

ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

С. А. Замятин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом технологии возделывания сельскохозяйственных культур, zamyatin.ser@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3999-9179;

Р. Б. Максимова, старший научный сотрудник отдела технологии возделывания сельскохозяйственных культур, ORCID ID: 0000-0002-0324-8525

Мари́йский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», 425231, Республика Марий Эл, Медведевский район, п. Руэм, ул. Победы, д. 10; e-mail: via@mari-el.ru

Представлены результаты многолетних опытов по изучению биологической активности дерново-подзолистого почвенного агроценоза методом в полевых севооборотах. Экспериментальная часть работ была выполнена в полевых условиях на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1996–2020 гг. на опытах, заложенных в 1996 и 1998 гг. Закладка опыта – 2-х факторная: фактор А – виды севооборотов: 1. Зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 года пользования, озимые, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, ячмень – контроль); 2. I плодосменный (однолетние зернобобовые травы, озимые, ячмень, картофель, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница); 3. II плодосменный (викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, картофель с внесением навоза (80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, озимые); 4. III плодосменный севооборот (ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, клевер 2 года пользования, озимые, картофель, овес); фактор Б – внесение минеральных удобрений: контроль (без удобрений); $N_{60}P_{60}K_{60}$. Установлено, что, активность почвенной микрофлоры главным образом зависела от наличия в почве органического вещества. Наибольшая активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов на естественном фоне плодородия отмечалась во II плодосменном севообороте, с внесением навоза под картофель – 23,9% в первый срок (45 дней) и 54,7% во второй срок (90 дней) экспозиции. Наименьшая биологическая активность почвы отмечена в зернотравяном севообороте (83% зерновых) – 17,7% за первые 45 дней и 43,4% – во второй срок экспозиции. Это обусловлено дефицитом органических веществ из-за отсутствия их поступления. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ под предпосевную культивацию достоверно повышало биологическую активность почвы по отношению к необогащенному фону, причём достаточно высокая интенсивность разложения льняного полотна наблюдалась во II плодосменном севообороте – за первые 45 дней – 24,9%, за 90 дней – 56,8%. Корреляционный анализ (1998–2019 гг.) между средним разложением льняного полотна под культурами за весь период вегетации и значением гидротермического коэффициента (ГТК) показал тесную прямую зависимость, которая в первый и второй сроки экспозиции составила 0,87–0,90 и 0,86–0,89 соответственно.

Ключевые слова: севооборот, биологическая активность почвы, минеральные удобрения, органические удобрения, аппликационный метод.

Для цитирования: Замятин С.А., Максимова Р.Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 39–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44.



THE EFFECT OF CROP ROTATION ON THE SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY

S.A. Zamyatin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the department of grain crop cultivation technologies, zamyatin.ser@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3999-9179

R.B. Maksimova, senior researcher of the department of grain crop cultivation technologies, ORCID ID: 0000-0002-0324-8525

Mari Research Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI FARC of the North-East named after N.V. Rudnitsky,

425231, Republic of Mari El, Medvedevsky district, v. of Ruem, Pobeda Str., 10; e-mail: via@mari-el.ru

The current paper has presented the results of long-term experiments on the study of the biological activity of sod-podzolic soil by the application method in field crop rotations. The experimental part of the work was carried out on the experimental plots of the Mari Research Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI FARC of the North-East in 1996–2020. The trials were laid down in 1996 and 1998. The trial was laid down in two factors. Factor A included such types of crop rotations as grain-grasses crop rotations (oats + clover, clover of 1 year of use, winter crops, vetch-oat mixture for grain, spring wheat, barley as a control grain crop); the first rotation of crops (annual leguminous grasses, winter crops, barley, potatoes, vetch-oat mixture for grain, spring wheat); the second rotation of crops (vetch-oat mixture for grain, spring wheat, potatoes fertilized with manure (80 t/ha), barley + clover, clover of 1 year of use, winter crops); the third rotation of crops (barley + clover, clover of 1 year of use, clover of 2 years of use, winter crops, potatoes, oats). Factor B included application of mineral fertilizers: control grain crop (without fertilizers); $N_{60}P_{60}K_{60}$. There has been established that the activity of soil microflora mainly depended on the presence of organic matter in the soil. The largest activity of cellulose-destroying microorganisms against a natural background of fertility was identified in the second rotation of crops, with the introduction 23.9% of manure for potatoes in the first period (45 days) and 54.7% in the second period (90 days) of exposure. The slightest biological activity of the soil was identified in the grain-grasses

crop rotation (with 83% of grain crops); it was 17.7% in the first 45 days and 43.4% in the second period of exposure. That was caused by the deficit of organic matter. The introduction of mineral fertilizers in a dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$ under pre-sowing tillage significantly increased the soil biological activity in comparison to the unfertilized background, and a fairly high intensity of flax decomposition was observed in the second rotation of crops with 24.9% in 45 days and 56.8% in 90 days. Correlation analysis (1998-2019) between the mean flax decomposition under crops for the entire vegetation period and the value of the hydrothermal coefficient (HThC) showed a close direct correlation, which in the first and second periods of exposure was 0.87–0.90 and 0.86–0.89, respectively.

Keywords: crop rotation, soil biological activity, mineral fertilizers, organic fertilizers, application method.

Введение. Плодородие почвы и его рациональное использование в сельскохозяйственном производстве во многом определяется интенсивностью и направленностью биохимической деятельности микроорганизмов. Последнее определяет скорость трансформации различных соединений, разложения растительных остатков, накопление элементов питания растений и в конечном итоге плодородия почвы. Активность почвенной флоры, главным образом, зависит от наличия в почве органического вещества при благоприятном сочетании температуры, влажности и плотности. Органическое вещество, консервирующее энергию солнца в химически связанной форме – единственный источник энергии для развития почвы, формирования её плодородия (Kuzminykh et al., 2020).

Микробиологическая активность почвы также существенно изменяется под влиянием минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений увеличивает биологическую активность почвы на 3–6% по сравнению с контролем. Недобор атмосферных осадков при повышенном температурном режиме препятствует интенсивному распаду льняного полотна, характеризующего микробиологическую активность почвы, при этом процессы разложения целлюлозы приостанавливаются (Общая и Хрипунова, 2019).

Важная характеристика растений в севообороте – почвоулучшающая способность, благодаря их пожнивным и корневым остаткам. Севообороты с научно обоснованной структурой оказывают многогранное влияние на сложные биохимические процессы, протекающие в почве, и взаимоотношения культурных растений друг с другом и почвенными микроорганизмами. Чередование культур в севообороте приводит к изменению состава и биохимической деятельности микроорганизмов. Это происходит потому, что в севообороте выращиваются культуры, разные по биологии, химическому составу корнеотпрысковых остатков и технологии возделывания (Kuzminykh et al., 2020).

Многие зарубежные учёные подчёркивают огромную роль растительных остатков. По их мнению, они формируют целые сообщества из почвенных организмов, которые стимулируют структурную устойчивость у почвы (Bardgett et al., 2014; Bisen и Rahangdale, 2017; Hirte et al., 2017; Philippot et al., 2013).

В современной агрономии существуют разные методы определения биологической активности почвы. Один из методов является определение целлюлозоразрушающей способности почвы методом аппликации. Аппликационные методы диагностики почв позволяют проследить состояние живой компоненты почв на определённом временном отрезке. Определение целлюлозолитической способности почв методом аппликации даёт ценную информацию о превращении лабильной фракции органического вещества и активности целлюлозолитического комплекса (Замятин и Апаева, 2014). Метод аппликации весьма показателен при решении ряда агрономических вопросов. С его помощью хорошо выявляется интенсивность процессов в различных слоях пахотного горизонта, устанавливается влияние различных удобрений, мелиорирующих средств и т.д. При этом известно, что разложение целлюлозы осуществляется самыми разными в систематическом отношении микроорганизмами: микробактериями, актиномицетами, грибами, аэробными и анаэробными бактериями (Замятин и Апаева, 2014).

Уровень накопления фитомассы и интенсивность её разрушения в почве зависят от вида сельскохозяйственных культур. Некоторые литературные данные подтверждают, что регулирование интенсивности биологических процессов в почве наиболее эффективно возможно только в севооборотах, основанных на принципах плодосмены (Берестецкий, 1984).

Исходя из выше изложенного, отделом технологий Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока с целью выявления биологической активности почвы были проведены опыты под культурами экспериментальных полевых севооборотов, заложенных в 1996 и 1998 годах.

Материалы и методы исследований. Одним из важнейших факторов плодородия почвы является жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Для объективной оценки, определения степени и характера влияния минеральных удобрений на жизнедеятельность микроорганизмов в полевых севооборотах на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1996–2020 гг. был заложен многолетний двухфакторный опыт.

1. Схема опыта 1. Scheme of the trial

Фактор А (виды севооборотов)	Фактор В (минеральные удобрения)
1. Зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 года пользования, озимые, вика/овес на зерно, яровая пшеница, ячмень) – контроль.	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
2. I плодосменный (вика/овес на зеленую массу, озимые, ячмень, картофель, вика/овес на зерно, яровая пшеница)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
3. II плодосменный (вика/овес на зерно, яровая пшеница, картофель (навоз 80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, озимые)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
4. III плодосменный (ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, клевер 2 года пользования, озимые, картофель, овес)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$

Из озимых культур озимую пшеницу возделывали в 1997 году и в период с 2000 по 2008 годы. Озимую рожь – в 1999 и в период с 2009 года и по настоящее время. В 1996 году во II плодосменном севообороте взамен вики с овсом на зерно высевали горохоячменную смесь. В 2011 году после засухи 2010 года, когда не взойшёл клевер, высевали однолетние травы – вику с овсом.

Все агротехнические мероприятия проводили в соответствии с зональными рекомендациями.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимические показатели перед началом опыта представлены в таблице 2.

2. Агрохимические показатели почвы пахотного слоя опытного участка (1996 г.) 2. Agrochemical soil parameters of the arable layer of the experimental plot (1996)

Показатели	Единица измерения	Значение
pH (солевой вытяжки)	ед.	5,77
Гидролитическая кислотность	мг-экв / 100 грамм почвы	1,7
Сумма поглощенных оснований	мг-экв / 100 грамм почвы	7,9
P_2O_5 (по Кирсанову)	мг / кг почвы	270
K_2O (по Кирсанову)	мг / кг почвы	130
Гумус по Тюрину	%	1,72

Согласно схеме опыта, минеральные удобрения вносили перед посевом культур поделанно в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата, хлористого калия. Под бобовые культуры азотные удобрения не вносили.

Повторность вариантов трёхкратная, изучаемые делянки размещались систематически. Общая площадь делянок первого порядка – 330, второго – 165 м². Между делянками каждого варианта обработки почвы выделяли защитные полосы.

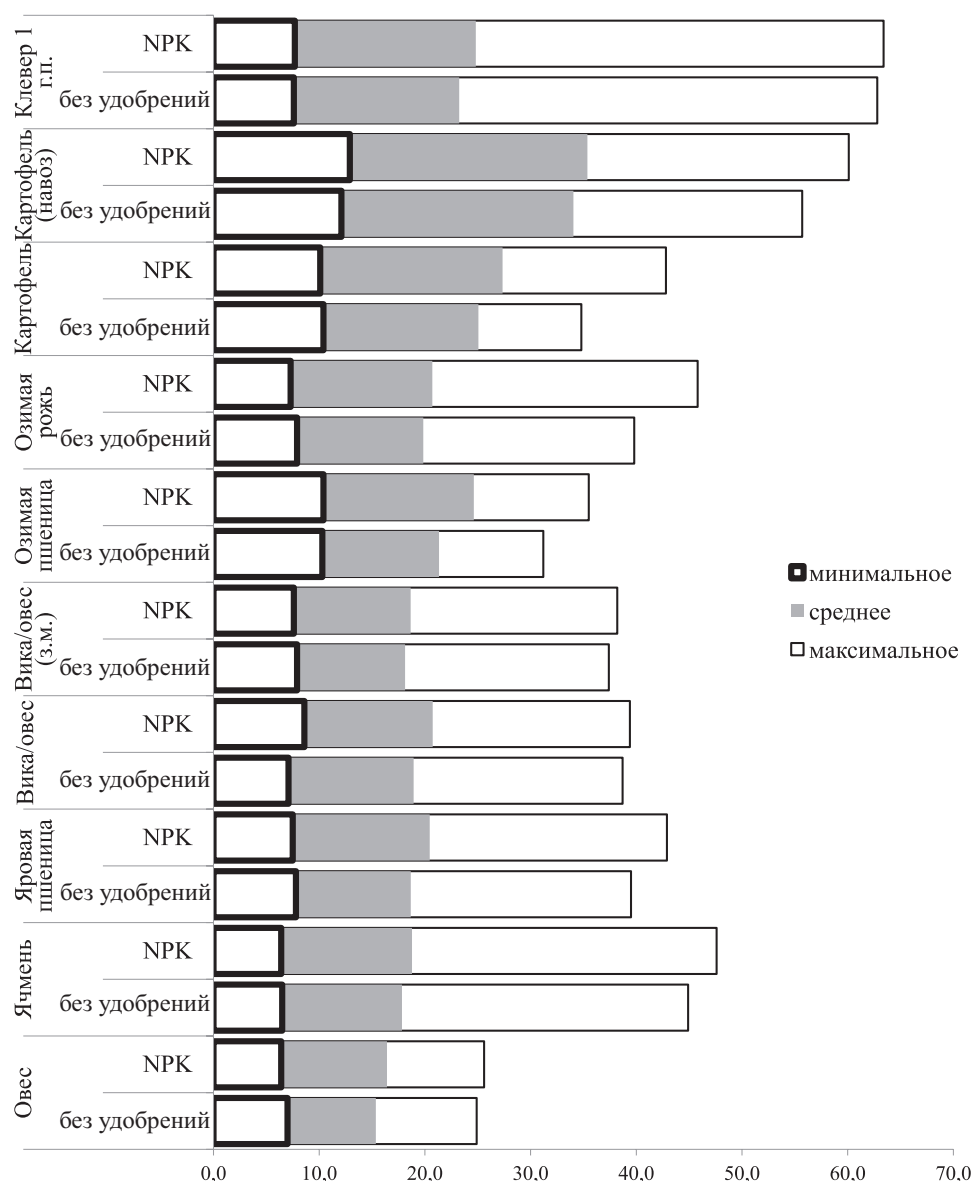
Биологическую активность исследуемых почв определяли аппликационным методом по разложению льняного полотна за вегетационный период с интервалами через 45 и 90 дней. Степень интенсивности разрушения клетчатки оценивали по специальной шкале: очень слабая > 10; слабая – 10–30; средняя – 30–50; сильная – 50–80; очень сильная > 80 (Мишустин и Востров, 1971).

Основные результаты исследований подвергали математической обработке с применением метода дисперсионного и корреляционного анализов на персональном компьютере (Доспехов, 2014).

Погодные условия в годы проведения экспериментов были различны, но в большей части удовлетворительными для роста и развития полевых культур в севооборотах.

Результаты и их обсуждение. Почва, как биологическая система, населена огромным количеством разнообразных микроорганизмов. Почвенные микроорганизмы являются наиболее чувствительными индикаторами, регулирующими азотфиксацию, денитрификацию, изменение водно-воздушного, теплового, пищевого режима, которые контролируют разнообразные процессы, связанные с превращением органических и минеральных соединений почв и удобрений, синтеза и разложения перегноя и т.д.

В длительных полевых стационарных опытах в условиях Республики Марий Эл получены экспериментальные данные о ходе изменения биологической активности дерново-подзолистой почвы под влиянием двух факторов: видов севооборотов и минеральных удобрений (см. рисунок).



Биологическая активность почвы через 45 дней в зависимости от культур севооборотов, % (1996–2020 гг.)
Soil biological activity after 45 days according to crops in rotation, % (1996–2020)

Разрушение целлюлозы является одним из важнейших процессов, происходящих в почве, поэтому скорость разложения её является важным показателем биологической активности почвы. Результаты исследований показали, что разрушение целлюлозы зависит в большей степени от влажности почвы. В среднем за 24 года исследований в первый срок экспозиции (45 дней) наименьшее разложение льняной ткани было под яровыми культурами и составляло 15,4–18,9% на вариантах без удобрений, 16,4–20,7% на вариантах с длительным их применением. На этих культурах в среднем за все годы исследований наименьшее разложение льняного полотна было под овсом и составило 15,4% с разбросом от 7,0 до 24,9%. Наибольший диапазон в разложении льняного полотна находился под ячменем. За 24 года он составил от 6,5 до 44,9%. Под озимыми культурами льняная ткань разложилась в среднем на 19,8–1,3% с диапазоном 7,9–39,8%.

Несколько выше 23,3% плотно разложилось под многолетними бобовыми травами, с очень широким диапазоном от 7,6 до 62,8%. Очевидно, что активность разложения льняной ткани главным образом зависит от наличия в почве органического вещества. При длительном применении минеральных удобрений, интенсивность разложения льняного полотна под полевыми культурами увеличивается в среднем на 7%.

Скорость разложения целлюлозы имела различную динамику во времени и по годам наблюдений. За весь период исследований (7 ротаций в двух закладках) наименьшее разложение льняного полотна наблюдалось в контрольном севообороте и составило за 45 дней экспозиции 18,6% (табл. 3). Немного большее разложение ткани (на 1,2%) было в I плодосменном севообороте ($HCP_{05} = 3,1$). При включении в севооборот многолетних бобовых культур, после которых в почве остается боль-

шая масса богатого азотом легкоразлагающегося органического вещества, биологическая активность почвы значительно повышается. В III плодосменном севообороте, где возделывалось два поля клевера, биологическая активность значительно возросла и в среднем составила 21,9%, что достоверно выше контроля (на 3,3%), но лежит в пределах ошибки опыта по сравнению с I плодосменным севооборотом (на 2,1%). Наибольшее разложение льняного полотна (24,4%) в первый период экспозиции было во II плодосменном севообо-

роте. В этом севообороте наибольшая активность микроорганизмов в почве отмечалась под картофелем, под который вносили навоз в дозе 80 т/га, что усиливало интенсивность разложения льняного полотна, причём положительное влияние органического удобрения начинает проявляться с момента его внесения. Данный севооборот достоверно превышал по целлюлозоразлагающей активности почвы не только контрольный, но и I плодосменный севообороты – на 5,8 и 4,6% соответственно.

3. Биологическая активность почвы по севооборотам, % (1996–2019 гг.) 3. Soil biological activity in crop rotation, % (1996–2019)

Показатели	Фактор Б удобрения	Фактор А севообороты			
		Зернотравяной (83% зерновых)	I плодосменный (67% зерновых)	II плодосменный (67% зерновых)	III плодосменный (50% зерновых)
Разложение полотна за 45 дней, %	Без удобрений	17,7	19,0	23,9	21,2
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,5	20,6	24,9	22,6
	Среднее	18,6	19,8	24,4	21,9
Разложение полотна за 90 дней, %	Без удобрений	43,4	49,1	54,7	52,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	46,4	52,9	56,8	56,0
	Среднее	44,9	51,0	55,8	54,5
НСР ₀₅ частных различий – 4,1 (45 дней); 10,5 (90 дней) фактор А (севооборот) – 3,1 (45 дней); 7,4 (90 дней) фактор В (удобрения) – 0,5 (45 дней); 0,7 (90 дней)					

Высокий процент разложения льняного полотна наблюдался также во II плодосменном севообороте на естественном плодородии почвы. За первые 45 дней он составил 23,9, за 90 дней – 54,7%. Применение минеральных удобрений достоверно повысило разложение льняного полотна по сравнению с неудобренным фоном на 1,0% (НСР₀₅ = 0,5) в первый срок и на 2,1% (НСР₀₅ = 0,7) во второй срок экспозиции.

Проведённый корреляционный анализ между средними показателями разложения льняного полотна под культурами за вегетационный период и значением гидротермического коэффициента (ГТК) показал тесную взаимосвязь, которая в первый срок экспозиции составила 0,87–0,90, во второй – 0,86–0,89.

Таким образом, интенсивность процессов, вызываемых микрофлорой, в каждом случае имеет свои особенности в зависимости от распределения органического вещества, гидро-

термических условий и физиологических особенностей микроорганизмов.

Выводы. Биологическая активность в пахотном слое почвы меняется в течение всего вегетационного периода. Такое изменение зависит от вида сельскохозяйственных культур, от севооборотов в целом, от метеорологических условий. Наибольшая биологическая активность отмечалась под картофелем с внесением навоза во II плодосменном севообороте. К концу вегетации на этом севообороте произошло сильное разложение льняного полотна (55,8%), что на 10,9% выше, чем в контрольном варианте. Существенная целлюлозоразлагающая активность почвы под всеми культурами наблюдается при внесении минеральных удобрений под предпосевную культивацию: во всех исследуемых севооборотах отмечалась сильная степень разрушения льняного полотна – больше 50%. Снижение микробиологической активности почвы происходит при включении в севооборот до 83% зерновых культур.

Библиографические ссылки

1. Берестецкий О.А. Биологические основы повышения плодородия почв // Актуальные проблемы земледелия. М.: Колос, 1984. С. 24–34.
2. Доспехов Б.А. Методы полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Замятин С.А., Апаева Н.Н. Биологическая активность, токсичность почвы и поражение зерновых культур корневыми гнилями в различных севооборотах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 6(43). С. 37–45.
4. Мишустин Е.Н., Востров И.В. Аппликационные методы в почвенной микробиологии и биохимические исследования почв. Киев: Урожай, 1971. С. 3–12.
5. Община Е.Н., Хрипунов А.И. Целлюлозоразлагающая активность почвы в условиях склоновых земель ландшафтов как один из элементов биологической активности почвы // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2(12). С. 25–28. DOI: 10.25930/004.2.12.2019.
6. Bardgett R.D., Mommer L., De Vries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // Trends Ecol. Evol. 2014. № 29. Pp. 692–699. DOI:10.1016/j.tree.2014.10.006.

7. 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). Pp. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review.
8. Hirte J. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Front Plant Sci. 2017. № 8. Pp. 284. DOI: 10.3389/fpls.2017.00284.
9. Kuzminykh A.N., Novoselov S.I. and Pashkova G.I. Effect of green manuring on the phytosanitary condition of agrocenosis and the yield of winter rye during the development of fand // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 (2020). 022017. doi:10.1088/1755-1315/421/2/022017.
10. 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. pp. 789–799. DOI:10.1038/nrmicro3109.

References

1. Beresteckij O.A. Biologicheskie osnovy povysheniya plodorodiya pochv [Biological bases of soil fertility improvement] // Aktual'nye problemy zemledeliya. M.: Kolos, 1984. S. 24–34.
2. Dospekhov B. A. Metody polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]. 5-e izd-e, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Zamyatin S.A., Apaeva N.N. Biologicheskaya aktivnost', toksichnost' pochvy i porazhenie zernovykh kul'tur kornevymi gnilyami v razlichnykh sevooborotakh [Biological activity, soil toxicity and grain crops damage by root rot in various crop rotations] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2014. № 6(43). S. 37–45.
4. Mishustin E.N., Vostrov I.V. Applikacionnye metody v pochvennoj mikrobiologii i biohimicheskie issledovaniya pochv [Application methods in soil microbiology and biochemical study of soils]. Kiev: Urozhaj, 1971. S. 3–12.
5. Obshchiya E.N., Hripunov A.I. Cellyulozorazlagayushchaya aktivnost' pochvy v usloviyakh sklonovykh zemel' landshaftov kak odin iz elementov biologicheskoy aktivnosti pochvy [Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of slope landscapes as one of the elements of soil biological activity] // Sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2019. № 2(12). S. 25–28. DOI: 10.25930/004.2.12.2019.
6. Bardgett R.D., Mommer L., De Vries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // Trends Ecol. Evol. 2014. № 29. Pp. 692–699. DOI:10.1016/j.tree.2014.10.006.
7. 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). Pp. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review.
8. Hirte J. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Front Plant Sci. 2017. № 8. Pp. 284. DOI: 10.3389/fpls.2017.00284.
9. Kuzminykh A.N., Novoselov S.I. and Pashkova G.I. Effect of green manuring on the phytosanitary condition of agrocenosis and the yield of winter rye during the development of fand // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 (2020). 022017. doi:10.1088/1755-1315/421/2/022017.
10. 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. pp. 789–799. DOI:10.1038/nrmicro3109.

Поступила: 23.12.20; принята к публикации: 2.04.21.

Критерии авторства. Авторы имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Замятин С.А. – концептуализация исследования, подготовка опыта; Замятин С.А., Максимова Р.Б. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.