

## Оптимизация полевых севооборотов, как фактор сохранения почвенного плодородия и экологизации земледелия

© 2020. Л. М. Козлова, д. с.-х. н., в. н. с.,  
Е. Н. Носкова, к. с.-х. н., н. с.,  
Ф. А. Попов, к. с.-х. н., с. н. с.,

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,  
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,  
e-mail: zemledele\_niish@mail.ru

Одно из главных условий экологического земледелия – внедрение биологизированных полевых севооборотов. В длительном стационарном опыте (1982–2017 гг.) по изучению различных видов полевых севооборотов в условиях Кировской области исследованы биологическая активность почвы (методом разложения льняных полотен), токсичность почвы (методом проростков), продуктивность севооборотов. Установлено, что на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве деятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов (МО) зависит от климатических условий вегетационного периода, вида севооборота, предшествующей культуры, содержания органического вещества и агрофизических свойств почвы. В специализированных зерновых севооборотах деятельность целлюлозоразлагающих МО была достоверно ниже, чем в севооборотах с 50%-ным насыщением бобовыми культурами, сидеральными парами, внесением органических удобрений. Разложение целлюлозы под бобовыми и пропашными культурами оценивалось по шкале от «сильного» до «очень сильного». Токсичность почвы повышалась в зерновых севооборотах, по сравнению с зернотравяными и плодосменными, превышая 20%. В биологизированных севооборотах при внесении органических удобрений почва была не токсична (0–6%). Самый низкий процент токсичности отмечен в почве чистого и сидерального паров. Продуктивность севооборотов зависела от систем удобрений и состава культур и в среднем по севооборотам была на высоком уровне – 4,26–5,69 тыс. кормовых единиц.

**Ключевые слова:** севообороты, плодосмен, биологическая активность, токсичность почвы, органические удобрения, сельскохозяйственные культуры.

## Optimization of field crop rotations as a factor of soil fertility preservation and greening of agriculture

© 2020. L. M. Kozlova ORCID: 0000-0002-6363-0996\*  
E. N. Noskova ORCID: 0000-0002-4685-7865\*  
F. A. Popov ORCID: 0000-0002-9801-3453\*

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,  
166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,  
e-mail: zemledele\_niish@mail.ru

One of the main conditions of ecological farming is the introduction of biologized field crop rotations. In a long-term stationary experiment (1982–2017) on the study of various types of field crop rotations in the conditions of the Kirov region, the biological activity of the soil (by the method of linen decomposition), soil toxicity (by the seedlings method), productivity of crop rotations were studied. It has been found that on sod-podzolic middle loamy soil the activity of cellulose-decomposing microorganisms depends on the weather conditions of the growing season, the type of crop rotation, the precursor, the content of organic matter, the agrophysical properties of the soil. Enhancement of biological activity of soil and reduction of its phytotoxicity is possible due to reduction of doses of mineral fertilizers, application of all types of organic fertilizers, ploughing of root and stubble residues of crops, grain straw, aftergrowth of perennial legumes. In specialized grain crop rotations, the activity of cellulose-decomposing microorganisms was significantly lower than in crop rotations with 50% saturation with leguminous crops, green-manure fallows, and application of organic fertilizers. Fiber degradation under legumes and tilled crops was evaluated on the scale as from ‘strong’ to ‘very strong’. In grain crop rotations soil toxicity increased in compare with grain-grass and field crop rotations, exceeding 20%. Soil was not toxic (0–6%) in biologized crop rotations when applying organic fertilizers. The lowest percentage of toxicity was observed in the soil of pure and green-manure fallows. Crop rotation productivity depended on fertilizer systems and crop composition and had a high level: 4.26–5.69 thousand fodder units.

**Keywords:** crop rotation, rotation cropping system, biological activity, soil toxicity, organic fertilizers, agricultural crops.

В соответствии со стратегией научно-технологического развития Российской Федерации к аграрному производству предъявляются современные требования, где наряду с ресурсо- и энергосбережением, увеличением производительности труда, рентабельности производства сельскохозяйственной продукции, большое значение придаётся экологической безопасности агротехнологий [1].

При развитии органического сельского хозяйства биологизация земледелия будет переходным этапом для производства органической продукции по российским и международным стандартам. Органическое сельское хозяйство ориентировано на научно-обоснованное чередование культур как основного фактора биологизации, на минимизацию обработки почвы и на снижение использования пестицидов и синтетических удобрений [2].

В настоящее время следует пересмотреть роль специализированных севооборотов, уточнить в структуре посевных площадей наличие чистых паров, многолетних трав, технических культур. В условиях адаптивного земледелия Евро-Северо-Восточного региона чистые пары следует заменить сборными (занятое, сидеральные), насыщать севообороты бобовыми травами, зернобобовыми, крестоцветными культурами [3].

На почвенное микробное сообщество большое влияние оказывает применение органических и минеральных удобрений. Большой интерес в этом плане представляют результаты многолетних исследований в длительных стационарных опытах, когда выявляемые эффекты аккумулируются во времени на фоне изменения факторов окружающей среды в конкретной почвенно-климатической зоне [4, 5].

Цель исследований – совершенствование в соответствии с экологическими принципами систем полевых севооборотов, при использовании различных факторов биологизации, способствующих сохранению и повышению плодородия дерново-подзолистых почв Северо-Востока европейской части России.

### Материалы и методы

Исследования проводились в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Опыт по изучению полевых севооборотов заложен в 1976 г. Было изучено 16 схем шестипольных и 12 схем восьмипольных севооборотов, на рассмотрение взято

шесть наиболее контрастных севооборотов (схемы севооборотов представлены в таблице). Изучалось влияние специализированных зерновых севооборотов, севооборотов с различными видами паров и различным насыщением бобовыми культурами при органической системе удобрений с применением биологических средств защиты растений на агрофизические, биологические показатели почвенного плодородия, фитосанитарное состояние посевов и урожайность культур. Химические средства защиты не применялись.

Изученные севообороты (1982–2017 гг.) размещены на всех полях в пространстве и во времени. Повторность четырёхкратная в пространстве, размещение делянок систематическое, общая площадь делянки 154 м<sup>2</sup>.

Влажность, плотность почвы, количество растительных остатков и общий гумус определяли по методикам [6]. Целлюлозную активность почвы определяли методом «аппликаций», по разложению в ней льняного полотна [7]. Полученные результаты оценивали по шкале [8]: разложение < 10% – очень слабая активность, 10–30% – слабая, 30–50% – средняя, 50–80% – сильная, > 80% – очень сильная. Токсичность почвы определяли при помощи растительного теста по «методу проростков» [7].

### Результаты и обсуждение

Севообороты и предшественники оказывают многогранное влияние на сложные биохимические процессы, протекающие в почве, на взаимодействие растений и почвенных микроорганизмов (МО) и их деятельность.

Считается, что достаточно достоверную картину общей биологической активности почвы показывает интенсивность распада в ней клетчатки (целлюлозная активность). Но, так как активность целлюлозоразлагающих МО зависит от доступных питательных элементов, то можно считать, что степень распада льняной ткани отражает «напряжённость хода микробиологических процессов вообще» [9].

При определении биологической активности в специализированных севооборотах (I, II), где зерновые занимают в структуре 50,0 и 84,3%, установлено, что достоверных различий между севооборотами не отмечалось (табл.). Но в разрезе по культурам следует отметить, что интенсивность распада клетчатки в слое 0–20 см под разными культурами различалась. Под клеверами II-го г. п. активность целлюлозоразлагающих МО снижалась

Таблица / Table  
 Влияние чередования культур на биологические показатели плодородия и продуктивности севооборотов  
 Effects of crop rotation on biological parameters of soil fertility and crop rotation productivity

Севообороты / Минеральные и органические удобрения, д. в. Crop rotation / Mineral and organic fertilizers, acting matter	Разложение льняного полотна, % Decomposition of linen, %	Токсич- ность, % Toxicity, %	Общий гумус, % Total humus, %	Продуктивность севооборота, корм. ед. тыс. Productivity of crop rotation, Fodder units, thousand
I севооборот: 1. Пар занятый (вика+овёс) 2. Озимая рожь 3. Ячмень с подсевом клевера 4. Клевер I г.п. 5. Клевер II г.п. 6. Яровая пшеница / N <sub>65</sub> P <sub>100</sub> K <sub>30</sub>	31,8	17,3	1,67	4,73
I crop rotation: 1. Seeded fallow (vetch+oats) 2. Winter rye 3. Barley with clover undersow 4. Clover of first year of use 5. Clover of second year of use 6. Spring wheat				
II севооборот: 1. Ячмень 2. Озимая рожь с подсевом клевера 3. Клевер I г.п. 4. Озимая рожь 5. Овёс 6. Яровая пшеница / N <sub>85</sub> P <sub>100</sub> K <sub>55</sub>	35,7	20,7	1,69	5,05
II crop rotation: 1. Barley 2. Winter rye with clover undersow 3. Clover of first year of use 4. Winter rye 5. Oats 6. Spring wheat				
III севооборот: 1. Клевер I г.п. 2. Клевер II г.п. 3. Озимая рожь 4. Яровая пшеница 5. Вика+овёс 6. Ячмень с подсевом клевера / N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + 5 т/га	49,6	3,8	1,72	4,72
III crop rotation: 1. Clover of first year of use 2. Clover of second year of use 3. Winter rye 4. Spring wheat 5. Vetch+oats 6. Barley with clover undersow				
IV севооборот: 1. Пар занятый (вика+овёс) 2. Озимая рожь 3. Ячмень 4. Картофель 5. Озимая рожь 6. Овёс / N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + 15 т/га	47,2	3,5	1,65	5,69
IV crop rotation: 1. Seeded fallow (vetch+oats) 2. Winter rye 3. Barley 4. Potato 5. Winter rye 6. Oats				
V севооборот: 1. Пар чистый 2. Озимая рожь 3. Ячмень с подсевом клевера 4. Клевер I г.п. 5. Яровая пшеница 6. Овёс / N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> + 5 т/га	31,6	14,3	1,89	3,96
V crop rotation: 1. Pure fallow 2. Winter rye 3. Barley with clover undersow 4. Clover of first year of use 5. Spring wheat 6. Oats				
VI севооборот: 1. Пар сидеральный (пелюшка+овёс) 2. Озимая рожь 3. Яровая пшеница с подсевом клевера 4. Клевер I г.п. 5. Картофель 6. Ячмень / N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	36,8	14,2	1,75	4,26
VI crop rotation: 1. Green manure fallow (field pea+oats) 2. Winter rye 3. Spring wheat with clover undersow 4. Clover of first year of use 5. Potato 6. Barley				
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	11,22	2,74	0,09	0,74

(17,9–20,0%) по сравнению с зерновыми культурами, что объясняется иссушением почвы и повышением её плотности. Разложение льняной ткани под озимой рожью после лучшего предшественника клевера повышалось до 40,0–58,9%, причём распад ткани интенсивнее шёл после клеверов 1-го г. п., за счёт более быстрого разложения молодых корне-стерневых остатков (КСО). При размещении озимой ржи после зернового предшественника (ячмень) биологическая активность была значительно ниже – 25,5–33,5% ( $НСР_{05} = 9,1$ ). Деятельность целлюлозоразлагающих МО усиливалась и под пшеницей, посеянной после клевера II-го г. п. – 47,0% и выше на 9,8–18,1%, чем при размещении её после озимой ржи ( $НСР_{05} = 7,2$ ). Под ячменём разложение льняного полотна снижалось на 17,6–18,6% в севооборотах с высоким насыщением (84,3%) зерновыми, наибольший процент разложения (44,1%) отмечен в севообороте, где доля зерновых снижалась до 50% ( $НСР_{05} = 12,6$ ).

Введение в шестипольный (III) севооборот 50% бобовых культур (два поля клевера, вико-овсяная смесь на зернофураж) и внесение навоза увеличивало процент разложения льняной ткани до 49,6% (в среднем по севообороту). Разложение ткани под озимой рожью повышалось при размещении после клевера II-го г. п. (до 77,0%), это выше на 17,3%, чем после пара, занятого вико-овсяной смесью, на 15,7% – чем по сидеральному пару и на 25,0% – чем по картофелю ( $НСР_{05} = 14,7$ ). Высокая активность целлюлозоразлагающих МО отмечена под вико-овсом на зерно – 55,6%.

Регулировать интенсивность биологических процессов в почве можно более эффективно в плодосменных (культуры из разных биологических групп) севооборотах. Поэтому зернопропашной севооборот (IV), который отвечает всем принципам плодосмена при внесении органических удобрений (15 т/га), улучшает условия аэрации в почве, благодаря периодическим междурядным обработкам под картофелем, и повышает биогенность почвы. Максимальная интенсивность разложения полотна под картофелем по годам колебалась от 66,6 до 82,0%. Интенсивность разложения целлюлозы оценивалась по шкале [8] от «сильной» до «очень сильной».

Введение в севообороты чистого пара способствует «оздоровлению почвы», улучшению жизненной среды растений. Для разложения растительных остатков и детоксикации почвы достаточно одного парового поля в севообороте. Органические удобрения, внесённые

в чистом пару, являются важным фактором воздействия на активность почвенных МО и направленность почвенно-биологических процессов [10]. Внесение навоза в чистом пару в севообороте (V) положительно сказалось на озимой ржи. Разложение льняной ткани было выше на 8,0–20,0%, чем при размещении озимой ржи по занятым парам.

Разложение ткани значительно повышалось в севообороте (VI) с сидеральным паром, пропашной культурой и клевером 1-го г. п. (36,8%). По годам распад ткани в этом севообороте был выше на 9,5–15,7%. Активность целлюлозоразлагающих МО возрастала под озимой рожью после сидерального (вико-овсяная смесь) пара на 11,2–26,6%, по сравнению с другими предшественниками ( $НСР_{05} = 11,0$ ). Степень распада полотна под зерновыми культурами оценивалась от «слабой» до «средней». Высокую степень убыли льняного полотна отмечали также под картофелем (39,1–59,7%), что объясняется быстрым разложением корневых остатков этой культуры при лучших агрофизических (низкой плотности, лучшей водопроницаемости) условиях, обусловленных междурядными обработками. В среднем за ротацию в севооборотах, в структуре которых различный процент зерновых, бобовых и пропашных культур, разложение льняного полотна оценивалось «средней степенью».

Разложение целлюлозы значительно зависело и от влияния метеорологических условий. На целлюлозолитические процессы сдерживающее действие оказывали понижение температуры ( $r = -0,70$ ) и количество атмосферных осадков ( $r = -0,80$ ). Во влажные годы при выпадении осадков в количестве 113–150% от нормы при сумме среднемесячной температуры выше среднемноголетней на 1,0–2,5 °C под посевами бобовых культур ткань распадалась на 43,5–79,4, под картофелем – 59,7–82,0, в чистом пару – 27,6–45,3, под зерновыми – 45,9–51,1%. В сухие и холодные вегетационные периоды процент разложения полотна был в 1,5–2,0 раза ниже.

Наши исследования показали, что на дерново-подзолистых почвах при влажности почвы 11–14% разложение целлюлозы происходит очень медленно. Высокая корреляционная зависимость целлюлозоразлагающих процессов от наличия влаги в почве выявлена в зерновых севооборотах (I, II) в период всходов яровых зерновых культур и в середине вегетации  $r = 0,88$  и  $0,89$ . Зависимость же от плотности почвы была только в начале

вегетации и перед уборкой культур –  $r = -0,70$  и  $-0,61$ . К началу уборки зерновых культур почва уплотняется до  $1,45–1,47$  г/см<sup>3</sup> и, даже при достаточной влажности, деятельность МО снижается.

В севооборотах, насыщенных бобовыми травами, зернобобовыми культурами и органическими удобрениями (III, IV, V, VI), отмечается меньшая («слабая» и «средняя») зависимость степени разложения полотно от влажности и плотности почвы (при 5% уровне значимости). В почву поступает достаточно много органического вещества, что усиливает работу МО и влияние погодных факторов менее существенно.

При определении токсичности почвы (по длине проростков) во всех изученных севооборотах отмечали, что под зерновыми культурами токсичность возрастала по сравнению с бобовыми культурами, особенно под яровой пшеницей (20–33%), ячменём (20–30%), озимой рожью (21–30%), то есть почва в зерновых специализированных севооборотах была токсичной. Токсичными считаются почвы, если гибель проростков составляет более 20%. Только под овсом, который обладает фитосанитарными свойствами, этот показатель не превышал 16–17%. В севооборотах, где два поля было занято клеверами (I), токсичность была ниже на 3,4% ( $НСР_{05} = 2,74$ ), чем в севообороте (II) с клевером одного года использования. Введение узкоспециализированных зерновых севооборотов являлось причиной увеличения токсичности почвы, которую можно устранить введением в структуру севооборотов бобовых культур как фактора снижения почвоутомления.

Определение токсичности почвы в севооборотах с бобовыми культурами и внесением органических удобрений показало, что почва была не токсична (в среднем не превышала 6,0%). Под бобовыми культурами и озимой рожью, предшественниками которой они были, в большинстве лет гибель и угнетение проростков отсутствовали. В среднем по севооборотам достоверное снижение токсичности наблюдали в севообороте с бобовыми культурами (III) и в зернопропашном (IV) ( $НСР_{05} = 2,74$ ).

В севооборотах с чистым (V) и сидеральным (VI) парами почва была не токсичной, т.е. снижение всхожести семян и угнетение проростков не превышало 20%. Самый низкий процент токсичности 6,0–6,7% отмечали в чистом и сидеральном парах.

Фитотоксичность коррелировала с условиями вегетационного периода. В сухие годы

проявление токсичности было более сильным, превышая допустимые 20%. В зерновых севооборотах отрицательная корреляционная зависимость токсичности от влажности усиливается к концу вегетации  $r = -0,84$ , в начале и середине вегетации зависимость «средняя»  $r = 0,46–0,47$ . В биологизированных севооборотах, насыщенных органическим веществом, «слабая» и «средняя» зависимость отмечалась в разные ротации в середине вегетационного периода и перед уборкой ( $r = -0,17–0,54$ ). Следует отметить, что к концу ротации севооборотов видна тенденция уменьшения токсичности почвы, это подтверждает, что научно обоснованное чередование культур улучшает биологические процессы в почве.

На изучаемых дерново-подзолистых почвах не было достоверной корреляционной зависимости целлюлозоразлагающих организмов от содержания в почве растительных остатков и количества гумуса в почве [11], что объясняется тем, что в процессе разложения органического вещества участвуют и другие группы МО. Исследователи [12, 13] утверждают, что тесные корреляционные связи возникают между содержанием гумуса и широким кругом МО.

На урожайность культур и продуктивность севооборотов влияли система удобрений и чередование культур. Высокое насыщение зерновыми культурами (до 83,4%) повышало продуктивность севооборотов на 4,5–7,2% за счёт ячменя, самой урожайной культуры в наших условиях. При введении в севооборот бобовых культур до 50% и внесении невысоких доз удобрений (III) не происходит снижения продуктивности в сравнении с подобным чередованием при высокой степени удобренности (I). Плодосменные севообороты (IV, VI) как при органоминеральной, так и при минеральной системах удобрения обеспечивали высокий выход кормовых единиц, которые выражают общую питательную ценность сельскохозяйственных культур и являются главным показателем эффективности севооборотов. Замена чистого пара занятыми и сидеральными парами увеличивала продуктивность севооборотов на 10,6–43,7%. Размещение культур по лучшим предшественникам дополнительно даёт до 30% кормовых единиц.

### Заключение

В результате исследований, выполненных в длительном стационарном опыте (более 30 лет) на дерново-подзолистой среднесугли-

нистой почве, установлено, что экологическая система ведения земледелия основывается, в первую очередь, на внедрении плодосменных севооборотов, в составе которых культуры из разных биологических групп. Усиление биологической активности почвы и снижение её фитотоксичности возможно за счёт снижения доз минеральных удобрений, внесения всех видов органических удобрений, запахивания корневых и стерневых остатков культур, соломы зерновых, отавы многолетних бобовых трав. Интенсивность разложения льняных полоsten усиливалась после бобовых предшественников. В севооборотах с высоким насыщением зерновыми деятельность целлюлозоразлагающих МО была достоверно ниже, чем в севооборотах с бобовыми культурами при внесении 5–15 т/га органических удобрений. При введении в севообороты сидеральных и пропашных культур биологическая активность повышалась. Степень разложения целлюлозы под культурами оценивалась по шкале [8] от «сильной» до «очень сильной». Токсичность почвы возрастала, превышая 20% с увеличением в севооборотах доли зерновых культур. Высокое насыщение севооборотов бобовыми культурами (до 50%), введение сидеральных паров и внесение навоза способствовали снижению или полному устранению токсичности почвы.

Таким образом, наиболее достоверные результаты по влиянию различных агротехнических приёмов (в том числе севооборотов) на показатели плодородия почвы и продуктивность культур можно получить в многолетних исследованиях (не менее 20 лет). Поэтому на основе сформированной базы данных необходимо в дальнейших исследованиях уделить внимание качественным и количественным показателям в системе «почва – растение», что будет способствовать поддержанию фитосанитарного состояния почвы на экологическом уровне, сохранению и повышению плодородия почвы.

### Литература

1. Завалин А.А. Оптимизация минерального питания и продуктивности растений при использовании биопрепаратов и удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 5. С. 19–23.
2. Галеев Р.Ф., Шашкова О.Н. Оценка действия приёмов биологизации и химизации на продуктивность кормового севооборота в лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 10. С. 22–25.

3. Козлова Л.М. Севооборот как элемент ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии // Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур. Германия, Саарбрюккен: LAP, 2017. С. 106–115.

4. Cruz A.F., Hamel C., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // Plant Soil. 2009. V. 315. P. 173–184.

5. Sun D., Bi Q., Li K., Dai P., Yu Y., Zhou W., Jin C. Significance of temperature and water availability for soil phosphorus transformation and microbial community composition as affected by fertilizer sources // Biology and fertility of soils. 2018. V. 54. No. 2. P. 229–241.

6. Сафонов А.Ф., Стратонович М.В. Практикум по земледелию с почвоведением. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.

7. Опытное дело в полеводстве. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.

8. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

9. Мишустин Е.Н., Емцев В.П. Микробиология. М.: Колос, 1970. 193 с.

10. Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья (актуальность и состояние проблемы, рабочие гипотезы исследований, сопряжённость агрономических и экологических функций, динамика в агроценозах, принципы моделирования и технологии воспроизводства). М.: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. 630 с.

11. Козлова Л.М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 1. С. 6–9.

12. Carballas M., Reisinger O., Kilbertus G. Microflora y materia organica reconocible en suelos de Praderia. III. Estaciones mesofilas. Conclusiones generales // Anales de edafologia y agrobiologia. 1984. V. 42. No. 9–10. P. 1499–1508.

13. Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Ямалтдинова В.Р. Микробиологическое состояние дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении органических и минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 151–159.

### References

1. Zavalin A.A. Optimization of mineral nutrition and productivity of plants using biopreparations and fertilizers // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015. No. 5. P. 19–23 (in Russian).
2. Galeev R.F., Shashkova O.N. Assessment of the action of biologization and chemization techniques on

productivity of fodder crop rotation in forest steppe of Western Siberia // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. V. 33. No. 10. P. 22–25 (in Russian). doi: 10.24411/0235-2451-2019-11005

3. Kozlova L.M. Crop rotation as an element of resource-saving crop cultivation technologies in adaptive and landscape farming // *Resursosberegayushchie tekhnologii vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur*. Germany, Saarbrücken: LAP, 2017. P. 106–115 (in Russian).

4. Cruz A.F., Hamel C., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // *Plant Soil*. 2009. V. 315. P. 173–184. doi: 10.1007/s11104-008-9742-x

5. Sun D., Bi Q., Li K., Dai P., Yu Y., Zhou W., Jin C. Significance of temperature and water availability for soil phosphorus transformation and microbial community composition as affected by fertilizer sources // *Biology and fertility of soils*. 2018. V. 54. No. 2. P. 229–241. doi: 10.1007/s00374-017-1252-7

6. Safonov A.F., Stratonovich M.V. Practical works on crop farming with soil science. Moskva: Agropromizdat, 1990. 208 p. (in Russian).

7. Experiment work in field-crop cultivation. Moskva: Rosselkhozizdat, 1982. 190 p. (in Russian).

8. Zvyagintsev D.G. Methods of soil microbiology and biochemistry. Moskva: MGU, 1991. 304 p. (in Russian).

9. Mishustin E.N., Emtsev V.P. Microbiology. Moskva: Kolos, 1970. 193 p. (in Russian).

10. Lykov A.M., Yeskov A.I., Novikov M.N. Organic substance of arable soils of Nezerzhoye (relevance and state of the problem, working hypotheses of research, conjugation of agronomic and ecological functions, dynamics in agrocenoses, principles of modeling and reproduction technology). Moskva: Rosselkhozakademia, GNU VNIPTIOU, 2004. 630 p. (in Russian).

11. Kozlova L.M. Productivity and balance of basic nutrients in crop rotation at various levels of intensification // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. V. 33. No. 1. P. 6–9 (in Russian). doi: 10/24411/0235-2451-2019-10102

12. Carballas M., Reisinger O., Kilbertus G. Microflora y materia organica reconocible en suelos de Praderia. III. Estaciones mesofilas. Conclusiones generales // *Anales de edafologia y agrobiologia*. 1984. V. 42. No. 9–10. P. 1499–1508.

13. Zavyalova N.E., Shirokikh I.G., Yamaltdinova V.R. Microbiological status of the Pre-Urals sod-podzolic soil with long-term use of organic and mineral fertilizers // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 1. P. 151–159 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-151-159