

УДК 631.417:631.445.41

ВЛИЯНИЕ ПРИЕМА БИОЛОГИЗАЦИИ НА БИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

© 2020 г. Н. А. Чуян^{1,*}, Г. М. Брескина¹

¹ Курский федеральный аграрный научный центр
305021 Курск, ул. К. Маркса, 70б, Россия

*E-mail: Chuyan.6546@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.10.2019 г.

После доработки 22.01.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Выявили эффективность использования побочной продукции культур на удобрение после предварительной поверхностной (8–10 см) заделки ее на поле в условиях зернопропашного севооборота сахарная свекла – ячмень – горох – озимая пшеница на черноземе типичном Курской обл. Дана оценка биологического состояния почвы при внесении растительных остатков в комплексе с различными дозами минеральных удобрений и извести (средние дозы N170P210K210 за севооборот и одинарная доза извести – 50 кг CaCO₃/т соломы). Прием положительно влиял на увеличение содержания углерода микробной биомассы и приводил к интенсивному росту целлюлозолитической активности почвы.

Ключевые слова: побочная продукция, минеральные удобрения, известь, целлюлозолитическая активность, микробная биомасса.

DOI: 10.31857/S0002188120090033

В настоящее время дозы внесения органических удобрений в переводе на подстилочный навоз составляют 1.1–1.2 т/га (не более 12–15% обеспеченности) [1]. Наряду с этим за последние десятилетия практически прекращена добыча торфа и сапропелей, из которых ранее производили ценные в агрономическом отношении компосты. В этих условиях для решения проблемы биологизации земледелия целесообразно полнее использовать все возможные источники органических веществ, в том числе солому, сидераты и т.п. [2].

В последние годы возрастает интерес к использованию на удобрение растительных остатков сельскохозяйственных культур, которые служат основным доступным энергетическим материалом, источником углерода и биогенных элементов, поэтому являются основным фактором, регулирующим микробиологическую деятельность в почвах [3–6]. Любые быстро и медленно разлагающиеся материалы, включая солому зерновых культур, благоприятствуют процессу обогащения почвы активным органическим веществом, используемым микроорганизмами, и повышению биологической активности почвы [7].

В литературе имеется недостаточное количество экспериментальных данных длительных опытов, позволяющих выявить изменения микробиологических процессов в динамике при многократном внесении соломы. Отсутствуют данные полевых опытов с чередованием соломы различных культур в условиях воздействия агротехнических нагрузок на биологические процессы в почве. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности использования побочной продукции культур на удобрение и определение оптимального уровня комплексного сочетания приема биологизации с агротехническими приемами, максимально влияющего на биологическую активность почвы, являются актуальными в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и сохранения устойчивости агроэкосистем.

Поскольку органические вещества в почве трансформируются и используются микроорганизмами, можно говорить о биологическом качестве почвенного органического вещества (ПОВ) [8]. Биологическое качество ПОВ в наиболее полном виде характеризует его активный биологически трансформируемый пул [9, 10]. Для оценки

состояния ПОВ важно знать содержание микробной биомассы почвы [11], т.к. микробный компонент почвы является важной функциональной частью почвенного органического углерода и характеризует степень биогенности почвы [12–14].

Кроме того, микробное сообщество почв в силу своей высокой чувствительности, реактивности и набору специализированных экологических групп позволяет быстро регистрировать изменения и характеристику среды в результате антропогенных влияний [15, 16], что дает возможность использовать их в качестве эффективных биоиндикаторов происходящих в почве процессов.

Наиболее активное разложение соломы идет в верхнем слое 0–10 см почвы, о чем свидетельствует ее связь с целлюлозолитическими микроорганизмами [17], т.к. к важнейшим, в том числе по массе, компонентам растительных остатков относится целлюлоза [18]. Как один из показателей биологической активности, целлюлозолитическая активность почвы может служить характеристикой трансформации органического вещества, вовлечения труднодоступных форм углерода в биологический круговорот и в конечном итоге определяет уровень почвенного плодородия и продуктивности биоты [19].

Закономерности функционирования микробного сообщества при разложении соломы остаются мало изученными [12], что связано с полифункциональностью микроорганизмов. Кроме того, на состав биологического комплекса реагирует и степень агротехнических нагрузок, что неоднозначно сказывается на содержании углерода микробной биомассы и интенсивность целлюлозоразрушающей активности.

Цель работы – оценка биологического качества чернозема типичного при использовании приема биологизации (соблюдение технологии поверхностной заделки побочной продукции сельскохозяйственных культур зернопропашного севооборота на удобрение) при разных уровнях удобренности (внесения различных доз минеральных удобрений и извести).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выполнения исследования по изучению содержания углерода микробной биомассы и целлюлозолитической активности чернозема типичного был заложен полевой мелкоделяночный опыт (2006–2009 гг.), расположенный на опытном поле Курского федерального аграрного научного центра в Медвенском р-не Курской обл. на водораздельном плато. Почвенный покров участка представлен черноземом типичным малогу-

мусным тяжелосуглинистым на карбонатном лессовидном суглинке. Содержание гумуса – 5.34–5.56%, обменно-поглощенного кальция – 26.0–28.6 мг-экв/100 г почвы. Реакция среды – нейтральная или близкая к нейтральной: pH_{H_2O} составил 6.6–7.5, pH_{KCl} – 6.1–7.2, гидролитическая кислотность – 0.42–1.94 мг-экв/100 г почвы.

Анализ биологических показателей был проведен в севообороте сахарная свекла – ячмень – горох – озимая пшеница на фоне внесения побочной продукции с различными дозами минеральных удобрений и извести. Полнофакторная схема опыта включала 3 уровня доз извести (0, 1, 2) и 4 уровня доз минеральных удобрений (0, 1, 2, 3). Те же дозы минеральных удобрений и извести изучали параллельно и на фоне внесения растительных остатков. Одинарная доза минеральных удобрений под сахарную свеклу – N90P90K90, ячмень и озимую пшеницу – N40P40K40, горох – P40K40, одинарная доза извести – 0.15 т/га. Количество использованной на удобрение побочной продукции (соломы и ботвы) строго дозировали: сухое органическое вещество – 2 т/га (солома 3 т/га + ботва 15 т/га). Таким образом, сочетанию с одинарными и двойными дозами извести соответствовали соотношения 50 : 10 и 100 : 20 кг извести на 1 т соломы/ботвы. Общая площадь делянок – 20 м², учетная для культур сплошного сева – 11 м², для сахарной свеклы – 5.4 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое. Минеральные удобрения и известь вносили вручную.

Представленную схему опыта осуществляли на фоне основной обработки почвы – вспашки, для озимой пшеницы – поверхностной обработки, совмещенной с предпосевной. Побочную продукцию заделывали на глубину основной обработки почвы только после поверхностного компостирования на поле по технологии, разработанной в нашем центре [20].

Для выполнения поставленных задач были проведены полевые и лабораторно-аналитические исследования с использованием различных методов анализа. Образцы почв на определение микробной биомассы (МБ) отбирали на глубине пахотного слоя (0–20 см) в 2 срока: в период вегетации культур севооборота и в период их уборки. Для проведения анализа целлюлозолитической активности почвы на глубине пахотного слоя были заложены образцы хлопчатобумажной ткани, предварительно взвешенные и подготовленные в соответствии с методикой. Закладку полотен производили в 2 срока: после посева культур и перед

уборкой культур с экспозицией 1 мес. Представлены средние результаты данного показателя.

Лабораторно-аналитические исследования проводили по общепринятым рекомендованным методикам: определение микробной биомассы (МБ) в свежих почвенных образцах – регидратационным методом [21], целлюлозлитической активности почвы (ЦА) – по степени разложения хлопчатобумажной ткани (РТ) [22].

Экспериментальные данные обработаны методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов с использованием программных средств Microsoft office EXCEL, STATISTIKA, STATGRAF.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микробная биомасса почвы является интегральной характеристикой качества почвы [23]. Изменения микробной биомассы почвы важны для заблаговременного прогнозирования влияния различных агротехнологий на содержание органического вещества. При относительно невысокой доле углерода микробной биомассы в общем содержании почвенного органического вещества (1–6%), она является источником формирования гумусовых веществ, поэтому может служить важным параметром, характеризующим биологическое состояние почв [24].

Установлено, что для поддержания стабильного и более высокого уровня биологических показателей почвы необходимо регулярное внесение соломы зерновых и зернобобовых культур в сочетании со средними дозами минеральных удобрений [25]. Согласно данным [26], поступление растительных остатков в почву сопровождалось ростом микробной биомассы в среднем на 30–65%. В исследовании [27] содержание микробной биомассы (МБ) при внесении соломы озимой пшеницы было в 1.2 раза больше контроля без удобрений. В работе [24] отмечено, что если минеральные удобрения вносили без соломы, то они не оказывали положительного влияния на содержание углерода МБ.

Показано, что использование соломы злаковых культур под сахарную свеклу совместно с различными дозами минеральных удобрений и известняковой муки обеспечило накопление наибольшего количества микробной биомассы во все сроки наблюдений при внесении низкой дозы извести (50 кг/т соломы) как отдельно, так и совместно со средней дозой минеральных удобрений N90P90K90 (табл. 1).

В вариантах с внесением повышенных (N180P180K180) и высоких (N270P270K270) доз минеральных удобрений количество МБ снижалось не только на фоне без внесения извести, но и при ее внесении в дозе и 50 и 100 кг/т соломы. При применении максимальной дозы азотного удобрения отмечено уменьшение эффективности использования микроорганизмами питательного субстрата в условиях несбалансированного питания, что снижало рост запасов углерода биомассы [28]. Это свидетельствовало о том, что при интенсификации процесса поверхностного компостирования соломы озимой пшеницы необходимо создавать благоприятные условия для развития микроорганизмов, участвующих в процессе трансформации энергии органического вещества, ограничиваясь средними дозами минеральных удобрений с низкой дозой извести.

Содержание микробной биомассы при использовании ботвы сахарной свеклы под ячменем было больше во всех вариантах внесения минеральных удобрений и извести, чем в тех же вариантах, но без внесения ботвы сахарной свеклы (на 40–240 мг/кг почвы или на 5–33% на фоне извести и на 3–17% на фоне без извести).

На активность микробиологических процессов влияют агрометеорологические условия вегетационного периода, особенно влагообеспеченность почвы [29]. Если учесть, что вегетационный период был жарким и сухим, то к уборке ячменя количество МБ в почве заметно уменьшилось и на фоне внесения растительных остатков с известью (с 728–967 до 393–528 мг/кг), и на фоне без внесения извести (с 697–884 до 333–499 мг/кг). Но закономерность оставалась той же: при внесении ботвы сахарной свеклы содержание МБ практически во всех удобренных вариантах с известью было больше на 11–21%, без внесения извести – на 10–14% по сравнению с фоном без растительных остатков. Это свидетельствовало о полезном влиянии растительных остатков на микроорганизмы почвы, несмотря на значительную антропогенную нагрузку (применение сельскохозяйственной техники и минеральных удобрений).

Результаты исследования [30] показали, что в период вегетации растений (с начала июня до начала августа) происходило закономерное увеличение содержания углерода микробной биомассы в слое 0–10 см почвы в среднем во всех вариантах опыта с 202 до 853 кг С/га в зернотравяном севообороте при внесении минеральных удобрений. Величина содержания МБ в период созревания гороха и его уборки свидетельствовала (табл. 1), что интенсивность накопления МБ при поверх-

Таблица 1. Влияние минеральных удобрений и извести при поверхностном компостировании (ПК) растительных остатков (РО) на содержание микробной биомассы в зернопропашном севообороте

Вариант	Микробная биомасса, мг/кг													
	Сахарная свекла		Ячмень				Горох				Озимая пшеница			
	вегетация	уборка	вегетация		уборка		вегетация		уборка		вегетация		уборка	
	РО		РО	без РО	РО	без РО	РО	без РО	РО	без РО	РО	без РО	РО	без РО
Контроль (без удобрений)	511	263	846	843	229	248	308	460	261	260	636	666	696	663
ПК РО 9/15* т/га (фон 1)	624	291	852	884	345	312	462	426	373	259	750	700	883	637
Фон 1 + N170P170K170**	989	312	915	780	372	337	452	437	434	273	784	752	881	762
Фон 1 + N340P340K340	874	298	718	697	416	364	447	380	473	285	693	754	857	778
Фон 1 + N510P630K630	833	327	728	780	386	362	756	708	586	337	706	720	936	757
ПК РО 9/15 т/га + известь 50 кг/т *** (фон 2)	1206	543	811	804	472	424	899	699	616	405	728	720	920	722
Фон 2 + N170P210K210	1052	493	853	780	502	499	766	439	632	544	765	715	934	785
Фон 2 + N340P420K420	837	416	936	896	528	437	706	646	685	591	683	754	868	704
Фон 2 + N510P630K630	986	387	926	926	478	333	551	501	643	597	759	741	903	782
ПК РО 9/15 т/га + известь 100 кг/т (фон 3)	768	416	801	802	393	354	585	337	693	664	772	792	929	799
Фон 3 + N170P210K210	971	372	811	751	416	415	533	358	675	508	699	680	950	812
Фон 3 + N340P420K420	896	368	967	727	456	439	806	581	655	585	682	750	894	815
Фон 3 + N510P630K630	736	284	905	842	412	408	580	570	680	536	768	720	982	809
НСР ₀₅ фактор А****			59		33		82		66		25		39	
фактор В			68		38		94		76		28		45	
фактор С			48		27		67		54		20		32	

*Над чертой – количество соломы за севооборот, под чертой – количество ботвы.

**Количество минеральных удобрений за севооборот.

***Количество извести за севооборот.

****Факторы: А – известь, В – минеральные удобрения, С – растительные остатки (период вегетации и уборки).

ностной заделке соломы ячменя была значительно больше во всех вариантах внесения минеральных удобрений и извести, чем без внесения соломы. Это превышение в период созревания гороха было максимальным при поверхностном компостировании соломы с фосфорно-калийными удобрениями в дозе Р40К40 совместно с известью в дозе 50 кг/т соломы (74 и 77% соответственно).

В период уборки гороха максимальное содержание МБ было при внесении полного минерального, фосфорно-калийного удобрения без извести и превышало фон без соломы на 59–74%. В остальных вариантах внесения удобрений и извести увеличение микробной биомассы меня-

лось, но было достоверным. В период уборки отмечено практически одинаковое содержание микробной биомассы во всех вариантах применения фосфорно-калийных удобрений и обеих доз извести с соломой ячменя (616–685 и 693–655 мг/кг почвы).

В период вегетации озимой пшеницы после гороха содержание МБ после применения растительных остатков, минеральных удобрений и извести в отдельных вариантах было более низким, чем в вариантах внесения минеральных удобрений и извести без соломы (варианты 4, 5, 8, 10, 12). При этом снижение содержания МБ было неодинаковым и изменялось от 14 до 71 мг/кг (от 2

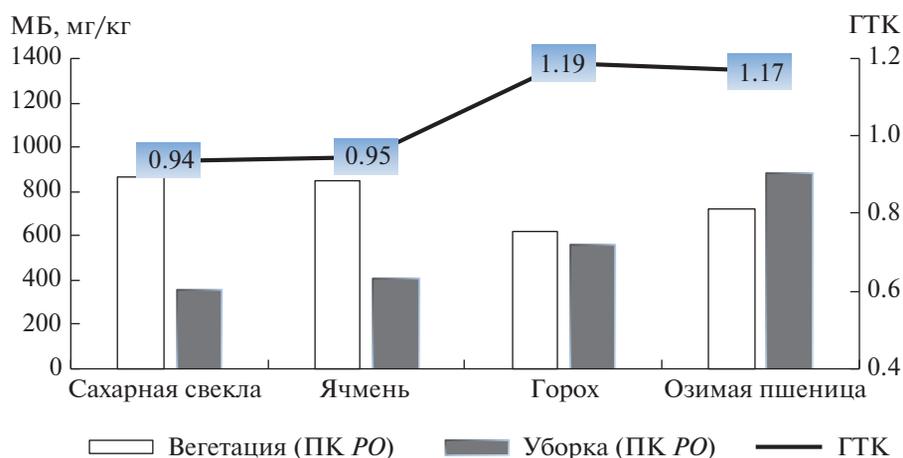


Рис. 1. Различия МБ почвы под культурами севооборота в зависимости от сроков отбора проб и гидротермических условий.

до 9%), и какой-либо закономерности выявить не удалось, что могло быть связано с резкими изменениями погоды (изменения температуры воздуха составляли до 20°C в отсутствии осадков).

Но к периоду уборки накопление МБ стабилизировалось, улучшились условия увлажнения, и солома гороха стала энергетическим материалом для микробиоты, что и отразилось на содержании микробной биомассы. При применении соломы гороха содержание микробной биомассы стало больше во всех вариантах внесения минеральных удобрений и извести по сравнению с фоном без соломы. В опыте [25] с внесением соломы наблюдали увеличение содержания углерода микробной биомассы до 6.2–6.5%, что было обусловлено более высокой обеспеченностью почвы легкоразлагаемыми биологически доступными фракциями органического вещества после применения соломы зерновых и зернобобовых культур севооборота на удобрение и свидетельствовало об иммобилизации углерода.

Для формирования урожая озимой пшеницы, вероятно, большое влияние оказало содержание микробной биомассы в период вегетации культуры. Поэтому и урожайность озимой пшеницы в вариантах внесения минеральных удобрений и соломы гороха с известью в дозе 100 кг/т была несколько больше, чем в тех же вариантах применения минеральных удобрений и извести без соломы.

На основе экспериментального материала было установлено, что содержание МБ в черноземе под разными культурами и в разные сроки (в среднем в опыте) подчинялось следующим закономерностям: 1 – величины содержания МБ под культурами в целом зависели от качества внесенных под них растительных остатков (соломы яч-

меня – С : N = 90, гороха – С : N = 22 и озимой пшеницы – С : N = 100) [31], 2 – содержание МБ в период уборки культур и его различия между сроками отбора зависели от погодных условий учетного периода, оцененные в данном случае гидротермическим коэффициентом по Селянинову. Например, в засушливых условиях вегетационного периода ячменя (ГТК = 0.95) отмечено снижение микробной биомассы к уборке культур в 2 раза (рис. 1).

Характер влияния агротехнических факторов (внесения растительных остатков, извести и минеральных удобрений) на содержание микробной биомассы в почве был одинаковым для зерновых культур зернопропашного севооборота. При поверхностной заделке побочной продукции наблюдали увеличение содержания МБ в течение вегетации культур в среднем на 50 мг/кг (8%), при уборке – на 100 мг/кг (19%) по сравнению с фоном без поверхностной заделки растительных остатков.

Сочетание известкования с минеральными удобрениями повышало МБ во время вегетации культур на 100 мг/кг (15%), как на фоне внесения побочной продукции на удобрение, так и без него. В период уборки культур положительный эффект от сочетания известкования с минеральными удобрениями, как при заделке растительных остатков, так и без нее, показатель МБ составил 200 мг/кг (увеличение на 40–50%). При этом характер нелинейной зависимости указывал на то, что при поверхностном компостировании растительных остатков (ПКО) повышенные дозы минеральных удобрений не показали депрессирующего действия на МБ, как в случае без внесения растительных остатков [32] (рис. 2).

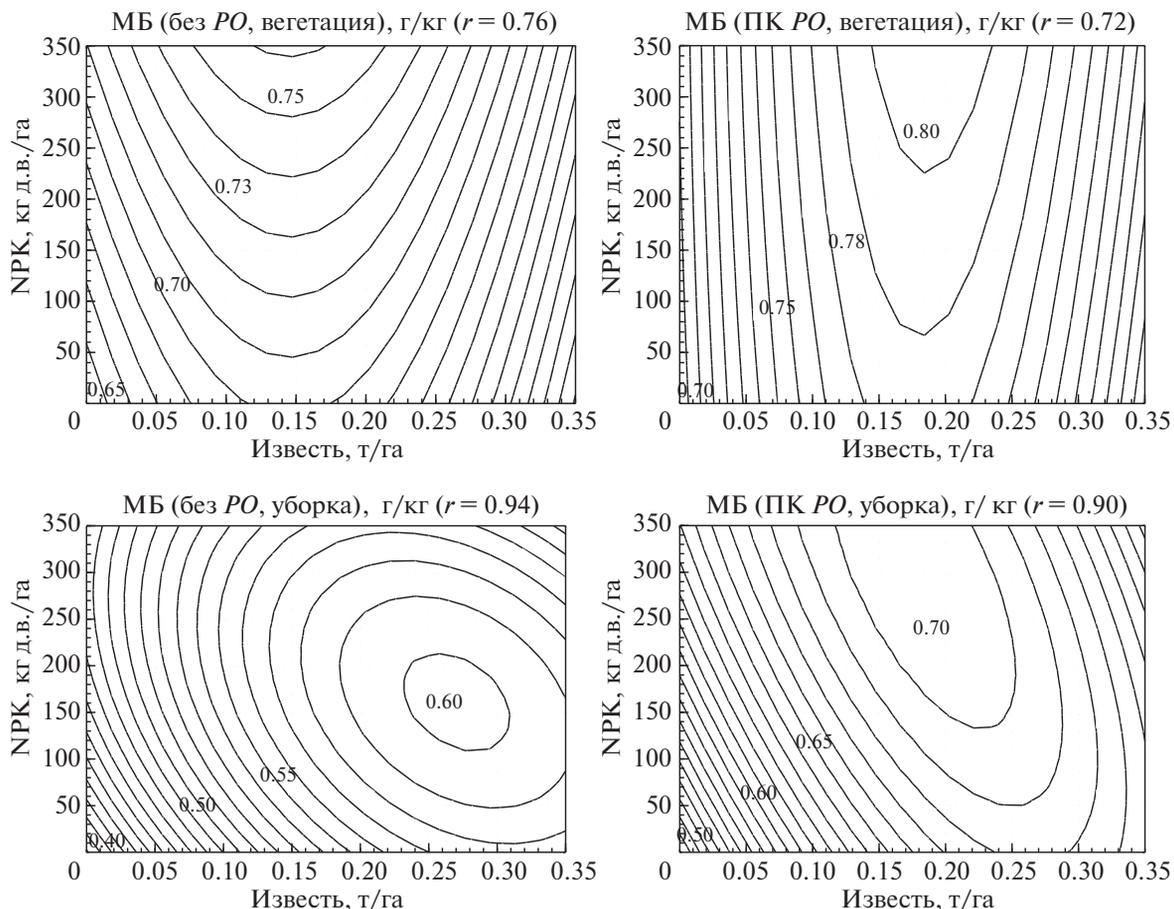


Рис. 2. Зависимость содержания микробной биомассы почвы (МБ, мг/кг) в посевах зерновых культур от минеральных удобрений, известкования и поверхностного компостирования растительных остатков (ПК РО) в периоды вегетации и уборки культур севооборота.

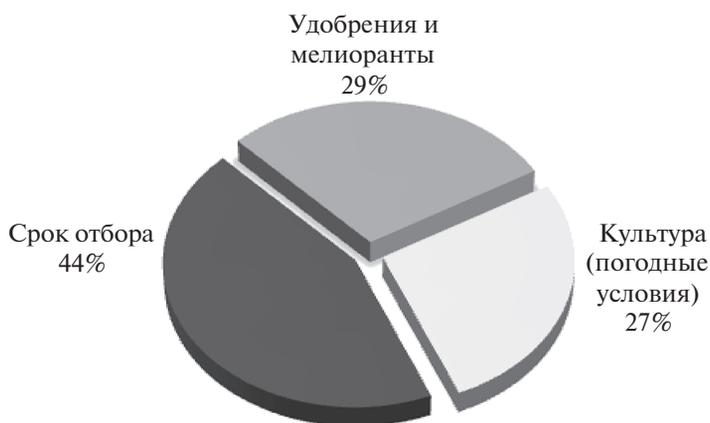


Рис. 3. Доля вклада агрогенных факторов в варьирование содержания микробной биомассы в черноземе типичном.

Данные, полученные при дисперсионном анализе, показали, что под посевами ячменя, гороха и озимой пшеницы наибольший эффект в варьирование содержания микробной биомассы в почве оказал срок отбора (44%), а влияние культуры

и удобрений было примерно равным (27 и 29% соответственно) (рис. 3).

Добавкой азота часто стимулируют минерализацию в достаточной степени доступных соединений углерода растительных остатков, бедных

Таблица 2. Изменение целлюлозолитической активности (ЦА) с известью и минеральными удобрениями в опыте с растительными остатками и без них, %

Известь, т/га	NPK, кг д.в./га	ЦА, %		Изменения ЦА, %		
		без PO	PO	без PO	PO	от PO
0	0	20.8	43.5	—	—	22.7
0	150	36.6	44.8	15.8	1.3	8.2
0	300	28.1	46.4	7.3	2.9	18.3
0	435	34.1	41.1	13.3	−2.4	7.0
0.15	0	31.2	48.9	10.4	5.4	17.7
0.15	150	33.4	49	12.6	5.5	15.6
0.15	300	30.0	46.4	9.2	2.9	16.4
0.15	435	30.5	45.0	9.7	1.5	14.5
0.3	0	26.8	42.7	6.0	−0.8	15.9
0.3	150	24.2	38.2	3.4	−5.3	14.0
0.3	300	23.6	37.4	2.8	−6.1	13.8
0.3	435	32.5	44.1	11.7	0.64	11.6
Среднее		29.3	44.0	—	—	15.0
HCP ₀₅				4.2	3.3	3.8

азотом, с широким отношением С : N, таких как например, целлюлоза, в то же время разложение лигнина замедляется из-за подавления активности некоторых лигнинлитических микроорганизмов в присутствии неорганического азота [14]. Поэтому важным в регулировании биологического процесса является изучение интенсивности целлюлозоразлагающей способности почвы в зависимости от величины доз примененных минеральных удобрений.

Биологическая активность почвы под сахарной свеклой, определенная методом аппликаций, как и содержание микробной биомассы, была максимальной при внесении низкой дозы извести как с минеральными удобрениями в средней дозе (NPK)90, так и без них.

При использовании ботвы сахарной свеклы под ячмень биологическая активность почвы также была больше практически при применении всех доз минеральных удобрений и извести по сравнению с фоном без ботвы. Интенсивность разложения хлопчатобумажной ткани при заделке ботвы сахарной свеклы составила 0.33–0.48%/сут, без ботвы — 0.18–0.36%/сут в зависимости от доз минеральных удобрений и извести.

Более высокая биологическая активность почвы при использовании растительных остатков в качестве органических удобрений в основном и позволила получить более высокую урожайность

зерна ячменя при поверхностном компостировании ботвы сахарной свеклы.

Целлюлозолитическая активность почвы под посевом гороха при использовании соломы ячменя так же, как и под посевом ячменя была больше во всех вариантах применения минеральных (фосфорно-калийных) удобрений и извести по сравнению с такими же вариантами без соломы ячменя и по степени разложения хлопчатобумажной ткани характеризовалась как сильная [33]. В тех же вариантах применения минеральных удобрений и извести, но без заделки соломы ячменя, биологическая активность почвы характеризовалась как средняя. Показатель целлюлозолитической активности при поверхностном компостировании соломы в основном составил 50.9–72.4, без соломы — 41.1–47.3%.

Интенсивность разложения хлопчатобумажной ткани в вариантах поверхностного компостирования соломы ячменя составляла 0.75–1.42%/сут, без соломы — 0.55–1.13%/сут в зависимости от доз фосфорно-калийных удобрений и извести, и была больше на фоне компостирования соломы в 1.2–1.4 раза.

В отличие от предыдущих культур биологическая активность почвы под озимой пшеницей была слабой (целлюлозолитическая активность за период вегетации была <30%) во всех вариантах применения удобрений и извести и с соломой гороха, и без нее. Но все же при использовании соломы гороха она была больше во всех вариантах, за исключением вариантов с внесением высокой дозы удобрений с известью в дозе 100 кг/т, где интенсивность разложения ткани была равной и при применении соломы, и без соломы, что составило 0.30 и 0.31%/сут соответственно.

Самая высокая степень биологической активности в период вегетации отмечена в вариантах внесения соломы гороха с минеральными удобрениями в средней дозе (NPK)40 в сочетании с известью в обеих дозах. Интенсивность разложения хлопчатобумажной ткани в этом случае составила 0.40 и 0.39%/сут и была больше, чем в соответствующих вариантах без соломы на 0.08–0.10% (на 25 и 35%) соответственно.

Активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, определяемая степенью разложения хлопчатобумажной ткани, в нашем опыте без растительных остатков варьировала в различно удобренных вариантах от 21 до 37%, на фоне ПК PO — от 37 до 49%. В среднем при применении растительных остатков степень разложения ткани возрастала на 15% (табл. 2), что было обусловлено более благоприятными условиями для питания,

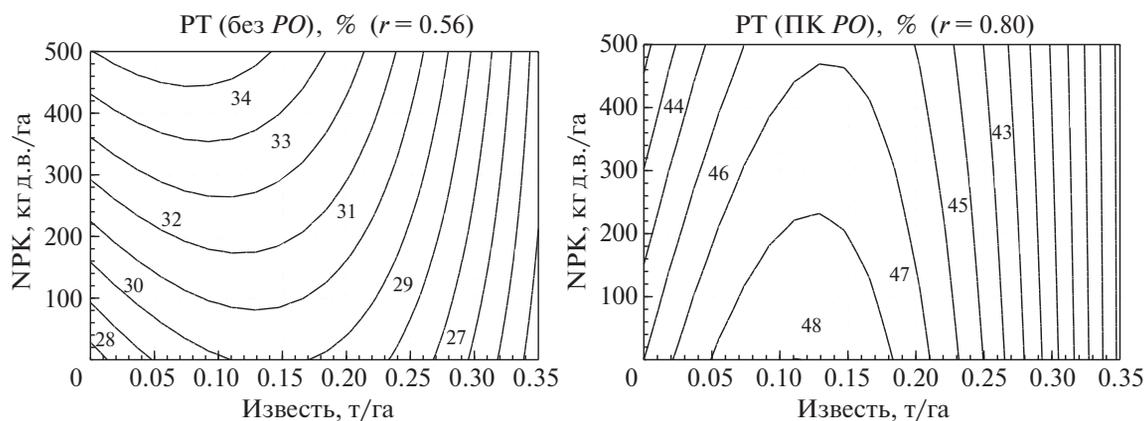


Рис. 4. Зависимость степени разложения ткани в почве от доз извести и минеральных удобрений при поверхностном компостировании растительных остатков и без него.

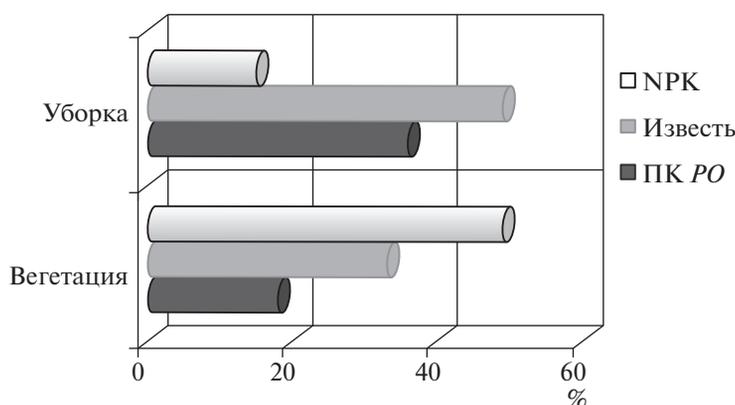


Рис. 5. Доля вклада агрогенных факторов в варьирование содержания микробной биомассы в черноземе типичном (для зерновых культур) в зависимости от сроков отбора проб.

активной жизни и размножения микроорганизмов [34].

В варианте применения соломы в комбинации с минеральными удобрениями наблюдали увеличение целлюлозоразлагающей способности в 1.4 и 2.2 раза по сравнению с вариантами удобрений и без удобрений соответственно [25]. Применение системы удобрения с использованием соломы [35] привело к увеличению микробиологической активности почвы, что позволило увеличить степень разложения льняного полотна на 6.1% по сравнению с контролем. По результатам статистической обработки выявлена тесная связь интенсивности разложения ткани в поверхностном слое почвы от исследованных факторов ($r = 0.86$).

В целом в опыте степень разложения хлопчатобумажной ткани (РТ, %) повышалась от одинарных доз извести как при внесении растительных остатков, так и без них. Характер действия минеральных удобрений был различным: без рас-

тительных остатков наблюдали повышение целлюлолитической активности, при ПК *PO* минеральные удобрения вызвали некоторое ее снижение (рис. 4).

При оценке использованных агротехнических приемов на содержание и варьирование МБ в черноземе под зерновыми культурами было установлено, что в период вегетации культур наибольший эффект имели минеральные удобрения, к периоду уборки – известкование и растительные остатки (рис. 5). Наибольшая доля вклада в варьировании целлюлолитической активности была у побочной продукции – 80% (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Внесение побочной продукции с минеральными удобрениями снимало отрицательное влияние повышенных и высоких доз минеральных удобрений на показатели биологического каче-

Таблица 3. Доли вклада различных факторов в варьирование показателей биогенности почвы

Показатель	Факторы			Общий вклад, (R^2 , %)
	побочная продукция	известь	минеральные удобрения	
C_{MB} (период вегетации)	18	33	49	52
C_{MB} (период уборки)	35	50	15	90
ЦА	80	5	15	76

ства почвы: возрастало содержание микробной биомассы в среднем на 8–19% в зависимости от доз минеральных удобрений, увеличивалась целлюлолитическая активность почвы на 15%, при этом средние дозы удобрений способствовали некоторому росту биологической активности, а высокие дозы минеральных удобрений имели депрессирующий эффект.

2. Поверхностное компостирование растительных остатков предыдущей культуры севооборота способствовало максимальному улучшению биологических свойств почвы (увеличению содержания микробной массы, интенсивности целлюлолитической активности) только при внесении средних доз (N170P210K210 за севооборот) минеральных удобрений в сочетании с низкой дозой извести (50 кг/т соломы и 10 кг/т ботвы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство России. М.: МСХ РФ, 2014. 48 с.
2. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // *Агрохимия*. 2017. № 10. С. 24–36.
3. Полякова Н.В., Платоных Ю.Н., Володина Е.Н. Содержание гумуса и биологическая активность пахотных темно-серых лесных почв // Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Агрохимия и экология: история и современность. Н.Новгород, 2008. С. 79.
4. Аристовская Т.В. Микробиологические аспекты плодородия почв // *Почвоведение*. 1988. № 9. С. 53–69.
5. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования, М.: Агропромиздат, 1989. 108 с.
6. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические процессы растительных остатков в почве // *Агрохимия*. 2006. № 7. С. 63–81.
7. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
8. Basatta E., Ågren G.I. Soil organic matter quality interpreted thermodynamically // *Soil Biol. Biochem.* 1999. V. 31. P. 1889–1891.
9. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В. Лабораторная диагностика биологического качества органического вещества почвы // *Методы исследования органического вещества почв*. М.: РАСХН–ВНИПТИОУ, 2005. С. 214–230.
10. Stevenson F.J. Humus – chemistry, genesis, composition, reactions. 2nd ed., N.Y.: John Wiley Sons, 1994. 496 p.
11. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 53–63.
12. Богородская А.В., Кукавская Е.А., Иванова Г.А. Трансформация микробиоценозов почв светлых лесов нижнего Приангарья под воздействием рубок и пожаров // *Почвоведение*. 2014. № 3. С. 317–326.
13. Зинякова Н.Б., Семенов В.М. Микробная биомасса как ключевой компонент органического вещества почвы и чувствительный индикатор его качества // *Почвенно-земельные ресурсы, оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение*. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., 6–8 июня, 2012.
14. Liang C., Cheng G., Wixon D.L., Balsler T.C. An absorbing Markov Chain approach to understanding the microbial role in soil carbon stabilization // *Biogeochemistry*. 2011. V. 106. P. 303–309.
15. Анянueva Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
16. Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 222 с.
17. Орлова О.В., Андронов Е.Е., Воробьев Н.И., Колодяжный А.Ю., Москалевская Ю.П., Патыка Н.В., Свиридова О.В. Состав и функционирование микробного сообщества при разложении соломы злаковых культур в дерново-подзолистой почве // *Сел.-хоз. биол.* 2015. Т. 50. № 3. С. 305–314.
18. Чирак Е.Л., Орлова О.В., Аксенова Т.С., Кичко А.А., Чирак Е.Р., Проворов Н.А., Андронов Е.Е. Динамика микробного сообщества типичного чернозема при биодegradации целлюлозы и соломы ячменя // *Сел.-хоз. биол.* 2017, Т. 52. № 3. С. 588–596.
19. Ермолаев В.П., Ширмова Л.Г., Медведева И.Ф., Быховец С.С. Динамика целлюлолитической активности серой лесной почвы под сеяным лугом различного режима использования // *Почвоведение*. 1991. № 1. С. 59–67.
20. Технология эффективного использования растительных остатков как органических удобрений на черноземах Лесостепи ЦЧЗ. Курск, 2005. 20 с.

21. *Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Панников Н.С.* Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов почвы // Почвоведение. 1987. № 4. С. 64–71.
22. *Мишустин Е.В., Востров И.П., Петров А.Н.* Методика определения целлюлозоразрушающей активности почвы. М.: Наука, 1987. 375 с.
23. *Stockdale E.A., Brookes P.S.* Detection and quantification of the soil microbial biomass – impacts on the management of agricultural soils // J. Agricult. Sci. 2006. V. 144. P. 285–302.
24. *Fliebach A., Mader P.* Microbial biomass and sizedensity fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems // Soil Biol. Biochem. 2000. V. 32. Iss. 1.6. P. 757–768.
25. *Русакова И.В.* Влияние длительного применения соломы и минеральных удобрений на биологические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2017. № 8. С. 16–24.
26. *Семенов В.М., Ходжаева А.К.* Агроэкологические функции растительных остатков в почве // Агрохимия. 2006. № 7. С. 63–81.
27. *Масютенко Н.П., Брескина Г.М., Чуян Н.А.* Биологическая активность чернозема и урожай сахарной свеклы при внесении минеральных удобрений, извести и соломы // Плодородие. 2009. № 4. С. 28–30.
28. *Евдокимов Е.В., Благодатский С.А., Ларионова А.А., Розонова Л.Н., Орлинский Д.Б., Кудяров В.Н.* Скорость оборачиваемости микробной биомассы в почве в зависимости от доз азотного удобрения // Агрохимия. 1991. № 12. С. 49–56.
29. *Юмашев Х.С., Захарова И.А.* Микробиологическая активность выщелоченного чернозема при различных способах утилизации соломы // Плодородие. 2018. № 2. С. 33–35.
30. *Благодатский С.А., Паников Н.С., Самойлов Т.И.* Влияние агротехнических приемов на динамику запасов микробного азота в серой лесной почве // Почвоведение. 1989. № 2. С. 52–60.
31. Регулирование энергетического состояния черноземов лесостепи ЦЧЗ при использовании растительных остатков как органических удобрений (научно-практ. рекоменд.). Курск, 2006. 45 с.
32. *Чуян Н.А.* Регулирование плодородия чернозема типичного при использовании побочной продукции в условиях лесостепи ЦЧЗ: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Курск, 2010. 42 с.
33. Практикум по агрохимии / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 319 с.
34. *Куракова А.В., Прохоров И.С., Костина Н.В., Мохова Е.Г., Садыкова В.С.* Стимуляция грибами азотфиксации в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1075–1081.
35. *Хисамова К.Ч., Куликова А.Х.* Влияние системы удобрения с использованием соломы на биологическую активность почвы и урожай ячменя // Агротех. вестн. 2015. № 1. С. 35–37.

Estimation of Biological Quality of Organic Matter of Typical Chernozem while Using a Greening Practice

N. A. Chuyan^{a,*} and G. M. Breskina^a

^a*Kursk Federal Agricultural Research Center
ul. K. Marxa 70b, Kursk 305021, Russia*

^{*}*E-mail: Chuyan.6546@yandex.ru*

The effectiveness of using by – products of crops for fertilizer after preliminary surface (8–10 cm) sealing it in the field in the conditions of grain crop rotation sugar beet – barley – peas-winter wheat on the typical Chernozem of the Kursk region was revealed. The assessment of the biological state of the soil when applying plant residues in combination with various doses of mineral fertilizers and lime (average doses of N170P210K210 for crop rotation and a single dose of lime – 50 kg CaCO₃/t of straw) is given. Reception had a positive effect on increasing the carbon content of microbial biomass and led to an intensive increase in the cellulolytic activity of the soil.

Key words: by-products, mineral fertilizers, lime, cellulolytic activity, microbial biomass.