

Научная статья
 УДК 631.461:631.151.2:631.5
 doi:10.35694/YARCX.2022.60.4.003

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУЛЬТУР ПО ИНТЕНСИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Александр Михайлович Труфанов¹, Татьяна Игоревна Афанасьева²

^{1, 2}Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия

¹a.trufanov@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-8815-2441

²t.afanaseva@yarcx.ru

Реферат. Воспроизводство плодородия почв и получение продукции сельскохозяйственных культур в запланированном объеме невозможно без оптимизации почвенных свойств и режимов, связанных с живыми организмами, т.е. биологических показателей плодородия. Поэтому актуальными и значимыми являются исследования динамики биологических свойств дерново-подзолистой почвы под влиянием различных по интенсивности технологий выращивания сельскохозяйственных культур. Задачи определения численности педобинтов (червей, жужелиц), почвенных грибов (микромикетов), активности разложения целлюлозы, фитотоксичности, продуктивности культур решались в многолетнем опыте в период вегетации культур кормового севооборота в 2018 году с использованием общепринятых методов. Результаты исследований изменения этих показателей, в зависимости от возделывания культур (однолетних и многолетних трав, ячменя, кукурузы) по различным вариантам технологий, свидетельствовали, что выращивание интенсивной культуры – кукурузы – обеспечивает наибольший сбор кормовых единиц (14100 к.ед./га), при повышении активности почвенной микрофлоры на 52,7%. При этом наблюдалось повышение токсических свойств почвы при снижении численности дождевых червей как в посевах самой кукурузы (на 33,5%), так и последующей культуры – однолетних трав (на 30,3%). Выращивание многолетних трав приводило к увеличению численности червей до максимальных значений (80,9 шт./м² в слое почвы 0–20 см), снижению фитотоксичности почвы (на 10,2–23,5% повышались показатели развития тест-культур), повышению её микробиологической активности (на 25,9%), при достаточно высокой продуктивности (7660,0 к.ед./га) и относительно низких материально-денежных затратах на их выращивание. Интенсивные технологии возделывания рассматриваемых культур, по сравнению с экстенсивной, повышали их продуктивность (на 42–72%), активность микрофлоры верхнего слоя 0–10 см (на 4,7%), не снижали численность педобионтов и в целом не повышали токсические свойства почвы. Всё это даёт основание считать, что при рациональной системе удобрений и защиты растений обоснованным является применение интенсивных технологий в условиях дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны при включении в кормовые севообороты многолетних трав и кукурузы.

Ключевые слова: биологические свойства почвы, педобионты, дождевые черви, жужелицы, активность разложения целлюлозы, почвенные микромикеты, фитотоксичность почвы, продуктивность, кормовые культуры, севооборот, технологии возделывания

BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOIL IN CULTIVATION OF CROPS BY INTENSIVE TECHNOLOGIES

Aleksandr M. Trufanov¹, Tatyana I. Afanasyeva²

^{1, 2}Yaroslavl State Agricultural Academy, Yaroslavl, Russia

¹a.trufanov@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-8815-2441

²t.afanaseva@yarcx.ru

Abstract. Reproduction of soil fertility and production of crops in the planned volume is impossible without optimization of soil properties and regimes associated with living organisms, i.e. biological fertility indicators. Therefore, studies of the dynamics of the biological properties of sod-podzolic soil under the influence of various crop growing technologies in terms of intensity are relevant and significant. The tasks of determining the number of pedobionts (worms, ground beetles), soil fungi (micromycetes), cellulose decomposition activity, phytotoxicity, crop productivity were solved in many years of experience during the growing season of forage crop rotation in 2018 using generally accepted methods. The results of studies of changes in these indicators

depending on the cultivation of crops (annual and perennial grasses, barley, corn) according to various technology options, showed that growing an intensive crop corn provides the largest collection of fodder units (14100 f.u./ha), with an increase in soil microflora activity by 52.7%. At the same time, an increase in the toxic properties of the soil was observed with a decrease in the number of earthworms both in the sowing of corn itself (by 33.5%) and in the following crop – annual grasses (by 30.3%). Cultivation of perennial grasses led to an increase in the number of worms to maximum values (80.9 pcs./m² in the soil layer 0–20 cm), a decrease in soil phytotoxicity (test crop development indicators increased by 10.2–23.5%), an increase in its microbiological activity (by 25.9%), with a fairly high productivity (7660.0 f.u./ha) and relatively low material and monetary costs for their cultivation. Intensive cultivation technologies of the considered crops compared with extensive one increased their productivity (by 42–72%), the activity of the top layer microflora 0–10 cm (by 4.7%), did not reduce the number of pedobionts and generally did not increase the toxic properties of the soil. All this gives reason to believe that with a rational system of fertilizers and plant protection, the use of intensive technologies in the conditions of sod-podzolic soils of the non-chernozem zone when perennial grasses and corn are included in fodder crop rotation is justified.

Keywords: biological properties of soil, pedobionts, earthworms, ground beetles, cellulose decomposition activity, soil micromycetes, soil phytotoxicity, productivity, fodder crops, crop rotation, cultivation technologies

Введение. В современном понимании плодородие – это способность почвы удовлетворять потребности растений в факторах жизни для нормального роста и развития [1]. Поддержание плодородия почвы связано с управлением органическим углеродом почвы, рециркуляцией питательных веществ, управлением биологической активностью [2].

Одним из главных показателей, определяющих уровень почвенного плодородия, является комплекс биологических свойств, количество микроорганизмов и беспозвоночных, биологическая активность и др. [3].

Динамика и специфика биологических процессов в почве зависят от возделываемых культур, систем земледелия и других факторов [4; 5]. С одной стороны, для повышения активности биологических процессов применяют различные сберегающие системы обработки почвы и органико-минеральные системы удобрений [6]. С другой стороны, пестицидная нагрузка на агроценоз может снижать активность и численность почвенной биоты и продуктивность земледелия [7].

Кроме того, в арсенале земледельца есть биологизированные севообороты с бобовыми и зернобобовыми культурами как биологические факторы воспроизводства плодородия почвы, которые рассматриваются в качестве источника азота и зольных элементов для питания растений, энергетический материал для микроорганизмов, исходный материал для образования гумуса и т.д. [8].

Таким образом, использование как интенсивных, так и сберегающих агротехнологий влияет не только на продуктивность сельскохозяйственных культур, но и на свойства почвы [9; 10].

Поэтому весьма актуальны и значимы исследования динамики биологических показателей плодородия почвы при агротехническом воздействии различной интенсивности. Данное научное на-

правление было целью исследований в условиях кормового севооборота на дерново-подзолистой почве Нечернозёмной зоны.

Методика. Исследования проводились в 2018 году в совместном опыте Ярославского НИИЖК – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» и кафедры агрономии ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Опыт заложен в 2017 году методом расщеплённых делянок с рендомизированным размещением вариантов в повторениях. Повторность опыта трёхкратная. Схема опыта включает фактор «культура севооборота» (однолетние травы с подсевом многолетних трав – многолетние травы – зерновые на зелёную массу – ячмень на зерно – кукуруза на силос) и фактор «технология возделывания» (экстенсивная – без удобрений и пестицидов; органическая – без минеральных удобрений и пестицидов, с применением органических удобрений; биологизированная – основана на биологических факторах с ограниченным применением минеральных удобрений (минимальные нормы); интенсивная – минеральные удобрения вносятся дифференцированно под культуры севооборота в средних нормах + органические удобрения; высокоинтенсивная – минеральные удобрения вносятся дифференцированно под культуры севооборота в повышенных нормах + органические удобрения с химической защитой растений). Площадь под культурой 600 м² – делянки первого порядка, на делянках второго порядка площадью 120 м² изучаются технологии возделывания. В данной статье приводятся результаты опытов по всем культурам, кроме зерновых на зелёную массу, и всем технологиям, кроме органической и биологизированной.

Учёт численности дождевых червей проводился методом раскопок (отмучивания), жуков-жужелиц – с помощью ловушки Барбера; определение биологической активности почвы – методом

аппликации; анализ токсичности почвы – по методу почвенных пластинок; выявление почвенных грибов производили методом глубинного посева почвенной суспензии на агаризованную питательную среду Чапека; статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью дисперсионного и корреляционного анализа; учёт урожайности проводился сплошным поделяночным методом с пересчётом в кормовые единицы через определение обменной энергии, содержащейся в сыром протеине, клетчатке, жире, растворимых и легкогидролизуемых углеводах урожая.

Погодные условия вегетационного периода 2018 года характеризовались повышенной среднесуточной температурой, а режим увлажнения – недостатком осадков в начале вегетации (на 50%) и избытком в конце (на 28,2%) по сравнению со среднемноголетними данными.

Результаты. Живая часть почвы немыслима без полезной почвенной энтомофауны. Педобионты являются представителями многочисленных и широко распространённых во всех биогеоценозах групп почвообитающих животных-биоиндикаторов [11], по их состоянию и количеству можно судить о степени загрязнения почв и состоянии экосистемы [12]. Также важна роль почвенных беспозвоночных, особенно червей, в гумусообразовании [13; 14], а жуков-жужелиц – как фактора подавления вредителей в посевах культурных растений [15; 16].

Численность дождевых червей в опыте учитывалась в двух почвенных слоях – 0–10 и 10–20 см, а также в сумме – в слое 0–20 см (табл. 1).

В среднем за вегетацию в посевах многолетних трав наблюдалось значительное увеличение количества червей в слое 0–10 см в сравнении с по-

севами остальных изучаемых культур. Тенденция роста отмечена и в слое 10–20 см – на 16,5%, по сравнению с кукурузой, на 7,4% – по сравнению с ячменем, на 22,4% – по сравнению с однолетними травами, что привело и к максимальному количеству беспозвоночных в среднем в слое 0–20 см (80,9 шт./м²). Это связано с отсутствием механических обработок почвы в посевах многолетних трав 1 года пользования и повышенным содержанием органического вещества. Наименьшее количество червей наблюдалось под посевом кормовой смеси – вико-овсяной.

При сравнении технологий возделывания можно отметить, что численность червей была ниже при интенсивной системе в среднем на 4,2% в слое 0–20 см, по сравнению с экстенсивной, а на высокоинтенсивной происходило её увеличение на 5,1%.

Также стоит обратить внимание на отсутствие заметной дифференциации пахотного слоя на слои 0–10 и 10–20 см по количеству дождевых червей с преимущественным их распространением в верхнем 10-см слое по сравнению со слоем 10–20 см.

При изучении численности хищных жужелиц были выявлены следующие изменения. Максимальный показатель наблюдался при выращивании кукурузы (5,0 шт./10 ловушко-суток), несколько меньшее количество отмечено в посевах однолетних трав (на 11,1%) и ячменя (на 25,0%). Существенному снижению количества жужелиц способствовало выращивание многолетних трав, что, возможно, связано с меньшим количеством вредителей, которые, в свою очередь, являются основной кормовой базой жужелиц. Что касается технологий выращивания, то максимальное коли-

Таблица 1 – Численность педобионтов в среднем за вегетационный период

Вариант	Численность червей, шт./м ²			Численность жуков-жужелиц, шт./10 ловушко-суток
	Слой почвы, см			
	0–10	10–20	0–20	
Фактор А. Культура севооборота				
Однолетние травы с подсевом многолетних трав	32,6	29,5	62,1	4,5
Многолетние травы 1 г.п.	44,8	36,1	80,9	3,5
Ячмень	35,8	33,6	69,4	4,0
Кукуруза	29,6	31,0	60,6	5,0
HCP ₀₅	9,2	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	0,9
Фактор В. Технология возделывания				
Экстенсивная (контроль)	32,6	32,1	64,7	4,2
Интенсивная	31,5	30,6	62,1	3,8
Высокоинтенсивная	36,4	31,6	68,0	4,7
HCP ₀₅	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅	F _φ < F ₀₅

чество жуужелиц отмечалось при высокоинтенсивной технологии, где значения были выше контроля на 11,9%, интенсивной – на 23,7%. Это можно объяснить лучшим развитием культурных растений вследствие внесения удобрений и привлечением большего количества вредных насекомых, за которыми увеличивают свою численность и хищные жуужелицы.

Таким образом, рациональные нормы удобрений, в том числе минеральных, на фоне интегрированной защиты растений при высокоинтенсивной технологии возделывания способствовало тенденции повышения численности педобионтов.

Наиболее чувствительным к антропогенному и техногенному влиянию показателем состояния почвенного покрова является микробиота почвы [17], её биологическая активность [18]. К обобщённым показателям активности почвенной микрофлоры можно отнести интенсивность разложения целлюлозы [19]. Эти процессы, происходящие в почве, позволяют судить о биоклиматических условиях почвообразования, интенсивности биохимических процессов, связанных с элементами питания, причём оптимальные условия жизнедеятельности микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, являются таковыми и для произрастания полевых культур [20].

В наших исследованиях была выявлена существенная прямая корреляционная связь средней степени показателя активности разложения целлюлозы и продуктивности культур севооборота ($r = 0,67$, $r^2 = 0,45$, $p = 0,02$). Именно выращивание различных культур севооборота привело к существенным изменениям целлюлозоразлагающей активности почвы (табл. 2).

Выращивание ячменя привело к наименьшему проценту разложения целлюлозы (21,0% в слое 0–20 см), на остальных культурах активность целлюлолитиков возрастала: на однолетних травах – на 1,4%, многолетних травах – на 7,2%, а на кукурузе – существенно (на 35,6%), что связано с внесением под кукурузу органического удобрения – навоза, значительно активизирующего почвенную микрофлору. Применение различных по интенсивности технологий выращивания культур не привело к выявлению значительных различий, однако заслуживает внимания тенденция повышения активности целлюлозоразлагающей микрофлоры при интенсивной технологии (в среднем по всем культурам) на 6,0% в слое почвы 0–20 см по сравнению с контролем. Такие изменения могли быть обусловлены лучшим питательным режимом в условиях внесения удобрений. Это также подтверждается ростом показателя при высокоинтенсивной технологии, по сравнению с экстенсивной, на 4,0% в слое почвы 0–10 см.

Среди микроорганизмов велика роль почвенных грибов, которые, наряду с бактериями и другими организмами, участвуют в формировании питательного режима почв и создании почвенного плодородия [21]. С одной стороны, почвенные грибы принимают прямое участие в питании высших растений, но, с другой стороны, также являются возбудителями их заболеваний [22]. Однако структурная организация грибных комплексов в почве существенно меняется при антропогенном воздействии. Численность и видовой состав почвенных грибов зависят от многих факторов, в том числе от обеспеченности их органическими и минеральными веществами, сезонности, а также

Таблица 2 – Микробиологические показатели плодородия почвы

Вариант	Целлюлозоразлагающая активность, %			Численность микромицетов, тыс./г почвы		
	Слой почвы, см					
	0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20
Фактор А. Культура севооборота						
Однолетние травы с подсевом многолетних трав	26,8	18,0	22,4	11,9	11,2	11,6
Многолетние травы 1 г.п.	34,6	21,7	28,2	10,9	11,1	11,0
Ячмень	26,8	15,3	21,0	9,8	5,8	7,8
Кукуруза	57,8	55,5	56,6	7,0	6,2	6,6
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	20,8	19,5	2,0	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
Фактор В. Технология возделывания						
Экстенсивная (контроль)	33,4	26,2	29,8	9,5	9,6	9,5
Интенсивная	38,7	32,9	35,8	10,3	9,4	9,9
Высокоинтенсивная	37,4	23,8	30,6	9,8	6,8	8,3
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi\Delta} < F_{05}$

Биологические свойства почвы при возделывании культур по интенсивным технологиям

от степени аэрации почвы, связанной со способом её обработки и выращиваемыми культурами [23].

Увеличение численности грибов отмечалось в посевах однолетних трав во всех изучаемых слоях почвы. Возделывание кукурузы привело к существенному снижению показателя (на 71,2%), по сравнению с выращиванием трав, по сравнению с ячменем – на 18,2%. В среднем по культурам севооборота наименьшая численность грибов была характерна для высокоинтенсивной технологии в слое почвы 0–20 см – 8,3 тыс. организмов в 1 г почвы, что ниже контроля на 14,5%.

В целом можно отметить, что большее количество грибов наблюдалось в слое 0–10 см, по сравнению со слоем 10–20 см, за исключением контрольной технологии – там отмечена обратная тенденция, что говорит о благоприятном влиянии внесённых удобрений на распространение микромицетов, так как большая их часть концентрируется в верхнем слое.

Известно, что дерново-подзолистые почвы обладают достаточно высоким уровнем токсичности [24]. Повышение её может быть следствием самых различных причин «почвоутомления», основными из которых являются: вредные продукты жизнедеятельности микроорганизмов и растений, неблагоприятные физико-химические условия среды, хозяйственная деятельность человека и загрязнения, вызванные ей. Фитотоксичность почв целесообразно оценивать показателями развития проростков тест-культур [25; 26].

Отобранные образцы дерново-подзолистой почвы в 2018 году практически не проявляли при-

знаков токсичности, по сравнению с контролем – фильтровальной бумагой, за исключением показателя всхожести (табл. 3).

В среднем всхожесть тест-культуры (озимой ржи), выращиваемой на почвенных образцах, была на уровне 60%, что является довольно низким показателем по сравнению с фильтровальной бумагой.

В среднем по всем технологиям выращивания максимальная всхожесть была выявлена под посевами кукурузы (64,7%) и однолетних трав (63,4%) в слое 10–20 см с тенденцией снижения в посевах многолетних трав (до 60,1%) и ячмене (до 43,1%). При увеличении интенсивности технологий возделывания (в среднем по культурам севооборота) увеличивалась и всхожесть тест-культуры, то есть снижалась токсичность. Так, применение интенсивной системы повысило всхожесть, по сравнению с контролем, на 6,6%, а высокоинтенсивной – на 12,7%.

По показателю длины проростка существенных различий по изучаемым факторам обнаружено не было. Кроме того, этот показатель при выращивании в почвенных образцах заметно превышал значения проростков, выращенных на фильтровальной бумаге. При этом максимальная длина проростка отмечалась при выращивании ячменя и многолетних трав, при снижении в посевах кукурузы (на 10,5%) и однолетних трав (на 23,5%). Различные технологии не способствовали ярко выраженным различиям по данному показателю.

Выращиваемые культуры похожим образом повлияли и на длину корней с наибольшими

Таблица 3 – Фитотоксичность почвы

Вариант	Показатель развития тест-культуры								
	всхожесть, %			длина проростка, см			длина корней, см		
	Слой почвы, см								
	0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20	0–10	10–20	0–20
Фактор А. Культура севооборота									
Однолетние травы с подсевом многолетних трав	53,6	63,4	58,5	4,7	5,6	5,1	9,1	8,5	8,8
Многолетние травы 1 г.п.	54,9	60,1	57,5	5,4	7,1	6,3	8,7	10,7	9,7
Ячмень	53,6	43,1	48,4	6,4	6,2	6,3	8,7	10,0	9,3
Кукуруза	58,2	64,7	61,4	5,8	5,6	5,7	7,8	7,3	7,5
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
Фактор В. Технология возделывания									
Экстенсивная (контроль)	47,1	52,9	50,0	6,1	5,9	6,0	10,9	8,8	9,9
Интенсивная	55,9	57,4	56,6	5,1	6,9	6,0	7,4	9,2	8,3
Высокоинтенсивная	62,3	63,2	62,7	5,4	5,6	5,5	7,4	9,4	8,4
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$	2,4	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$
Контроль	89,5			3,7			4,8		

значениями на ячмене и многолетних травах при снижении в посеве однолетних и кукурузы, однако эти различия были незначительными. Достоверным изменениям способствовали различные технологии возделывания. Так, в слое почвы 0–10 см применение интенсивных технологий значительно снизило длину корней, по сравнению с экстенсивной технологией, но в среднем по пахотному слою значения выровнялись за счёт повышения показателя в слое 10–20 см, что связано с большим количеством доступных питательных элементов для проростков и корней культуры на вариантах с внесением средних (интенсивная технология) и повышенных (высокоинтенсивная технология) норм минеральных удобрений, а также применения органических удобрений. Это, в свою очередь, снижает необходимость увеличивать объём и длину корневой системы для поиска элементов питания в почве.

В целом можно отметить, что почва, взятая со слоя 10–20 см, обеспечивала лучшее развитие проростков тест-культуры, по сравнению со слоем 0–10 см, то есть меньшую токсичность. Возможно, это было связано с более устойчивым режимом увлажнения слоя 10–20 см, а также меньшей концентрацией веществ, вызывающих ингибирование прорастающих растений.

Продуктивность сельскохозяйственных культур – основной хозяйственный показатель, характеризующий эффективность применяемых технологий.

В 2018 году максимальный уровень продуктивности был выявлен при выращивании кукурузы – 14100,0 к.ед./га (табл. 4): в сравнении с однолетними травами показатель увеличился в 4,6 раза, на многолетних травах – в 1,8 раза, ячмене – в 6,8 раза, что подтверждает целесообразность выращивания кукурузы на кормовые цели в севообо-

Таблица 4 – Продуктивность культур севооборота, к.ед./га

Вариант	Сбор кормовых единиц основной продукции с 1 га
Фактор А. Культура севооборота	
Однолетние травы с подсевом многолетних трав	3080,0
Многолетние травы 1 г.п.	7660,0
Ячмень	2080,0
Кукуруза	14100,0
Фактор В. Технология возделывания	
Экстенсивная (контроль)	4760,0
Интенсивная	6760,0
Высокоинтенсивная	8180,0

ротах. С увеличением интенсивности технологий возделывания средняя продуктивность культур также увеличивалась: на интенсивной технологии – в 1,4 раза, на высокоинтенсивной – в 1,7 раза.

Выводы. Таким образом, выращивание кукурузы обеспечивает высокий сбор кормовых единиц, при этом особенности технологии её возделывания (удобрение навозом и минеральными формами, интенсивные обработки почвы перед посевом и во время вегетации как пропашной культуры) способствуют активизации почвенной микрофлоры, но повышают токсические свойства почвы при снижении численности дождевых червей как в посеве самой кукурузы, так и последующей культуры – однолетних трав. Выращивание многолетних трав, характеризующихся сберегающей агротехнологией, приводит к увеличению чи-

сленности червей, снижению токсичности почвы, повышению её микробиологической активности, при достаточно высокой продуктивности и относительно низких материально-денежных затратах на их выращивание. Поэтому вполне целесообразно включать многолетние травы, а также и кукурузу, особенно с точки зрения её продуктивности, в кормовые севообороты. Интенсивные технологии возделывания культур, по сравнению с контрольной – экстенсивной, повышают их продуктивность, активность микрофлоры верхнего слоя 0–10 см, не снижают численность педобионтов и не повышают токсические свойства (за исключением длины корней), что при рациональной системе удобрений и защиты растений делает обоснованным их применение в условиях дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Данилец Е. А., Власова О. И. Влияние звеньев полевого севооборота на биологические факторы плодородия почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2019. № 3 (55). С. 184–191. ISSN 2071-9485.
2. Barnwal P., Devika S., Singh S. [et al.] Soil fertility management in organic farming // *Advances in Organic Farming*. Woodhead Publishing. 2021. P. 39–46. DOI:10.1016/B978-0-12-822358-1.00016-X.
3. Карпухин М. Ю., Чулкова В. В., Чулков В. А. [и др.] Биологические свойства чернозёма оподзоленного при использовании различных сидеральных культур по системе органического земледелия на Среднем Урале // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 3 (43). С. 16–25. ISSN 2227-4227.
4. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. Изд. 3-е., испр. и доп. М. : Изд-во МГУ, 2005. 445 с. ISBN 5-211-04983-7.
5. Moreno M. V., Biganzoli F., Casas C. [et al.] Changes in soil biological properties in different management and tillage systems in petrocalcic argiudoll // *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 20, Is. 2. P. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.001>.
6. Исаичева У. А., Труфанов А. М., Смирнов Б. А. [и др.] Роль обработки, удобрений и защиты растений в управлении биологическими свойствами почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (91). С. 30–33. ISSN 1996-4277.
7. Maggi F., Tang F. H. M. Estimated decline in global earthworm population size caused by pesticide residue in soil // *Soil Security*. 2021. Vol. 5. 100014. DOI:10.1016/j.soisec.2021.100014.
8. Шрамко Н. В. Влияние севооборотов на плодородие дерново-подзолистых почв Верхневолжья // *Владимирский земледелец*. 2010. № 3. С. 14–16. ISSN 2225-2584.
9. Мазиров М. А., Матюк Н. С., Полин В. Д. [и др.] Влияние разных систем обработки и удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 33–36. ISSN 0044-3913.
10. Дубовик Д. В., Гостев А. В. Плодородие почвы в зависимости от интенсивности технологии // *Земледелие*. 2014. № 7. С. 16–17. ISSN 0044-3913.
11. Fusaro S., Gavinelli F., Lazzarini F. [et al.] Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems // *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 93. P. 1276–1292. DOI:10.1016/j.ecolind.2018.06.007.
12. Романкина М. Ю., Шаламова Т. В. Биоиндикационное значение жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) березовых лесополос Тамбовской области // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18, № 6-2. С. 3216–3219. ISSN 1810-0198.
13. Брескина Г. М., Чуян Н. А. Влияние приемов биологизации на урожайность сельскохозяйственных культур // *Земледелие*. 2020. № 3. С. 30–33. ISSN 0044-3913.
14. Картамышев Н. И., Тимонов В. Ю., Чернышева Н. М. [и др.] Обработка почвы, обеспеченность растений элементами минерального питания и процесс гумусообразования // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 2. С. 53–58. ISSN 1997-0749.
15. Агасьева И. С., Нефедова М. В., Федоренко Е. В. [и др.] Совместимость энтомофагов с биологическими и биорациональными средствами защиты растений // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54, № 1. С. 101–109. ISSN 0131-6397.
16. Степанов А. А. Влияние инсектицидных обработок на вредную и полезную энтомофауну посевов пшениц в Нижнем Поволжье // Вестник защиты растений. 2003. № 1. С. 67–70. ISSN 1727-1320.
17. Турусов В. И., Гармашов В. М., Гармашова Л. В. Структура микробного ценоза агрогенных почв и естественных экосистем // *Плодородие*. 2011. № 1 (58). С. 34–35. ISSN 1994-8603.
18. Никульчев К. А., Банецкая Е. В. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои // *Земледелие*. 2020. № 1. С. 11–14. ISSN 0044-3913.
19. Коржов С. И., Трофимова Т. А., Котов Г. В. Биологическая активность почвы при совместном посеве культур // *Земледелие*. 2018. № 8. С. 8–10. ISSN 0044-3913.
20. Чебыкина Е. В., Котьяк П. А., Труфанов А. М. [и др.] Направленность биохимических процессов при применении ресурсосберегающих агроприемов // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 2 (30). С. 29–34. ISSN 1998-1635.
21. Ning Q., Chen L., Zhang C. [et al.] Saprotrophic fungal communities in arable soils are strongly associated with soil fertility and stoichiometry // *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 159. 103843. DOI:10.1016/j.apsoil.2020.103843.
22. Колесникова И. Я., Труфанов А. М. Экологическая роль почвенных микромицетов в изменении биохимических показателей плодородия // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 2 (38). С. 19–26. ISSN 1998-1635.
23. Moreno M. V., Casas C., Biganzoli F. [et al.] Cultivable soil fungi community response to agricultural management and tillage system on temperate soil // *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 20, Is. 4. P. 217–226. DOI:10.1016/j.jssas.2021.01.008.

24. Плеханова И. О., Золотарёва О. А., Тарасенко И. Д. Применение методов биотестирования при оценке экологического состояния почв // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2018. № 4. С. 36–46. ISSN 0137-0944.

25. Марьина-Чермных О. Г., Марьин Г. С., Замятин С. А. Микромицеты и фитотоксичность пахотных дерново-подзолистых почв северо-восточного Нечерноземья России // Вестник Марийского государственного университета. 2007. № 1 (2). С. 76–79. URL: <http://vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=301> (дата обращения: 14.11.2022).

26. Чебыкина Е. В., Сивкова С. С., Труфанов А. М. [и др.] Токсичность дерново-подзолистой глееватой почвы при разных системах обработки и удобрений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 1 (99). С. 044–048. ISSN 1996-4277.

References

1. Danilets E. A., Vlasova O. I. Vlijanie zven'ev plevogo sevooborota na biologicheskie faktory plodorodija pochvy // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2019. № 3 (55). S. 184–191. ISSN 2071-9485.

2. Barnwal P., Devika S., Singh S. [et al.] Soil fertility management in organic farming // Advances in Organic Farming. Woodhead Publishing. 2021. P. 39–46. DOI:10.1016/B978-0-12-822358-1.00016-X.

3. Karpukhin M. Yu., Chulkova V. V., Chulkov V. A. [i dr.] Biologicheskie svojstva chernozjoma opodzolennogo pri ispol'zovanii razlichnyh sideral'nyh kul'tur po sisteme organicheskogo zemledelija na Srednem Urale // Vestnik Kurganskoj GSHA. 2022. № 3 (43). S. 16–25. ISSN 2227-4227.

4. Zvyagintsev D. G., Bab'eva I. P., Zenova G. M. Biologija pochv. Izd. 3-e., ispr. i dop. M. : Izd-vo MGU, 2005. 445 s. ISBN 5-211-04983-7.

5. Moreno M. V., Biganzoli F., Casas C. [et al.] Changes in soil biological properties in different management and tillage systems in petrocalcic argiudoll // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. Vol. 20, Is. 2. P. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.001>.

6. Isaicheva U. A., Trufanov A. M., Smirnov B. A. [i dr.] Rol' obrabotki, udobrenij i zashhity rastenij v upravlenii biologicheskimi svojstvami pochvy // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 5 (91). S. 30–33. ISSN 1996-4277.

7. Maggi F., Tang F. H. M. Estimated decline in global earthworm population size caused by pesticide residue in soil // Soil Security. 2021. Vol. 5. 100014. DOI:10.1016/j.soisec.2021.100014.

8. Shramko N. V. Vlijanie sevooborotov na plodorodie dervno-podzolistyh pochv Verhnevolzh'ja // Vladimirskij zemledec. 2010. № 3. S. 14–16. ISSN 2225-2584.

9. Mazirov M. A., Matyuk N. S., Polin V. D. [i dr.] Vlijanie raznyh sistem obrabotki i udobrenij na plodorodie dervno-podzolistoj pochvy // Zemledelie. 2018. № 2. S. 33–36. ISSN 0044-3913.

10. Dubovik D. V., Gostev A. V. Plodorodie pochvy v zavisimosti ot intensivnosti tehnologij // Zemledelie. 2014. № 7. S. 16–17. ISSN 0044-3913.

11. Fusaro S., Gavinelli F., Lazzarini F. [et al.] Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems // Ecological Indicators. 2018. Vol. 93. P. 1276–1292. DOI:10.1016/j.ecolind.2018.06.007.

12. Romankina M. Yu., Shalamova T. V. Bioindikacionnoe znachenie zhuzhelic (Coleoptera, Carabidae) berezovyh lesopolos Tambovskoj oblasti // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2013. T. 18, № 6-2. S. 3216–3219. ISSN 1810-0198.

13. Breskina G. M., Chuyan N. A. Vlijanie priemov biologizacii na urozhajnost' sel'skohozjajstvennyh kul'tur // Zemledelie. 2020. № 3. S. 30–33. ISSN 0044-3913.

14. Kartamyshv N. I., Timonov V. Yu., Chernysheva N. M. [i dr.] Obrabotka pochvy, obespechennost' rastenij jelementami mineral'nogo pitaniya i process gumusoobrazovaniya // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. 2010. № 2. S. 53–58. ISSN 1997-0749.

15. Agas'eva I. S., Nefedova M. V., Fedorenko E. V. [i dr.] Sovmestimost' jentomofagov s biologicheskimi i bioracional'nymi sredstvami zashhity rastenij // Sel'skohozjajstvennaja biologija. 2019. T. 54, № 1. С. 101–109. ISSN 0131-6397.

16. Stepanov A. A. Vlijanie insekticidnyh obrabotok na vrednuju i poleznuju jentomofaunu posevov pshenic v Nizhnem Povolzh'e // Vestnik zashhity rastenij. 2003. № 1. S. 67–70. ISSN 1727-1320.

17. Turusov V. I., Garmashov V. M., Garmashova L. V. Struktura mikrobnogo cenoza agrogennyh pochv i estestvennyh jekosistem // Plodorodie. 2011. № 1 (58). S. 34–35. ISSN 1994-8603.

18. Nikul'chev K. A., Banetskaya E. V. Vlijanie kul'tur sevooborota na mikrobiologicheskiju aktivnost', agrofizicheskie svojstva pochvy i urozhajnost' soi // Zemledelie. 2020. № 1. S. 11–14. ISSN 0044-3913.

19. Korzhov S. I., Trofimova T. A., Kotov G. V. Biologicheskaja aktivnost' pochvy pri sovmestnom poseve kul'tur // Zemledelie. 2018. № 8. С. 8–10. ISSN 0044-3913.

20. Chebykina E. V., Kotyak P. A., Trufanov A. M. [i dr.] Napravlenost' biohimicheskikh processov pri primenenii resursosberegajushhih agropriemov // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. 2015. № 2 (30). S. 29–34. ISSN 1998-1635.
21. Ning Q., Chen L., Zhang C. [et al.] Saprotrophic fungal communities in arable soils are strongly associated with soil fertility and stoichiometry // Applied Soil Ecology. 2021. Vol. 159. 103843. DOI:10.1016/j.apsoil.2020.103843.
22. Kolesnikova I. Ya., Trufanov A. M. Jekologicheskaja rol' pochvennyh mikromicetov v izmenenii biohimicheskikh pokazatelej plodorodija // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. 2017. № 2 (38). S. 19–26. ISSN 1998-1635.
23. Moreno M. V., Casas C., Biganzoli F. [et al.] Cultivable soil fungi community response to agricultural management and tillage system on temperate soil // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. Vol. 20, Is. 4. P. 217–226. DOI:10.1016/j.jssas.2021.01.008.
24. Plekhanova I. O., Zolotareva O. A., Tarasenko I. D. Primenenie metodov biotestirovanija pri ocenke jekologicheskogo sostojanija pochv // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 17: Pochvovedenie. 2018. № 4. S. 36–46. ISSN 0137-0944.
25. Mar'ina-Chermnykh O. G., Mar'in G. S., Zamyatin S. A. Mikromicety i fitotoksichnost' pahotnyh dernovo-podzolistyh pochv severo-vostochnogo Nechernozem'ja Rossii // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. 2007. № 1 (2). S. 76–79. URL: <http://vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=301> (data obrashhenija: 14.11.2022).
26. Chebykina E. V., Sivkova S. S., Trufanov A. M. [i dr.] Toksichnost' dernovo-podzolistoj gleevatoj pochvy pri raznyh sistemah obrabotki i udobrenij // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 1 (99). S. 044–048. ISSN 1996-4277.

Сведения об авторах

Александр Михайлович Труфанов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 5673-4920.

Татьяна Игоревна Афанасьева – соискатель кафедры агрономии, менеджер по организации научной работы и международного сотрудничества управления по научной работе и международному сотрудничеству, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 7068-3688.

Information about the authors

Aleksandr M. Trufanov – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Professor of the Department of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agricultural Academy", spin-code: 5673-4920.

Tatyana I. Afanasyeva – Applicant of the Department of Agronomy, Manager for the Organization of Scientific Work and International Cooperation of the Department for Scientific Work and International Cooperation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agricultural Academy", spin-code: 7068-3688.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.