

УДК 631.58:631.41:631.147:631.445.25(470.314)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ И БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ

© 2021 г. И. В. Русакова

*Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Верхневолжского аграрного научного центра
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, д. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия*

E-mail: rusakova.iv@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.05.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

В полевых условиях Владимирского ополя проведена оценка влияния биологизированной системы земледелия (БС) на изменение агрохимических и биологических показателей плодородия серой лесной почвы в сравнении с традиционной системой земледелия (ТС) и залежной почвой (З) с лугово-разнотравной растительностью. Установлено, что длительное применение биологизированных агроприемов (внесение навоза КРС, заделка соломы, снижение доз минеральных удобрений, комбинированная почвозащитная обработка почвы) в гораздо большей мере отразилось на биологических свойствах и качестве почвенного органического вещества (ПОВ), чем на агрохимических показателях. При близких показателях pH_{KCl} , гидролитической кислотности, содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое почв на участках с использованием БС по сравнению с ТС существенно повысилась обеспеченность почвы легкоразлагаемым, биологически доступным органическим веществом: потенциально-минерализуемым ($C_{пм}$) и трансформируемым ($C_{транс}$) углеродом – в 1.48 раза, водорастворимым (C_v , $C_{эв}$) и лабильным ($C_{лаб}$) углеродом – в 1.12–1.18 раза, что создало более благоприятные условия для жизнедеятельности почвенной микрофлоры и повышения ее активности и биомассы. Например, в пахотном слое почвы на полях с БС по сравнению с ТС были значительно больше показатели, характеризующие биогенность почвы: численность физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) – в 1.21–4.05, содержание микробной биомассы ($C_{микро}$) – в 1.32, интенсивность минерализации органического вещества и размеры продуцирования $C-CO_2$ – в 1.49 раза. При этом не отмечено существенных различий между ТС и БС по валовому содержанию органического углерода в пахотном слое. Залежная почвенная экосистема превосходила БС содержанием биомассы и минерализационной активностью микробного сообщества и биологическим качеством органического вещества.

Ключевые слова: биологизированная система земледелия, агрохимические, биологические свойства, биологическое качество органического вещества.

DOI: 10.31857/S0002188121120127

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные системы земледелия, которые называют также конвенциональными, интенсивными, индустриальными, предполагают интенсивное использование химически синтезированных удобрений и средств защиты растений от вредителей и болезней, а также крупной сельхозтехники и машин, часто приводящее к снижению содержания почвенного органического вещества (ПОВ), ухудшению биологического состояния почв. В противоположность интенсивным, для экологи-

чески ориентированных систем земледелия, направленных на интенсификацию использования биологических факторов, характерен общий принцип – сокращение или полный отказ от применения минеральных удобрений и пестицидов, увеличение входа органического вещества, в т.ч. с послеуборочными остатками, снижение механической нагрузки на почву. Уменьшение зависимости продуктивности земледелия от синтетических агрохимикатов и снижение риска экологических нарушений – одна из главных задач

устойчивого земледелия, предусматривающего полный (органическое и биодинамическое земледелие) или частичный (биологизированное земледелие с ограниченными химическими нагрузками) отказ от использования минеральных удобрений и других химических препаратов [1, 2].

В настоящее время во многих регионах страны активно внедряются системы биологизации земледелия, предусматривающие ограниченное использование синтетических агрохимикатов, широкое вовлечение органогенных источников питания растений, среди которых важное место занимают органические удобрения, растительные остатки [3–6]. Почвы при их применении содержат больше органического вещества и азота, характеризуются более благоприятным биологическим состоянием с повышенным уровнем биоразнообразия, численности и активности микробиоты [7–9]. По мнению [10], улучшение качества почв при использовании биологизированных систем земледелия достигается в основном за счет увеличения входа органического вещества, включая пожнивные остатки и солому, биологизированных севооборотов с увеличением доли многолетних бобовых трав и реже, из-за менее интенсивной ресурсосберегающей обработки почв с элементами минимизации. В работе [11] отмечено, что органическое земледелие, научной и технологической основой которого является биологизация, приводит к повышению качества почвы с более высокой микробиологической активностью, чем при традиционном сельскохозяйственном производстве.

Следует отметить, что продолжают оставаться актуальными и недостаточно изученными такие вопросы: какие показатели качества и плодородия почвы изменяются в большей мере под воздействием различных систем удобрения, в какой мере биологизация агротехнологий отражается на качественных характеристиках почвенного органического вещества [12]. Исходя из анализа состояния изученности данной проблемы, была поставлена цель исследования – провести сравнительную оценку воздействия биологизированной и традиционной систем земледелия на показатели агрохимического и биологического состояния, выявить изменения в биологическом качестве почвенного органического вещества серой лесной почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на Юрьев-Польском госсортоиспытательном участке (ГСУ) на агролесных почвах Владимирского ополья, где в течение 25 лет в 8-польном зернотравяном севообороте применяли биологизированную систему

земледелия. Система земледелия предусматривала интенсивное использование биологического фактора и включала комплекс агроприемов, максимально адаптированных к естественному ходу почвообразовательных процессов и функционированию экосистем: оптимальное сочетание и чередование зерновых и кормовых культур в структуре севооборота (пар чистый – озимые зерновые – яровые зерновые – однолетние травы (злаково-бобовая смесь) с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – клевер 2-го года пользования – озимые зерновые – яровые зерновые), снижение объемов применения минеральных удобрений с использованием органических (подстилочный навоз 50–100 т/га) и биоресурсов (солома всех зерновых культур севооборота, в среднем 20 т/га за ротацию), дифференцированная система обработки почвы, с чередованием отвальной вспашки (0–20 см) и безотвального рыхления чизельным плугом до глубины 30–40 см. Основное отличие биологизированной системы, примененной на ГСУ, от традиционной (органо-минеральной) заключалось в снижении доз минеральных удобрений, увеличении входа органического вещества за счет подстилочного навоза и послеуборочных растительных остатков. В 1970–1985 гг. из 320 кг НРК/га, ежегодно вносимых в поля ГСУ, 202 кг или 63% приходилось на долю минеральных удобрений. С 1989 г. после перехода на новую почвозащитную биологизированную систему земледелия объемы применения минеральных удобрений были значительно сокращены до 103 кг д.в./га, внесение навоза увеличилось с 50 до 100 т/га за ротацию, начато использование соломы всех зерновых культур севооборота в среднем 2.5 т/га ежегодно. Солому измельчали во время уборки зерна комбайном с измельчителем, затем поле дисковали и через 2–3 нед производили зяблевую вспашку, в процессе которой солому заделывали в пахотный слой. Расчетным методом определено, что при среднем содержании углерода в соломе зерновых 39–41%, с соломой ежегодно в почву поступало 975–1025 кг С/га. В среднем за ротацию севооборота при применении биологизированной системы земледелия (БС) с навозом и соломой в почву поступало ≈ 13 т $C_{\text{орг}}$ /га.

Начиная с 3-й ротации севооборота (с 2002 г.) применение подстилочного навоза было сокращено до 50 т/га, дозы минеральных удобрений в разные годы, в зависимости от состояния посевов, варьировали от 40 до 110 кг д.в./га, их доля в общем объеме внесения НРК составляла в среднем 28.2%.

Почвенные образцы для анализа отбирали из слоя 0–20 см в четырехкратной повторности (го-

товили по 4 смешанных образца из 10–15 индивидуальных проб) на полях ГСУ, а также на участках с применением традиционной системы земледелия (ТС) (без использования растительных остатков на удобрение, с невысокими дозами навоза) осенью 2016 г. после уборки озимой пшеницы и на залежном участке (>20 лет) с лугово-разнотравной растительностью, расположенном в непосредственной близости от полей ГСУ.

Агрохимические анализы почвы (определение pH_{KCl} , H_r , подвижных форм P_2O_5 и K_2O) выполняли по общепринятым методикам [13]. Биологические показатели определяли в свежих образцах почвы: численность физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) – методом учета на соответствующих питательных средах [14], содержание микробной биомассы – методом регидратации-экстракции [15]. Эмиссию $C-CO_2$ определяли абсорбционным методом [16] в лабораторных условиях при инкубации свежееотобранных почвенных образцов при 22°C и 60% ПВ, ежедневно в первые 7 сут, затем 1 раз в неделю и рассчитывали кумулятивное количество минерализованного углерода за 120 сут. Содержание различных пулов и фракций ПОВ определяли в почве, высушенной при комнатной температуре: общее содержание органического углерода ($C_{орг}$) – методом мокрого “сжигания” с фотометрическим окончанием, углерод, растворимый в холодной воде ($C_{водн}$) – по Панникову (при соотношении почва : вода = 1 : 5); углерод, экстрагируемый горячей водой ($C_{эв}$), – при 1-часовом кипячении почвенной суспензии (почва : вода = 1 : 5) на водяной бане с обратным холодильником [17], лабильный углерод ($C_{лаб}$) – в вытяжке 0.1 М $Na_4P_2O_7$ (pH 7.0) по методике Почвенного института, потенциально минерализуемый ($C_{пм}$) и трансформируемый ($C_{транс}$) углерод – по методике Когуа, изложенной в работе [18]. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с вычислением средних, HCP_{05} и критерия Фишера для оценки существенности разности между средними с использованием программы STATVIVA, построение графиков – с использованием компьютерной программы Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам агрохимического анализа, особенности изученных систем земледелия не отразились заметно на таких показателях, как кислотность почвы и содержание элементов питания. Исследованные почвы значимо не различались по содержанию в пахотном слое подвиж-

Таблица 1. Агрохимические показатели серой лесной почвы в пахотных и залежной экосистемах

Вариант	pH_{KCl} , ед. pH	H_r , мг-экв/100 г	P_2O_5 подв	K_2O подв
			мг/кг почвы	
ТС	6.00	1.08	317	165
БС	6.23	0.96	256	167
З	6.20	1.01	273	155
HCP_{05}	0.24	0.24	64	17

Примечание. ТС – традиционная система, БС – биологизированная система, З – залежь. То же в табл. 2–4.

ных форм P_2O_5 и K_2O (в вытяжке Кирсанова), показатели кислотности в верхнем 0–20 см слое также были очень близкими в почвах 2-х агроэкосистем и залежной почве (табл. 1).

Согласно полученным данным, пахотный слой почвы на участках с БС характеризовался существенно более высокими, чем при традиционной системе земледелия, показателями численности групп микроорганизмов и содержания микробной биомассы. Например, по количеству КОЕ аммонифицирующих, амилолитических, целлюлозоразлагающих, нитрифицирующих микроорганизмов БС превышала ТС в 2.3, 1.3, 1.1, 4.1 раза соответственно, что можно объяснить более высоким поступлением в БС легко усвояемого для микробного сообщества углерода в составе подстилочного навоза КРС и соломы зерновых культур (табл. 2).

В исследованиях [11] также было показано, что органическое управление положительно сказалось на количестве целлюлозолитических и аммонифицирующих бактерий в почве. По данным [19], на песчаных почвах количество КОЕ копиотрофов и олиготрофов в органических вариантах было больше, чем в почве минеральных вариантов. Почва залежи характеризовалась более низким, чем в БС, уровнем численности изученных групп микроорганизмов.

Все микробиологически опосредованные циклические процессы зависят от органического углерода, который используется либо как источник энергии, либо как основа для синтеза биомолекул [20]. Поэтому основным ограничивающим фактором для микробной деятельности в сельскохозяйственных почвах является биологически доступное органическое вещество. Методы управления и агротехнологии, которые обеспечивают высокие темпы входа экзогенного углерода в почву, в т.ч. за счет возврата послеуборочных растительных остатков, являющихся трофическим и энергетическим источником, “горячими точками” для микробного населения, создают условия для сохранения и роста микробной биомассы [20].

Таблица 2. Биологические показатели почвы

Вариант	Численность микроорганизмов, 10 ³ КОЕ/г почвы				С _{микро} , мг/кг	С _{микро} , % от С _{орг}
	Аммонификаторы	Амилолитические	Целлюлозоразлагающие	Нитрифицирующие		
ТС	8430	18000	352	3.7	579	3.52
БС	19100	23900	427	15	768	4.26
З	11300	22200	328	5.3	920	3.89
НСР ₀₅	2800	2300	76	1.7	81	

В нашем исследовании максимальным показателем С_{микро}, составившим 920 мг/кг, характеризовалась почва залежи. Согласно данным исследования [21], уровни микробной биомассы в непахотных почвах (залежи) в среднем на 37–54% больше, чем в поверхностном слое вспаханной почвы.

Содержание С_{микро} в пахотной почве ГСУ с многолетним применением БС составило 768 мг/кг, что было на 33% больше, чем в ТС, но на 20% меньше, чем в залежи. Эти данные согласовались с результатами, полученными в ряде исследований, в которых также было установлено, что содержание микробной биомассы в почвах с биологическими и органическими системами удобрения было больше, чем с минеральными [1, 9, 11, 21]. В исследованиях [22] показано отрицательное влияние минеральных удобрений, в первую очередь азотных, на количество микробной биомассы, что объясняется подкислением, а также снижением запасов биологически доступного углерода.

Одним из интегральных показателей минерализационной активности почвенных микроорганизмов является скорость и интенсивность продуцирования двуокси углерода. Для количественной характеристики минерализуемого пула органического углерода используют данные кумулятивной эмиссии С-СО₂ за период длительной инкубации (110–120 сут) почвенных образцов [23]. В наших исследованиях при 120-суточном инкубировании почвенных образцов из ТС было минерализовано 56.8 мг С/100 г почвы. За этот период в почвах вариантов БС и З кумулятивное продуцирование С-СО₂ составило 84.5 и 152 мг/100 г почвы, что превышало ТС в 1.49 и 2.67 раза соответственно (рис. 1).

За 120 сут при оптимальных параметрах температуры и влажности в результате микробной деятельности фактически было минерализовано 3.15, 4.85 и 6.41% общего углерода (С_{орг}) в почвах ТС, БС и З соответственно. Эти данные также показали, что при использовании биологизирован-

ной системы органическое вещество в почве доступно для микроорганизмов и подвержено минерализации в большей степени, чем при традиционной (конвенциональной) системе, но в меньшей степени, чем в залежи.

По данным [24], перевод пахотной почвы в залежную способствовал накоплению органического вещества в верхнем слое, что вызвало усиление дыхательной активности почв и увеличение содержания микробного углерода.

Некоторые исследователи отмечали, что кроме такого фактора как более низкое поступление органического вещества в традиционной системе, постоянная вспашка плугом с оборотом также может снижать биологическую активность почв из-за разрушения почвенной структуры и уменьшения количества макроагрегатов [25].

Согласно результатам исследования [26], высокие показатели эмиссии СО₂ и в целом оптимизация биологических свойств почв при использовании органических и биологизированных систем земледелия обусловлена увеличением входа свежего органического вещества, улучшением обеспеченности биологически доступным, легко-разлагаемым ПОВ и в целом его биологического качества.

Известно, что общее содержание углерода в почве – это величина достаточно инертная, мало динамичная и не отражает кратковременных природных и антропогенных воздействий. Например, по содержанию общего углерода (С_{орг}) БС отличалась от традиционной системы на 9.7%, что было близким к аналитической ошибке.

По мнению [27], эффективно диагностировать изменения ПОВ под влиянием природных и антропогенных факторов и его биологическое качество возможно, определяя содержание активного органического вещества, оценивая его минерализационную способность и устанавливая долю микробного углерода в ПОВ. В качестве одного из индикаторов обеспеченности почв активным органическим веществом в научных исследованиях используют такой параметр, как содержание по-

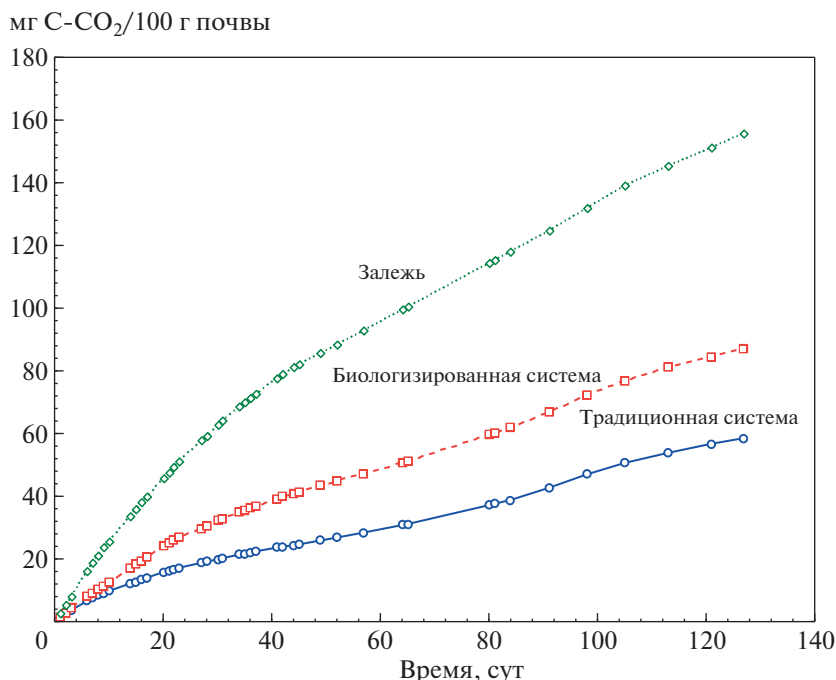


Рис. 1. Кумулятивное продуцирование С-СО₂ серой лесной почвой в различных системах земледелия и залежи.

тенциально минерализуемого углерода ($C_{\text{пм}}$), устанавливаемое путем измерения количества СО₂ за 20-суточный период лабораторной инкубации почвы и последующих соответствующих расчетов по методу, изложенному в работе [18]. Физический смысл этого показателя состоит в том, что он отражает количество углерода, минерализуемого в конкретной агроэкосистеме за период времени, равный по продолжительности вегетационному сезону.

Согласно полученным данным, в почве ТС содержание $C_{\text{пм}}$ составило 34.5 мг/100 г почвы, что в 1.48 раза меньше, чем в БС. Максимальной обеспеченностью потенциально-минерализуемым углеродом (86.8 мг/100 г) характеризовалась залежная почва. По мере увеличения абсолютных показателей возрастала также доля $C_{\text{пм}}$ в составе $C_{\text{орг}}$ от минимума в ТС (2.09%) до максимума в залежи (3.67%) (табл. 3).

Легко трансформируемый углерод почвы ($C_{\text{транс}}$) – часть углеродного фонда, представленная компонентами с высокой химической и биологической активностью, что определяет их главную роль в осуществлении агрономических, экологических функций почв и формировании их основных режимов и свойств [28]. Согласно [29], содержание $C_{\text{транс}}$ зависит от системы землепользования, используемых агроприемов (применяемых удобрений, севооборота и т.п.).

Серые лесные почвы изученных агроэкосистем значительно различались по величине этого показателя. Например, в почве ТС отмечено наименьшее содержание $C_{\text{транс}}$, как абсолютное (308 мг/100 г почвы), так и относительное (18.7% к $C_{\text{орг}}$). В БС, где внесение органических удобрений и периодическая заделка соломы 4-х зерновых культур севооборота обеспечивали дополнительный вход свежего органического вещества в размере в среднем ≈ 1050 кг/га/год, содержание $C_{\text{транс}}$ было больше в 1.48 раза, в залежи – в 2.52 раза, чем в ТС.

В работе [30] отмечено, что пахотные почвы с традиционными способами применения удобрений и механической обработки характеризуются обеднением активным органическим веществом и упрощением структуры активного пула. Любые

Таблица 3. Содержание потенциально-минерализуемого ($C_{\text{пм}}$) и трансформируемого ($C_{\text{транс}}$) органического вещества в серой лесной почве

Вариант	$C_{\text{пм}}$		$C_{\text{транс}}$	
	мг/100 г	$C_{\text{пм}}$, % от $C_{\text{орг}}$	мг/100 г	$C_{\text{транс}}$, % от $C_{\text{орг}}$
ТС	34.5	2.09	308	18.7
БС	50.9	2.82	455	25.2
З	86.8	3.67	775	32.8
<i>НСР</i> ₀₅	9.6		86	

Таблица 4. Содержание общего ($C_{\text{орг}}$), водорастворимого ($C_{\text{вод}}$, $C_{\text{эгв}}$) и лабильного ($C_{\text{лаб}}$) органического вещества в серой лесной почве

Вариант	$C_{\text{орг}}$, %	мг/кг почвы		
		$C_{\text{вод}}$	$C_{\text{эгв}}$	$C_{\text{лаб}}$
ТС	1.65	142	505	1390
БС	1.80	159	595	1620
З	2.37	223	803	1760
HCP_{05}	0.19	11	44	120

быстро и медленно разлагающиеся материалы, включая солому зерновых культур, благоприятствуют процессу обогащения почвы активным органическим веществом, используемым микроорганизмами, и повышению биологической активности почвы [28]. Согласно результатам исследований [31], внесение соломы являлось наиболее значимым фактором, определяющим изменчивость пулов общего органического, потенциально-минерализуемого и микробного углерода в инкубационном опыте с серой лесной почвой.

Как уже упоминалось выше, общее содержание углерода в почве – это величина достаточно консервативная, медленно изменяющаяся в почвах. Напротив, такие фракции ПОВ, как водорастворимый, лабильный углерод, способны быстрее, чем общий органический углерод, реагировать на любые изменения в управлении почвами, поэтому они были предложены в качестве чувствительных индикаторов ранних изменений количества и качества ПОВ под воздействием природных и антропогенных факторов, в т.ч. под влиянием сельскохозяйственного использования [28].

Содержание водорастворимого углерода является одним из основных показателей биологической доступности ПОВ. По мнению [32], одним из достоверных параметров оценки разлагаемой части ПОВ, наиболее чувствительной для обнаружения изменений в ПОВ под влиянием различных сельскохозяйственных практик, является также содержание углерода во фракции, экстрагируемой горячей водой ($C_{\text{эгв}}$).

Установлено, что минимальная обеспеченность водорастворимым и лабильным углеродом была зафиксирована в почве ТС. В варианте БС содержание углерода, экстрагируемого холодной ($C_{\text{вод}}$) и горячей водой ($C_{\text{эгв}}$), а также определяемого в нейтральной пиродифосфатной вытяжке ($C_{\text{лаб}}$) в варианте БС было достоверно больше по сравнению с ТС на 17, 90 и 234 мг/кг, соответ-

ственно (табл. 4). Если, как уже упоминалось выше, по содержанию общего углерода ($C_{\text{орг}}$) БС отличалась от традиционной на 9.7%, то по содержанию легкоразлагаемых фракций ПОВ, таких как $C_{\text{вод}}$, $C_{\text{эгв}}$ и $C_{\text{лаб}}$ – на 12, 18 и 17% соответственно. Многолетнее использование почвы под залежь обеспечило максимальные показатели органических фракций углерода, которые были достоверно больше, чем в варианте БС.

Отношение $C_{\text{микр}} : C_{\text{орг}}$, обозначаемое как “микробный фактор”, отражает относительный вклад микробной биомассы в общий органический углерод почвы [33] и указывает на биологическую доступность ПОВ для микробиоты. Фактически это отношение уменьшается при снижении концентрации доступного органического вещества.

В нашем исследовании доля $C_{\text{микр}}$ в составе $C_{\text{орг}}$ в БС была в 1.2 раза больше, чем в ТС (табл. 2), что свидетельствовало о более высоком качестве и доступности ПОВ для микрофлоры при использовании биологических средств для удобрения почвы.

В исследовании [34] после 7-ми лет органического управления в почве достоверно увеличались показатели содержания микробной биомассы, ферментативной деятельности, но при этом не наблюдали увеличения $C_{\text{общ}}$ и в целом было отмечено, что большие различия между различными методами управления были найдены в микробиологических свойствах почв, чем агрохимических.

Полученные данные убедительно продемонстрировали, что биологизированная система в отличие от традиционной (конвенциональной) способствует накоплению легко минерализуемого органического вещества, при слабо выраженных различиях по содержанию общего $C_{\text{орг}}$. По обеспеченности легкоразлагаемым органическим веществом, которое является активным и биологически доступным, а также по величинам биологических параметров изученные экосистемы можно расположить в следующей последовательности: З > БС > ТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлены существенные различия уровней биологической активности и качества почвенного органического вещества (ПОВ) пахотного слоя агросерой лесной почвы с применением традиционной (ТС) и биологизированной систем земледелия (БС), предусматривающей увеличение внесения в почву органиче-

ских удобрений при сокращении доз минеральных, а также регулярный возврат в почву послеуборочных остатков зерновых культур 8-польного зерноотраважного севооборота. Почва в БС при близких агрохимических свойствах (содержании доступных форм фосфора и калия, кислотности) значительно превосходила традиционную по численности, активности и биомассе микроорганизмов. В целом длительное систематическое использование биологизированных агроприемов не привело к значительным изменениям в содержании валового $C_{\text{орг}}$ в почве, но способствовало более высокой обеспеченности почвы биологически активным ПОВ: водорастворимым и лабильным, потенциально минерализуемым, трансформируемым. На основании полученных данных можно сделать вывод, что активная почвенная микрофлора с более высокой численностью и биомассой, а также повышенный запас легкодоступного органического вещества – важнейшие преимущества биологизированных систем земледелия перед традиционными. Из всех изученных вариантов в почве залежи, без ежегодной механической обработки и отчуждения фитомассы, зафиксированы наиболее высокие показатели, характеризующие биологическую активность и биологическое качество ПОВ. В обрабатываемых пахотных почвах (ТС и БС) содержание общего углерода было меньше, чем в залежной в 1.50 и 1.64 раза соответственно. Обогащенность почвы легкоминерализуемым углеродом была также значительно снижена в 2.52 раза в ТС и в 1.7 раза – в БС по сравнению с залежью. Очевидно, это обусловлено большей массой корней и большим количеством растительных остатков, поступавших в почву в естественной экосистеме, по сравнению с агроценозом, где масса корней существенно меньше, и значительная часть надземной фитомассы растений отчуждается с урожаем. Таким образом, даже систематическое внесение органических удобрений и возврат соломы не позволили в пахотных серых лесных почвах достичь уровня показателей биологической активности, содержания и качества ПОВ, характерных для почвенной экосистемы залежи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ходжаева А.К., Семенов В.М., Дулов Л.Е., Семенова Н.А., Кузнецова Т.В., Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К.* Диагностика биологических свойств почвы при органической и традиционной системе земледелия // *Агрохимия*. 2010. № 5. С. 3–12.
2. *Жученко А.А.* Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Изд-во Агрорус, 2009. 1104 с.
3. *Бутов А.В., Мандрова А.А.* Биологизированная система земледелия в трехпольном севообороте с картофелем // *Агропром. технол. Центр. России*. 2016. № 2. С. 50–55.
4. *Малюга Н.Г., Гаркуша С.В., Василько В.П., Радионов А.И., Кравцов А.М.* Сбалансированная биологизированная система земледелия – основа сохранения плодородия и высокой продуктивности черноземов Кубани // *Тр. Кубан. ГАУ*. 2015. № 52. С. 125–129.
5. *Мерзлая Г.Е.* Биологические факторы в системах удобрения // *Агрохимия*. 2017. № 10. С. 24–36.
6. *Русакова И.В.* Ресурсосберегающие технологии использования растительных остатков // *Агрохим. вестн.* 2012. № 3. С. 40–42.
7. *Marriott E.E., Wander M.M.* Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 950–959.
8. *Tobiasová E.* Quantity and quality of soil organic matter in ecological and integrated farming system // *J. Centr. Europ. Agricult.* 2012. V. 13. № 3. P. 519–526.
9. *Tu C., Ristaino J.B., Hu S.* Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. P. 247–255.
10. *Liebig M.A., Doran J.W.* Impact of organic production practices on soil quality indicators. // *J. Environ. Qual.* 1999. V. 28. № 5. P. 1601–1609.
11. *Lehocka Z., Klimekova M., Bielikova M.* Soil quality indicators in organic and conventional farming systems in Slovakia // 16th IFOAM Organic World Congress. Modena. Italy. 2008. 16–20 June. Arch. at <http://orgprints.org/12169>.
12. *Лебедева Т.Н., Масютенко Н.П., Семенов В.М., Козут Б.М., Зинякова Н.Б., Акименко А.С.* Действие биологических способов оптимизации плодородия типичного чернозема на качество органического вещества // *Агрохимия*. 2018. № 7. С. 12–21.
13. *Практикум по агрохимии / Под ред. Минеева В.Г.* М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
14. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Н.Новгород, 2012. 64 с.
15. *Благодатский С.А., Благодатская Е.В. Горбенко А.А., Паников Н.С.* Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве // *Почвоведение*. 1987. № 4. С. 71–81.
16. *Шарков И.Н.* Абсорбционный метод определения эмиссии CO_2 из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. М.: РАСХН, ВНИИОУ, 2005. С. 401–407.
17. *Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв*. М.: ВНИИА, 2010. 32 с.
18. *Козут Б.М., Семенов В.М., Лукин С.М., Шарков И.Н.* Способ определения показателей трансформируемого и инертного органического углерода в почвах. Пат. 2519149 РФ // *Б.И.* 2014. № 16. С. 7.

19. van Diepeningen A.D., de Vos O.J., Korthals G.W., van Bruggen A.H.C. Effects of organic versus conventional agronomy on chemical and biological parameters in agricultural soils // *Appl. Soil Ecol.* 2006. V. 31. № 1–2. P. 120–135.
20. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V. 83. P. 184–199.
21. Leithold G., Hülsbergen K–J., Christopher Brock C. Organic matter returns to soils must be higher under organic compared to conventional farming // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2015. V. 178. № 1. P. 4–12.
22. Kallenbach C., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 2011. V. 144. № 1. P. 241–252.
23. Jacinthe P.A., Lal R., Kimble J.M. Effects of Wheat residue fertilization on accumulation and biochemical attributes of organic carbon in a central Ohio luvisol // *Soil Sci.* 2002. V. 167. № 11. P. 750–758.
24. Ковалевская Н.П., Завьялова Н.Е., Шаравин Д.Ю., Фомин Д.С. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы в длительном опыте с различными агротехническими приемами // *Рос. сел.-хоз. наука.* 2019. № 3. С. 38–41.
25. Dick R.P. A review: Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 1992. V. 40. № 1–4. P. 25–36.
26. Werner M.R., Dindal D.L. Effects of conversion to organic agricultural practices on soil biota // *Amer. J. Alternat. Agricult.* 1990. V. 5. № 1. P. 24–32.
27. Семенов В.М., Кравченко И.К., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Гисперт М., Пардини Дж. Экспериментальное определение активного органического вещества в некоторых почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // *Почвоведение.* 2006. № 3. С. 282–292.
28. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
29. Кершенс М. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // *Почвоведение.* 1992. № 10. С. 122–131.
30. Семенов В.М., Семенова Н.А. Биологически активное органическое вещество в почве: диагностика и способы регулирования запасов // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Мат-лы III Международ. научн. конф.* 2018. С. 176–177.
31. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // *Агрохимия.* 2019. № 3. С. 3–18.
32. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // *Почвоведение.* 1998. № 7. С. 890–894.
33. Anderson T.-H., Domsch K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils // *Soil Biol. Biochem.* 1989. V. 21. № 4. P. 471–479.
34. Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy // *Ecol. Indicat.* 2006. V. 6. № 4. P. 701–711.

Comparative Evaluation of the Effects of Traditional and Biologized Arable Systems on Agrochemical and Biological Properties and Biological Quality of Organic Matter of Gray Forest Soil in Vladimir Opolye

I. V. Rusakova

*All-Russian Research Institute for Organic Fertilizers and Peat – branch of Upper Volga Federal Agrarian Research Center
ul. Pryanishnikova 2, Vyatkinno, Sudogda district, Vladimir region 601390, Russia
E-mail: rusakova.iv@yandex.ru*

In the field conditions of the Vladimir Opolye, we assessed the effects of biologized farming system (BS) on changes in the agrochemical and biological fertility properties of gray forest soil, as compared to the traditional (conventional) farming system (TS) used in this region and fallow soils (FS) with meadow-herbaceous vegetation. We found that a long-term use of biologized agricultural techniques (using of cattle manure and straw, reduction of mineral fertilizer doses, and combined soil-protection tillage) had a much greater effect on biological properties and the soil organic (SOM) quality than on agrochemical parameters. At close pH values, hydrolytic acidity, and the content of mobile forms of phosphorus and potassium in arable layer in land plots using the BS, as compared to the TS, there was a significant increase in the provision of soil with readily degradable and biologically available organic matter: potentially mineralizable (C_{pm}) and transformable (C_{trans}) carbon – 1.48 times; water-soluble (C_w , C_{ehw}) and labile (C_{lab}) carbon – 1.12 to 1.18 times, which created more favorable conditions for the soil microflora's vital functions and an increase in its activity and biomass. Thus, the arable layer in fields with the BS versus the TS featured significantly higher parameters characterizing the soil biogenicity: the number of physiological groups of microorganisms (PGM) – 1.21 to 4.05 times; the microbial biomass content (C_{micr}) – 1.32 times; the organic matter mineralization intensity and C-CO₂ production amount – 1.49 times. At the same time, we have recorded no significant difference between the TS and the BS in terms of the gross organic carbon content in the arable layer. The fallow soil ecosystem was superior to the BS in terms of the studied parameters of the biological activity and biological quality of organic matter.

Key words: biologized farming system, agrochemical, biological properties, biological quality of organic matter.