

УДК 631.582:631.57:633

DOI 10.30914/2411-9687-2020-6-3-287-294

ПОЧВОУЛУЧШАЮЩАЯ РОЛЬ ПОЖНИВНО-КОРНЕВЫХ ОСТАТКОВ В ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТАХ

С. А. Замятин, Р. Б. Максимова

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

Аннотация. Гумус является важнейшим показателем плодородия почвы. От его количества и качества в значительной степени зависят основные показатели почвы: тепловые, водные, воздушные свойства, поглощательная способность, биологическая активность. Растения, как биологические объекты, в течение всей своей жизни не только используют питательные вещества и влагу из почвы, но и сами обогащают ее за счет выделений корней, сбрасывания стареющих листьев, симбиоза с микроорганизмами, в результате оставления корневой массы и надземных растительных остатков после уборки урожая. При этом земле возвращается значительная часть элементов питания, происходит увеличение содержания гумуса в почве. Пажнивные остатки и корневая масса сельскохозяйственных культур иногда являются единственным источником поступления органического вещества в почву, ресурсом энергии для развития почвенной микрофлоры. Потенциал использования органических остатков лучше всего проявляется в севооборотах при правильном чередовании культур. Это позволяет регулировать поступление в почву различного по количеству и качеству свежего органического вещества. В статье представлено изучение влияния пожнивно-корневых остатков на плодородие почвы в шестипольном севообороте. Цель исследований – провести сравнительную оценку размеров поступления запахиваемых растительных остатков в севообороте и определить их почвоулучшающую эффективность. Экспериментальная часть работы была выполнена на стационарном участке опытного поля Марийского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Повторность опыта 4-кратная, опыт заложен методом расщепленных делянок. В результате исследований выявили, что на контрольном варианте (зернотравяной севооборот) с использованием клевера 1 г. п. в среднем за год поступает 3,02 т/га пожнивно-корневых остатков. Наибольшее накопление органической массы было в III плодосменном севообороте – 3,37 т/га. Обогащение почвы органическим веществом в виде корней и поукосных остатков на фоне минеральных удобрений позволяло в течение четырех ротаций изучаемых севооборотов поддерживать в пахотном слое почвы бездефицитный баланс гумуса.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, гумус, плодородие, пожнивно-корневые остатки, севооборот

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0528-2019-0091).

Для цитирования: Замятин С.А., Максимова Р.Б. Почвоулучшающая роль пожнивно-корневых остатков в полевых севооборотах // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020. Т. 6. № 3. С. 287–294. DOI 10.30914/2411-9687-2020-6-3-287-294

SOIL IMPROVING ROLE OF CROP-ROOT RESIDUES IN FIELD CROP ROTATIONS

S. A. Zamyatin, R. B. Maksimova

*Mari Agricultural Research Institute – branch of the Federal Agricultural Scientific Center of the North-East
named after N.V.Rudnitsky, Ruem village, Mari El Republic, Russia*

Abstract. Humus is the most important indicator of soil fertility. The main indicators of the soil largely depend on its quantity and quality: thermal, water, air properties, absorption capacity, biological activity. Plants, as biological objects, throughout their lives not only use nutrients and moisture from the soil, but also enrich it by the excretion from roots, dropping aging leaves, symbiosis with microorganisms, as a result of leaving the root mass and above-ground plant debris after harvesting. At the same time, a significant part of the nutrients returns to the soil, and the humus content in the soil increases. Crop residues and the root mass of crops are sometimes the only source of organic matter in the soil, an energy resource for the development of soil microflora. The potential for using

organic residues is best manifested in crop rotation with proper crop rotation. This makes it possible to regulate the intake of fresh organic matter of different quantity and quality into the soil. The article presents the study of the effect of crop-root residues on soil fertility in a six-field crop rotation. The aim of the research is to conduct a comparative assessment of the size of the input of plowed plant residues in the crop rotation and to determine their soil-improving efficiency. The experimental part of the work was performed on a stationary site of the experimental field of the Mari Agricultural Research Institute – branch of the Federal Agricultural Scientific Center of the North-East named after N.V.Rudnitsky. The experiment was repeated 4 times, and was laid down by the method of split plots. As a result of the studies, it was revealed that in the control variant (grain-grass rotation) when using clover for 1 year, on average 3.02 t/ha of crop-root residues per year was received. The greatest accumulation of organic matter was in the III crop rotation - 3.37 t/ha. The enrichment of the soil with organic matter in the form of roots and stubble residues against the background of mineral fertilizers made it possible to maintain a deficit-free humus balance in the topsoil during four rotations of the studied crop rotations.

Keywords: sod-podzolic soil, humus, fertility, crop-root residues, crop rotation

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the State Assignment of the FSBSI FASC of the North-East (topic no. 0528-2019-0091).

For citation: Zamyatin S.A., Maksimova R.B. Soil improving role of crop-root residues in field crop rotations. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2020, vol. 6, no. 3, pp. 287–294. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-3-287-294>

Введение

Устойчивое развитие экологически чистого земледелия в Нечерноземной зоне тесно связано с проблемами воспроизводства плодородия почвы, основой которого является создание бездефицитного баланса гумуса [5]. Кризис, возникший в системе АПК в 90-е годы и не преодоленный до сих пор, отразился на состоянии почвенного плодородия. Из-за резкого сокращения поголовья скота и снижения платежеспособности сельхозтоваропроизводителей объемы внесения органических и минеральных удобрений резко сократились.

Недостаточное применение органических удобрений, длительное возделывание пропашных культур на одном и том же месте привели к снижению гумуса в почве, ухудшению водных, физических и физико-химических ее свойств, к истощению плодородия, поэтому необходимо совершенствовать систему земледелия, которая должна быть направлена в первую очередь на сохранение и повышение плодородия почв [8].

Экологически и экономически обоснованная концепция земледелия в любой почвенно-климатической зоне должна строиться на выращивании наиболее соответствующих по биологическим свойствам культур, пользующихся спросом на рынке, с учетом их средообразующего влияния на плодородие почвы и состояния агроценозов [3].

Гумусовые вещества являются наиболее значимым показателем плодородия. Они определяют

особенности функционирования почв, влияя прямо или косвенно на продуктивность сельскохозяйственных культур [4].

Совершенствование севооборотов в соответствии с экологическими принципами с учетом не только продуктивности, но и влияния на плодородие почвы – важнейшее альтернативное направление повышения эффективности земледелия в условиях сложившегося дефицита и высокой стоимости органических и минеральных удобрений, а также необходимости снижения материальных и трудовых затрат для производства конкурентоспособной продукции [5; 7].

Одним из способов воспроизводства гумуса в почве являются органические вещества, создаваемые в самих агроценозах, главным образом за счет растительных остатков. Растения, как биологические объекты, в течение всей своей жизни не только используют питательные вещества и влагу из почвы, но и сами обогащают ее за счет выделений корней, сбрасывания стареющих листьев, симбиоза с микроорганизмами, в результате оставления корневой массы и надземных растительных остатков после уборки урожая. При этом земле возвращается значительная часть элементов питания, происходит увеличение содержания гумуса в почве [2]. Растительные остатки сельскохозяйственных культур в настоящее время рассматриваются во всем мире как важнейший ресурс воспроизводства органического вещества и сохранения функциональных свойств почв в агроценозах,

как ключевой строительный блок для устойчивости сельскохозяйственного производства.

Пожнивно-корневая масса, возвращенная в почву, способствует поддержанию и улучшению ее качества и продуктивности, вносит вклад в поддержание и увеличение в почве органического углерода и питательных веществ для растений, за счет чего появляется возможность снижения объемов применения минеральных удобрений [9]. Потенциал использования органических остатков лучше всего проявляется в севообороте при правильном чередовании культур. Это позволяет регулировать поступление в почву различного по количеству и качеству свежего органического вещества.

Многие зарубежные ученые подчеркивают огромную роль растительных остатков в круговороте углерода. По их мнениям, они формируют целые сообщества из почвенных организмов, которые стимулируют структурную устойчивость у почвы [10; 11; 12; 13]. Азот, полученный из пожнивно-корневых остатков, вымывается меньше, чем из минеральных удобрений [6], поэтому положительное влияние запахивания пожнивно-корневой массы бывает более выраженным по сравнению с внесением минеральных удобрений [1].

Большая часть территории Республики Марий Эл занята кислыми дерново-подзолистыми почвами и имеет низкое естественное плодородие.

Именно поэтому важнейшей задачей для агрономов является принятие необходимых мер в каждом хозяйстве, в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий, разработка в первую очередь мероприятий для воспроизводства гумуса в почвах. В последние десятилетия проблема усугубилась из-за снижения ресурсного потенциала, в первую очередь удобрений и техники. В таких сложных условиях земледельцам республики могут быть полезны результаты длительных исследований по воспроизводству плодородия почв при рациональном использовании ресурсов в земледелии.

Исходя из вышеизложенного, отделом технологии Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока были проведены опыты по эффективности использования растительных остатков в севооборотах.

Цель исследований – провести сравнительную оценку размеров поступления запахиваемой пожнивно-корневой массы в различных полевых

севооборотах и определить их почвоулучшающую эффективность.

Материалы и методы

Исходя из целей и задач исследований, был заложен многолетний двухфакторный опыт по изучению и сравнительной оценке количества запахиваемых растительных остатков в полевых севооборотах и его влияния на почвенное плодородие с чередованием культур во времени.

Экспериментальная часть работ была выполнена в полевых условиях на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2014–2019 гг. на опытах, заложенных в 1996–1998 годах. Все варианты севооборотов были развернуты полностью всеми шестью полями и вводились одновременно в первый год закладки опыта.

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Севообороты – фактор А (зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимые, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, ячмень), I плодосменный (викоовсяная смесь на зеленую массу, озимые, ячмень, картофель, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница), II плодосменный (викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, картофель с внесением навоза (80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, озимые), III плодосменный (ячмень + клевер, клевер 1 г. п. на зеленую массу, клевер 2 г. п. на зеленую массу, озимые, картофель, овес).

2. Минеральные удобрения – фактор В (контроль – без удобрений (естественное плодородие), $N_{60}P_{60}K_{60}$).

Внесение минеральных удобрений осуществлялось поделяночно согласно схеме опыта в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата, хлористого калия. Азотные удобрения под бобовые культуры и их предшественники не вносились.

Агротехника возделывания культур выполнена согласно рекомендациям по их выращиванию в Нечерноземной зоне России. Почва экспериментального участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. В момент закладки опыта пахотный слой характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,72 %, общего азота – 0,22 %, $pH_{\text{сол}}$ – 5,67 %, показатель гидролитической кислотности составил 1,7 мг. экв/100г почвы, сумма поглощенных оснований – 7,9 мг-экв/100 г почвы. Обеспеченность почвы подвижным фосфором

составила в пределах 270 мг, обменным калием – 130 мг на 1 кг почвы.

В ходе исследований проводились учеты и наблюдения согласно методическим рекомендациям по проведению полевых опытов по Б. А. Доспехову¹, включающим фенологические наблюдения, учет засоренности делянок, определение ботанического состава растений, проведение агрохимических анализов почвы и растений. Данные результатов исследований подвергались математической обработке методом дисперсионного анализа¹.

Количество корневых и пожнивных остатков определяли рамочным методом Н. З. Станкова² (размер рамки – 30,2×33,3 см²). Для определения количества пожнивно-корневых остатков на пропашных культурах размер рамки увеличивали, сохраняя то же соотношение между рядком и между-рядьем, что и на всей площади посева.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, повторность вариантов в опыте трехкратная. Общая площадь опытных делянок 165 м². Размещение делянок систематическое.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований различались по температурному режиму, количеству выпавших осадков и их распределением в течение вегетационного периода и большей частью были удовлетворительными для роста и развития испытываемых культур в севооборотах.

Результаты и обсуждение

Учет растительных остатков имеет большое значение для расширения многих важных теоретических и практических вопросов, таких как разработка систем удобрения, севооборотов и систем земледелия в целом. От точности определения массы корней зависят результаты изучения биологического круговорота органического вещества и элементов питания в посевах [2].

Наши многолетние опыты на дерново-подзолистой почве показали, что различные культуры оставляли после себя разное количество пожнивно-корневых остатков. Накопление фитомассы, отчуждение урожая и поступление органического вещества в почву после уборки культур зависело от их биологических особенно-

стей, условий произрастания и технологии возделывания (табл. 1). Так, в зернотравяном севообороте (контроль) клевер первого года пользования оставил на 1 га пахотного слоя до 3,02 т сухого органического вещества в виде корней и поукосных остатков. Меньше всего растительных остатков было в I плодосменном севообороте – 2,14 т/га, или на 41 % меньше, чем в контрольном варианте (НСР₀₅ фактора А – 0,21). Это связано с тем, что в этом севообороте клевер был заменен на картофель. Во II плодосменном севообороте накопление пожнивно-корневых остатков также было меньше, чем в контрольном варианте на 4 %, разница согласно результатам дисперсионного анализа на этом варианте была не существенна.

В III плодосменном севообороте поступление органической массы увеличилось и составило 3,37 т/га, что достоверно выше контрольного севооборота на 11,6 % (НСР₀₅ фактора А – 0,21).

С применением минеральных удобрений количество поступления органической массы в почву увеличилось во всех севооборотах. Так, на вариантах без удобрений поступление пожнивно-корневых остатков в среднем составило 2,77 т/га, с применением минеральных удобрений этот показатель увеличился на 0,16 т/га в среднем по севооборотам при уровне НСР₀₅ фактора В – 0,15. Это объясняется лучшим развитием корневой системы двухгодичного использования клевера.

Возврат в биологический круговорот растительных остатков полевых культур и высокий уровень биологической активности почвы значительно оптимизировали гумусовое состояние пахотного слоя почвы. Наши опыты подтвердили ранее известные положения о высокой роли многолетних трав в гумусообразовательном процессе.

В 2019 году закончилась четвертая ротация севооборотов первой закладки. Это позволило проанализировать поступление гумуса за 24 года исследований. Содержание гумуса, определяемое в конце ротации севооборотов, показало что отрицательный баланс гумуса сложился в контрольном (зернотравяном) и I плодосменном севооборотах, причем снижение гумуса в пределах ошибки опыта относительно III плодосменного севооборота было в зернотравяном севообороте только в первой ротации. В последующих ротациях данное снижение гумуса было математически доказуемым. Бездефицитный баланс гумуса, в наших опытах зарегистрирован в III плодосменном севообороте, положительный – во II плодосменном.

¹ Доспехов Б.А. Методы полевого опыта с основами статистической обработки. Изд-е 5-е, дополненное и переработанное. М. : Наука, 1985. 351 с.

² Станков Н.З. Корневая система полевых культур М. : Колос, 1964, 279 с.

Таблица 1 / Table 1

Поступление пожнивно-корневых остатков в пахотный слой почвы в севооборотах, т/га (2014–2019 гг.) /
Input of crop-root residues into the topsoil in crop rotations, t / ha (2014–2019)

Фактор А (севооборот) / Factor A (crop rotation)	Фактор В (удобрения) / Factor B (fertilizers)		
	без удобрений / without fertilizers	NPK	среднее / average
Зерногравяной			
яровая пшеница	2,39	2,56	2,48
ячмень	1,41	1,66	1,54
овес	2,02	2,15	2,09
озимая рожь	3,62	3,86	3,74
вика/овес(зерно)	2,55	2,71	2,63
клевер 1г.п.	5,60	5,67	5,64
среднее по севообороту	2,92	3,10	3,02
I плодосменный			
яровая пшеница	2,46	2,84	2,65
ячмень	0,95	1,08	1,02
озимая рожь	4,0	4,12	4,06
вика/овес(зерно)	2,22	2,38	2,30
вика/овес(зел.масса)	1,65	1,74	1,70
картофель	1,08	1,15	1,12
среднее по севообороту	2,06	2,21	2,14
II плодосменный			
яровая пшеница	2,80	2,97	2,89
ячмень	1,33	1,43	1,38
озимая рожь	3,81	4,21	4,01
вика/овес(зерно)	2,57	2,70	2,64
клевер 1г.п.	5,10	5,17	5,14
картофель	1,48	1,40	1,44
среднее по севообороту	2,84	2,98	2,91
III плодосменный			
ячмень	1,28	1,42	1,35
овес	2,23	2,36	2,30
озимая рожь	4,05	4,49	4,27
клевер 1г.п.	5,60	5,86	5,73
клевер 2г.п.	5,40	5,45	5,43
картофель	1,12	1,15	1,14
среднее по севообороту	3,28	3,45	3,37
Среднее по минеральным удобрениям	Без удобрений		2,77
	NPK		2,94
НСР ₀₅ частных различий			0,29
НСР ₀₅ фактора А			0,21
НСР ₀₅ фактора В			0,15

**Влияние видов севооборота и использования минеральных удобрений
на динамику содержания гумуса в пахотном слое почвы, % /
Influence of types of crop rotation and the use of mineral fertilizers on the dynamics of humus content in the topsoil, %**

Севооборот / Crop rotation	Удобрения / Fertilizers	Содержание гумуса / Humus content			
		2001 г.	2007 г.	2013 г.	2019 г.
Зерноотрубной	Без удобрений	1,70	1,67	1,59	1,57
	НПК	1,70	1,64	1,60	1,56
I плодосменный	Без удобрений	1,69	1,63	1,56	1,55
	НПК	1,67	1,62	1,55	1,58
II плодосменный	Без удобрений	1,76	1,87	1,99	2,20
	НПК	1,75	1,86	1,96	2,16
III плодосменный	Без удобрений	1,73	1,74	1,72	1,70
	НПК	1,72	1,73	1,74	1,73
НСП ₀₅	частные различия	0,06	0,05	0,04	0,05
	A	0,05	0,04	0,03	0,04
	B	0,03	0,02	0,02	0,03

Таким образом, соблюдение научно обоснованных севооборотов с оптимальной долей однолетних и многолетних средоулучшающих бобовых культур, вовлечение в хозяйственно-биологический круговорот пожнивно-корневых остат-

ков позволяет без специальных затрат остановить или уменьшить деградацию почвенного плодородия, оптимизировать гумусовое состояние пахотного слоя почвы.

Литература

1. Замятин С.А. Измestьев В.М. Влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборота // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. № 1. С. 18–21. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26125254_55564095 (дата обращения: 29.07.2020).
2. Замятин С.А., Ефимова А.Ю., Максуткин С.А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (6). С. 594–601. DOI 10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601
3. Кислов А.В., Глинушкин А.П., Кашеев А.В. и др. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в степной зоне Южного Урала // Земледелие. 2018. № 6. С. 6–10.
4. Когут Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение. 2003. № 3. С. 308–316. DOI 10.24411/0044-3913-2018-10602
5. Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Попов Ф.А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (5). С. 467–477. DOI 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477
6. Кузнецова Л.Н. Накопление корневой массы и пожнивных остатков растениями ячменя в плодосменном и зернопарашном севооборотах // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 8. С. 132–136. URL: <https://elibrary.ru/item.id=26069209> (дата обращения: 05.12.2019).
7. Мищенко. А.Е., Касс Н.Н. Гаевая Э.Л. и др. Почвозащитные мероприятия при возделывании полевых культур в системе культурно-полосной организации эрозивно опасного склона // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 49–53.
8. Никитин В.В., Соловниченко В.Д., Навальнев В.В., Карабутов А.П. Влияние севооборотов, способов обработки почв и удобрений на изменение органического вещества в черноземе типичном // Агротехника. 2017. № 2. С. 233 с. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28776144_94572427 (дата обращения: 05.12.2019).

9. Bardgett R.D., Mommer L., De ries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // *Trends Ecol. Evol.* 2014. № 29. P. 692–699. DOI 10.1016/j.tree.2014.10.006
10. Bisen N., Rahangdale C.P. Crop residues management option for sustainable soil health in rise-wheat system: a review // *International Journal of Chemical Studies*. 2017. № 5 (4). P. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review (дата обращения: 05.12.2019).
11. 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. P. 284. DOI 10.3389/fpls.2017.00284
12. 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. P. 789–799. DOI 10.1038/nrmicro3109
13. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2017. P. 358–366. DOI 10.1080/09064710.2017.1406134

References

1. Zamyatin S.A. Izmestiev V.M. Vliyanie kul'tur sevooborota na srednegodovoe postuplenie rastitel'nykh ostatkov za rotatsiyu sevooborota [Influence of crop rotation on average annual admission of vegetable balance for one crop rotation]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2016, no. 1, pp. 18–21. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26125254_55564095 (accessed 29.07.2020). (In Russ.).
2. Zamyatin S.A., Efimova A.Yu., Maksutkin S.A. Vliyanie polevykh sevooborotov na nakoplenie pozhnivno-kornevykh ostatkov v pakhotnom sloe durnovo-podzolistoi pochvy [The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East, 2019, no. 20 (6), pp. 594–601. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601>
3. Kislov A.V. Glinushkin A.P., Kashcheev A.V. et al. Ekologizatsiya sevooborotov i biologicheskaya sistema vosproizvodstva pochvennogo plodorodiya v stepnoi zone Yuzhnogo Urala [Ecology modeling of crop rotations and biological reproduction of soil fertility in the steppe area of the South Urals]. *Zemledelie* = Agriculture, 2018, no. 6, pp. 6–10. (In Russ.).
4. Kogut B. M. Printsipy i metody otsenki sodержaniya transformiruemogo organicheskogo veshchestva v pakhotnykh pochvakh [Principles and methods for assessing the content of transformable organic matter in arable soils]. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2003, no 3, pp. 308–316. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10602>
5. Kozlova L.M., Noskova E.N., Popov F.A. Sovershestvovanie sevooborotov dlya sokhraneniya plodorodiya pochvy i uvelicheniya ikh produktivnosti v usloviyakh biologicheskoi intensifikatsii [Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East, 2019, no. 20(5), pp. 467–477. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
6. Kuznetsova L.N. Nakoplenie kornevoi massy i pozhnivnykh ostatkov rasteniyami yachmenya v plodosmennom i zernopropashnom sevooborotakh [Accumulation root mass and residue of barley plants in crop rotation and serebruany a crop rotation]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy, 2015, no. 8, pp. 132–136. Available at: <https://elibrary.ru/item.id=26069209> (accessed 05.12.2019). (In Russ.).
7. Mishchenko A.E., Kass N.N. Gaevaya E.L. et al. Pochvozashchitnye meropriyatiya pri vozdeleyanii polevykh kul'tur v sisteme kul'turno-polosnoi organizatsii erozivno opasnogo sklona [Soil protection measures at crops cultivation in contour strip organization of erosion threatening slope]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AIC, 2016, vol. 30, no. 2, pp. 49–53. (In Russ.).
8. Nikitin V.V., Solovnichenko V.D., Navalinev V.V., Karabutov A.P. Vliyanie sevooborotov, sposobov obrabotki pochvy i udobrenii na izmenenie organicheskogo veshchestva v chernozeme tipichnom [Influence of crop rotations and soil treatment methods and fertilizers on the change in organic matter in typical chernozem]. *Agrokimiya* = Agrochemistry, 2017, no 2, 233 p. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28776144_94572427 (accessed 05.12.2019). (In Russ.).
9. Bardgett R.D., Mommer L., De ries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 2014, no. 29, pp. 692–699. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.006>
10. Bisen N., Rahangdale C.P. Crop residues management option for sustainable soil health in rise-wheat system: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 2017, no. 5, pp. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review (accessed 05.12.2019). (In Eng.).
11. 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, no. (8), p. 284. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00284>
12. 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, no. 11, pp. 789–799. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>

13. Torma S., Vilček J., Lošák T., Kužel S., Martensson A. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 2017, pp. 358–366. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134>

Статья поступила в редакцию 07.08.2020 г.; принята к публикации 25.09.2020 г.

Submitted 07.08.2020; revised 25.09.2020.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
All authors have read and approved the final manuscript.

Об авторах

Замятин Сергей Анатольевич

кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом, Марийский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, п. Руэм, Республика Марий Эл, Россия, zamyatin.ser@mail.ru

Максимова Раисия Болеславовна

старший научный сотрудник, Марийский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, п. Руэм, Республика Марий Эл, Россия, via@mari-el.ru

About the authors

Sergey A. Zamyatin

Ph. D. (Agriculture), Head of the Department, Mari Branch of the FASC of the North-East, Ruem village, Mari El Republic, Russia, zamyatin.ser@mail.ru

Raisiya B. Maksimova

Senior Researcher, Mari Branch of the FASC of the North-East, Ruem village, Mari El Republic, Russia, via@mari-el.ru