



Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации

© 2019. Л. М. Козлова✉, Е. Н. Носкова, Ф. А. Попов

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

Многолетние исследования (2002-2017 гг.), проведенные в длительном стационарном опыте по изучению различных видов полевых севооборотов в условиях Кировской области, показали, что на дерново-подзолистых почвах потери гумуса можно снизить агротехническими методами. Главные из них – это сокращение доли чистых паров, переход на занятые и сидеральные пары, расширенное использование многолетних бобовых и зерно-бобовых культур, промежуточных посевов. В полевых восьмипольных севооборотах при использовании таких средств биологизации, как запашка корнеотпрысковых остатков, наземной массы сидеральных культур в паровых полях и промежуточных посевах, поступление органического вещества было в пределах 17,24-83,03 т/га, при минерализации которого образуется 7,64-11,51 т гумуса. В севообороте с чистым паром складывается отрицательный баланс гумуса -0,06 т/га. Положительный баланс получается при использовании занятых, сидеральных паров, промежуточных посевов (два-три поля), введении в структуру севооборотов до 25% многолетних бобовых трав. При образовании в пахотном слое гумуса 0,96-1,44 т/га обеспечивается положительный баланс 0,20-0,72 т/га. С повышением в структуре севооборотов доли зерновых культур до 62,5-75,0% продуктивность их возрастала до 4,74-4,79 тыс. корм. ед./га, что выше, чем в контрольном севообороте с чистым паром на 0,27-0,32 тыс. корм. ед./га. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от содержания гумуса слабая отрицательная ($r = -0,16$). Продуктивность изученных севооборотов в сильной степени зависела от количества продуктивной влаги в почве в фазу колошения зерновых культур ($r = -0,78$) и биологической активности почвы ($r = -0,80$).

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, паровые поля, промежуточные и сидеральные культуры, органическое вещество, баланс гумуса, корнеотпрысковые остатки

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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):467-477. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>

Поступила: 26.06.2019

Принята к публикации: 02.10.2019

Опубликована онлайн: 18.10.2019

Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification

© 2019. Lyudmila M. Kozlova✉, Eugenia N. Noskova, Fyodor A. Popov

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

The long-term research conducted in 2002-2017 in a long stationary experiment on studying different types of field crop rotations under conditions of the Kirov region showed that on sod-podzolic soils the loss of humus could be lowered using agro technical methods. The most critical of them include the reduction of a portion of bare fallow, transition to sown and green-manure fallow, expanded use of perennial legume and grain-legume crops and intercrop sowings. In eight-field crop rotations when using such means of a biologization as plowing of the root-stubble residues, aboveground mass of green-manure crops in fallow fields and intercrop sowings, the supply of organic substance was within 17.24-83.03 t/ha. By mineralization of this substance 7.64-11.51 t of humus were produced. In a crop rotation with bare fallow there is a negative balance of humus of -0.06 t/ha. The positive balance is obtained when using sown, green-manure fallows, intercrop sowings (two-three fields), and introduction of up to 25% perennial legumes to the structure of crop rotations. The formation of 0.96-1.44 t/ha of humus in the arable layer provides positive balance of 0.20-0.72 t/ha. The increase of the part of grain crops up to 62.5-75.0% in the structure of crop rotations resulted in rise of their efficiency up to 4.74-4.79 thousand fodder units. It was 0.27-0.32 thousand fodder units higher than in the control crop rotation with bare fallow. Dependence of productivity of agricultural crops on humus content was insignificantly negative ($r = -0.16$). The efficiency of the studied crop rotations depended considerably on the amount of productive moisture in the soil in a phase of ear formation of grain crops ($r = -0.78$) and on biological activity of the soil ($r = -0.80$).

Key words: sod-podzolic soils, fallow fields, intercrops and green-manure crops, organic matter, balance of humus, root-stubble residues

Acknowledgement: The research was carried out within the state assignment of *FARC North-East* (theme № 0767-2019-0091).

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

For citing: Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. 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;20(5):467-477. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>

Received: 26.06.2019

Accepted for publication: 02.10.2019

Published online: 18.10.2019

Совершенствование севооборотов на экологических принципах с учетом не только продуктивности, но и влияния на плодородие почвы – важнейшее альтернативное направление повышения эффективности земледелия в различных почвенно-климатических условиях [1].

В Стратегии научно-технического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г., потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе определена как один из главных вызовов современности.

Производство экологически чистой высококачественной продукции является одной из актуальных задач АПК нашей страны. Ее решение тесно связано с биологизацией и экологизацией земледелия за счет расширения площади посевов бобовых культур, многолетних трав, промежуточных культур и применения различных видов органических удобрений и биологических препаратов в сочетании с различными агрохимикатами [2].

Севооборот, как научно обоснованное чередование сельскохозяйственных культур и чистого пара во времени и по полям, был и остается многофункциональной агроэкологической системой агроценозов, позволяющей решать многие задачи современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В рамках севооборота за счет биологизации земледелия решаются экологические проблемы, связанные с возрастающей нагрузкой факторов интенсификации земледелия на окружающую среду [3, 4, 5, 6].

Достигнутый в последние годы уровень производства сельскохозяйственных культур в России стал результатом резкого изменения технологий возделывания на основе применения различных видов удобрений, современных гербицидов, новейшей сельскохозяйственной техники, позволяющей своевременно и более качественно проводить все операции по подготовке почвы, посеву, уходу за культурами. Казалось бы, в таких условиях в земледелии не

осталось проблем. Однако анализ существующей ситуации свидетельствует об обратном [7].

Самый важный из всех негативных процессов – потеря гумуса почвы. Он малозаметен, но идет постоянно. На сегодняшний день содержание гумуса в черноземах сократилось до 4-6%, вместо 10-12% 100 лет назад [8]. По результатам многолетних опытов [9], в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах ежегодно под культурами сплошного сева минерализуется 0,4-0,8 т/га гумуса, на черноземах 0,8-1,2 т/га. Наиболее интенсивно этот процесс идет в черных парах, где потери гумуса могут составлять 1,5-2,0 т/га.

В Кировской области, по результатам последнего цикла агрохимического обследования, почвы с низким содержанием гумуса занимают до 50% площади пашни. Основные причины деградации почв – отсутствие приемов по известкованию и фосфоритованию кислых почв, снижение использования органических и минеральных удобрений [10]. Для предупреждения дальнейшей деградации плодородия почв, по нашему мнению, необходимо введение научно обоснованных севооборотов с сидеральными парами и промежуточными культурами, запашка корневых остатков, отавы многолетних трав [11]. Зарубежные авторы также указывают на то, что влияние корневых остатков на плодородие почвы может быть значительно выше других органических удобрений [12, 13]. При включении сидеральных паров в севооборот процессы гумификации в почве преобладают над процессами минерализации. Поступление органического вещества в виде сидерата, даже без внесения удобрений, стабилизирует содержание гумуса в почве (гумификация – 8,20, минерализация – 7,95 т/га) [14].

В соответствии с Концепцией развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации до 2020 года, при сложившейся структуре посевных площадей сидераты могли бы занимать в нашей стране до 30 млн га. Полученное зеленое удобрение равноценно по содержанию органического вещества 700-800 млн т подстилочного навоза [15]. При этом затраты на про-

изводство и использование зеленого удобрения в 3-4 раза меньше, чем при применении подстилочного навоза.

Однако основная форма сидерации в виде сидеральных паров экономически невыгодна, так как сидеральное поле не дает в течение года товарной продукции. Экономически выгоднее промежуточная форма сидерации в виде пожнивных, подсеваемых, поукосных и других промежуточных культур. Положительное влияние промежуточных культур заключается, в первую очередь, в том, что увеличивается поступление органического вещества с оптимальным качественным составом, улучшающим микробиологические процессы в почве. Влияние промежуточных культур на биологическую активность, агрофизические свойства почвы увеличивается при использовании их на сидеральные цели [16, 17, 18].

В. И. Турусов и др. [19] указывают, что значительное увеличение проблемы воспроизводства плодородия почв и необходимость постоянного роста продуктивности культур требуют разработки новых агротехнических приемов. Важным условием является снижение доли чистых паров, переход на сидеральные пары, расширение посевов зернобобовых культур. В связи с этим актуальность и новизна наших исследований заключается в комплексном (агрофизическом, агрохимическом и фитосанитарном) исследовании агротехнических приемов с использованием биологических ресурсов, направленных на восстановление плодородия почвы и увеличение выхода кормовых единиц с 1 га пашни.

Цель исследований – разработка в соответствии с экологическими принципами полевых севооборотов, способствующих сохранению плодородия дерново-подзолистых почв Кировской области.

Материал и методы. Исследования проводили в стационарном опыте НИИСХ Северо-Востока, заложенном в 1976 году. В 2002-2009 гг. на изучение были взяты шесть восьмипольных севооборотов с различными зернобобовыми смесями и сидеральными культурами. С 2010 по 2017 год изучали восьмипольные севообороты с различными видами паров и промежу-

точными (поукосными и пожнивными) культурами.

Севообороты размещены в пространстве и во времени, размещение делянок систематическое, повторность четырехкратная. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкоуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Агрохимические показатели: r_{HCl} 4,8-5,5, содержание P_2O_5 – 135-216, K_2O – 150-157 мг/кг почвы (по Кирсанову), содержание гумуса – 1,67-2,00% (по Тюрину).

В севооборотах возделывали следующие культуры районированных сортов: озимая рожь Фаленская 4, ячмень Лель, яровая пшеница Свеча, овес Сельма, горох Лучезарный, пелюшка Надежда, клевер луговой Ратибор, вика Льговская-28, люпин узколистный Снежить.

Севообороты насыщены бобовыми культурами: одно- и двухгодичными клеверами и их смесями со злаковыми травами, смесями зернобобовых и яровых зерновых культур, а также сидеральными культурами (люпин узколистный, клевер луговой, горчица белая + пелюшка + овес, редька масличная + пелюшка + овес). Насыщение бобовыми культурами до 50%. После уборки озимой ржи на зерно подсеивали промежуточные пожнивные культуры (редька масличная, горчица белая, рапс яровой). Эти же культуры высевали и поукосно после зерносмесей на зеленый корм и сенаж. Промежуточные культуры в севооборотах занимали от 12,5 до 37,5%. Схемы севооборотов представлены в таблице 2.

Удобрения вносили под основные культуры в дозе $\text{N}45\text{P}45\text{K}45$, под пожнивные и поукосные сидераты – $\text{N}30$. Под посев промежуточных культур применяли ресурсосберегающую поверхностную обработку почвы. Агротехника возделывания культур – рекомендуемая для Нечерноземной зоны. Зеленую массу сидеральных культур в паровых полях и промежуточных посевах после измельчения заделывали плугом на глубину пахотного слоя.

Баланс гумуса определяли по методическим указаниям^{1, 2}. Дисперсионный и корреляционный анализы проводили по Б. А. Доспехову³ с использованием программы «Agros 2.07».

¹Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.

²Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 26 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

Количество осадков в среднем за вегетационные периоды (2010-2017 гг.) составляло 222-423 мм. Погодные условия за период проведения исследований существенно различались: 2012, 2015 и 2017 гг. – влажные, 2010, 2013, 2014 гг. – засушливые, 2011 и 2016 гг. – нормальные по увлажнению.

Результаты и их обсуждение. Принцип биологической интенсификации земледелия предполагает комплексное использование наво-

за, сидеральных культур, многолетних трав, корнерстерневых остатков, отавы многолетних трав и однолетних бобово-злаковых смесей как средств образования органического вещества.

Анализ возможных источников поступления органического вещества в почву показал, что на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах основными из них являются навоз и многолетние бобовые травы (клевер луговой и смеси его с тимофеевкой) (табл. 1).

Таблица 1 – Источники пополнения гумуса в почве (2002-2017 гг.) / Table 1 – Sources of soil humus replenishment (2002-2017)

<i>Источник пополнения / Sources of replenishment</i>	<i>Поступление органического вещества, т/га / Supply of organic matter, t/ha</i>	<i>Нормативы образования гумуса⁴, т* / Standards of humus formation⁴, t*</i>	<i>Поступило гумуса, т/га / Received humus, t/ha</i>
Навоз КРС / Cattle manure	10,0-40,0	0,06	0,60-2,40
Сидеральные культуры / Green-manure crops:			
- многолетние бобовые травы / perennial legumes	25,5-29,2	0,06	1,53-1,75
- однолетние бобово-злаковые смеси / annual legume-grass mixtures	10,2-20,5	0,06	0,61-1,23
- донник желтый / yellow sweet clover	11,5-14,9	0,06	0,69-0,89
- люпин узколистный / blue lupin	12,0-12,5	0,06	0,72-0,75
Корнепозживные остатки многолетних трав / Root-crop residues of perennial crops:			
- одного года пользования / one-year use	5,12-8,51	0,25	1,28-2,12
- двух лет пользования / two-years use	6,89-10,74	0,25	1,72-2,69
Корнерстерневые остатки / Root-stubble residues:			
- озимых зерновых / winter cereals	4,47-7,39	0,18	0,80-1,33
- яровых зерновых / spring cereals	2,91-4,90	0,18	0,52-0,88
Отава многолетних трав / After-grass of perennial grasses	8,50-12,80	0,06	0,51-0,77

* из 1 т органических удобрений и растительных остатков/ from 1 t of organic fertilizers and plant residues

При недостатке органических удобрений и высокой затратности использования навоза его экономичнее заменить сидеральными культурами или запашкой корнерстерневых остатков и отавы клевера. Возврат в почву органического вещества в виде растительных остатков, сидеральной массы в паровых полях и промежуточных посевах способствует образованию и накоплению гумуса.

Исследования показали, что внесение 10 т навоза равноценно по образованию гумуса

использованию в сидеральных парах однолетних бобово-злаковых смесей, донника желтого, люпина узколистного (0,61-0,72 т/га). Сидеральные культуры при хорошей агротехнике формируют урожайность зеленой массы 10,2-29,2 т/га, из которой поступает в почву 0,61-1,75 т/га гумуса. И это количество гумуса только из наземной массы. Из корней, стерневых и пожнивных остатков при более высоком коэффициенте гумификации дополнительно поступает 1,28-2,69 т/га гумуса.

⁴Баланс гумуса и питательных веществ в интенсивном земледелии. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 1989. 26 с.

Зерновые культуры в значительно меньшей степени влияют на образование органического вещества в почве. Но если уборку озимых культур проводить на высоком срезе, то в почву может поступать примерно такое же количество органического вещества, что и после многолетних трав одногодичного использования (до 7,39 т/га). Отава многолетних трав, заделанная в почву в сентябре, пополняет запасы органического вещества в большем объеме, чем заплата только корней и стерни клевера лугового (до 12,8 т/га). При этом в почве может образоваться не менее 0,51 т/га гумуса.

Количество вновь образованного гумуса будет зависеть от видового состава растительных остатков, органических удобрений и условий их гумификации. Положительный баланс гумуса достигался в зернотравяных шестипольных и восьмипольных севооборотах с многолетними травами, а также при внесении навоза в чистых и занятых парах. При введении в севообороты 33,4% бобовых культур и посеве на сидеральные цели однолетних трав или донника желтого поступление органического вещества в почву составляло 37,6-44,0 т/га. При этом баланс гумуса был положительным 0,39 и 0,42 т/га. Баланс гумуса увеличивался в положительную сторону и составил 0,60 т/га в севообороте с 50% бобовых культур и внесении 60 т/га навоза при поступлении органического вещества 85,4 т/га. Отрицательный баланс 0,06 т/га получали при 16,7% бобовых культур в структуре севооборота при одногодичном использовании клевера [20].

Поступление органического вещества в агроландшафтах зависит также от насыщения севооборотов различными по биологии культурами, применяемых технологий, метеоусловий года и может колебаться, как показали наши исследования, в восьмипольных севооборотах с различными видами паров в пределах 5,89-83,03 т/га (табл. 2). С корнерстерневыми и пожнивными остатками озимых, яровых зерновых, зернобобовых культур и многолетних трав поступало в зернотравяных севооборотах в среднем на гектар севооборотной площади 5,04-6,96 т/га органического вещества. Сидеральные культуры в паровых полях дополнительно давали 12,5, 20,0 т/га наземной массы, если в структуре севооборота (II, IV) по одному сидеральному пару. Введение в восьмипольный севооборот (VI) двух сидеральных полей (однолетние травы и клевер I г.п.) увеличивало поступление органической массы до 43,9 т/га.

Посев одной промежуточной культуры в севооборотах (III, IV, V) после озимой ржи на

зерно обеспечивал дополнительно 11,5-12,2 т/га богатой питательными веществами наземной массы, стерни и корней.

Увеличение площадей под промежуточными культурами (25,0 и 37,5%) приводило к увеличению поступления органического вещества до 21,5 и 33,8 т/га. В условиях Кировской области только с сухой массой поукосно-корневых остатков этих культур остается до 30% от общего количества органического вещества, синтезированного пожнивными культурами.

При насыщении восьмипольного зернотравяного севооборота (VI) промежуточными культурами (горчица белая, рапс яровой, редька масличная) до 37,5% и двумя сидеральными парами поступление органического вещества увеличивается до 83,03 т/га. Посев на 25% площади севооборота этих культур в севообороте с люпином узколистным дает до 40,96 т/га органической массы. При посеве на 25% севооборотной площади промежуточных культур в сидеральном севообороте (IV) с однолетними травами поступает 38,63 т/га органического вещества. В контрольном севообороте (I) с чистым паром без посева промежуточных культур этот показатель составил только 5,89 т/га.

В полевых восьмипольных севооборотах с чистым, занятыми и сидеральными парами достоверных изменений в содержании гумуса за 8 лет не произошло (табл. 3). Перед закладкой опыта содержание общего гумуса по севооборотам составляло 1,90-2,00%. Применение всех средств биологизации способствовало сохранению гумуса на первоначальном уровне – 1,91-2,04%. При содержании гумуса в почве 46,0-48,4 т/га потери его в почве незначительные – 0,3-0,6 т/га. Увеличение содержания гумуса недостоверное, в пределах 0,4-1,1 т/га.

В зависимости от насыщения севооборотов сидеральными парами и промежуточными культурами за 8 лет ротации севооборотов количество вновь образованного гумуса составляло 6,40-11,51 т/га. Расчет баланса гумуса показал, что за 8 лет в контрольном севообороте (I) образовалось 6,40 т/га гумуса (0,80 т в год), при этом минерализовалось 6,90 т/га. При данной структуре посевов без использования органических удобрений и посева сидеральных культур в пахотном слое в год терялось 0,06 т/га гумуса. Наибольшая минерализация (2,01 т/га) была отмечена в чистом пару. Два поля многолетних трав (клевер с подсевом тимopheевки) не могли обеспечить положительный баланс гумуса.

Таблица 2 – Поступление органического вещества в полевых восьмипольных севооборотах /
Table 2 – Supply of organic matter in eight-field crop rotations

Севообороты с различными видами паров / Crop rotations with different types of fallow	Удобрения и промежуточные культуры / Fertilizers and intercrops	Поступление органического вещества, т/га в год / Supply of organic matter, t/ha per year			всего / in total
		корнеотвердевающие остатки / root- stubble residues	сидеральные культуры / of green manure crops	промежуточные культуры / of intercrops	
I. Пар чистый – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – яровая пшеница – горох + яровая пшеница + овес (з/фураж) – овес / I. Bare fallow – winter rye – barley with clover undersow – clover of 1 year of use – clover of 2 year of use – spring wheat – peas + spring wheat + oats (grain-forage) – oats	НРК	5,89	-	-	5,89
II. Пар сидеральный (люпин) – озимая рожь + редька масличная (пожнивню) – ячмень с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – яровая пшеница – горох + яровая пшеница + овес (з/сенаж) + рапс яровой (пожнивню) – овес / II. Green-manure fallow (lupin) – winter rye – oil radish (after-harvest sowing) – barley with clover undersow – clover of 1 year of use – clover of 2 year of use – spring wheat – peas + spring wheat + oats (grain-haylage) – spring rape (after-cutting) – oats	НРК + 1 сидеральная + 2 промежуточные культуры / NPK + 1 green-manure crop + 2 intercrops	6,96	12,5	21,5	40,96
III. Пар занятый (редька масличная + вика + овес) – озимая рожь + горчица белая (пожнивню) – ячмень – пелюшка + яровая пшеница + овес (з/фураж) с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – яровая пшеница – овес / III. Sown fallow (oil rape + vetch + oats) – winter rye – white mustard (after-harvest sowing) – barley – field pea + spring wheat + oats (grain-forage) with clover undersow – clover of 1 year of use – clover of 2 year of use – spring wheat – oats	НРК + 1 промежуточная культура / NPK + 1 intercrop	5,83	-	11,5	17,33
IV. Пар сидеральный (редька масличная + вика + овес) – озимая рожь + горчица белая (пожнивню) – ячмень – пелюшка + яровая пшеница + овес (з/сенаж) с подсевом клевера – клевер 1 г.п. – клевер 2 г.п. – яровая пшеница – овес / IV. Green-manure fallow (oil rape + vetch + oats) winter rye – white mustard (after-harvest sowing) – barley – field pea + spring wheat + oats (grain-forage) with clover undersow – clover of 1 year of use – clover of 2 year of use – spring wheat – oats	НРК + 1 сидеральная + 1 промежуточная культура / NPK + 1 green-manure crop + 1 intercrop	6,63	20,0	12,0	38,63
V. Пар занятый (клевер) – озимая рожь + рапс яровой (пожнивню) – ячмень – вика + яровая пшеница + овес (з/фураж) – пар занятый (редька масличная + овес + пелюшка) – озимая рожь + озимая вика (зерно) – яровая пшеница – овес / V. Sown fallow (clover) – winter rye – spring rape (after-harvest sowing) – barley – vetch + spring wheat + oats (grain-forage) – sown fallow (oil rape + oats + field pea) – winter rye + winter vetch (grain) – spring wheat – oats	НРК + 1 промежуточная культура / NPK + 1 intercrop	5,04	-	12,2	17,24
VI. Пар сидеральный (клевер) – озимая рожь + рапс яровой (пожнивню) – ячмень – вика + яровая пшеница + овес (з/сенаж) + редька масличная (пожнивню) – пар сидеральный (редька масличная + овес + пелюшка) – озимая рожь + оз. вика (з/корм) + горчица белая (пожнивню) – яр. пшеница – овес / VI. Green-manure fallow (clover) – winter rye + spring rape (after-harvest sowing) – barley – vetch + spring wheat + oats (grain-haylage) + spring rape (after-cutting) – green-manure fallow (oil rape + oats + field pea) – winter rye + winter vetch (green forage) + white mustard (after-harvest sowing) – spring wheat – oats	НРК + 2 сидеральные + 3 промежуточные культуры / NPK + 2 green-manure crop + 3 intercrops	5,33	43,9	33,8	83,03

Таблица 3 – Баланс гумуса в севооборотах (2009-2017 гг.) /
Table 3 – Humus balance in crop rotations (2009-2017)

Севоборот / Crop rotation	Год исследований / Year of research	Содержание гумуса / Humus content		Минерализовалось гумуса за 8 лет/за 1 год, т/га / Amount of humus mineralized for 8 years / for 1 year, t/ha	Образовалось гумуса за 8 лет/за 1 год, т/га / Amount of humus formed for 8 years / for 1 year, t/ha	Баланс гумуса, т/га / Humus balance, t/ha
		%	т/га /t/ha			
I. С чистым паром / I. With bare fallow	2009	1,99	47,8	0,85		
	2017	2,04	48,4	6,90/0,86	6,40/0,80	-0,06
II. С сидеральным паром (люпин узколистный) / II. With green-manure fallow (blue lupin)	2009	1,98	47,5	0,67		
	2017	1,97	47,9	5,42/0,68	10,43/1,30	+0,62
III. С занятым паром (однолетние травы) / III. With sown fallow (annual grasses)	2009	1,98	47,5	0,65		
	2017	2,03	48,6	5,67/0,71	8,41/1,05	+0,34
IV. С сидеральным паром (однолетние травы) / IV. With green-manure fallow (annual grasses)	2009	1,90	45,6	0,68		
	2017	1,91	46,0	5,25/0,66	10,70/1,34	+0,68
V. С двумя занятыми парами (клевер 1 г.п. и однолетние травы) / V. With two sown fallows (clover of 1 year of use and annual grasses)	2009	2,00	48,0	0,77		
	2017	1,99	47,7	6,08/0,76	7,64/0,96	+0,20
VI. С двумя сидеральными парами (клевер 1 г.п. и однолетние травы) / VI. With two green-manure fallows (clover of 1 year of use and annual grasses)	2009	2,00	48,0	0,78		
	2017	1,97	47,4	5,73/0,76	11,51/1,44	+0,72
		F _φ < F _т		-	-	-
		F _φ > F _т		-	-	-

При введении в структуру севооборота (V) двух занятых паров (клевер луговой и смесь редька масличная + овес + пелюшка) обеспечивался положительный баланс гумуса 0,20 т/га. Накопление гумуса в этом севообороте составило 7,64 т/га (0,96 т/га за год) при минерализации 6,08 т/га (0,76 т в год). Посев однолетних трав (редька масличная + вика + овес) в севообороте с двумя полями клевера лугового и посевом пожнивной горчицы белой после озимой ржи на зерно (III) способствовал увеличению образования гумуса до 8,41 т/га (1,05 т/га в год), что обеспечило положительный баланс 0,34 т/га. Дальнейшее увеличение в структуре посевов сидеральных паров и промежуточных посевов способствовало значительному накоплению гумуса. Севообороты (II и IV) с сидеральными парами (люпин узколистный и редька масличная + вика + овес) с двумя полями многолетних трав и посевом промежуточных культур повышали образование гумуса до 10,43 и 11,51 т/га (1,30 и 1,34 т/га в год) при минерализации его 0,68 и 0,66 т в год, что обеспечило положительный баланс 0,62 и 0,68 т/га.

Наиболее интересный вариант севооборота (VI) с двумя сидеральными парами (клевер и однолетние травы), с посевом двух поукосных и одной пожнивной промежуточной культурами. Здесь поступало в почву наибольшее количество органического вещества, из которого образовалось 11,51 т/га (1,44 т/га в год) гумуса при балансе его 0,72 т/га. В данном севообороте только с корневыми остатками в пахотный слой поступало 6,85 т/га гумуса, дополнительно с наземной массой сидеральных культур – 2,63 т и органической массой промежуточных крестоцветных культур – 2,03 т. Соответственно ежегодно почва пополнялась на 1,44 т гумуса.

При сравнении различных видов полевых восьмипольных севооборотов с различными видами паровых полей и посевом промежуточных культур отмечаем, что продуктивность севооборотов зависела от состава и соотношения культур. Чем лучше предшественник для требовательных к плодородию культур, тем выше их урожайность, тем эффективнее использование пашни.

Средняя урожайность зерновых по севооборотам достоверных различий не имела и составляла 3,22-3,29 т/га. Зависимость урожайности от предшественника в большей степени заметна у озимой ржи. Лучшими предшественниками для нее были клевер I г.п. на сидерат и чистый пар (без внесения органических удобрений), которые обеспечили урожайность в среднем за ротацию 3,10 и 3,05 т/га ($НСР_{05} = 0,40$). Урожайность яровой пшеницы была выше на 0,16-0,18 т/га при размещении по клеверам II г.п., чем по смеси озимой ржи с озимой викой на зернофураж и зерносе-наж ($НСР_{05} = 0,16$). Средняя урожайность зерновых имела высокую корреляционную зависимость от влажности пахотного слоя почвы в фазу всходов ($r = 0,79$), среднюю зависимость от влажности и продуктивной влаги в фазу колошения ($r = 0,59$ и $r = 0,51$), среднюю отрицательную – от плотности почвы в фазу всходов ($r = -0,62$), биологической активности в слое 0-10 см ($r = -0,58$), засоренности посевов малолетними сорняками ($r = -0,38$). Количество гумуса в почве не влияло на уровень урожайности культур. Зависимость урожайности всех культур севооборота от содержания гумуса в пахотном слое (0-20 см) почвы была слабая отрицательная ($r = -0,16$).

Оценка севооборотов по выходу кормовых единиц показала, что с повышением в структуре севооборотов процента зерновых культур, продуктивность возрастала (табл. 4). В контрольном севообороте (I) при 62,5% зерновых культур получено 4,47 тыс. корм. ед./га. В севооборотах с занятыми парами (III и V) при 62,5 и 75,0% посевов зерновых и зернобобовых получили 4,79 и 4,74 тыс. корм. ед./га, что выше, чем в контрольном севообороте на 0,32 и 0,27 тыс. корм. ед./га ($НСР_{05} = 0,23$).

Таблица 4 – Выход зерна и кормовых единиц (2010–2017 гг.) /
Table 4 – Yield of grain and fodder units (2010–2017)

Севооборот / Crop rotation	Структура пашни, % / Structure of arable land, %				Проме- жуточные культуры, % / Intercrops, %	Средняя урожайность зерновых, т/га / Average productivity of grain crops, t/ha	Выход корм. ед., тыс./ га / Yield of fodder units, thousand/ha
	пары / fallow	зер- новые / grain crops	многолетние травы / perennial grasses	з/бобовые культуры (сенаж) / grain-legume crops (haylage)			
I. С чистым паром / I. With bare fallow	12,5	62,5	25,0	-	-	3,27	4,47
II. С сидеральным паром (люпин узколистный) / II. With green-manure fallow (blue lupin)	12,5	50,0	25,0	12,5	25,0	3,29	4,08
III. С занятым паром (однолетние травы) / III. With sown fallow (annual grasses)	12,5	62,5	25,0	-	12,5	3,26	4,79
IV. С сидеральным паром (однолетние травы) / IV. With green-manure fallow (annual grasses)	12,5	50,0	25,0	12,5	12,5	3,22	4,14
V. С двумя занятыми парами (клевер I г.п. и однолетние травы) / V. With two sown fallows (clover of 1 year of use and annual grasses)	25,0	75,0	-	-	12,5	3,27	4,74
VI. С двумя сидеральными парами (клевер I г.п. и однолетние травы) / VI. With two green-manure fallows (clover of 1 year of use and annual grasses)	25,0	50,0	-	25,0	37,5	3,28	4,41
НСР ₀₅ / LSD ₀₅							
	-	-	-	-	-	F _φ < F _r	0,23

Севообороты с сидеральными парами (II, IV, VI), многолетними травами и зернобобовыми смесями на зерносеяж проигрывали по количеству полученных кормовых единиц. При введении в структуру посевов до 25% многолетних трав и 12,5% зернобобовых смесей продуктивность севооборотов снижалась до 4,08-4,41 тыс. корм. ед./га или на 0,06-0,39 тыс. корм. ед./га по сравнению с контролем.

Продуктивность севооборотов с паровыми полями, занятыми однолетними травами на корм увеличивалась и за счет зерносмесей. Смесей пелюшка + яровая пшеница + овес и вика + яровая пшеница + овес при уборке их на зерно обеспечивали 1,02-1,30 корм. ед./га. При уборке таких зерно-смесей на зерносеяж получали только 0,55-0,60 корм. ед./га.

Продуктивность изученных севооборотов в сильной степени зависела от количества продуктивной влаги в почве в фазу колошения ($r = -0,78$) и биологической активности в слое 0-10 см ($r = -0,80$). Среднюю зависимость отмечали от плотности пахотного слоя в фазу колошения зерновых культур ($r = -0,55$), биологической активности в слое 10-20 см ($r = -0,60$), засоренности посевов малолетними и многолетними сорняками ($r = -0,40$; $-0,47$).

Выводы. В результате исследований выявлено, что для сохранения плодородия дерново-подзолистых почв в условиях Кировской области необходимо введение зернотравяных севооборотов с сидеральными и занятыми парами. Для снижения минерализации гумуса необходимо использовать органическую систему удобрения, в частности применение таких сидеральных культур, как клевер луговой, донник желтый, люпин узколистный и промежуточных культур – горчицу белую, редьку масличную, рапс яровой. Поступление органического вещества в восьмипольных севооборотах увеличивалось до 17,24-83,03 т/га, что способствовало образованию гумуса в среднем по севооборотам 7,64-11,51 т/га. Баланс гумуса в севооборотах с занятыми парами создавался положительный 0,20 и 0,34 т/га. Замена занятых паров на сидеральные увеличивала баланс до 0,62-0,72 т/га. Выход кормовых единиц повышался в севооборотах с занятыми парами при увеличении в структуре посевов зерновых (62,5 и 75,0%) до 4,74 и 4,79 тыс. корм. ед./га. Зависимость урожайности культур от содержания гумуса в почве слабая отрицательная ($r = -0,16$).

Список литературы

1. Мищенко А. Е., Кисс Н. Н., Гаевая Э. А., Васильченко А. П., Мищенко А. В. Почвозащитные мероприятия при возделывании полевых культур в системе контурно-полосной организации эрозионно опасного склона. Достижения науки и техники АПК. 2016;(2(30)):49-53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25650656>
2. Лошаков В. Г. Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2016;(1):9-13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Постников Д. А., Темирбекова С. К., Лошаков В. Г., Норов М. С., Курило А. А. Сравнительная агроэкологическая оценка применения традиционных и перспективных сидеральных культур в условиях Московской области. Достижения науки и техники АПК. 2014;(8):39-43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21956371>
4. Лошаков В. Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: ВНИИА, 2012. 512 с.
5. 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>
6. 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>
7. Пыхтин И. Г., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я. Текущие проблемы в земледелии. Земледелие. 2018;(5):8-11. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10502>
8. Турусов В. И., Чеве́рдин Ю. И. Современное состояние почвенного покрова Воронежской области и пути регулирования плодородия почв. Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: материалы Всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. участием к 85-летию Почвенного института им. В. В. Докучаева. М., 2012. С. 97.
9. Барановский И. Н. Торф в плодородии дерново-подзолистых почв Нечерноземной зоны: монография. Тверь: Агросфера, 2009. 222 с.
10. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области. Земледелие 2016;(8):16-18. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/plodorodie-pahotnyh-kirovskoy-oblasti-pochv>
11. Рекомендации по формированию севооборотов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. Киров: ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», 2015. 40 с.
12. 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>

13. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability*. 2017;(9):14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
14. Овсяникова Г. В., Янковский Н. Г., Кривошеева Е. Д. Роль черного и занятого паров и увеличения продуктивности озимой пшеницы и сохранения почвенного плодородия. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016;(3(52)):27-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25982842>
15. Сычев В. Г., Ефремов Е. Н. Концепция программы агрохимических мероприятий до 2020 года. *Инновационные решения регулирования плодородия почв сельскохозяйственных угодий*. М.: ВНИИА, 2011. 30 с.
16. Loschakov V. G. Einfluss der langjährigen Stoppelfruchtgrün- und Strohdüngung auf die Fruchtbarkeit von Rasenpodsolböden und den Körnerertrag. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde*. 2002;48(6):593-602. DOI: <https://doi.org/10.13187/bgt.2015.6.374>
17. Довбан К. И. Зеленое удобрение в современном земледелии. *Вопросы теории и практики*. Минск: Белорусская наука, 2009. 404 с.
18. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как фактор биологизации земледелия и повышения плодородия почвы. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2016;(2):65-79. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28911752>
19. Турусов В. И., Гармашов В. М., Абанина О. А., Михина Т. И. Сидеральный пар как прием повышения плодородия почвы и продуктивности озимой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;(3-3 (45)):125-126. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.170>
20. Козлова Л. М. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации земледелия в Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2014;(2):30-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21254990>

References

1. Mishchenko A. E., Kiss N. N., Gaevaya E. A., Vasil'chenko A. P., Mishchenko A. V. *Pochvozashchitnye meropriyatiya pri vozdeleyanii polevykh kul'tur v sisteme konturno-polosnoy organizatsii erozionno opasnoy sklona*. [Soil-protective actions at cultivation of field crops in the system of planimetric-and-band organization of erosion-dangerous slope]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;(2(30)):49-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25650656>
2. Loshakov V. G. *Effektivnost' razdel'nogo i sovmestnogo ispol'zovaniya sevooborota i udobreniy*. [Efficiency of separate and mutual use of a crop rotation and fertilizers]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;(1):9-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25651219>
3. Postnikov D. A., Temirbekova S. K., Loshakov V. G., Norov M. S., Kurilo A. A. *Sravnitel'naya agroekologicheskaya otsenka primeneniya traditsionnykh i perspektivnykh sideral'nykh kul'tur v usloviyakh Moskovskoy oblasti*. [Comparative agroecological assessment of use of traditional and perspective green-manure crops in the conditions of the Moscow region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2014; (8):39-43. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21956371>
4. Loshakov V. G. *Sevooborot i plodorodie pochvy*. [Crop rotation and soil fertility]. Moscow: VNIIA, 2012. 512 p.
5. 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>
6. 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>
7. Pykhtin I. G., Dubovik D. V., Aydiev A. Ya. *Tekushchie problemy v zemledelii*. [Current problems in crop farming]. *Zemledelie*. 2018;(5):8-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10502>
8. Turusov V. I., Cheverdin Yu. I. *Sovremennoe sostoyanie pochvennogo pokrova Voronezhskoy oblasti i puti regulirovaniya plodorodiya pochv*. [Current state of soil cover of the Voronezh region and ways of regulation of soil fertility]. *Pochvovedenie v Rossii: vyzovy sovremennosti, osnovnye napravleniya razvitiya: materialy Vseross. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem k 85-letiyu Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. [Soil science in Russia: present challenges, the main directions of development: Proceedings of All-Russian scientific and practical Conf. with International participation, devoted to the 85th anniversary of V. V. Dokuchaev Soil Science Institute]. Moscow, 2012. p. 97.
9. Baranovskiy I. N. *Torf v plodorodii dervno-podzolistykh pochv Nechernozemnoy zony: monografiya*. [Peat in fertility of sod-podzolic soils of the Nonchernozem zone]. Tver': *Agrosfera*, 2009. 222 p.
10. Molodkin V. N., Busygin A. S. *Plodorodie pakhotnykh pochv Кировской области*. [Fertility of arable soils of the Kirov region]. *Zemledelie* 2016;(8):16-18. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/plodorodie-pakhotnyh-kirovskoy-oblasti-pochv>
11. *Rekomendatsii po formirovaniyu sevooborotov v adaptivno-landshafinykh sistemakh zemledeliya*. [Recommendations on formation of crop rotations in the adaptive and landscape systems of agriculture]. Kirov: FGBNU «NIISKh Severo-Vostoka», 2015. 40 p.
12. 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>

13. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability*. 2017;(9):14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
14. Ovsyanikova G. V., Yankovskiy N. G., Krivosheeva E. D. *Rol' chernogo i zanyatogo parov i uvelicheniya produktivnosti ozimoy pshenitsy i sokhraneniya pochvennogo plodorodiya*. [Role of bare and sown fallows and increase in productivity of winter wheat and soil fertility conservation]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(3(52)):27-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25982842>
15. Sychev V. G., Efremov E. N. *Kontseptsiya programmy agrokhimicheskikh meropriyatiy do 2020 goda*. [The concept of the program of agrochemical actions till 2020]. *Innovatsionnye resheniya regulirovaniya plodorodiya pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodyi*. [Innovative solutions of regulation of soil fertility of agricultural lands]. Moscow: *VNIIA*, 2011. 30 p.
16. Loschakov V. G. Einfluss der langjährigen Stoppelfruchtgrün -und Strohdüngung auf die Fruchtbarkeit von Rasenpodsolböden und den Kornerertrag. *Archiv für Acker-und Pflanzenbau und Bodenkunde*. 2002;48(6):593-602. DOI: <https://doi.org/10.13187/bgt.2015.6.374>
17. Dovban K. I. *Zelenoe udobrenie v sovremennom zemledelii. Voprosy teorii i praktiki*. [Green fertilizers in modern agriculture. Problems of theory and practice]. Minsk: Belorusskaya nauka, 2009. 404 p.
18. Loshakov V. G. *Zelenoe udobrenie kak faktor biologizatsii zemledeliya i povysheniya plodorodiya pochvy*. [Green fertilizers as factors of biologization of agriculture and increase of soil fertility]. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii = Agro Central Russian Technologies*. 2016;(2):65-79. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28911752>
19. Turusov V. I., Garmashov V. M., Abanina O. A., Mikhina T. I. *Sideral'nyy par kak priem povysheniya plodorodiya pochvy i produktivnosti ozimoy pshenitsy*. [Green-manure fallow as a method of increasing soil fertility and productivity of winter wheat]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2016;(3-3 (45)):125-126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.170>
20. Kozlova L. M. *Effektivnost' polevykh sevooborotov pri razlichnykh urovnyakh intensivifikatsii zemledeliya v Kirovskoy oblasti*. [Efficiency of field crop rotations at various levels of intensification of crop farming in the Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;(2):30-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21254990>

Сведения об авторах:

✉ **Козлова Людмила Михайловна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом земледелия, агрохимии и мелиорации ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru,

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия и мелиорации ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>,

Попов Фёдор Александрович, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>.

Information about the authors:

✉ **Lyudmila M. Kozlova**, DSc in Agricultural science, leading researcher, Head of the Department of Soil Management, Agrochemistry and Amelioration, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenina str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>, e-mail: zemledele_niish@mail.ru,

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Soil Management and Amelioration, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>,

Fyodor A. Popov, PhD in Agricultural science, researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>.

✉ - Для контактов / Corresponding author