https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.613-622
УДК 631.582:631.57:633.2(470.343)

(cc) BY

Накопление пожнивно-корневых остатков и питательных элементов в кормовых севооборотах

© 2019. А. К. Свечников✉
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

С 2001 по 2018 годы в условиях Республики Марий Эл изучали шестипольные кормовые севообороты с 1-3 полями бобово-злаковых трав. Проведена оценка количества запахиваемых пожнивно-корневых остатков (ПКО) и питательных элементов, поступивших с ними в почву, при различных уровнях внесения минеральных удобрений (N60P60K60 и N90P90K90 в 1-й и 2-й ротациях, N60P60K60 и P60K60 (в 3-й ротации). В период исследований содержание общего азота в дерново-подзолистой почве увеличилось с 0,15 до 0,28%, гумуса – с 1,82 до 2,53%. Питательных веществ ПКО в слой почвы 0-20 см больше всего было запахано в кормовом севообороте при одногодичном использовании многолетних трав. В среднем за 3 ротации в этот севооборот поступило: сухого вещества – 35,2 т/га, азота – 559 кг/га, фосфора – 231 кг/га и калия – 338 кг/га. Повышение обеспеченности почвы общим азотом и гумусом увеличило накопление растительных остатков и питательных элементов в 3-й ротации до 49,9 т/га, 821 кг/га, 321 и 496 кг/га соответственно. При этом существенных различий между фонами внесения удобрений не выявлено. В структуре изученных севооборотов наибольший вклад в пополнении питательных элементов в почве через запахивание ПКО внесла клеверо-люцерно-тимофеечная травосмесь: 10,1 т сухого вещества, 199 кг азота, 89 кг фосфора и 115 кг калия на 1 га пахотного слоя почвы. Включение поукосной горчицы после озимой ржи обеспечило почти равноценное с клеверо-люцерно-тимофеечной травосмесью количество запахиваемых ПКО.

Ключевые слова: *культуры севооборотов, многолетние травы, ротация, питательные элементы, сухое вещество*

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

***Конфликт интересов*:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Свечников А. К. Накопление пожнивно-корневых остатков и питательных элементов в кормовых севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(6):613-622. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.613-622

Поступила: 07.03.2019 Принята к публикации: 01.11.2019 Опубликована онлайн: 16.12.2019

Accumulation of root-stubble residues and nutrients in feed crop rotations

© 2019. Alexander K. Svechnikov✉
Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation

From 2001 to 2018 in Mari El Republic six-field fodder crop rotations including 1-3 fields of legume-cereal grasses were studied. The amount of plowed root-crop residues and nutrients entering the soil was assessed at different levels of minerals application (N60P60K60 and N90P90K90 in the 1st and 2 nd rotations, N60P60K60 и P60K60 in the 3rd rotation). During the research the total nitrogen content in sod-podzolic soil increased from 0.15% to 0.28%, the humus content raised from 1.82% to 2.53%. The largest amount of root-crop residues nutrients was plowed into 0 -20 cm soil layer during the fodder crop rotation at the 1-year use of the perennial grasses. On the average, it received 35.2 t/ha of dry matter, 560 kg/ha of nitrogen, 231 kg/ha of phosphorus and 338 kg/ha of potassium over 3 rotations. An increase in supply of soils with nitrogen and humus in the 3rd rotation raised the plant residues and nutrients accumulation to 49.9 t/ha, 821 kg/ha, 321 kg and 496 kg/ha, respectively. No significant differences were found between the fertilization backgrounds. In the structure of studied crop rotations clover-alfalfa-timothy grass mixture has made the greatest contribution to in the replenishment of nutrient elements by plowing up the root-crop residues: 10.1 tons of dry matter, 199 kg of nitrogen, 89 kg of phosphorus and 115 kg/ha of potassium. Using postcut mustard after winter rye provided almost the same amount of plowed root-crop residues as clover-alfalfa-timothy grass mixture.

Key words: *crop rotation crops, perennial grasses, rotation, nutritional elements, dry matter*

***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*:** Svechnikov A. K. Accumulation of root-stubble residues and nutrients in feed crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019; 20(6):613-622. (In Russ.). https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.613-622

Received: 07.03.2019 Accepted for publication: 01.11.2019 Published online: 16.12.2019

Ученые Марийского НИИСХ отмечают [1], что проблема органического вещества – важнейшего фактора плодородия, особо остро стоит для почв Нечерноземной зоны РФ, которые от природы бедны им и, вследствие этого, малопродуктивны. В современных зарубежных [2, 3, 4, 5, 6] и отечественных [7, 8] исследованиях подчёркивается ключевая роль пожнивно-корневых остатков (ПКО), запахиваемых в почву, в круговороте углерода и других элементов питания растений, пополнении их запасов. Они обеспечивают структурную устойчивость почв и формируют целые сообщества из почвенных организмов [3, 4, 5]. Кроме того, азот из растительных остатков вымывается в меньшей степени, чем из минеральных удобрений [9]. В результате положительное влияние ПКО на сельскохозяйственные культуры иногда может быть даже более выраженным по сравнению с органическими удобрениями [10, 11].

Лучше всего потенциал использования ПКО проявляется в севообороте, за счёт чего улучшаются питательные ресурсы почвы и эффективность их использования, сокращается потребность в органических и минеральных удобрениях [12, 13]. Выяснению количества питательных веществ ПКО и их последействию в севооборотах уделяют внимание не только в органических системах земледелия [13]. Количество питательных веществ в ПКО сильно варьирует, поскольку определяется различиями между отдельными видами растений, почвенным плодородием, погодными и другими условиями.

Известно, что больше всего растительных остатков и накопленных в них питательных веществ (особенно азота) остаётся после многолетних бобовых и бобово-злаковых трав. Бактерии в клубеньках корней бобово-злаковых трав способны продуцировать количество азота, двукратно превышающее содержание в корнях других культур [14, 15]. В обзорных российских публикациях [7, 8] продемонстрирована высокая степень изученности многолетних бобовых и бобово-злаковых трав во многих регионах России, отмечено их положительное влияние на последующие культуры в различных севооборотах, приведены данные по количеству производимых ПКО и заключённых в них веществ. В условиях Республики Марий Эл подобные исследования проводили только в полевых севооборотах [1].

Цель исследований – провести сравнительную оценку кормовых севооборотов по количеству запахиваемых растительных остатков и содержащихся в них питательных элементов при различных уровнях внесения минеральных удобрений.

Материал и методы. Исследования проводили с 2001 по 2018 гг. на стационарном участке опытного поля Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Расположение делянок систематическое, севообороты развёрнуты во времени, повторность четырёхкратная. Почва участка дерново-подзолистая с повышенным для Республики Марий Эл содержанием питательных элементов (табл. 1).

Схема опыта включала следующие варианты:

Фактор А – севообороты.

I_A – Первый севооборот:

1. Однолетние травы (вика + овёс) с подсевом многолетних трав (клевер + + люцерна + тимофеевка).
2. Многолетние травы 1 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
3. Озимая рожь на зелёный корм + + поукосно горчица.
4. Ячмень на фуражные цели.
5. Однолетние травы (вика + овёс) + + поукосно горчица.
6. Силосные (вика + овес + подсолнечник).

II_A – Второй севооборот:

1. Однолетние травы (вика + овёс) с подсевом многолетних трав (клевер + + люцерна + тимофеевка).
2. Многолетние травы 1 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
3. Многолетние травы 2 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
4. Озимая рожь на зелёный корм + + поукосно горчица.
5. Ячмень на фуражные цели.
6. Однолетние травы (вика + овёс) + + поукосно горчица.

III_A – Третий севооборот:

1. Однолетние травы (вика + овёс) с подсевом многолетних трав (клевер + + люцерна + тимофеевка).
2. Многолетние травы 1 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
3. Многолетние травы 2 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
4. Многолетние травы 3 г.п. (клевер луговой + + люцерна + тимофеевка).
5. Озимая рожь на зелёный корм + поукосно горчица.
6. Ячмень на фуражные цели.

Во втором варианте (II_A) использование многолетней травосмеси двухлетнее, а в третьем (III_A) – трехлетнее.

Фактор В – доза внесения минеральных удобрений:

I_B – рекомендуемая доза: N60P60K60;

II_B – измененные:

II_{B90} – N90P90K90 (1, 2 ротация);

II_{B-N} – P60K60 (3 ротация).

Таким образом, первый вариант (I_B) внесения минеральных удобрений был неизменным весь период исследований (N60P60K60 в рекомендуемых дозах). Во втором варианте (II_B) в течение первых двух ротаций применяли повышенные дозы (N90P90K90), а в третью ротацию – сниженные до рекомендуемых при исключении азота (P60K60). Следует также учесть, что азотные удобрения не вносили под многолетние бобово-злаковые травы.

Отбор почвенного пласта с ПКО производили рамочным способом по методу Н. З. Станкова[1] с последующей отмывкой (преимущественно учитывали живые ткани). Глубина слоя почвы для взятия корней – до 20 см. Все пробы на определение агрохимического состава почвы (содержание гумуса – ГОСТ 26213-84, общего N – ГОСТ 26107-84, P_2O_5 – колориметрическим методом, K_2O – ГОСТ 26207-84, $pH_{сол}$ – ГОСТ 26483-85) отбирали перед посевом до внесения минеральных удобрений. Данные обработаны методом дисперсионного анализа[2].

По уровню влагообеспеченности вегетационные периоды в годы исследований были, большей частью, удовлетворительными и благоприятными для возделываемых культур (ГТК с 2001 по 2018 г. находился в следующей последовательности: 1,1; 0,6; 1,1; 1,0; 1,0; 1,4; 1,2; 1,6; 0,8; 0,6; 1,2; 1,4; 1,3; 0,9; 1,3; 0,7; 1,5; 1,0). Для поукосных посевов горчицы (второй севооборот) некоторые годы были очень неблагоприятными, а в 2010 году из-за сильной летней засухи вовсе не было получено урожая.

Результаты и их обсуждение. Изменения основных агрохимических показателей почвы опытного участка за 18 лет исследований представлены в таблице 1. В целом, плодородие почвы опытного участка кормовых севооборотов улучшалось. В первые годы исследований оно резко снижалось, а к концу 1-ой ротации восстанавливалось до первоначального уровня. Содержание подвижного фосфора (840 мг/кг) и общего азота (0,15%) в начале исследований было высоким для дерново-подзолистой почвы, а во вторую-третью ротации достигло 880-860 мг/кг почвы и 0,25-0,28% соответственно. Содержание гумуса с 2004 по 2018 год увеличивалось от 1,77 до 2,53%. Обеспеченность обменным калием (190…198 мг/кг) и кислотность почвы (4,95…5,13 единиц pH) с 2004 года незначительно варьировали и были оптимальными для возделываемых культур.

Таблица 1 – **Динамика агрохимических характеристик почвы опытного участка /**
Table 1 – **The evolution of agrochemical properties of soil on the experimental site**

Показатель / Indicator	*2001 г.*	*2004 г.*	*2006 г.*	*2012 г.*	*2018 г.*
P_2O_5, мг/кг / P_2O_5, m/kg	840±11	759±27	820±19	880±23	860±29
K_2O, мг/кг / K_2O, m/kg	200±2	190±5	196±3	198±3	195±5
Общий азот, % / Total nitrogen, %	0,15±0,01	0,1±0,01	0,15±0,01	0,25±0,03	0,28±0,04
Гумус, % / Humus, %	1,82±0,07	1,77±0,05	1,89±0,06	2,39±0,10	2,53±0,15
$pH_{сол.}$ / $pH_{of\ salt\ solution}$	5,25±0,05	5,13±0,06	4,95±0,04	5,0±0,09	5,0±0,08

Улучшение агрохимических свойств было наиболее выраженным по азоту, а особенно гумусу. Как и в других исследованиях [16], данная тенденция проявилась благодаря длительному применению минеральных удобрений и накоплению массы пожнивно-корневых остатков культурами севооборотов. Поскольку внесение органических удобрений не предусматривалось в опыте, а в качестве основного источника азота служили минеральные удобрения, ведущая роль в восполнении гумуса почвы принадлежала ПКО. Данного вывода придерживаются многие учёные [17, 18, 19].

[1]Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 280 с.
[2]Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Несмотря на то, что в опыте два уровня внесения удобрений, существенных различий между ними по сумме запаханных питательных веществ в виде ПКО за весь период исследований не отмечено (табл. 2). Они проявились при оценке совокупности всех вариантов фактора А опыта, или севооборотов. Известно, что содержание углерода в ПКО зависит от количества сухого вещества и обычно фиксируется на уровне 43% [20]. В наших исследованиях максимум и минимум количества сухого вещества в запаханных остатках 35,6 и 23,9 т/га, а углерода 15 и 10 т/га соответственно были зафиксированы по фону удобрений I_B в соответствующих севооборотах I_A и III_A. Первый вариант севооборота, включающий наибольшее количество полей с последующим оборотом пласта, превосходил остальные по накоплению ПКО в среднем на 10,4 т/га (около 4,5 т/га углерода), или 42%. Однако это не объясняет того, что различия данных между севооборотами II_A и III_A находятся лишь в пределах ошибки опыта.

Таблица 2 – **Количество элементов питания в биомассе запаханных ПКО, в среднем за 3 ротации севооборотов (2002-2018 гг.) /**
Table 2 – **The amount of nutrients in the biomass of plowed root-stubble residues (RSR), average for 3 rotations of crop rotations (2002-2018)**

Вариант / Option	*Сбор сухого вещества ПКО, т/га / RSR dry matter yield, t/ha*			*Элементы питания, кг/га / Nutrients, kg/ha*								
				N			*P_2O*			*K_2O*		
	I_B	II_B	$\bar{x}_B$	I_B	II_B	$\bar{x}_B$	I_B	II_B	$\bar{x}_B$	I_B	II_B	$\bar{x}_B$
I_A	35,6	34,8	35,2	541	576	559	221	240	231	363	410	387
II_A	24,2	24,6	24,4	532	457	495	246	228	237	276	255	266
III_A	23,9	26,7	25,3	295	305	300	164	193	179	263	280	272
$\bar{x}_A$	27,9	28,7	28,3	456	446	451	210	220	215	301	315	308
HCP_{05} / LSD_{05}	12,2			125			67			91		
HCP_{05} (A) / LSD_{05} (A)	9,1			95			40			71		

Сухая масса запахиваемых ПКО, в зависимости от севооборота, может оказать большее влияние на накопление калия в почве, чем азота и фосфора. Так, суммарное количество K_2O в ПКО севооборота I_A было на 121-115 кг/га, или 42-46% выше, чем в остальных севооборотах (266-272 кг/га). Севообороты I_A и II_A превосходили севооборот III_A по количеству поступивших в почву в составе ПКО элементов питания: азота – на 195-259 кг/га (61-86%), фосфора – на 52-59 кг/га (29-33%). На основе данных таблицы 2 выделен вариант I_A в качестве наиболее продуктивного севооборота по накоплению ПКО и питательных элементов в почве. В нем было сформировано 35,2 т сухого вещества, с которым поступило 559 кг азота, 231 кг фосфора и 387 кг калия на 1 гектар пашни.

В последнюю ротацию кормовых севооборотов исключение внесения минерального азота и приведение доз фосфорно-калийных удобрений до рекомендуемых в варианте $II_{B\text{-}N}$ не привело к существенному снижению поступления питательных веществ ПКО в почву (табл. 3).

Таблица 3 – **Количество элементов питания в биомассе запаханных ПКО, 3 ротация севооборотов (2014-2018 гг.) /**
Table 3 – **The number of nutrients in the plowed RSR biomass, 3rd rotation of crop rotations (2014-2018)**

Вариант / Option	*Сбор сухого вещества ПКО, т/га / RSR dry matter yield, t/ha*			*Элементы питания, кг/га / Nutrients, kg/ha*								
				N			*P_2O_5*			*K_2O*		
	I_B	$II_{B\text{-}N}$	$\bar{x}_B$	I_B	$II_{B\text{-}N}$	$\bar{x}_B$	I_B	$II_{B\text{-}N}$	$\bar{x}_B$	I_B	$II_{B\text{-}N}$	$\bar{x}_B$
I_A	52,0	47,7	49,9	816	827	821	314	328	321	521	472	496
II_A	38,5	42,0	40,3	831	719	775	394	359	377	426	400	413
III_A	22,8	25,3	24,0	374	337	356	203	213	208	177	191	184
$\bar{x}_A$	37,8	38,3	38,1	674	628	651	304	300	302	374	354	364
HCP_{05} / LSD_{05}	11,2			136			74			84		
HCP_{05} (A) / LSD_{05} (A)	8,8			107			58			66		

Накопление биомассы пожнивно-корневых остатков (38,1 т/га) и количество питательных веществ ПКО, поступивших в почву за 3-ю ротацию кормовых севооборотов (651 кг/га азота, 302 кг/га фосфора и 364 кг/га калия), было заметно выше, чем в среднем за 3 ротации (28,3 т/га; 451, 215, 308 кг/га соответственно). Такой результат стал ожидаемым вследствие повышения общего плодородия почвы к данному периоду и увеличения биомассы ПКО. Схожие заключения получены в работах учёных из Северной Америки [21]. Самое высокое увеличение количества биомассы ПКО и заключенных в них элементов питания (на 55-70% по сравнению со средними данными за три ротации, табл. 2) произошло в севообороте II_A, где многолетние бобово-злаковые травы использовались 2 года. В варианте I_A оно составило немного меньше (на 30-45%). В севообороте III_A повышение на уровне 16% отмечено только по количеству N и P_2O_5 в биомассе ПКО, главным образом потому, что число культур в структуре этого севооборота, после которых применялась вспашка стерни, было наименьшим по опыту. Для большинства культур в третью ротацию складывались не вполне благоприятные погодные условия. Вследствие этого сухая масса запаханных ПКО снизилась незначительно (на 5%), а количество K_2O в ней – существенно (на 32%). Наиболее вероятная причина значительного сокращения накопления калия в запахиваемых растительных остатках – это его небольшой отрицательный баланс в почве, который вызван высоким выносом K_2O с зелёной массой культур севооборота. Внесение калия в виде минеральных удобрений недостаточно восполняло его дефицит. В итоге разница между севооборотами III_A и I_A по накоплению калия в ПКО усилилась, а между севооборотами II_A и I_A – сравнялась. В первых двух кормовых севооборотах (I_A и II_A) сумма сухой массы запаханных ПКО на 1 га в слое почвы 0-20 см за третью ротацию составила 40,3-49,9 т, общего азота – 775-821 кг, фосфора – 321-377 кг. Калия в ПКО севооборота I_A содержалось на 80 кг/га (на 20%) больше, чем во II_A (413 кг/га). Севооборот III_A уступал I_A и II_A по сбору сухого вещества в запаханных ПКО не менее чем в 1,7 раза, азота – 2,2, фосфора – 1,8, а калия – 2,2 раза.

Выбор вида шестилетнего кормового севооборота немного повлиял на количество запахиваемых в почву ПКО и поступление с ними азота и калия. Вклад каждого запахиваемого поля севооборота в формировании ПКО можно проследить с помощью ежегодного учёта (табл. 4). В таблице представлены данные первых трёх лет запахивания ПКО в третьей ротации (приведено сравнение только тех культур, которые присутствовали во всех севооборотах).

Поле – клеверо-люцерно-тимофеечная смесь. Количество сухой массы запахиваемых ПКО многолетней бобово-злаковой смеси во всех вариантах находилось в пределах 8,0…11, 2 т/га (в среднем – 10,5). В отличие от утверждений ряда ученых [8, 22], в наших исследованиях не выявлено возрастания массы растительных остатков травосмеси с увеличением срока выращивания многолетних трав.

Количество азота в растительных остатках клеверо-люцерно-тимофеечной смеси, в отличие от сухого вещества, различалось по изучаемым факторам (севооборот и удобрения). Во II севообороте (II_A) при схеме внесения удобрений I_B в первый год запахивания ПКО в почву поступило самое большое количество азота – 279 кг/га. В данном севообороте (II_A) отказ от внесения минерального азота ($II_{B\text{-}N}$) привел к снижению поступления элемента примерно на 48%. На данное изменение повлияла и высокая засорённость посевов (свыше 50% по массе) во втором году пользования многолетних трав, поэтому масса их ПКО уменьшилась. В других севооборотах (I_A и III_A) по фактору В не было заметных различий по накоплению азота ПКО. При внесении N60P60K60 (I_B) двухлетнее использование многолетних бобово-злаковых трав (II_A) превосходило трёхлетнее (III_A) по количеству азота ПКО в два раза. В III севообороте снижение поступления азота ПКО произошло в результате замещения основной культуры травосмеси сорной растительностью (свыше 90% по массе) на третий год использования травосмеси.

Содержание фосфора в ПКО многолетней травосмеси на 1 га пашни было самым низким (72-82 кг) при ее однолетнем (I_A) и двухлетнем использовании (II_A, без внесения минерального азота – $II_{B\text{-}N}$). При внесении NPK (I_B) в севообороте II_A количество фосфора в ПКО получено около 104 кг/га, в варианте III_A данного элемента было столько же. Уровень внесения минеральных удобрений в севообороте с трёхлетним использованием клеверо-люцерно-тимофеечной смеси (III_A) никак не повлиял на содержание P_2O_5 в составе ПКО.

Таблица 4 – **Ежегодное количество элементов питания в биомассе запаханных ПКО в 3-й ротации севооборотов (первые 3 года запахивания (2014-2018 гг.) /**
Table 4 – **The yearly amount of nutrients in the plowed RSR biomass in the 3rd rotation of crop rotations, the 1st three years of plowing (2014-2018)**

Культура севооборота / Culture of crop rotation	*Сбор сухого вещества ПКО, т/га / Residue dry matter yield, t/ha*		*Элементы питания, кг/га / Nutrients, kg/ha*					
			N		P_2O_5		K_2O	
	I_B	$II_{B\text{-}N}$	I_B	$II_{B\text{-}N}$	I_B	$II_{B\text{-}N}$	I_B	$II_{B\text{-}N}$
I севооборот (I_A) / I crop rotation (I_A)								
Клеверо-люцерно-тимофеечная смесь / Clover-alfalfa-timothy mixture	10,5±1,6	10,6±1,3	200±34	227±41	72±12	82±17	114±18	89±14
Озимая рожь на з/к + поукосно горчица / Winter rye and postcut mustard	10,1±2,1	8,8±2,7	99±22	91±17	52±11	45±7	77±18	70±5
Яровой ячмень на зерно / Spring barley for grain	6,8±1,2	5,6±1,5	76±9	70±6	33±2	30±4	74±5	81±13
Среднее	9,1±1,3	8,3±1,4	125±13	129±11	52±6	52±7	88±11	80±9
II севооборот (II_A) / II crop rotation (II_A)								
Клеверо-люцерно-тимофеечная смесь / Clover-alfalfa-timothy mixture	10,8±2,4	8,0±2	279±41	188±48	104±18	73±7	154±14	117±15
Озимая рожь на з/к + поукосно горчица / Winter rye and postcut mustard	12,0±1,7	16,2±2	229±44	240±31	129±12	138±20	132±18	149±6
Яровой ячмень на зерно / Spring barley for grain	2,0±0,2	3,8±0,2	47±5	55±7	30±2	26±2	12±1	13±1
Среднее	8,3±1,1	9,1±1,3	185±6	161±21	88±8	79±5	99±11	93±6
III севооборот (III_A) / III crop rotation (III_A)								
Клеверо-люцерно-тимофеечная смесь / Clover-alfalfa-timothy mixture	9,7±2,1	11,2±1,5	146±22	153±25	103±15	102±10	109±11	112±18
Озимая рожь на з/к + поукосно горчица / Winter rye and postcut mustard	9,4±1,4	9,6±1,2	171±17	128±26	70±7	69±14	28±4	29±6
Яровой ячмень на зерно / Spring barley for grain	3,7±0,6	4,5±0,5	58±11	56±10	30±7	43±7	40±7	51±14
Среднее	7,6±1,1	8,4±0,7	125±6	112±18	68±7	71±5	59±1	64±13

Количество K_2O в ПКО травосмеси не превышало уровня 117 кг/га, кроме варианта с азотом (I_B) в севообороте II_A (154 кг/га).

В итоге можно заключить, что наибольшее содержание элементов питания запахиваемых растительных остатков травосмеси было получено после их двухлетнего использования (II_A) при полном внесении минеральных удобрений (I_B).

Поле – озимая рожь на з/к + поукосно горчица. Основная масса ПКО поля состояла из растительных остатков озимой ржи. Доля горчицы в различных вариантах не превышала 40%. Количество сухого вещества запаханных ПКО в основном находилось в пределах 8,8...12,0 т/га. Только в кормовом севообороте с двумя полями бобово-злаковых трав (II_A) без внесения азотных удобрений ($II_{B\text{-}N}$) достигнут наивысший по опыту уровень – 16,2 т/га. Это можно объяснить следующим образом. Ранее упоминалось, что в почву данного севооборота было запахано наименьшее количество остатков клеверо-люцерно-тимофеечной смеси. Результатом стал пониженный вынос питательных веществ. Внесение минеральных удобрений дополнительно увеличило поступление питательных элементов в почву. Однако самую существенную прибавку ПКО в этом

поле внесла вынужденная запашка посевов горчицы по причине засушливой (ГТК в период вегетации горчицы в 2016 году менее 0,5) погоды, повлёкшей за собой невозможность уборки механизированным способом (высота стеблей до 20 см). Таким образом, выращивание промежуточной культуры (горчицы) в годы с недостаточным увлажнением в качестве сидерата после озимой ржи позволило превзойти клеверо-люцерно-тимофеечную смесь по содержанию сухого вещества в ПКО.

Количество аккумулированных элементов питания, как и сухого вещества, в запаханных ПКО из озимой ржи и горчицы было самым высоким во II кормовом севообороте (II_A). Обычно растениям горчицы свойственна высокая концентрация элементов питания, особенно азота и фосфора [23], но в наших исследованиях наблюдалась схожая ситуация и по калию. Так, в севообороте II_A в ПКО ржи и горчицы, запаханных в слое почвы 0-20 см, содержалось 229-240 кг N, 129-138 кг P_2O_5 и 132-149 кг K_2O на 1 га пашни – это больше, чем в севообороте I_A примерно в 2,5 раза, III_A – в 1,5 раза (по K_2O – в 5 раз). Их количество существенно не зависело от фактора В (удобрения). Низкое содержание K_2O в севообороте III_A обусловлено вымыванием внесённого хлористого калия вместе с другими подвижными компонентами почвы регулярными обильными осадками 2017 года.

Поле – яровой ячмень на зерно. Яровой ячмень на зерно в агроклиматических условиях Республики Марий Эл – культура, после которой редко размещают промежуточные посевы. К тому же после его возделывания обычно остаётся лишь 2-3 т/га сухого вещества ПКО [24]. В наших исследованиях в поле сформировалось всего 2-7 т/га сухого вещества ПКО в слое почвы 0-20-см. Самые высокие результаты по накоплению сухого вещества ПКО ячменя (5,6-6,8 т/га) получены в севообороте I_A при достаточном весеннем запасе влаги, несмотря на засушливое лето. Количество аккумулированных в ПКО ячменя элементов питания, независимо от внесения азота, находилось на уровне: N – 70-76 кг, P_2O_5 – 30-33 кг, K_2O – 74-81 кг на 1 га. В севообороте III_A эти показатели (кроме P_2O_5) были на 20-46% ниже. Вследствие упомянутых выше погодных условий 2017 года в севообороте II_A было сформировано наименьшее количество сухого вещества в ПКО ячменя (2,0-3,8 т/га) и содержащегося в нем калия (12-13 кг/га). Также стоит отметить, что в севообороте II_A в варианте без внесения азота ($II_{B\text{-}N}$) было накоплено в 1,9 раза больше сухого вещества ПКО, чем при внесении полного минерального удобрения (I_B). Ключевую роль в этом сыграло предшествующее поле (озимая рожь на з/к + поукосно горчица) с самым большим количеством оставленных в почве ПКО по опыту.

По итогам первых трёх лет запахивания стерни среднегодовое количество сухого вещества ПКО между вариантами не имело существенных различий и находилось в пределах 7,6…9,1 т/га. Наибольшее количество питательных элементов ПКО было сформировано в кормовом севообороте, где клеверо-люцерно-тимофеечная смесь использовалась два года (II_A). Среднегодовое поступление азота составило 161-185 кг/га, P_2O_5 – 79-88 кг/га, K_2O – 93-99 кг/га. Повышенные показатели отчасти обусловлены использованием горчицы в севообороте II_A в качестве сидерата, несмотря на очень низкую урожайность её надземной массы. Так, поступившее с ПКО количество K_2O в севообороте II_A было на 14% выше, чем в I_A (в пределах ошибки их средних), азота – на 40%, чем в I_A и III_A, и фосфора – на 60-20%, чем в I_A и III_A соответственно. Отказ от внесения азота (вариант $II_{B\text{-}N}$) не привёл к существенному снижению накопления ПКО за 3 года исследований. Этого не произошло, во-первых, благодаря восполнению бобово-злаковыми травами азота и гумуса в почве и, во-вторых, из-за последействия минеральных удобрений, внесенных в предыдущие две ротации в повышенных дозах (N90P90K90). В целом, различия между представленными трёхгодичными данными были невысокими.

Таким образом, на основании данных таблиц 2-4, наиболее существенное накопление ПКО в изученных севооборотах нами фиксировалось при увеличении числа полей с запашкой стерни.

Выводы. Шестипольные кормовые севообороты, независимо от насыщения многолетними бобово-злаковыми травами, при внесении минеральных удобрений в дозе N60P60K60 и выше способствовали повышению плодородия дерново-подзолистой почвы в условиях Республики Марий Эл. За 18-летний период исследований отмечено значительное увеличение содержания азота и гумуса в почве. Самое высокое количество питательных веществ ПКО запахивалось в севообороте

с одним полем клеверо-люцерно-тимофеечной смеси. Снижение доз внесения удобрений с N90P90K90 к третьей ротации севооборотов до P60K60 не привело к существенному уменьшению поступления питательных веществ с ПКО. При поукосном выращивании горчицы после озимой ржи на зелёную массу количество запахиваемых ПКО за год было таким же высоким, как и у клеверо-люцерно-тимофеечной смеси.

Список литературы

1. Замятин С. А., Изместьев 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

2. 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

3. 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

4. Bardgett R. D., Mommer L., De Vries 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

5. 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

6. 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_ricewheat_system_A_review

7. Фигурин В. А. Выращивание многолетних трав на корм. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2013. 188 с.

8. 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

9. Torma S., Vilček J., Lošak T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2018;68(4):358-366. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134

10. 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

11. Тишков Н. М., Назарько А. Н. Надземные растительные остатки подсолнечника – источник пополнения органическим веществом и элементами питания чернозёма типичного. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015;(1 (161)):57-71. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24037001

12. 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

13. Brankatschk G., Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints. Agronomy for Sustainable Development. 2017;37:58. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-017-0464-4

14. Gan Y. T., Hamel C., O'Donovan J. T., Cutforth H., Zentner R. P., Campbell C. A., Niu Y. N., Poppy L. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. Sci. Rep. 2015;(5):14625. DOI: https://doi.org/10.1038/srep14625

15. Niu Y., Bainard L. D., Bandara M., Hamel C., Gan Y. Soil residual water and nutrients explain about 30% of the rotational effect in 4-yr pulse-intensified rotation systems. Canadian Journal of Plant Science. 2017;97 (5):852-864. DOI: https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0282

16. Козлова Л. М., Рубцова Н. Е., Соболева Н. Н. Трансформация органического вещества агродерново-подзолистых почв Евро-Северо-Востока. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;(6 (49)):47-53. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24484209

17. Mariaselvam A. A., Dandeniya W. S., Indraratne S. P., Dharmakeerthi R. S. High C/N materials mixed with cattle manure as organic amendments to improve soil productivity and nutrient availability. Tropical Agricultural Research. 2015;(25 (2)):201-213. DOI: https://doi.org/10.4038/tar.v25i2.8142

18. Li W., Chen H., Cao C., Zhao Z., Qiao Y., Du S. Effects of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen dynamics in a vertisol in Eastern China. Open Journal of Soil Science. 2018;8(3):99-117. DOI: https://doi.org/10.4236/ojss.2018.83008

19. Халин А. В., Бакиров Ф. Г., Нестеренко Ю. М., Поляков Д. Г. Оценка влияния культур и звеньев севооборотов на количество органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками,

на черноземах южных Оренбургской области. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016;(1):1-8. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=25680993

20. Zhang J., Wang X., Wang J., Wang W. Carbon and Nitrogen Contents in Typical Plants and Soil Profiles in Yanqi Basin of Northwest China. Journal of Integrative Agriculture. 2014;13(3):648-656. DOI: https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60723-6

21. Изместьев В. М., Свечников А. К. Соколова Е. А. Влияние многолетних бобово-злаковых трав на продуктивность кормовых севооборотов. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017;3(3):28-32. Режим доступа: http://agroeconom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1437

22. Gramss G., Voigt K. D. Turnover of minerals and organics in the postharvest herbage of annuals and perennials: Winter Wheat and Goldenrod. Agriculture. 2018;(8 (11)):170. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture8110170

23. Dubey R. K. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017;6(8):3319-3331. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.396

24. Борисова Е. Е. Роль в севооборотах многолетних трав. Вестник НГИЭИ. 2015;(8 (51)):12-19. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24306721

References

1. Zamyatin S. A., Izmest'ev V. M. *Vliyanie kul'tur sevooborota na srednegodovoe postuplenie rastitel'nykh ostatkov za rotatsiyu sevooborotov*. [Influence of crop rotation on average annual entry of plant residues per one 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

2. 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

3. 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

4. Bardgett R. D., Mommer L., De Vries 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

5. 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

6. 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

7. Figurin V. A. *Vyrashchivanie mnogoletnikh trav na korm*. [Cultivation of perennial feed grasses]. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2013. 188 p.

8. Mudrykh N. M., Samofalova I. A. *Opyt ispol'zovaniya rastitel'nykh ostatkov v pochvakh Nechernozemnoy zony Rossii (obzor)*. [On to the experience of the usage of plant residues in soils of Non-Black soil 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

9. Torma S., Vilček J., Lošak T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2018;68(4):358-366. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134

10. Kuznetsova L. N. *Nakoplenie kornevoy massy i pozhnivnykh ostat-kov rasteniyami yachmenya v plodosmennom i zernopropashnom sevooborotakh*. [Accumulation of root mass and residues of barley plants in fruit-changing and grain and grass crop rotations]. *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

11. Tishkov N. M., Nazar'ko A. N. *Nadzemnye rastitel'nye ostatki podsolnechnika – istochnik popolneniya organicheskim veshchestvom i elementami pitaniya chernozema tipichnogo*. [Above-ground residues of sunflower as a source of replenishment typical chernozem with organic matter and nutrients]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2015;(1 (161)):57-71. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24037001

12. 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

13. Brankatschk G., Finkbeiner M. Crop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints. Agronomy for Sustainable Development. 2017;37:58. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-017-0464-4

14. Gan Y. T., Hamel C., O'Donovan J. T., Cutforth H., Zentner R. P., Campbell C. A., Niu Y. N., Poppy L. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. Sci. Rep. 2015;(5):14625. DOI: https://doi.org/10.1038/srep14625

15. Niu Y., Bainard L. D., Bandara M., Hamel C., Gan Y. Soil residual water and nutrients explain about 30% of the rotational effect in 4-yr pulse-intensified rotation systems. Canadian Journal of Plant Science. 2017;97 (5):852-864. DOI: https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0282

16. Kozlova L. M., Rubtsova N. E., Soboleva N. N. *Transformatsiya organicheskogo veshchestva agrodernovo-podzolistykh pochv Evro-Severo-Vostoka*. [Transformation of organic matter of sod-podzolic soils in Euro-North-East]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2015;(6 (49)):47-53. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24484209

17. Mariaselvam A. A., Dandeniya W. S., Indraratne S. P., Dharmakeerthi R. S. High C/N materials mixed with cattle manure as organic amendments to improve soil productivity and nutrient availability. Tropical Agricultural Research. 2015;(25 (2)):201-213. DOI: https://doi.org/10.4038/tar.v25i2.8142

18. Li W., Chen H., Cao C., Zhao Z., Qiao Y., Du S. Effects of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen dynamics in a vertisol in Eastern China. Open Journal of Soil Science. 2018;8(3):99-117. DOI: https://doi.org/10.4236/ojss.2018.83008

19. Khalin A. V., Bakirov F. G., Nesterenko Yu. M., Polyakov D. G. *Otsenka vliyaniya kul'tur i zven'ev sevooborotov na kolichestvo organicheskogo veshchestva, postupayushchego v pochvu s rastitel'nymi ostatkami, na chernozemakh yuzhnykh Orenburgskoy oblasti*. [Assessment of effect of cultures and links of crop rotations on organic matter entering the soil with plant residues on Southern Chernozems in Orenburg region]. *Byulleten' Orenburgskogo na-uchnogo tsentra UrO RAN*. 2016;(1):1-8. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25680993

20. Zhang J., Wang X., Wang J., Wang W. Carbon and Nitrogen Contents in Typical Plants and Soil Profiles in Yanqi Basin of Northwest China. Journal of Integrative Agriculture. 2014;13(3):648-656. DOI: https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60723-6

21. Izmest'ev V. M., Svechnikov A. K. Sokolova E. A. *Vliyanie mnogoletnikh bobovo-zlakovykh trav na produktivnost' kormovykh sevooborotov*. [Influence of perennial legume-cereal grasses on the productivity of fodder crop rotations]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter "Agriculture. Economics". 2017;3(3):28-32. (In Russ.). URL: http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1437

22. Gramss G., Voigt K. D. Turnover of minerals and organics in the postharvest herbage of annuals and perennials: Winter Wheat and Goldenrod. Agriculture. 2018;(8 (11)):170. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture8110170

23. Dubey R. K. Response of Indian mustard to nutrients and plant growth regulators: the influence on yield, available soil P balance and P recycling through residues. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017;6(8):3319-3331. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.396

24. Borisova E. E. *Rol' v sevooborotakh mnogoletnikh trav*. [Role of perennial grasses in rotations]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2015;(8 (51)):12-19. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24306721

Сведения об авторе

✉ **Свечников Александр Константинович**, научный сотрудник отдела кормопроизводства Марийского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail:via@mari-el.ru, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0070-5348,** e-mail: koalder@yandex.ru

Information about the author

✉ **Alexander K. Svechnikov**, 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, **ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0070-5348,** e-mail: koalder@yandex.ru

✉ - Для контактов / Corresponding author