

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763>
УДК 631.452:631.84:633.2



Преимущества травянозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси

© 2020. А. К. Свечников ✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Известно, что благодаря введению многолетних бобово-злаковых трав в севообороты происходит существенная экономия внесения азотных удобрений. С 2013 по 2018 год в условиях Республики Марий Эл на дерново-подзолистых почвах с очень высоким уровнем содержания фосфора и калия сравнивали шестипольные травяно-зерновые кормовые севообороты. В третьей ротации оценены их продуктивность и биоэнергетическая эффективность, изменение важнейших показателей плодородия почвы, содержание сырого протеина в получаемых кормах. Главное различие севооборотов заключалось в продолжительности использования клеверо-люцерно-тимофеечной травосмеси (КЛТ): от одного года до трёх лет. В данном опыте также изучали влияние минерального азота (варианты N_0 , N_{60}) на фоне $P_{60}K_{60}$ на продуктивность севооборотов. За шесть лет в вариантах не произошло существенного подкисления почвы. Каждый дополнительный год выращивания КЛТ увеличивал коэффициент энергетической эффективности севооборотов на 24-47 % (с 1,13-1,24 при однолетнем использовании до 2,08-2,25 при трехлетнем). Трёхлетнее использование КЛТ по сравнению с одно- и двухлетним дало севообороту существенные преимущества по энергетической эффективности (до двух раз) и продуктивности (на 40-80 %) возделываемых культур. После отказа от внесения азотных удобрений в таком севообороте лучше сохранялись средняя продуктивность культур, а также содержание гумуса и азота в почве. Средняя доля сырого протеина в сухом веществе полученных кормов увеличивалась с 12,7 до 14,6 % при продлении срока использования КЛТ до двух лет. В среднем за ротацию энергетическая ценность урожая фиксировалась невысокой (8,4-8,7 МДж/кг сухого вещества) и не зависела от изучаемых факторов.

Ключевые слова: многолетние травы, общий азот, гумус, коэффициент энергетической эффективности, сырой протеин

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0091).

Автор выражает благодарность за научное руководство при выполнении Государственного задания в 2013-2017 гг. В. М. Измestyеву, кандидату с.-х. наук, заслуженному деятелю науки Республики Марий Эл.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Свечников А. К. Преимущества травянозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):752-763. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763>

Поступила: 28.05.2020

Принята к публикации: 26.11.2020

Опубликована онлайн: 10.12.2020

Advantages of grass-grain crop rotations due to prolonged use of clover-alfalfa-timothy mixture

© 2020. Alexander K. Svechnikov ✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

It is known that significant saving of nitrogen fertilizers are due to perennial legume-cereal grasses use in crop rotations. From 2013 to 2018 in the Mari El Republic six-field grass-grain fodder crop rotations were compared on sod-podzolic soils with a very high level of phosphorus and potassium. In the third rotation their productivity and bioenergetic efficiency, changes in several important soil fertility indicators, and crude protein content in the produced fodder were evaluated. The main difference between the crop rotations was based on the duration of the clover-alfalfa-timothy grass mixture (CAG) use: from one year to three years. In given experiment there was also studied the effect of mineral nitrogen (variants N_0 , N_{60}) against $P_{60}K_{60}$ background on the yield of crop rotations. During six years, there was no significant soil acidification in the variants. Each additional year of clover-alfalfa-timothy grass mixture use raised the energy efficiency ratio of crop rotations by 24-47 % (from 1.13-1.24 by one-year use to 2.08-2.25 by three years of use). Three-year CAG use as compared with one- and two-years has given to the crop rotation significant advantages in energy efficiency (up to two times) and productivity (approximately 40-80 %) of cultivated crops. After refusing to apply nitrogen fertilizations in such crop rotation, average crop productivity, soil humus and nitrogen content in the soil were better preserved. The average crude protein content in dry matter of the obtained fodder increased from 12.7 % to 14.6 % when prolonging the use up to two years. The average energy value of the yield per rotation was recorded low (8.4-8.7 MJ/kg) and did not depend on the studied factors.

Keywords: perennial grasses, total nitrogen, humus, energy efficiency ratio, crude protein

Acknowledgement: 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 Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0091).

The author thanks V. M. Izmetiev, PhD in Agricultural Science, Honored Scientist of the Republic of Mari El for the academic advising of the research in 2013-2017.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Svechnikov A. K. Advantages of grass-grain crop rotations due to prolonged use of clover-alfalfa-timothy mixture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):752-763. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.752-763>

Received: 28.05.2020

Accepted for publication: 26.11.2020

Published online: 10.12.2020

В Волго-Вятском регионе относительно всей Российской Федерации высокий уровень развития животноводства, особенно молочного скотоводства [1], поэтому особое внимание требуется уделять увеличению производства и повышению качества объёмистых кормов, влияющих на продуктивность животных и качество получаемой продукции [2]. В 1 кг сухого вещества (СВ) полноценного объёмистого корма содержание обменной энергии (ОЭ) должно быть не менее 10 МДж [3], сырого протеина (СП) – 14-17 % [4]. В других источниках указывается, что содержание СП должно составлять не менее 15 %. Для концентрированных кормов требования выше: ОЭ – 12,0 МДж/кг, а СП – 18 % [5].

На урожайность кормовых культур значительно влияют агрохимические показатели почвы [6], богатство и смена видового состава трав в агрофитоценозе [7], технологии возделывания, вид и сорт культуры, окружающие условия [8] и многие другие факторы, давно известные при регулировании продуктивности растений [7, 9].

Обзор иностранных источников в работе О. В. Чухиной [10] показал, что научно обоснованной системе внесения удобрений, по данным американских ученых, принадлежит самый большой вклад (41 %) в повышение продуктивности растений, по другим работам (немецким, французским) этот вклад составляет 50-70 %. Исследования российских ученых доказали, что увеличение урожайности на 50-60 % обусловлено минеральными удобрениями [6]. Также установлено, что без внесения удобрений достижение бездефицитного баланса гумуса возможно в кормовых севооборотах, включающих в свою структуру многолетние и однолетние бобовые травы [11]. Так, при внесении различных доз удобрений на дерново-подзолистых почвах положительный баланс гумуса создавался при 50 %

насыщении севооборотов многолетними бобовыми травами [12].

Увеличение продуктивности агроэкосистем после введения бобовых культур в севообороты наблюдается повсеместно [13]. Данные культуры рекомендуют включать в качестве предшественников или в смешанные посевы, главным образом, благодаря их азотфиксирующей способности. В результате в севообороте увеличивается накопление биологического азота, что позволяет существенно сэкономить на внесении самых дорогостоящих азотных удобрений [14]. В ходе биологизации земледелия доля бобовых культур в структуре севооборотов увеличилась до 33-50 % [15].

Важно, что использование многолетних травосмесей из бобовых и злаковых видов, вместо однолетних, продуцирует значительно большее количество СВ и питательных веществ, особенно азота [16]. Наиболее частые компоненты кормовых бобово-злаковых травосмесей – это клевер, люцерна и различные виды трав, адаптированные к региональным условиям [17].

Цель исследований – сравнить кормовые шестипольные травянозерновые севообороты с различной длительностью выращивания клеверо-люцерно-тимофеечной травосмеси (КЛТ) по продуктивности и биоэнергетической эффективности, важнейшим показателям качества получаемых кормов и плодородия почвы.

Материал и методы. Для достижения цели исследований были использованы данные стационарного опыта (2001-2018 гг.), проведённого в Марийском НИИСХ – филиале ФБГНУ ФАНЦ Северо-Востока по схеме (табл. 1). Опыт двухфакторный, четыре повторности, делянки площадью 36 м² расположены в систематической последовательности. Севообороты развёрнуты во времени. За контроль взят севооборот I, без внесения азота (N₀).

Таблица 1 – Схема опыта /
 Table 1 – Experimental design

Севооборот (фактор А) / Crop rotation (factor A)		
(I) Севооборот №1 / 1 st crop rotation	(II) Севооборот №2 / 2 nd crop rotation	(III) Севооборот №3 / 3 rd crop rotation
1. Вика + овёс с подсевом КЛТ / Vetch + oat & clover-alfalfa-timothy grasses (CAG) under sowing	Вика + овёс с подсевом КЛТ / Vetch + oat & CAG under sowing	Вика + овёс с подсевом КЛТ / Vetch + oat & CAG under sowing
2. КЛТ 1 года пользования / CAG used 1 st year	КЛТ 1 года пользования / CAG used 1 st year	КЛТ 1 года пользования / CAG used 1 st year
3. Озимая рожь и поукосно горчица / Winter rye & cover mustard	КЛТ 2 года пользования / CAG used 2 nd year	КЛТ 2 года пользования / CAG used 2 nd year
4. Ячмень / Barley	Озимая рожь и поукосно горчица / Winter rye & cover mustard	КЛТ 3 года пользования / CAG used 3 rd year
5. Вика + овёс и поукосно горчица / Vetch + oat & cover mustard	Ячмень / Barley	Озимая рожь и поукосно горчица / Winter rye & cover mustard
6. Вика + овёс + подсолнечник / Vetch + oat + sunflower	Вика + овёс и поукосно горчица / Vetch + oat & cover mustard	Ячмень / Barley
Минеральные удобрения (фактор В) / Mineral fertilizers (factor B)		
1	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	
2	N ₀ P ₆₀ K ₆₀	

Минеральные удобрения в первом варианте вносили в рекомендуемых для Республики Марий Эл дозах (N₆₀P₆₀K₆₀) на протяжении трёх ротаций севооборотов. Во втором варианте в первые две ротации (2001-2012 гг.) применяли повышенные к рекомендуемым дозы (N₉₀P₉₀K₉₀), а в третью ротацию (2013-2018 гг.) их снизили до N₀P₆₀K₆₀. В годы пользования многолетних трав минеральный азот (аммиачную селитру) не вносили. В качестве фосфорно-калийных удобрений применяли двойной суперфосфат и хлористый калий.

Ячмень яровой (сорт Владимир) выращивали на зернофураж, другие культуры (яровая посевная вика сорта Вера, яровой овёс Буланый, озимая рожь Татьяна, клевер луговой Мартум, люцерна изменчивая Лада, тимopheевка луговая Вик 85, горчица белая Белянка и подсолнечник Скороспелый 87) – на зелёный корм.

Почвы опытного участка дерново-подзолистые среднесуглинистые с пахотным слоем 0-30 см, слабокислые (5,25 ед. рН) на момент закладки опыта. Содержание гумуса по Тюрину очень низкое (1,82 %). Доля общего азота типичная для среднего суглинка (0,15 %, или 1,5 г/кг). Поскольку для бобовых требуется относительно большое количество фосфора и калия [18], опыт был проведён на участке

с очень высокой обеспеченностью этими элементами. Содержание подвижного фосфора (840 мг/кг) и обменного калия (200 мг/кг) по Кирсанову оставалось очень высоким в последние две ротации севооборотов, а фосфора – весь период наблюдений. В севообороте III при внесении N₉₀P₉₀K₉₀ содержание фосфора в 2012 г. достигало 1000 мг/кг. В третью ротацию первых двух севооборотов при N₆₀ уровень обеспеченности обменным калием в почве снизился до высокого уровня (по Кирсанову).

Уборку КЛТ проводили в два укоса. Для выполнения сельскохозяйственных работ использовали трактора МТЗ-82, Т-25, сцепку борон ЗБЗСС-1, культиватор КПГ-4, сеялку СН-16, плуг ПН-3-35. Учёты и наблюдения – согласно методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами¹. Химический анализ почвенного и растительного материала – по общепринятым ГОСТам: ГОСТ 26483-85, ГОСТ 26213-84, ГОСТ 13496, ГОСТ 26207-84, ГОСТ 26207-84, ГОСТ 26226-84, ГОСТ 31675-2012, ГОСТ 13496.15-85. Почвенные образцы для агрохимических анализов отбирали в конце второй (2012 г.) и третьей (2018 г.) ротаций севооборотов. Для энергетической оценки возделывания культур использовали учебное пособие².

¹Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Под. ред. Ю. К. Новосёлова. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.

²Марьин Г. С., Акишин А. Я., Марьин С. Г. Биоэнергетическая оценка агроэкосистем и технологий при производстве продукции растениеводства. Йошкар-Ола, 1993. 45 с.

Статистическую обработку данных методом двухфакторного дисперсионного анализа проводили по Б. А. Доспехову³ и с помощью программы Microsoft Office Excel 2013.

Погодные условия вегетационных периодов испытываемых культур из года в год сильно различались (от удовлетворительных до благоприятных) [19]. Наиболее неблагоприятными они были для КЛТ в начале вегетации (2013 – весна 2014 гг., третья ротация) после подпокровного посева и поукосного посева горчицы в 2016 и 2017 гг. В результате к третьему году использования КЛТ клевер почти полностью выпал, его сместили люцерна с тимофеевкой, разнотравье. Горчица в 2016 г. была запахана в виде сидерата, поскольку её травостой был слишком низкий для механизированной уборки.

Результаты и их обсуждение. Систематическое внесение минеральных удобрений в течение предыдущих двух ротаций (2001-2012 гг.) улучшило большинство изучаемых

агрохимических показателей слоя почвы 0-20 см под шестипольными травянозерновыми кормовыми севооборотами. Содержание гумуса во всех вариантах фактора А при N₆₀P₆₀K₆₀ повысилось за эти годы в среднем на 25 %, при N₉₀P₉₀K₉₀ – на 30 %. Общего азота стало больше – в 1,6 и 2,1 раза соответственно. За две ротации почвенная реакция среды в большинстве вариантов понизилась (на 0,2 ед.) до среднекислой. Слабокислой (рН около 5,1-5,2 ед.) она осталась в севообороте I при N₀ и III при N₆₀ [20].

По представленным агрохимическим показателям на начало третьей ротации севооборотов, дерново-подзолистую почву (слой 0-20 см) можно назвать вполне плодородной (табл. 2). За третью ротацию шестипольных травянозерновых севооборотов с КЛТ произошли некоторые изменения в плодородии почвы. Среди изученных показателей только рН солевой вытяжки оставался неизменным.

Таблица 2 – Изменение агрохимических показателей почвы за третью ротацию севооборотов (слой 0-20 см) /
Table 2 – Change in soil agrochemical characteristics of the third crop rotation cycle (0-20 cm layer)

Показатель / Indicator	Год / Year	I			II			III			\bar{x}	
		N ₆₀	N ₀	\bar{x}	N ₆₀	N ₀	\bar{x}	N ₆₀	N ₀	\bar{x}	N ₆₀	N ₀
Гумус, % / Humus, %	2012	2,29	2,38	2,34	2,23	2,34	2,29	2,28	2,36	2,32	2,27	2,36
	2018	2,43	2,08	2,26	2,46	2,23	2,35	2,41	2,21	2,31	2,43	2,17
HCP ₀₅ / LCD ₀₅	2012	0,11, A: 0,07 (H ₀ : d = 0), B: 0,06										
	2018	0,15, A: 0,10 (H ₀ : d = 0), B: 0,08										
Общий N, г/кг / Total N, g/kg	2012	2,4	3,2	2,8	2,3	2,9	2,6	2,5	3,1	2,8	2,4	3,1
	2018	2,5	2,3	2,4	2,6	2,1	2,4	2,8	2,8	2,8	2,6	2,4
HCP ₀₅ / LCD ₀₅	2012	0,1, A: 0,1, B: 0,1										
	2018	0,2, A: 0,1, B: 0,1										
pH _{сол} / pH _{Ca}	2012	5,0	5,1	5,1	5,0	5,0	5,0	5,2	5,0	5,1	5,1	5,0
	2018	4,9	5,0	5,0	4,9	5,1	5,0	5,2	5,1	5,2	5,0	5,1
HCP ₀₅ / LCD ₀₅	2012	0,1, A: 0,0, B: 0,0										
	2018	0,2, A: 0,1, B: 0,1 (H ₀ : d = 0)										

Примечания: I, II, III – травянозерновые севообороты с одно-, двух-, трехлетним использованием травосмеси (фактор А); N₆₀, N₀ – дозы азота на фоне P₆₀K₆₀ (фактор В) / Notes: I, II, III – grass-grain crop rotations with one-, two-, three-, year use of grass mixture (factor A); N₆₀, N₀ – nitrogen doses against the background of P₆₀K₆₀ (factor B)

При стабильной системе внесения удобрений (N₆₀P₆₀K₆₀) в третьей ротации продолжалась тенденция повышения содержания гумуса (на 6,0-10,5 %) и общего азота (на 4-13 %). В полях севооборота II было замечено максимальное увеличение средних

значений гумуса до 2,46 %. В результате в среднем по севооборотам при внесении N₆₀P₆₀K₆₀ в течение 18 лет содержание гумуса в слое почвы 0-20 см увеличилось с 1,82 до 2,43 % (в 1,34 раза). К тому же, можно утверждать, что в 2018 г. наблюдалось существенное

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 352 с.

увеличение содержания гумуса в вариантах с внесением азота (по сравнению с N_0) как в каждом из севооборотов ($HCP_{05} = 0,15 \%$), так и в среднем по севооборотам ($HCP_{05} = 0,08 \%$). По результатам опытов, проведённых другими исследователями на дерново-подзолистой почве, рост данного показателя был гораздо ниже [21, 22, 23].

За третью ротацию содержание общего азота в почве повысилось при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ в севооборотах при двух- и трёхлетнем использовании КЛТ на 0,3 г/кг, или на 12-13 %. При однолетнем использовании (севооборот I) содержание элемента находилось на уровне 2012 г. (около 2,4 г/кг). Можно заметить, что в вариантах опыта без внесения минерального азота рассмотренные показатели плодородия почвы сохранялись или улучшались с каждым годом продления вегетаций КЛТ в травянозерновых шестипольных севооборотах. Это можно объяснить тем, что в структуре севооборотов увеличивается доля многолетних бобовых компонентов. Они, с учётом нескольких полей с викой, в опыте были способны восполнять почву азотом в результате биофиксации на уровне варианта с внесением его минеральной формы в дозе N_{60} . К тому же, многолетним травам свойственно ежегодно оставлять в почве большое (относительно других культур) количество органических остатков (источник гумуса).

Полный отказ от внесения аммиачной селитры с сокращением доз минеральных удобрений до $P_{60}K_{60}$ за третью ротацию снизили содержание гумуса во всех изученных севооборотах на 5-14 % в слое почвы 0-20 см, общего азота – на 11-39 %, с минимальным снижением по третьему севообороту.

Главное преимущество севооборота III дало самое длительное выращивание КЛТ и высокопродуктивная азотофиксация. Однолетнее использование КЛТ и безазотная система внесения удобрений в течение ротации привели к наибольшим потерям гумуса (на 0,30 абс. %). Продление срока использования КЛТ до двух-трех лет (II, III севообороты) способствовало снижению потерь гумуса соответственно в 2,7-2,0 раза. Выявленные тенденции наблюдались и в исследованиях П. И. Никончика [24]. В итоге, по содержанию гумуса почва в вариантах без внесения минерального азота уступала варианту N_{60} на 0,35-0,23-0,20 абс. % (в севооборотах I, II, III соответственно).

Таким образом, было выяснено, что шестипольный травянозерновой севооборот с однолетним использованием КЛТ (I) в третью

ротацию в меньшей степени сохранял или улучшал изученные показатели плодородия дерново-подзолистой почвы. Это возможно было лишь в условиях внесения азотных удобрений (N_{60}). Под воздействием азотных удобрений наиболее заметный прирост содержания гумуса и общего азота отмечен в почве севооборота II с двухлетним использованием КЛТ. В севообороте (III) при трехлетнем использовании КЛТ сохранение плодородия почвы находилось в меньшей зависимости от азотных удобрений. При увеличении количества полей с многолетними бобово-злаковыми травами подобные тенденции изменения плодородия почвы согласуются с утверждениями других учёных [25].

Суммарная продуктивность и качество убранных урожаев возделываемых культур третьей ротации севооборотов зависели от продолжительности использования КЛТ (табл. 3).

Установлено явное превосходство шестипольного севооборота III, где КЛТ на зелёную массу скашивали в течение трёх лет, над остальными (в порядке убывания) по сбору сырого протеина, сухого вещества и обменной энергии. Он превышал севооборот I с однолетним использованием многолетних трав по данным показателям в среднем на 85 %, 61 и 55 % соответственно, а с двухлетним (II) – на 40-44 %. Продление срока использования КЛТ в севооборотах II и III в большей степени отразилось на сборе сырого протеина относительно контрольного севооборота. Общую тенденцию повышения средневзвешенной по различным характеристикам продуктивности изученных севооборотов в зависимости от длительности использования КЛТ можно проследить по графику рисунка 1.

Продуктивность возделываемых культур по сбору СВ, СП, ОЭ в севооборотах была достоверно выше соответственно на 12 %, 22 и 14 % при внесении аммиачной селитры (N_{60}). Стоит добавить, что под влиянием минерального азота в севооборотах II (на 26 %) и III (на 19 %) существенно (HCP_{05} 123 кг/га) возрос сбор СП.

При сравнении всех вариантов было выявлено, что севооборот III с максимальной в опыте длительностью использования КЛТ при внесении минерального азота за третью ротацию сформировал наибольшие показатели СВ, СП и ОЭ, ежегодно составившие на 1 га пашни соответственно 6,1 т, 906 кг и 50,2 ГДж. Данный вариант опыта превосходит контрольный (севооборот с однолетним использованием КЛТ при исключении азотных удобрений) по сбору ОЭ и СВ в 1,8, а СП в 2,2 раза.

Таблица 3 – Среднегодовая продуктивность кормовых севооборотов и качество получаемых кормов (2013-2018 гг.) /

Table 3 – Average annual productivity of forage crop rotations and quality of the forage obtained (2013-2018)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant	I	II	III	Среднее по B / Average B
Сбор СВ, т/га / Dry matter (DM) yield, t/ha	N ₆₀	3,8	4,3	6,1	4,7
	N ₀	3,3	3,9	5,4	4,2
	Среднее по A / Average A	3,6	4,1	5,8	-
HCP ₀₅ (LSD ₀₅) = 0,7; HCP ₀₅ (A) = 0,5; HCP ₀₅ (B) = 0,4; HCP ₀₅ (AB) = 0,4 (H ₀ : d = 0)					
Сбор СП, кг/га / Crud protein (CP) yield, kg/ha	N ₆₀	494	665	906	688
	N ₀	407	529	762	566
	Среднее по A / Average A	450	597	834	-
HCP ₀₅ (LSD ₀₅) = 123; HCP ₀₅ (A) = 96; HCP ₀₅ (B) = 73; HCP ₀₅ (AB) = 73 (H ₀ : d = 0)					
Доля СП в СВ, % / CP fraction in DM, %	N ₆₀	12,9	15,4	15,0	14,4
	N ₀	12,5	13,7	14,2	13,5
	Среднее по A / Average A	12,7	14,6	14,6	-
HCP ₀₅ (LSD ₀₅) = 0,4; HCP ₀₅ (A) = 0,3; HCP ₀₅ (B) = 0,2; HCP ₀₅ (AB) = 0,2					
Сбор ОЭ, ГДж/га / Exchange energy (EE) yield, GJ/ha	N ₆₀	33,1	36,6	50,2	40,0
	N ₀	28,6	31,6	45,5	35,2
	Среднее по A / Average A	30,9	34,1	47,9	-
HCP ₀₅ (LSD ₀₅) = 7,2; HCP ₀₅ (A) = 5,7; HCP ₀₅ (B) = 4,3; HCP ₀₅ (AB) = 4,3 (H ₀ : d = 0)					
Содержание ОЭ в СВ, МДж/кг / EE content in DM, MJ/kg	N ₆₀	8,7	8,5	8,3	8,5
	N ₀	8,7	8,2	8,5	8,5
	Среднее по A / Average A	8,7	8,4	8,4	-
HCP ₀₅ (LSD ₀₅) = 0,2; HCP ₀₅ (A) = 0,2; HCP ₀₅ (B) = 0,1; HCP ₀₅ (AB) = 0,1 (H ₀ : d = 0)					

Примечания: I, II, III – травянозерновые севообороты с одно-, двух-, трехлетним использованием травосмеси (фактор A); N₆₀, N₀ – дозы азота на фоне P₆₀K₆₀ (фактор B) / Notes: I, II, III – grass-grain crop rotations with one-, two-, three-, year use of grass mixture (factor A); N₆₀, N₀ – nitrogen doses against the background of P₆₀K₆₀ (factor B)

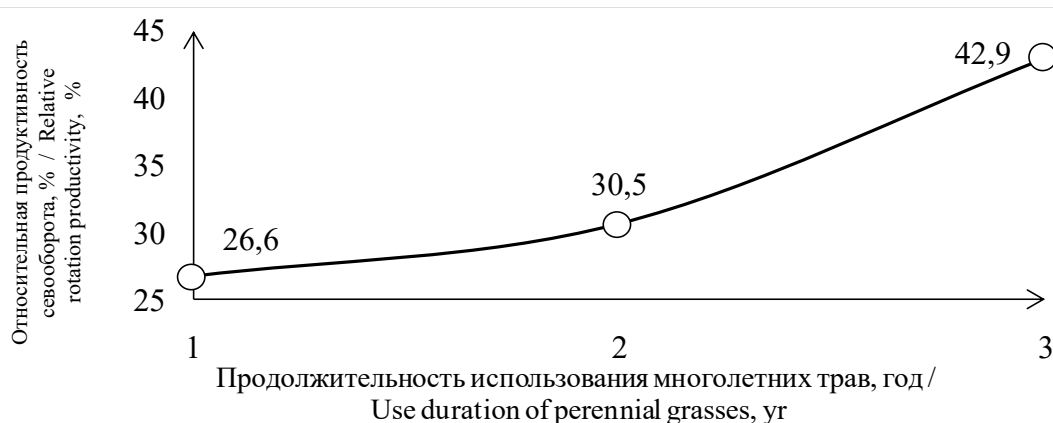


Рис. 1. Динамика средней относительной продуктивности (усреднение доли каждого показателя (сбор СВ, СП, ОЭ и кормовых единиц) по каждому севообороту от их общей суммы) шестипольных зернотравяных кормовых севооборотов в зависимости от продолжительности использования многолетних трав (2013-2018 гг.) /

Fig. 1. Dynamics of average relative productivity (averaging of each indicator proportion (dry matter, crud protein, exchange energy and feed units) for each crop rotation from their total amount) of six-field grass-grain crop rotations depending on the use duration of perennial grasses (2013-2018)

Следует отметить наличие сильной прямолинейной зависимости между содержанием азота в слое почвы 0-20 см в конце опыта и изучаемыми показателями продуктивности севооборотов. С увеличением доли азота возрастали сборы СВ и СП ($R^2 = 0,67$) и ОЭ ($R^2 = 0,75$).

Различия в закономерностях между среднегодовым аккумулярованием СП и ОЭ в СВ надземной биомассы и зернофуража за последнюю ротацию изученных севооборотов были наибольшими, прежде всего, по фактору А.

Повышение доли СП в СВ получаемых кормов при продлении использования КЛТ в изученных севооборотах и применении азотных удобрений имело схожие тенденции с их продуктивностью. Продление сроков использования многолетних трав с одного до двух-трех лет позволило увеличить показатель с 12,7 до 14,6 %. Внесение в почву аммиачной селитры (N_{60}), при сравнении с вариантом без ее использования (N_0) на фоне $P_{60}K_{60}$, дало меньшее преимущество севооборотам по доле СП в СВ. Существенное возрастание содержания СП в СВ при увеличении использования КЛТ сохранялось и в условиях отказа от применения минерального азота.

В результате двух- и трёхлетнее использование КЛТ в шестипольных травянозерновых севооборотах (II, III) в условиях внесения азотных удобрений (N_{60}) в третью ротацию обеспечило самое высокое качество кормов по содержанию СП в СВ (в среднем 15,2 %). Это позволило превзойти контрольный севооборот без внесения минерального азота (N_0) на 22 % (табл. 3).

Увеличение продуктивности возделываемых культур в изучаемых севооборотах, наблюдаемое при продлении выращивания КЛТ и применении азотного удобрения, не обеспечивало рост энергетической ценности получаемых кормов. Напротив, прослеживались тенденции её снижения. Кроме того, среднегодовое содержание ОЭ не достигало оптимальных значений. Так, самое большое содержание ОЭ в СВ, составившее 8,7 МДж/кг, было зафиксировано в контроле. На показатель не повлияла даже доза внесения аммиачной селитры. Двух- или трёхлетнее использование КЛТ в севооборотах (II, III) привело к снижению (на 3,4 %) концентрации энергии в полученных кормах. Применение минерального азота отразилось на данной качественной характеристике лишь в севообороте II. Содержание ОЭ в СВ превысило вари-

ант без использования азота (N_0) на 3,7 %. Таким образом, следует учесть, что севооборот III по содержанию ОЭ в СВ уступал контрольному севообороту на 0,3 МДж/кг ($НСР_{05}$ 0,2 МДж/кг).

В итоге, сравнение изученных шестипольных травянозерновых севооборотов по представленным в таблице 3 кормовым характеристикам позволило выделить вариант с трехлетним использованием КЛТ (III) в качестве самого оптимального. В данном севообороте внесение минерального азота в дозе 60 кг/га на фоне $P_{60}K_{60}$ под однолетние культуры и подкормка озимых в течение третьей ротации дало преимущество по сбору СВ, СП и его концентрации в СВ. Согласно данным опыта, севооборот III был способен ежегодно обеспечивать получение в среднем 5,8 т сухой массы кормов из зелёной массы и зернофуража на 1 га пашни с аккумулярованными в ней 834 кг СП с концентрацией 14,6 % и 47,9 ГДж ОЭ и 8,4 МДж на 1 кг СВ.

Внесению аммиачной селитры при возделывании кормовых культур в течение третьей ротации принадлежала значительная часть энергетических затрат (рис. 2), в этих вариантах затраты в среднем были выше на 24 %.

Сокращение длительности использования КЛТ в течение ротации увеличило число обработок почвы и других мероприятий. Тем самым, они также способствовали повышению совокупных производственных энергозатрат. Так, со снижением срока использования КЛТ с трёх лет (III) до двух (II) подобные издержки возросли примерно на 5 %, а с двух (II) до одного (I) – на 11 %. В целом было замечено, что увеличение общих энергозатрат при сокращении полей с КЛТ в вариантах без внесения азотных удобрений (N_0) было менее выраженным. В этом случае различия показателей между севооборотами с двумя (II) и тремя (III) годами пользования многолетних трав находились в пределах ошибки опыта ($НСР_{05} = 4$ ГДж/га, или 3 %). В условиях внесения минерального азота выбор в пользу второго севооборота прибавил совокупные энергозатраты с 145 ГДж/га на 7 % (на 10 ГДж/га), а в пользу третьего – на 21 % (на 31 ГДж/га).

Таким образом, снижение затрат примерно на одном уровне можно достигнуть как увеличением длительности использования многолетней травосмеси с одного до трех лет (-18 ГДж/га), так и отказом от применения азотных удобрений (-24 ГДж/га) в севообороте при трехлетнем пользовании КЛТ.

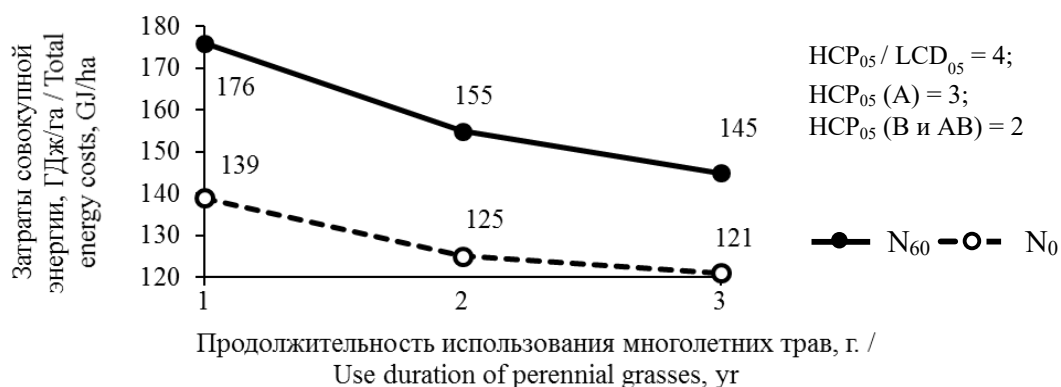


Рис. 2. Энергетические затраты возделывания сельскохозяйственных культур в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах в зависимости от длительности использования КЛТ и внесения аммиачной селитры (2013-2018 гг.) /

Fig. 2. Energy costs crop cultivation in six-field grass-grain fodder crop rotations depending on the duration of GAG use and the ammonium nitrate fertilization (2013-2018)

В нашем опыте расходы на севооборот без азотных удобрений (N_0) и с использованием КЛТ более двух лет были наименьшими (121-125 ГДж/га). Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [19, 26].

Дополнительные затраты на возделывание культур в изучаемых севооборотах от применения азотных удобрений были скомпенсированы равнозначным снижением энер-

гоёмкости сбора СП (рис. 3). Сильное влияние на издержки по производству белка ($R^2 = 0,91$) оказала продолжительность вегетации КЛТ. Её увеличение с двух лет (I) до четырёх (III), независимо от доз внесения аммиачной селитры, уменьшило окупаемость энергозатрат с 57,1-59,6 МДж/кг СП в 2,2 раза. Каждый добавленный год использования многолетних трав сокращал энергоёмкость СП примерно на 15 МДж/кг ($HCP_{05} (A) = 3,7$ МДж/кг).

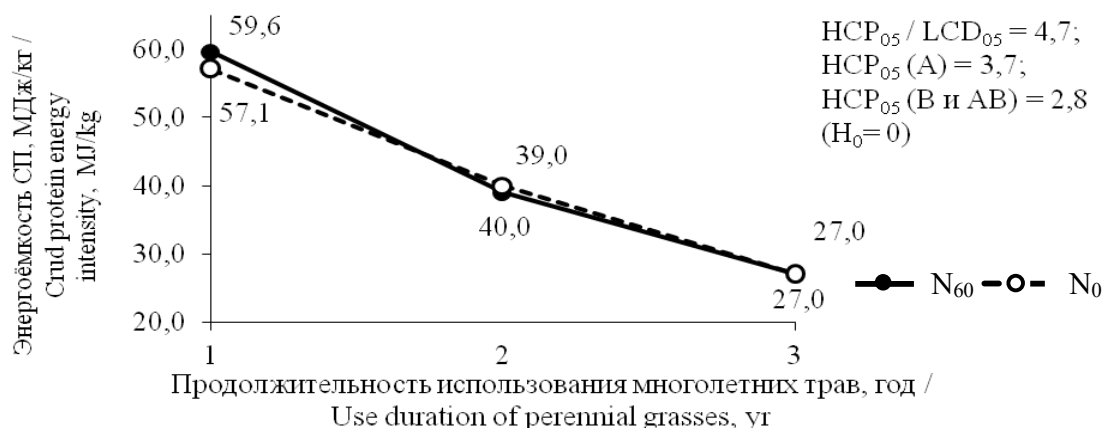


Рис. 3. Энергоёмкость сырого протеина при возделывании сельскохозяйственных культур в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах в зависимости от длительности использования КЛТ и внесения аммиачной селитры (2013-2018 гг.) /

Fig. 3. Crude protein energy intensity of crop cultivation in six-field grass-grain fodder crop rotations depending on the duration of GAG use and the ammonium nitrate fertilization (2013-2018)

В результате оценки изучаемых кормовых севооборотов была подтверждена эффективность возделывания в них культур через коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ), превысивший единицу на 13-225 % (рис. 4). Показатель существенно ($R^2 = 0,83$; $HCP_{05} (A) = 0,16$) повышался в зависимости от продления срока использования КЛТ в

данных севооборотах. Каждый дополнительный год их выращивания увеличивал КЭЭ севооборотов с 1,13-1,24 ед. на 24-47 %. Согласно исследователям ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока [27], КЭЭ возделывания КЛТ за каждый такой год продления может повышаться на 2-3 единицы. Подобного роста в рассматриваемом опыте не произошло

из-за невысокой продуктивности КЛТ, вызванной ее изреженностью. Наибольший КЭЭ 2,08-2,25 ед. был зафиксирован в севообороте III. Он превосходил вариант с однолетним использованием КЛТ (I) в 1,8 раза, а с двух-

летним – в 1,5 раза. Также необходимо отметить, что благодаря увеличению сбора обменной энергии от внесения азотных удобрений существенного снижения КЭЭ не отмечалось.



Рис. 4. Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) возделывания сельскохозяйственных культур в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах в зависимости от длительности использования КЛТ и внесения аммиачной селитры (2013-2018 гг.) /

Fig. 4. Energy efficiency ratio of crop cultivation in six-field grass-grain fodder crop rotations depending on the duration of GAG use and the ammonium nitrate fertilization (2013-2018)

В ходе сравнительной оценки шестипольных травянозерновых севооборотов по всем показателям энергетической эффективности возделываемых в них культур вариант с трёхлетним использованием КЛТ (III) выделен в качестве лучшего. Хотя энергоёмкость возделываемых растений с применением аммиачной селитры (N₆₀) существенно не снижалась, отказ от её внесения (N₀) упрощал технологию производства, значительно уменьшив общие затраты. Повышение эффективности севооборотов с увеличением полей с многолетними бобовыми травами при снижении доз минеральных удобрений можно увидеть и в другом исследовании [28]. Таким образом, в третью ротацию самого эффективного севооборота (III, при N₀) с КЭЭ более двух единиц и энергоёмкостью сбора одного кг СП в 27 МДж затрачено 121 ГДж/га.

Заключение. В условиях Республики Марий Эл на дерново-подзолистой почве с очень высоким содержанием фосфора и калия шестипольный травянозерновой кормовой севооборот с трёхлетним использованием КЛТ (III) в третью ротацию имел существенное преимущество перед севооборотами с одно- (I) и двухлетним (II) использованием травосмеси – по энергетической эффективности (в два раза) и продуктивности (на 40-80 %) возделываемых культур. Стоит отметить, что средняя доля СП в СВ полученных кормов увеличивалась с 12,7 до 14,6 % (на 15 %) также и при продлении срока выращивания КЛТ до трёх лет (II севооборот). Содержание ОЭ в СВ в вариантах фиксировалось всего лишь на уровне 8,5 МДж/кг с маловыраженным влиянием изучаемых факторов в опыте.

Список литературы

1. Золотарев В. Н., Косолапов В. М., Переprawo Н. И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(1(56)):28-34. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/97/97>
2. Bélanger G., Tremblay G. F., Papadopoulos Y. A., Duynisveld J., Lajeunesse J., Lafrenière C., Fillmore S. A. E. Yield and nutritive value of binary legume-grass mixtures under grazing or frequent cut-ting. Canadian journal of plant science. 2018;98(2):395-407. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0183>
3. Грипась М. Н., Арзамасова Е. Г., Попова Е. В. Комплексная оценка перспективных сортов клевера лугового. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(5(66)):51-58. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.51-58>
4. Корелина В. А., Батакова О. Б. Выявление источников высокой продуктивности и качества у клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях северного региона РФ. Адаптивное кормопроизводство. 2018;(3):45-52. Режим доступа: <http://www.adaptagro.ru/images/journals/afp1809.pdf>

5. Тихомиров И. А., Скоркин В. К., Аксенова В. П., Андрюхина О. Л. Повышение эффективности производства продукции молочного и мясного скотоводства на основе совершенствования технологии кормления. Вестник ВНИИМЖ. 2017;(1(25)):70-71. DOI: <https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00044>
6. Бортник Т. Ю., Башков А. С. Эффективность систем удобрений и перспективы научных исследований в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг.: мат-лы Всеросс. координационного совещ. научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. Под ред. акад. РАН В. Г. Сычева. М.: ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. С. 26-31. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35672845>
7. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
8. Akdeniz H., Hosaflioglu I., Koç A., Hossain A., Islam M. S., Iqbal M. A., Imtiaz H., Gharib H., El-Sabagh A. Evaluation of herbage yield and nutritive value of eight forage crop species. Applied ecology and environmental research. 2019;17(3):5571-5581. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1703_55715581
9. Tilman D., Reich P. B., Isbell F. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2012;109(26):10394-10397. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1208240109>
10. Чухина О. В. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы при применении удобрений. Агрохимический вестник. 2013;(3):11-14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014403>
11. 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>
12. Козлова Л. М., Пожалова Е. Ф., Макарова Т. С., Попов Ф. А. Значение органического вещества почвы в современном земледелии. Современные проблемы устойчивого конструирования агроландшафтов и ресурсосберегающие технологии в сельском хозяйстве Северо-Восточного региона европейской части России: мат-лы научн.-практ. конф., посвящ. 95-летию ГУ Пермский НИИСХ. Пермь: ОТИДО, 2009. С. 77-81.
13. 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>
14. Ross S. M., King J. R., Williams C. M., Strydhorst S. M., Olson M. A., Hoy C. F., Lopetinsky K. J. The effects of three pulse crops on a second subsequent crop. Can. J. Plant Sci. 2015;95(4):779-786. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-224>
15. Козлова Л. М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(1):6-9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
16. Tamm I., Tamm Ü, Ingver A., Koppel R., Tupits I., Bender A., Tamm S., Narits L., Koppel M. Different leguminous pre-crops increased yield of succeeding cereals in two consecutive years. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 2016;66(7):593-601. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1205125>
17. McElroy M., Papadopoulos Y. A., Glover K. E., Dong Z., Fillmore S. A. E., Johnston M. O. Interactions between cultivars of legumes species (*Trifolium pratense* L., *Medicago sativa* L.) and grasses (*Phleum pratense* L., *Lolium perenne* L.) under different nitrogen levels. Can. J. Plant Science. 2016;97(2):214-225. DOI: <https://doi.org/10.1139/CJPS-2016-0130>
18. Ergon Å., Seddaiu G., Korhonen P., Virkajärvi P., Bellocchi G., Jørgensen M., Østrem L., Reheul D., Voltaire F. How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change? European journal of agronomy, Elsevier. 2018;92:97-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.016>
19. Свечников А. К. Накопление пожнивно-корневых остатков и питательных элементов в кормовых севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(6):613-622. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.613-622>
20. Измestьев В. М., Свечников А. К., Соколова Е. А. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв в кормовых севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(6(55)):37-41. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2016.55.6.37-41>
21. Чеботарев Н. Т., Юдин А. А. Динамика плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения удобрений в условиях Республики Коми. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(2):11-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23167327>
22. Лагуткин Н. В. Разумное земледелие. Пенза, 2013. 116 с. Режим доступа: <http://moyaokrug.ru/GetFile.aspx?id=323>
23. Павликова Е. В., Ткачук О. А. Оценка влияния полевых севооборотов на плодородие почвы и их продуктивность в лесостепной зоне Среднего Поволжья. Современные проблемы науки и образования. 2014;3:710. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22528541>
24. Никончик П. И. Севооборот и воспроизводство плодородия почвы. Результаты 30-летнего стационарного опыта. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012;(3):88-98. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18093098>
25. Иванов И. С., Шатский И. М., Острикова М. Г., Чекарёва А. В. Особенности возделывания эспарцета на семена на Воронежской опытной станции по многолетним травам. Адаптивное кормопроизводство. 2018;(1):58-71. Режим доступа: <http://www.adaptagro.ru/images/journals/afp1803.pdf>

26. Volaire F., Kallida R., Norton M., Malinowski D., Barre P. Fodder grass selection in the Mediterranean: the role of summer dormancy. The Mediterranean region under climate change: a scientific update. Marseille: IRD Editions, 2016. pp. 495-501. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01832290>

27. Фигурин В. А., Сунцова Н. П., Кислицына А. П. Последствие режимов использования травосмеси лядвенца рогатого с тимopheевкой луговой на дерново-подзолистой сильноокислой почве. Пермский аграрный вестник. 2018;(2(22)):100-106. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35146122>

28. Семешкина П. С., Мазуров В. Н., Бурлуцкий В. А., Стягунина Н. М. Продуктивность севооборотов в зависимости от системы внесения минеральных удобрений. Вестник ОрелГАУ. 2017;(4(67)):57-61. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29866388>

References

1. Zolotarev V. N., Kosolapov V. M., Perepravo N. I. *Sostoyanie travoseyaniya i perspektivy razvitiya semenovodstva mnogoletnikh trav v Rossii i Volgo-Vyatskom regione*. [The state of grass cultivation and prospects of development of seed production of perennial grasses in Russia and in the Volga-Vyatka region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(1(56)):28-34. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/97/97>

2. Bélanger G., Tremblay G. F., Papadopoulos Y. A., Duynisveld J., Lajeunesse J., Lafrenière C., Fillmore S. A. E. Yield and nutritive value of binary legume-grass mixtures under grazing or frequent cutting. Canadian journal of plant science. 2018;98(2):395-407. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0183>

3. Gripas' M. N., Arzamasova E. G., Popova E. V. *Kompleksnaya otsenka perspektivnykh sortov klevera lugovogo*. [Complex estimation of red clover perspective varieties]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(5(66)):51-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.66.5.51-58>

4. Korelina V. A., Batakova O. B. *Vyyavlenie istochnikov vysokoy produktivnosti i kachestva u klevera lugovogo (Trifolium pratense L.) v usloviyakh severnogo regiona RF*. [Identification the sources of high productivity and quality of red clover (*Trifolium pratense* L.) in the conditions northern region of Russian Federation]. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo* = Adaptive fodder production. 2018;(3):45-52. (In Russ.). URL: <http://www.adaptagro.ru/images/journals/afp1809.pdf>

5. Tikhomirov I. A., Skorkin V. K., Aksenova V. P., Andryukhina O. L. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva produktsii molochnogo i myasnogo skotovodstva na osnove sovershenstvovaniya tekhnologii kormleniya*. [The dairy and beef cattle production efficiency improving on the feeding technology development base]. *Vestnik VNIIMZH* = Journal of VNIIMZH. 2017;(1(25)):70-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2226-4302-2017-00044>

6. Bortnik T. Yu., Bashkov A. S. *Effektivnost' sistem udobreniy i perspektivy nauchnykh issledovaniy v dlitel'nom polevom opyte na dernovo-podzolistoy sredne-suglinistoy pochve*. [The effectiveness of fertilizer systems and the prospects of scientific research in a long field experiment on sod-podzolic medium loamy soil]. *Itogi vypolneniya programmy fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy gosudarstvennykh akademiy na 2013-2020 gg.: mat-ly Vseross. koordinatsionnogo soveshch. nauchnykh uchrezhdeniy-uchastnikov Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami*. [Results of the implementation of the program of fundamental scientific research of state academies for 2013-2020: Proceedings of the all-Russian coordination Council. scientific institutions participating in the Geographical network of experiments with fertilizers]. *Pod red. akad. RAN V. G. Sycheva*. Moscow: VNIi agrokhimii imeni D. N. Pryanishnikova, 2018. pp. 26-31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35672845>

7. Isbell F., Adler P. R., Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D. K., Liebman M., Polley H. W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. Journal of Ecology. 2017;105(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>

8. Akdeniz H., Hosafloğlu I., Koç A., Hossain A., Islam M. S., Iqbal M. A., Imtiaz H., Gharib H., El-Sabagh A. Evaluation of herbage yield and nutritive value of eight forage crop species. Applied ecology and environmental research. 2019;17(3):5571-5581. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1703_55715581

9. Tilman D., Reich P. B., Isbell F. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2012;109(26):10394-10397. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1208240109>

10. Chukhina O. V. *Izmenenie agrokhimicheskikh pokazateley dernovo-podzolistoy pochvy pri primeneniі udobreniy*. [Change of agrochemical indicators of sod-podzolic soils during application of fertilizers]. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2013;(3):11-14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014403>

11. 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* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;(6(49)):47-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24484209>

12. Kozlova L. M., Pozhalova E. F., Makarova T. S., Popov F. A. *Znachenie organicheskogo veshchestva pochvy v sovremennoy zemledelii*. [The value of soil organic matter in modern agriculture]. *Sovremennye problemy ustoychivogo konstruirovaniya agrolandshaftov i resursosberegayushchie tekhnologii v sel'skom khozyaystve Severo-Vostochnogo regiona evropeyskoy chasti Rossii: mat-ly nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 95-letiyu GU Permskiy NIISKh*. [Current problems of sustainable agrolandscapes design and resource-saving technologies in agriculture of the North-East region of the European part of Russia: Proceedings of scientific and practical Conference dedicated to the 95th anniversary of Perm State Research Institute of Agriculture]. Perm: OT i DO, 2009. pp. 77-81.

13. 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>

14. Ross S. M., King J. R., Williams C. M., Strydhorst S. M., Olson M. A., Hoy C. F., Lopetinsky K. J. The effects of three pulse crops on a second subsequent crop. *Can. J. Plant Sci.* 2015;95(4):779-786. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-224>
15. Kozlova L. M. *Produktivnost' i balans osnovnykh pitatel'nykh elementov v sevooborotakh pri razlichnykh hurovnyakh intensivifikatsii*. [Productivity and balance of main nutrients in crop rotations at different levels of intensification]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(1):6-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10102>
16. Tamm I., Tamm Ü, Ingver A., Koppel R., Tupits I., Bender A., Tamm S., Narits L., Koppel M. Different leguminous pre-crops increased yield of succeeding cereals in two consecutive years. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2016;66(7):593-601. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1205125>
17. McElroy M., Papadopoulos Y. A., Glover K. E., Dong Z., Fillmore S. A. E., Johnston M. O. Interactions between cultivars of legumes species (*Trifolium pratense* L., *Medicago sativa* L.) and grasses (*Phleum pratense* L., *Lolium perenne* L.) under different nitrogen levels. *Can. J. Plant Science*. 2016;97(2):214-225. DOI: <https://doi.org/10.1139/CJPS-2016-0130>
18. Ergon Å., Seddaiu G., Korhonen P., Virkajärvi P., Bellocchi G., Jørgensen M., Østrem L., Reheul D., Volaire F. How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change? *European journal of agronomy*, Elsevier. 2018;92:97-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.016>
19. Svechnikov A. K. *Nakoplenie pozhnivno-kornevykh ostatkov i pitatel'nykh elementov v kormovykh sevooborotakh*. [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.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.613-622>
20. Izmestev V. M., Svechnikov A. K., Sokolova E. A. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy na plodorodiyer novo-podzolistykh pochv v kormovykh sevooborotakh*. [Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soils in fodder crop rotations]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(6(55)):37-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2016.55.6.37-41>
21. Chebotarev N. T., Yudin A. A. *Dinamika plodorodiya i produktivnosti dervno-podzolistoy pochvy pod deystviem dlitel'nogo primeneniya udobreniy v usloviyakh Respubliki Komi*. [Dynamics of fertility and productivity of sod-podzol soil under the influence of long use of fertilizers under conditions of Komi Republic]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(2):11-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23167327>
22. Lagutkin N. V. *Razumnozemledelie*. [Rational farming]. Penza, 2013. 116 p. URL: <http://moyaokrug.ru/GetFile.aspx?id=323>
23. Pavlikova E. V., Tkachuk O. A. *Otsenka vliyaniya apolevykh sevooborotov na plodorodie pochvy i ikh produktivnost' v lesostepnoy zone Srednego Povolzh'ya*. [Assessment of influence of field crop rotations on fertility of the soil and their efficiency in the forest-steppe zone of Central Volga area]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2014;3:710. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22528541>
24. Nikonchik P. I. *Sevooborot i vosproizvodstvo plodorodiya pochvy. Rezul'taty 30-letnego statsionarnogo opyta*. [Crop rotation and soil fertility improvement. Results of 30-year long-term experiment]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;(3):88-98. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18093098>
25. Ivanov I. S., Shatskiy I. M., Ostrikova M. G., Chekmareva A. V. *Osobennosti vzdelyvaniya espartseta na semenana Voronezhskoy opytной stantsii po mnogoletnim travam*. [Features of cultivation of sainfoin seeds in the Voronezh experimental station for perennial grasses]. *Adaptivnoe kormoproizvodstvo = Adaptive fodder production*. 2018;(1):58-71. (In Russ.). URL: <http://www.adaptagro.ru/images/journals/afp1803.pdf>
26. Volaire F., Kallida R., Norton M., Malinowski D., Barre P. Fodder grass selection in the Mediterranean: the role of summer dormancy. The Mediterranean region under climate change: a scientific update. Marseille: IRD Editions, 2016. pp. 495-501. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01832290>
27. Figurin V. A., Suntsova N. P., Kislitsyna A. P. *Posledeystvie rezhimov ispol'zovaniya travosmesi lyadventsarogato s timofeevkoym lugovoy na dervno-podzolistoy sil'nokisloy pochve*. [The effects of different cutting regimes of bird's-foot trefoil mixed with timothy grass on sod-podzolic strongly acid soil]. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(2(22)):100-106. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35146122>
28. Semeshkina P. S., Mazurov V. N., Burlutski V. A., Styatugina N. M. *Produktivnost' sevooborotov v zavisimosti ot sistemy vnesheniya mineral'nykh udobreniy*. [Crop rotation productivity depending on the system of mineral fertilizers]. *Vestnik Orel GAU = Vestnik Orel GAU*. 2017;(4(67)):57-61. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29866388>

Сведения об авторе

✉ Свечников Александр Константинович, научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал 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