново-подзолистые почвы, доля которых в структуре пашни достигает 86 %. Успешное развитие земледелия во многом зависит от оптимального уровня плодородия дерново-подзолистых почв и поддержания в них соответствующего уровня содержания органического вещества [1].

Растительные остатки полевых культур являются основным источником пополнения почвы органическим веществом. В их состав входят пожнивные, корневые и листовые остатки, количество которых связано с величиной урожайности сельскохозяйственных культур.

Растительные остатки, поступающие в почву, подвергаются сложным процессам разложения, их минерализации и гумификации. Степень интенсивности и характер гумификации зависят от разных факторов^{1,2} [2, 3]. За счет использования пожнивно-корневых остатков в севообороте могут улучшаться питательные ресурсы почвы, сокращается потребность в использовании минеральных и органических удобрений [4, 5].

Как отмечает в своей работе И. М. Корнилов, «...Количество растительных остатков, поступающих в почву за ротацию севооборота, играет немаловажную роль в сохранении почвенного плодородия. Продукты разложения растительных остатков, несомненно, оказывают влияние на следующую культуру. Поэтому возникает необходимость изучения накопления растительных остатков каждой сельскохозяйственной культурой...» [6, с. 61].

Велика роль пожнивно-корневых остатков в круговороте углерода в почве [7, 8, 9, 10, 11]. Они формируют целые сообщества из почвенных организмов, которые стимулируют

структурную устойчивость почв [8, 10, 11]. Азот, полученный из пожнивно-корневых остатков, вымывается меньше, чем из минеральных удобрений [12]. Поэтому положительное влияние запахивания пожнивно-корневых остатков бывает более выраженным по сравнению с внесением минеральных удобрений [13].

Во многих исследованиях отмечено [14, 15, 16, 17], что наибольшее количество массы пожнивно-корневых остатков, а вследствие этого и питательных веществ, оставляют в почве многолетние травы, «...поэтому введение их в севообороты является необходимостью, так как это способствует экономичному увеличению поступления органического вещества в почву в виде растительных остатков, что позволит на фоне органических и минеральных удобрений решить проблему воспроизводства гумуса почв до его бездефицитного баланса» [17, с. 88].

Корневые и пожвные остатки являются важной частью баланса органического вещества в почве. Особую ценность в севооборотах представляет возделывание зернобобовых культур и многолетних трав, сравнительно больше обогащающих почву азотсодержащим органическим веществом высокой биологической ценности.

В исследованиях А. А. Новикова [18] и А. В. Параманова с соавторами [19, 20] установлено, что изменение доз вносимых удобрений напрямую влияет на интенсивность баланса гумуса (С) в черноземах. Актуально это утверждение и для изучаемых севооборотов на дерново-подзолистых почвах. Ранее в нашей работе [21] изучалось влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборотов.

¹Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 286 с.

²Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.

В ней представлены результаты накопления пожнивно-корневых остатков за 2010-2015 гг. Учет массы оставляемых растениями пожнивно-корневых остатков (ПКО) показал, что применение минеральных удобрений в дозе N60P60K60 достоверно повысило их массу. В севооборотах с высоким насыщением зерновыми культурами и картофелем в почву поступало наименьшее количество органического вещества и, следовательно, питательных элементов. Включение в севообороты клевера положительно сказалось на накоплении пожнивно-корневых остатков в целом по севооборотам.

Цель исследований – провести сравнительную оценку количества запахищаемых растительных остатков в различных полевых севооборотах в условиях Республики Марий Эл.

Материал и методы. Экспериментальная часть работы выполнена на стационарном участке опытного поля Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2013-2018 гг. в двухфакторных опытах, заложенных в 1996 и 1998 гг. (2 закладки).

Фактор А – Виды севооборотов и чередование культур:

1. Зернотравяной – контроль (овес + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимая рожь, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, ячмень).

2. I плодосменный (викоовсяная смесь на зеленую массу, озимая рожь, ячмень, картофель, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница).

3. II плодосменный (викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, картофель с внесением навоза (80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимая рожь).

4. III плодосменный севооборот (ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, клевер 2 г. п. на зеленую массу, озимая рожь, картофель, овес).

Фактор В – минеральные удобрения:

1. Без удобрений (контроль).

2. N60P60K60.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. В момент закладки опыта пахотный слой характеризовался

следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,72 %, $pH_{\text{сол}}$ – 5,67, гидролитическая кислотность – 1,7 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований – 7,9 мг-экв/100 г, подвижный фосфор – 270 мг/кг, обменный калий – 130 мг/кг.

Севообороты развернуты во времени. Повторность вариантов в опыте трехкратная, расположение делянок в повторностях систематическое. Общая и учетная площади делянок составляют 165 м².

Минеральные удобрения под каждую культуру севооборотов вносили поделаночно, согласно схеме опыта. Из азотных удобрений использовали аммиачную селитру, фосфорных – двойной суперфосфат, калийных – хлористый калий. Под многолетние бобовые травы и их предшественники азотные удобрения не вносили.

Определение количества корневых и пожнивных остатков проводили рамочным методом по Н. З. Станкову³ с размером рамки 30,2х33,3 см. На пропашных культурах размеры рамки увеличивали, сохраняя то же соотношение между рядком и междурядьем, что и на всей площади посева. Определение элементов питания^{4, 5} и расчеты⁶ их содержания в пожнивно-корневых остатках проводили по общепринятым методикам, статистическую обработку данных – методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁷.

Погодные условия по годам исследований различались по температурному режиму, количеству выпавших осадков и их распределению в течение вегетационного периода и большей частью были удовлетворительными для роста и развития испытуемых культур в севооборотах. Вегетационный период полевых культур в 2017 году характеризовался как более влажный (сумма осадков составила 313,3 мм), 2013, 2014, 2015, 2018 годы были менее влажными (за вегетацию выпало 243, 165,3, 246,1 и 159 мм осадков соответственно). Относительно засушливым был 2016 год (сумма осадков – 117,5 мм). ГТК по годам составил: 2013 г. – 1,21, 2014 г. – 0,84, 2015 г. – 1,29, 2016 г. – 0,56, 2017 г. – 1,85, 2018 г. – 0,87.

³Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 279 с.

⁴ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбинированное сырье. Методы определения азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с.

⁵ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбинированное сырье. Методы определения фосфора. Минск, 1999. 10 с.

⁶Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии. Методические указания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 26 с.

⁷Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Результаты и их обсуждение. Исследования показали, что накопление пожнивно-корневых остатков полевых культур во многом определялось видом севооборота, культурой и применением минеральных удобрений (табл.).

Учет сухой массы пожнивно-корневых остатков показал, что в севооборотах с высоким насыщением зерновыми культурами и картофелем в почву поступило наименьшее количество органического вещества. В контрольном зернотравяном севообороте с одногодичным использованием клевера в среднем за год в почву поступало $3,02 \pm 0,06$ т/га пожнивно-корневых остатков. Значительно меньше ПКО, за счет замены клевера на картофель, образовалось в I плодосменном севообороте ($2,14 \pm 0,04$ т/га) – на 41 % меньше, чем в контроле (НСР₀₅ по фактору А – 0,21). Во II плодосменном севообороте накопление пожнивно-корневых остатков было на уровне контрольного варианта (различия не существенны). Наибольшее количество пожнивно-корневых остатков накопилось в пахотном слое III плодосменного севооборота ($3,37 \pm 0,07$ т/га), достоверно превысив контрольный севооборот на 0,35 т/га (НСР₀₅ по фактору А – 0,21). Это объясняется, прежде всего, более благоприятными условиями для развития корневой системы растений после использования в течение двух лет посева клевера, что обеспечило меньшее поражение корневыми гнилями и,

следовательно, лучшее развитие растений и повышение их урожайности. Так, разница в распространении корневых гнилей в наших предыдущих исследованиях в этом севообороте, по сравнению с контролем, к концу вегетации составила 24,8 %, при НСР₀₅ 6,4 % [22].

Применение минеральных удобрений увеличило массу пожнивно-корневых остатков во всех севооборотах. Так, на фоне без удобрений среднегодовое количество пожнивно-корневых остатков составило $2,77 \pm 0,05$ т/га, при применении минеральных удобрений их масса увеличилась на 0,16 т/га в среднем по севооборотам, при уровне НСР₀₅ по фактору В – 0,15 т/га.

Включение в севообороты клевера положительно сказалось на накоплении питательных веществ в пожнивно-корневых остатках (рис.). В среднем за год с биомассой растений клевера поступило в почву 178 кг/га азота, 48 фосфора и 88 кг/га калия. Наименьшее количество питательных элементов пришло в почву с ПКО ячменя (азота – 20, фосфора – 9 и калия – 10 кг/га). В пожнивно-корневых остатках клевера образовалось наибольшее количество углерода – 3275 кг/га, озимой ржи – 2446 кг/га, яровой пшеницы – 1595 кг/га, викоовсяной смеси, возделываемой на зерновые цели – 1566 кг/га. Меньше всего углерода образовалось в пожнивно-корневых остатках картофеля – 737 кг/га и ячменя – 789 кг/га.

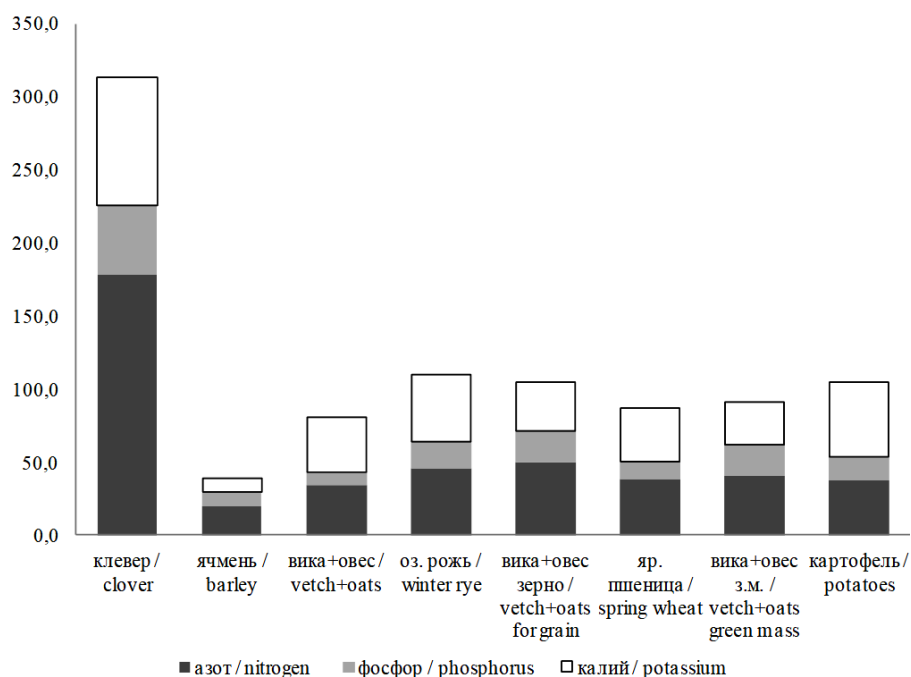


Рис. Количество питательных веществ, поступивших в почву с пожнивно-корневыми остатками полевых культур (в среднем за год, кг/га) /

Fig. Amount of nutrients entering the soil with crop-root residues of field crops (annual average, kg/ha)

Таблица – Накопление пожнивно-корневых остатков полевых культур в пахотном слое почвы, т/га (2013-2018 гг.) /
Table – The accumulation of crop-root residues of field crops in the arable layer of the soil, t/ha (2013-2018)

| Факторы / Factors | | Культуры севооборота / Crops in crop rotation | | | | | | | | | | Среднее за год по севообороту / Yearly average in crop rotation |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| A (севооборот) / A (crop rotation) | B (удобрение) / B (fertilizer) | яровая пшеница / spring wheat | ячмень / barley | овес / oats | озимая рожь / winter rye | вика / овес (зерно) / vetch / oats (grain) | вика / овес (зел. масса) / vetch / oats (green mass) | клевер 1 г.п. / clover 1 y.u. | клевер 2 г.п. / clover 2 y.u. | карто- фель / potatoes | | |
| Зерногравяной / Grain and grass | Без удобрений / No fertilizer | 2,39 | 1,41 | 2,02 | 3,62 | 2,55 | - | 5,60 | - | - | 2,92±0,06 | |
| | NPK | 2,56 | 1,66 | 2,15 | 3,86 | 2,71 | - | 5,67 | - | - | 3,10±0,07 | |
| | Среднее / Average | 2,48 | 1,54 | 2,09 | 3,74 | 2,63 | - | 5,64 | - | - | 3,02±0,06 | |
| I плодосменный / I fruit-changing | Без удобрений / No fertilizer | 2,46 | 0,95 | - | 4,00 | 2,22 | 1,65 | - | - | 1,08 | 2,06±0,05 | |
| | NPK | 2,84 | 1,08 | - | 4,12 | 2,38 | 1,74 | - | - | 1,15 | 2,21±0,05 | |
| | Среднее / Average | 2,65 | 1,02 | - | 4,06 | 2,30 | 1,70 | - | - | 1,12 | 2,14±0,04 | |
| II плодосменный / II fruit-changing | Без удобрений / No fertilizer | 2,80 | 1,33 | - | 3,81 | 2,57 | - | 5,10 | - | 1,48 | 2,84±0,06 | |
| | NPK | 2,97 | 1,43 | - | 4,21 | 2,70 | - | 5,17 | - | 1,40 | 2,98±0,08 | |
| | Среднее / Average | 2,89 | 1,38 | - | 4,01 | 2,64 | - | 5,14 | - | 1,44 | 2,91±0,07 | |
| III плодосменный / III fruit-changing | Без удобрений / No fertilizer | - | 1,28 | 2,23 | 4,05 | - | - | 5,60 | 5,40 | 1,12 | 3,28±0,07 | |
| | NPK | - | 1,42 | 2,36 | 4,49 | - | - | 5,86 | 5,45 | 1,15 | 3,45±0,10 | |
| | Среднее / Average | - | 1,35 | 2,30 | 4,27 | - | - | 5,73 | 5,43 | 1,14 | 3,37±0,07 | |
| Среднее по минеральным удобрениям / Average in mineral fertilizers | Без удобрений / No fertilizer | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,77±0,05 | |
| | NPK | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,94±0,05 | |
| | Среднее / Average | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| HCP ₀₅ частных различий / LSD ₀₅ of particular differences | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,29 | |
| HCP ₀₅ по фактору A / LSD ₀₅ in factor A | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,21 | |
| HCP ₀₅ по фактору B / LSD ₀₅ in factor B | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,15 | |

Установлено, что наиболее узким соотношением углерода к азоту характеризовались пожнивно-корневые остатки клевера и картофеля, где C:N находилось на уровне 18...20. Более широким углеродно-азотным соотношением, равным 25...31, обладали органические остатки викоовсяной смеси, возделываемой как на зеленую массу, так и на зернофураж. Пожнивно-корневые остатки яровых зерновых культур содержали углерода в 39-41 раз больше, чем азота. Наибольшим соотношением C:N – 53 обладали пожнивно-корневые остатки озимой ржи.

Выводы. В условиях Республики Марий Эл в полевых севооборотах на дерново-подзолистой почве ежегодно накапливалось от $2,14 \pm 0,4$ до $3,37 \pm 0,07$ т/га пожнивно-корневых остатков, наибольшее количество – в III плодосменном севообороте за счет включения двух полей клевера лугового. Внесение минеральных удобрений (N60P60K60) увеличивало биомассу пожнивно-корневых остатков возделываемых

культур на 0,14...0,18 т/га в среднем за год.

По количеству элементов питания (NPK), поступивших в почву с пожнивно-корневыми остатками, культуры севооборотов распределялись в следующем порядке: клевер>озимая рожь> викоовсяная смесь на зернофураж>картофель>яровая пшеница> викоовсяная смесь на зеленую массу>овес>ячмень. Наибольшее количество элементов питания поступало в пахотный слой почвы с пожнивно-корневыми остатками клевера: 178 кг/га азота, 48 фосфора и 88 кг/га калия (в среднем за год).

Показатель качества органического вещества (C:N) свидетельствует о различной скорости разложения и освобождения элементов питания из пожнивно-корневых остатков культур полевых севооборотов: клевер и картофель (C:N = 18...20), викоовсяная смесь на зеленую массу и зернофураж (C:N = 25...31), овес, яровая пшеница, ячмень (C:N = 39...41), озимая рожь (C:N = 53).

Список литературы

1. Замятин С. А., БыркANOва С. В. Плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении агрохимических средств. Методы и технологии в селекции растений и растениеводства: материалы Междунар. научн.-практ. конф. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. С. 332-336.
2. Фокин А. Д. Влияние органического вещества на агрономические свойства и режимы почв. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: Изд-во МС ХА, 1993. С. 34-39.
3. Janzen R. A. Shegkewich C. F. Goh Tee Boon Stabilization of Residual C and N in Soil. Can. J. Soil Sci. 1988;68(4):733-745.
4. Brankatschk G., Finkbeiner M. Modeling crop rotation in agricultural LCAs – challenges and potential solutions. Agricultural Systems. 2015;(138):66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.008>
5. Brankatschk G., Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints. Agronomy for Sustainable Development. 2017. October. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0464-4>
6. Корнилов И. М. Корневые и пожнивные остатки в зависимости от систем обработки почвы. Современные тенденции развития науки и технологии. 2015;(4-2):61-63. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23940519>
7. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. Sustainability. 2017;9(12):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
8. Bardgett R. D., Mommer L., De ries F. T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. Trends Ecol. Evol. 2014;29(12):692-699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.006>
9. Bisen N., Rahangdale C. P. Crop residues management option for sustainable soil health in rice-wheat system: A review. International Journal of Chemical Studies. 2017;(5(4)):1038-1042. URL: https://www.researchgate.net/publication/318959582_Crop_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rice-wheat_system_A_review
10. Hirte J., Leifeld J., Abiven S., Oberholzer H.-R., Hammelehle A., Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. Front Plant Sci. 2017;(8):284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00284>
11. Philippot L., Raaijmakers J. M., Lemanceau P., Van der Putten W. H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. Nat. Rev. Microbiol. 2013;(11):789-799. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>
12. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2017:358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
13. Кузнецова Л. Н. Накопление корневой массы и пожнивных остатков растениями ячменя в плодосменном и зернопропашном севооборотах. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015;(8):132-136. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26069209>
14. Куликова А. Х. Дифференциация севооборотов по влиянию на режим органического вещества почвы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011;(2(14)):27-33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16716923>
15. Новиков А. А., Кисаров О. П. Обоснование роли и пожнивных остатков в агроценозах. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012;(78):643-652. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17714663>

16. Скируха А. Ч., Грибанов Л. Н., Усень А. А. Корневые и пожнивные остатки полевых культур в севообороте как резерв и повышения содержания основных элементов минерального питания в почве. Земледелие и селекция в Белоруссии. 2017;(53):13-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35344614>
17. Мудрых Н. М., Самофалова И. А. Опыт использования растительных остатков в почвах нечерноземной зоны России (обзор). Пермский аграрный вестник. 2017;(1(17)):88-97. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28822619>
18. Новиков А. А. Гумус черноземов обыкновенных при внесении удобрений и эффективность возделываемых сельскохозяйственных культур. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017;(2(26)):131-143. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29149337>
19. Парамонов А. В., Федюшкин А. В., Медведева В. И. Изменение содержания и запасов гумуса в черноземе обыкновенном в зависимости от применяемых систем удобрений. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(4(66)):24-28. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009109>
20. Парамонов А. В., Федюшкин А. В., Пасько С. В., Медведева В. И. Влияние систематического применения удобрений в девятипольном зернопаропропашном севообороте на баланс гумуса (С) в черноземе обыкновенном. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(9): 9-11. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10902>
21. Замятин С. А., Измestьев В. М. Влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборотов. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016;(1(5)):18-21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125254>
22. Замятин С. А., Ямалиева А. М. Влияние севооборотов на распространение корневых гнилей сельскохозяйственных культур. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016;(1(5)):22-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125255>

References

1. Zamyatin S. A., Byrkanova S. V. *Plodorodie dervno-podzolistoy srednesuglinistoy pochvy pri dlitel'nom primeneni agrokhimicheskikh sredstv*. [Fertility of sod-podzolic medium loamy soil with prolonged use of agrochemicals]. *Metody i tekhnologii v seleksii rasteniy i rastenievodstva: materialy Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of Intern. scientific-practical conf.]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2015. pp. 332-336.
2. Fokin A. D. *Vliyaniye organicheskogo veshchestva na agronomicheskie svoystva i rezhimy pochv. Kontseptsiya optimizatsii rezhima organicheskogo veshchestva pochv v agrolandshaftakh*. [Influence of organic matter on agronomic properties and soil regimes. The concept of optimizing the regime of soil organic matter in agrolandscapes]. Moscow: Izd-vo MS KhA, 1993. pp. 34-39.
3. Janzen R. A., Shegkewich C. F., Goh Tee Boon Stabilization of Residual C and N in Soil. Can. J. Soil Sci. 1988;68(4):733-745.
4. Brankatschk G., Finkbeiner M. Modeling crop rotation in agricultural LCAs – challenges and potential solutions. Agricultural Systems. 2015;(138):66-76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.008>
5. Brankatschk G., Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints. Agronomy for Sustainable Development. 2017. October. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0464-4>
6. Kornilov I. M. *Kornevye i pozhnivnye ostatki v zavisimosti ot sistem obrabotki pochvy*. [Root and crop residues depending on soil cultivation systems]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2015;(4-2):61-63. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23940519>
7. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. Sustainability. 2017;9(12):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
8. Bardgett R. D., Mommer L., De ries F. T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. Trends Ecol. Evol. 2014;29(12):692–699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.006>
9. Bisen N., Rahangdale C. P. Crop residues management option for sustainable soil health in rice-wheat system: A review. International Journal of Chemical Studies. 2017;(5(4)):1038-1042. URL: https://www.researchgate.net/publication/318959582_Crop_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rice-wheat_system_A_review
10. Hirte J., Leifeld J., Abiven S., Oberholzer H.-R., Hammelehle A., Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. Front Plant Sci. 2017;(8):284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00284>
11. Philippot L., Raaijmakers J. M., Lemanceau P., Van der Putten W. H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. Nat. Rev. Microbiol. 2013;(11):789-799. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>
12. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2017:358-366. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>
13. Kuznetsova L. N. *Nakopleniye kornevoy massy i pozhnivnykh ostatkov rasteniyami yachmenya v plodsmennom i zernopropashnom sevooborotakh*. [The accumulation of root mass and crop residues by barley plants in field and grain-cultivated crop rotation]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2015;(8):132-136. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26069209>
14. Kulikova A. Kh. *Differentsiatsiya sevooborotov po vliyaniyu na rezhim organicheskogo veshchestva pochvy*. [Differentiation of crop rotations by the effect of soil organic matter on the regime]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2011;(2(14)):27-33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16716923>

15. Novikov A. A., Kisarov O. P. *Obosnovanie roli i pozhnivnykh ostatkov v agrotsenozakh*. [Substantiation of the role and crop residues in agrocenoses]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2012;(78):643-652. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17714663>
16. Skirukha A. Ch., Gribanov L. N., Usenya A. A. *Kornevye i pozhnevnye ostatki polevykh kul'tur v sevooborote kak rezerv i povysheniya soderzhaniya osnovnykh elementov mineral'nogo pitaniya v pochve*. [Root and crop residues of field crops in crop rotation as a reserve and increase in the content of the basic elements of mineral nutrition in the soil]. *Zemledelie i selektsiya v Belorussii*. 2017;(53):13-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35344614>
17. Mudrykh N. M., Samofalova I. A. *Opyt ispol'zovaniya rastitel'nykh ostatkov v pochvakh nechernozemnoy zony Rossii (obzor)*. [Experience in the use of plant residues in soils of the non-chernozem zone of Russia (review)]. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2017;(1(17)):88-97. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28822619>
18. Novikov A. A. *Gumus chernozemov obyknovennykh pri vnesenii udobreniy i effektivnost' vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. [Humus of typical chernozem when fertilizing and the effectiveness of cultivated crops]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2017;(2 (26)):131-143. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29149337>
19. Paramonov A. V., Fedyushkin A. V., Medvedeva V. I. *Izmenenie soderzhaniya i zapasov gumusa v chernozeme obyknovennom v zavisimosti ot primenyaemykh sistem udobreniy*. [Change in humus content and stocks in typical chernozem depending on the applied fertilizer systems]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(4 (66)):24-28. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009109>
20. Paramonov A. V., Fedyushkin A. V., Pas'ko S. V., Medvedeva V. I. *Vliyanie sistematicheskogo primeneniya udobreniy v devyatiopol'nom zernoparopropashnom sevooborote na balans gumusa (S) v chernozeme obyknovennom*. [Influence of the systematic use of fertilizers in a nine-field grain-crop crop rotation on the balance of humus (C) in typical chernozem]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(9): 9-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10902>
21. Zamyatin S. A., Izmest'ev V. M. *Vliyanie kul'tur sevooborota na srednegodovoe postuplenie rastitel'nykh ostatkov za rotatsiyu sevooborotov*. [The effect of crop rotation on the average annual intake of crop residues from crop rotation]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter "Agriculture. Economics". 2016;(1(5)):18-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125254>
22. Zamyatin S. A., Yamalieva A. M. *The effect of crop rotation on the distribution of root rot of crops*. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter "Agriculture. Economics". 2016;(1(5)):22-25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125255>

Сведения об авторах

✉ **Замятин Сергей Анатольевич**, кандидат с.-х. наук, зав. отделом Марийского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3999-9179>, e-mail: zamyatin.ser@mail.ru

Ефимова Александра Юрьевна, младший научный сотрудник Марийского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru

Максуткин Сергей Аркадьевич, старший научный сотрудник Марийского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru

Information about the authors

✉ **Sergei A. Zamyatin**, PhD in Agricultural science, **Head of the Department**, Mari Agricultural Research Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3999-9179>, e-mail: zamyatin.ser@mail.ru

Aleksandra Yu. Efimova, junior researcher, Mari Agricultural Research Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru

Sergey A. Maksutkin, senior researcher, Mari Agricultural Research Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author