

УДК 631.811.93:633.11“324”(470.40/.43)

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ, ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

© 2022 г. А. Х. Куликова¹, Е. А. Яшин¹, А. Е. Яшин¹, Е. С. Волкова^{1,*}¹Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
432017 Ульяновск, бул. Новый Венец, 1, Россия

*E-mail: volkova-ivinaelena@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.07.2021 г.

После доработки 14.10.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Изучили эффективность органической системы удобрения озимой пшеницы в сравнении с минеральной и органо-минеральной. Исследование проводили в 2013–2017 гг. в 5-польном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (викоовсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Полевой опыт состоял из 7-ми вариантов: 1 – контроль, 2 – солома + сидерат, 3 – солома + 10 кг N/т соломы + сидерат, 4) – солома + биопрепарат Байкал ЭМ-1 + сидерат, 5 – солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат, 6 – биопрепарат + сидерат, 7 – N64P32K54. Озимую пшеницу возделывали по сидеральному пару и во всех вариантах присутствовал сидерат. Следовательно, в вариантах 2, 4 и 6 применяли органическую, в вариантах 3 и 5 – органо-минеральную и варианте 7 – минеральную системы удобрения. Установили, что все системы удобрения с использованием соломы, сидеральной массы и биологического препарата оказывали благоприятное влияние на свойства почвы. Более эффективным в этом отношении был комплекс приемов, включавший применение соломы предшественника с азотной добавкой к ней в дозе 10 кг/га/т соломы, биологического препарата Байкал ЭМ-1 и сидеральной массы. При этом биологическая активность почвы в среднем за вегетацию и годы исследования повышалась на 26%, содержание минеральных форм азота увеличилось на 2,4, доступных соединений фосфора и калия – на 10 и 11 мг/кг почвы. В варианте с применением минеральных удобрений соответствующие показатели составили 3,9, 19 и 11 мг/кг почвы. Возделывание озимой пшеницы после сидерального пара стабилизировало содержание гумуса в почве, совместное применение соломы предшественника и сидерата повысило его содержание за ротацию севооборота на 0,23%, комплексное применение их с азотной добавкой 10 кг N/т соломы и биопрепаратом – на 0,30%. Совместное применение в технологии возделывания озимой пшеницы соломы, сидеральной массы, биологического препарата (органическая система удобрения) способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы (в среднем за 5 лет) на 0,25 т/га, добавление при этом к соломе 10 кг азота из расчета на 1 т (органоминеральная система) – на 0,38 т/га. Применение минеральной системы удобрения обеспечило наибольшую в данном опыте прибавку урожайности зерна озимой пшеницы – на 0,81 т/га. Однако производство зерна с использованием минеральных удобрений значительно менее рентабельно: уровень рентабельности с применением органической системы удобрения составил 67, 71 и 51, органо-минеральной – 56 и 61, минеральной – 44%.

Ключевые слова: озимая пшеница, органическая, органо-минеральная и минеральная системы удобрения, свойства почвы, урожайность, экономическая эффективность производства продукции.

DOI: 10.31857/S0002188122020089

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современных многочисленных вызовов стратегическим направлением развития АПК становится устранение противоречий, подчас антагонистических, между деятельностью человека и функционированием агробиоценозов с тем, чтобы обеспечить агрономическую эффективность, экономическую и энергетическую целесообразность, экологическую безопасность производимой продукции при одновременном со-

хранении плодородия почвы. Решение всех этих проблем в комплексе – архиважная и сложная задача. Для ее решения, как указано в Прогнозе научно-технического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации до 2030 года [1], необходима глобальная смена системы хозяйствования, основанной на химизации сельского хозяйства, на адаптивно-ландшафтном, биологизированном, отдельным направлением которого является органическое

сельское хозяйство. Однако переход на органическое (биологическое) земледелие требует глубоких исследований его эффективности.

В биологизированных системах земледелия прежде всего предлагают использовать в качестве органического удобрения солому зерновых культур, сидераты, промежуточные посевы, пожнивно-корневые остатки, т.е. всю растительную массу, создаваемую в самих агроэкосистемах, кроме основной продукции. Изучению эффективности данных видов органических удобрений посвящено большое количество работ [2–11]. Чаще всего авторы приводят результаты изучения влияния отдельных видов органических удобрений на свойства почвы и урожайность культур, тогда как необходима разработка комплекса биологических приемов возделывания культур. В связи с вышеизложенным цель работы – изучение эффективности органической системы удобрения озимой пшеницы в сравнении с минеральной и органо-минеральной.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на базе полевого опыта, внесенного с 1998 г. в Государственный реестр длительных опытов Российской Федерации (№ 122).

Изучение влияния систем удобрения (органической, органо-минеральной и минеральной) озимой пшеницы на свойства почвы и ее урожайность выполняли на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновского ГАУ в 2013–2017 гг. Озимую пшеницу возделывали в 5-польном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (вико-овсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Варианты опыта: 1 – контроль, 2 – солома + сидерат, 3 – солома + 10 кг N/т соломы + сидерат, 4 – солома + биопрепарат Байкал ЭМ-1 + сидерат, 5 – солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат, 6 – биопрепарат + сидерат, 7 – N64P32K54.

Таким образом, в качестве органического удобрения озимой пшеницы использовали солому предшественника (ячменя), которую заделывали под сидерат, и сидеральную массу. Для ускорения разложения поступающей в почву органической массы ее обрабатывали биологическим препаратом Байкал ЭМ-1.

Солома зерновых культур характеризуется широким отношением углерода к азоту – $>(70 : 1)$. При таком соотношении данных элементов в растительном материале (низкое содержание N) отмечен процесс иммобилизации микроорганизмами азота почвы вследствие их высокой потребно-

сти в нем. Последнее может привести к снижению урожайности удобряемой соломой культуры. С целью предотвращения снижения урожайности культур при использовании соломы в качестве удобрения ряд авторов предлагает сочетать ее применение с компенсирующим количеством азота [12–14]. В связи с этим в схему опыта был введен вариант с азотной добавкой в дозе 10 кг N/т соломы.

Вариант с применением минеральных удобрений введен для установления сравнительной эффективности органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения при возделывании озимой пшеницы. Дозы азота, фосфора и калия рассчитывали на получение 4.5 т зерна озимой пшеницы/га. В качестве минерального удобрения применяли N_m (как добавку к соломе), N_{aa} , P_{cd} и K_x . Таким образом, в вариантах 2, 4 и 6 вариантах применяли органическую, в вариантах 3 и 5 – органо-минеральную и в варианте 7 – минеральную системы удобрения.

Технология внесения соломы, сидерата и биопрепарата состояла в следующем: при уборке ячменя комбайном “TERRION SP 2010”, оборудованном измельчителем, солому разбрасывали по поверхности поля. Равномерное распределение измельченной соломы по поверхности делянок, а также удаление в вариантах, где ее внесение не предусматривали, проводили вручную. После распределения соломы в вариантах опыта вносили вручную азотную минеральную добавку (N10/т) в виде N_m и биологический препарат Байкал ЭМ-1 в дозе 2 л/га ранцевым опрыскивателем (рабочая жидкость из расчета 200 л/га – водный раствор) в соответствующие варианты. Затем солому заделывали дисковым БДМ-3 × 4 на глубину 8–10 см. Во 2-й декаде сентября проводили зяблевую вспашку на 22–25 см, используя плуг ПЛН-4-35.

Весной после боронования зяби (3-я декада апреля) проводили предпосевную культивацию и посев викоовсяной смеси (овес сорта Скакун – 2.5 млн всхожих семян/га и вика сорта Львовская 28 – 0.5 млн семян/га) сеялкой СЗ-3,6 рядовым способом на глубину 5–6 см. Для прикатывания посевов использовали кольчато-шпоровые катки ЗККШ-6А. Сидерат (викоовсяную смесь) заделывали в почву в фазе образования зеленых лопаток у вики (3-я декада июня–1-я декада июля) дисковым БДМ-3 × 4 на глубину 10–12 см. Дозы внесенных соломы, сидерата, а также количество поступивших в почву при этом элементов питания и углерода в среднем за ротацию севооборота представлены в табл. 1, 3.

В 3-й декаде августа под озимую пшеницу, согласно схеме опыта, вносили основную часть

Таблица 1. Поступление в почву элементов питания и углерода с соломой и сидератом, кг/га (среднее за 2013–2017 гг.)

Вариант	Солома				Викоовсяная смесь				Всего			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C
Контроль	–	–	–	–	57.6	20.4	60.3	2040	57.6	20.4	60.3	2040
Солома + сидерат	17.4	11.7	32.0	1220	58.9	20.8	61.6	2080	76.3	32.5	93.6	3300
Солома + 10 кг N/т + + сидерат	18.6	12.6	34.3	1300	62.4	22.1	65.3	2210	81	34.7	99.6	3510
Солома + биопрепарат + + сидерат	18.8	12.7	34.7	1320	63.1	22.3	65.9	2230	81.9	35	100.6	3550
Солома + 10 кг N/т + + биопрепарат + сидерат	19.4	13.2	35.9	1360	63.7	22.5	66.6	2250	83.1	35.7	102.5	3620
Биопрепарат + сидерат	–	–	–	–	62.1	22.0	65.0	2200	62.1	22.0	65.0	2200
НPK	–	–	–	–	68.3	24.2	71.4	2420	68.3	24.2	71.4	2420
HCP ₀₅	0.3	0.4	0.4	11	0.7	0.4	0.8	10				

Таблица 2. Влияние систем удобрения на содержание в пахотном слое почвы под посевами озимой пшеницы доступных растений азота, фосфора и калия (среднее за 2013–2017 гг.), мг/кг

Вариант	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
Контроль	14.9	–	163	–	173	–
Солома + сидерат	15.5	+0.6	169	+6	182	+9
Солома + 10 кг N/т + + сидерат	16.6	+1.7	171	+8	184	+11
Солома + биопрепарат + + сидерат	16.8	+1.9	172	+9	184	+11
Солома + 10 кг N/т + + биопрепарат + сидерат	17.3	+2.4	173	+10	184	+11
Биопрепарат + сидерат	16.2	+1.3	168	+5	176	+3
НPK	18.8	+3.9	182	+19	184	+11
HCP ₀₅	0.5		5		3	

(N34P32K54) расчетной дозы минеральных удобрений, которые заделывали в почву дискатором БДМ-3 × 4 на глубину 10–12 см. Посев озимой пшеницы сорта Саратовская-17 проводили в 1-й декаде сентября после предпосевной культивации. Посевы прикатывали кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы проводили азотную подкормку в дозе N30.

Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь делянки 120 м² (6 × 20), учетная – 72 м² (4 × 18). Почва опытного поля – чернозем типичный среднесуглинистый среднесплодный. Содержание в пахотном слое гумуса составляло 4.7%, подвижного фосфора – 185 мг/кг

(по Чирикову, обеспеченность данным элементом высокая), обменного калия – 196 мг/кг (очень высокая обеспеченность), обменная кислотность рН_{KCl} 6.9.

Полевой опыт и статистическую обработку данных проводили по методике [15], анализы и наблюдения – по общепринятым методикам и ГОСТам в аккредитованной лаборатории “САС “Ульяновская” (№ RA.RU.510251) и испытательной лаборатории “Ульяновская ГСХА”, в том числе: биологическую активность почвы – методом аппликации (льняные полотна закладывали весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы в 4-кратной повторности, их выемку производили перед уборкой озимой пшеницы), содержание гумуса – по Тюрину в модификации

Таблица 3. Поступление растительной массы в почву в вариантах опыта (среднее за 2013–2017 гг.)

Вариант	Растительная масса, т/га			Отклонение от контроля	
	солома*	викоовсяная смесь**	всего	т/га	%
Контроль	–	4.43	4.43	–	–
Солома + сидерат	2.67	4.53	7.20	2.77	63
Солома + 10 кг N/т + сидерат	2.86	4.80	7.66	3.23	73
Солома + биопрепарат + сидерат	2.89	4.85	7.74	3.31	75
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	2.99	4.90	7.89	3.46	78
Биопрепарат + сидерат	–	4.78	4.78	0.35	8
НРК***	–	5.25	5.25	0.82	19
<i>HCP</i> ₀₅	0.10	0.10	–	–	–

*Урожайность соломы определяли по отношению основной продукции к побочной (сноповый анализ).

**Урожайность викоовсяной смеси (сидерата) с пересчетом на сухое вещество.

***НРК вносили под озимую пшеницу.

ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), азот нитратный – по ГОСТ 26951-86, азот аммонийный – по ГОСТ 26951-86, подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489-85). Учет урожайности зерна озимой пшеницы осуществляли прямым комбайнированием с площади учетной делянки с пересчетом на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность (ГОСТ 27548-97). В таблицах и на рисунках приведены средние за ротацию севооборота (5 лет), кроме данных урожайности (за все годы исследования) и содержания гумуса (за 2013 и 2017 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целлюлозоразлагающая способность почвы. Целлюлозоразлагающие микроорганизмы являются основными агентами трансформации поступающих в почву растительных остатков, степень разложения клетчатки определяет интенсивность круговорота элементов питания. По мнению ряда исследователей, метод льняных полотен (метод аппликации) характеризует общую биологическую активность почвы [16, 17] (рис. 1). Обращает на себя внимание резкая разница в активности целлюлолитической микрофлоры по годам, что обусловлено складывавшимися в течение вегетации погодными условиями (температурный режим, количество осадков). Наиболее благоприятные для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов погодные условия сложились в 2016 и 2017 гг. В оба года исследования за апрель–май сумма осадков значительно (на 49.6 и 27.1 мм) превысила среднемноголетние показатели, что было достаточно для создания оптималь-

ных условий для жизнедеятельности как почвенной микрофлоры, так и развития озимой пшеницы в более засушливые периоды вегетации. В данные годы степень разложения льняной ткани по отношению к предыдущим годам повысилась практически в 2 раза.

Совместное внесение в почву соломы и сидерата в менее благоприятные годы сопровождалось незначительным усилением деятельности целлюлолитиков – на 3–10%, в благоприятные – на 8–20%, в среднем за 4 года – на 11% по сравнению с контрольным вариантом. В среднем за этот период такие же результаты получили в варианте с применением минеральных удобрений. Более высокий показатель активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов отмечен при комплексном применении в качестве органического удобрения соломы, азотной добавки к ней (10 кг N/т), сидерата и биопрепарата, что составило 41% (в контроле 32%). Последнее свидетельствовало и подтверждало результаты работ [12–14] о целесообразности (необходимости) применения соломы зерновых культур (в данном случае ячменя) совместно с компенсирующей иммобилизацией азотной добавкой ≥ 10 кг N/т растительной массы, поступившей в почву.

Следует отметить, что в благоприятные по условиям вегетации годы разница в показателях активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве при совместном использовании соломы с азотной добавкой и сидератом, соломы с биопрепаратом и сидератом, а также совместно соломы с 10 кг N/т, сидератом и биопрепаратом, была незначительной.

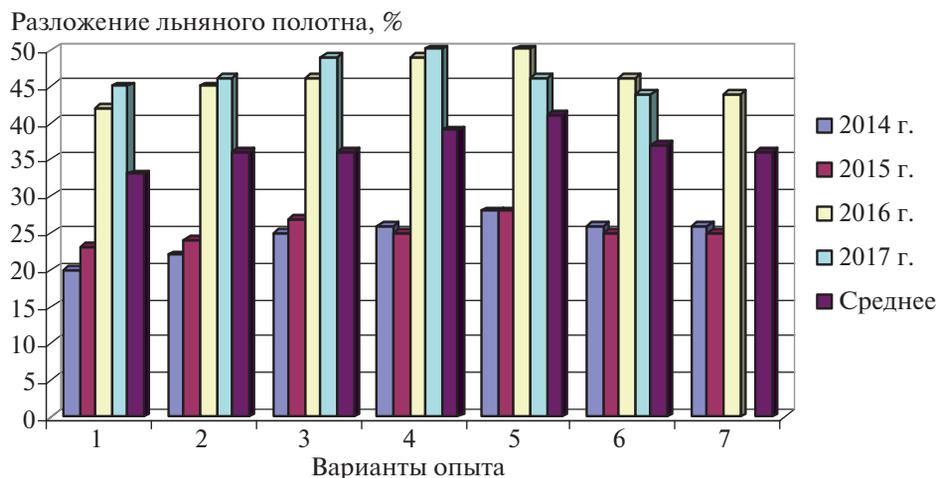


Рис. 1. Влияние систем удобрения на разложение льняной ткани под посевами озимой пшеницы (среднее за 2014–2017 гг.), %. HCP_{05} : 2014 г. – 1.5, 2015 г. – 1.8, 2016 г. – 2.8, 2017 г. – 2.1%.

Питательный режим. Микроорганизмы – главные агенты, формирующие питательный режим почвы. Деятельность их обеспечивает разложение всех растительных остатков, поступающих в почву как в виде естественного опада, так и посредством агротехнических приемов: в том числе образование гумусовых веществ и их минерализацию, разрушение почвенных минералов и высвобождение элементов питания в почвенный раствор, процессы трансформации агрохимикатов при внесении их в почву. При этом разложение целлюлозы, которая является основным компонентом растительных остатков и органических удобрений, составляет основу превращений их в пахотном слое почвы. Поэтому изучение изменений в жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, определяющих эффективное плодородие почвы, имеет столь важное значение.

В табл. 1 представлены данные о количестве элементов питания и углерода, поступивших в почву с соломой и сидератом, в табл. 2 – основные агрохимические показатели (содержание минерального азота и доступных соединений фосфора и калия) в пахотном слое почвы под посевами озимой пшеницы в зависимости от примененных систем удобрения. Расчеты показали, что с растительной массой в среднем за ротацию севооборота в почву поступало: азота – от 57.6 до 83.1, фосфора – от 20.4 до 35.7, калия – от 60.3 до 103 и углерода – от 2040 до 3620 кг/га. Больше их количество в почву относительно контроля поступало в варианте с применением соломы с добавкой 10 кг N/т, биопрепарата и сидерата. В то же время разница в данных показателях в вариантах, где применяли солому, сидерат и биопрепарат, была незначительной.

Лабораторные анализы почвенных образцов показали, что в среднем за весь период вегетации при применении органической системы удобрения под посевами озимой пшеницы в пахотном слое почвы содержание элементов питания по сравнению с контрольным вариантом достоверно (по величине HCP_{05}) было больше: азота – на 0.6–1.9, фосфора – на 5.0–9.0, калия – на 3.0–11.0 мг/кг. Незначительное преимущество имел вариант комплексного применения соломы с компенсационной азотной добавкой, биопрепарата и сидерата, что согласовалось с количеством элементов питания, внесенных в почву с растительной массой. При этом количество минерального азота в пахотном слое почвы превышало контрольный вариант на 2.4, фосфора – на 10 и калия – на 11 мг/кг. Однако разница в содержании доступных P_2O_5 и K_2O в почве вариантов с применением органической и органо-минеральной систем удобрения была недостоверной. Достоверно более высокое содержание минерального азота и подвижного фосфора в почве наблюдали при применении минеральных удобрений. Содержание обменного калия в почве было на уровне вариантов органической и органо-минеральной систем удобрения (184 мг/кг), кроме варианта, где совместно использовали сидерат и биопрепарат.

Таким образом, результаты исследования свидетельствовали, что применение ячменной соломы под сидеральную культуру как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой N10/т, биопрепаратом Байкал ЭМ-1, положительно влияло на содержание основных элементов питания в пахотном слое чернозема типичного и поддерживало его питательный режим по сравнению с кон-

Таблица 4. Влияние систем удобрения озимой пшеницы на содержание гумуса в почве за ротацию севооборота (2013–2017 гг., слой 0–30 см почвы), %

Вариант	2013 г.	2017 г.	Изменение, +/-
Контроль	4.24	4.30	+0.08
Солома + сидерат	4.42	4.65	+0.23
Солома + 10 кг N/т + сидерат	4.29	4.47	+0.18
Солома + биопрепарат + сидерат	4.42	4.58	+0.16
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	4.35	4.68	+0.30
Биопрепарат + сидерат	4.18	4.32	+0.13
НРК	4.32	4.27	-0.05
НСП ₀₅	0.02	0.04	

трольным вариантом на более высоком уровне в течение всей вегетации озимой пшеницы. При незначительной разнице в содержании доступных элементов питания в почве вариантов с применением органической и органо-минеральной систем удобрения преимущество имел вариант с совместным применением соломы с азотной добавкой к ней в дозе 10 кг/т, биологического препарата Байкал ЭМ-1 и сидерата: содержание азота в пахотном слое составляло 17,3, доступного фосфора – 173, калия – 184 мг/кг, что превышало контроль на 2,4, 10 и 11 мг/кг соответственно. Более высокий уровень содержания минерального азота и доступного фосфора в пахотном слое почвы наблюдали при применении минеральных удобрений (18,8 и 182 мг/кг), содержание обменного калия было на уровне комплексного применения соломы с азотной добавкой 10 кг N/т, сидерата и биопрепарата.

Содержание гумуса. В условиях постоянного усиления антропогенной нагрузки на окружающую среду, в том числе на агробиоценозы, органическое вещество почвы (основная часть которого представлена гумусовыми веществами) играет главную роль в экологической устойчивости почв, следовательно, земледелия, более того – биосферы в целом [19]. Между тем почвы всех земледельческих районов мира подвержены дегумификации и наблюдаются колоссальные потери гумуса. Например, в Ульяновской обл. при доле черноземов в почвенном покрове 64,6% и темно-серых лесных почв 14%, близких по свойствам к черноземам, средневзвешенное содержание гумуса, по данным “САС “Ульяновская” на 01.01.2021 г., составило 4,90%, тогда как по результатам экспедиций В.В. Докучаева в 1877–1878 гг.

среднее содержание гумуса в Симбирской губернии находилось на уровне 9,68% [20].

Эффективность соломы и сидерата, примененных в качестве органического удобрения, в том числе их влияние на содержание гумуса в почве определяется количеством растительной массы, заделываемой в почву, и условиями ее трансформации. В этом отношении важно ускорить разложение соломы, которая представлена в основном клетчаткой, не растворимой в почвенных кислотах [23, 24], и разложение ее осуществляется почвенными микроорганизмами. Использование в этих целях биологических препаратов также может повысить эффективность соломы как удобрения.

В табл. 3 приведены данные, показывающие количество поступившего в почву органического вещества ежегодно в вариантах опыта (среднее за 2013–2017 гг.). Их анализ показал, что эффективность соломы в качестве удобрения повышалась как при применении в чистом виде, так и совместно с азотной добавкой и биологическим препаратом Байкал ЭМ-1. В первом случае урожайность зеленой массы викоовсяной смеси, возделываемой в качестве сидерата, повышалась незначительно – на 0,1 т/га (в пересчете на сухое вещество), во втором – на 0,37 и 0,42 т/га соответственно. Использование соломы совместно с компенсационной азотной добавкой и биопрепаратом способствовало повышению урожайности викоовсяной смеси на 0,47 т/га или на 11%. Возделывание сидерата в варианте с внесением расчетных доз минеральных удобрений под озимую пшеницу обеспечило повышение урожайности на 0,82 т/га (на 19%). Общее количество растительной массы, поступившей в почву с учетом соломы в соответствующих вариантах, превышало контроль в 1,6–1,8 раза, в вариантах с применением биопрепарата и сидерата, а также минеральных удобрений – в 1,5–1,7 и 1,4–1,5 раза соответственно. В соответствии с количеством поступившего в почву органического вещества изменялось содержание гумуса в почве. Динамика содержания гумуса за ротацию севооборота в пахотном слое (0–30 см) чернозема типичного под посевами озимой пшеницы в зависимости от систем удобрения представлена в табл. 4.

Прежде всего, следует отметить, что возделывание озимой пшеницы после сидерального пара позволило стабилизировать содержание гумуса в пахотном слое почвы на исходном уровне (контрольный вариант). Аналогичные закономерности отмечены в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [4, 21, 22]. Совместное использование соломы предшественника и сидерата позволило не только воспроизводить, но и повы-

Таблица 5. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения, т/га

Вариант	Годы опыта					Среднее за 2013–2017 гг.	Отклонение от контроля
	2013	2014	2015	2016	2017		
Контроль	2.49	2.21	2.14	3.29	3.82	2.79	–
Солома + сидерат	2.45	2.42	2.18	3.26	3.93	2.85	+0.06
Солома + 10 кг N/т + сидерат	2.64	2.51	2.25	3.41	4.25	3.01	+0.22
Солома + биопрепарат + сидерат	2.60	2.58	2.30	3.48	4.23	3.04	+0.25
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	2.76	2.81	2.41	3.57	4.31	3.17	+0.38
Биопрепарат + сидерат	2.55	2.46	2.22	3.40	4.03	2.93	+0.14
НРК	3.17	2.98	2.64	3.75	5.45	3.60	+0.81
НСП ₀₅	0.06	0.03	0.03	0.05	0.04		

содержание гумуса за ротацию севооборота в почве на 0.23%. Наиболее эффективным было применение соломы с компенсационной добавкой азота в дозе 10 кг N/т, сидератом и биопрепаратом: в течение ротации севооборота содержание гумуса в слое 0–30 см почвы увеличилось на 0.30%. На фоне применения минеральных удобрений за 5-летний период появилась тенденция к снижению содержания гумуса в почве, что было обусловлено значительно меньшим поступлением в нее растительных остатков.

Урожайность озимой пшеницы. Увеличение поступления растительной массы в экспериментальных вариантах через улучшение питательного режима и свойств почвы способствовало повышению урожайности озимой пшеницы (табл. 5). Отмечена сильная вариабельность величины урожайности озимой пшеницы по годам, что было обусловлено климатическими условиями Среднего и Нижнего Поволжья, которые относятся к зоне рискованного земледелия. Наиболее благоприятный в этом отношении был 2017 г., когда средняя урожайность зерна озимой пшеницы превысила при применении удобрений 4 т/га. В среднем за ротацию севооборота (5 лет) заделка соломы под сидерат не привела к снижению урожайности озимой пшеницы, лишь в 2016 г. она несущественно снизилась. Более высокую урожайность зерна наблюдали на фоне комплексного применения соломы с добавкой 10 кг N/т, сидерата и биопрепарата Байкал ЭМ-1, которая составила 3.17 т/га, превысив контроль на 0.38 т/га. Ожидаемо наиболее высокая урожайность пшеницы в среднем за 5 лет сформировалась на фоне внесения в почву минеральных удобрений, которая превысила контроль на 0.81 т/га. Следовательно, применением только органической системы удобрения при возделывании озимой пшеницы обеспечить объем полученной продукции

на уровне действия минеральных удобрений не удалось.

Экономическая эффективность. Расчеты экономической эффективности производства зерна озимой пшеницы (рис. 2) показали, что использование соломы, соломы с азотной добавкой (10 кг N/т), сидерата и совместное их применение с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 было экономически целесообразным. Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы при действии органических систем удобрения составил 67, 71 и 51% при органо-минеральной – 56 и 61%, тогда как при применении минеральной системы удобрения – 44%.

Таким образом, использование соломы, сидерата в комплексе с биологическим препаратом Байкал ЭМ-1 (органическая система удобрения) в технологии возделывания озимой пшеницы не обеспечило повышение ее урожайности до уровня минеральной системы удобрения, но позволило получить продукцию с меньшими производственными затратами и более высоким уровнем рентабельности. Последнее важно в современных экономических условиях аграрного производства.

ВЫВОДЫ

1. Внесение в почву соломы и сидерата способствовало заметному усилению активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов: в среднем за ротацию севооборота от 32 в контроле до 41% в варианте с совместным применением соломы с добавкой 10 кг N/т, сидерата и биологического препарата Байкал ЭМ-1.

2. Применение ячменной соломы под сидеральную культуру как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой 10 кг N/т, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 позволило поддерживать питатель-

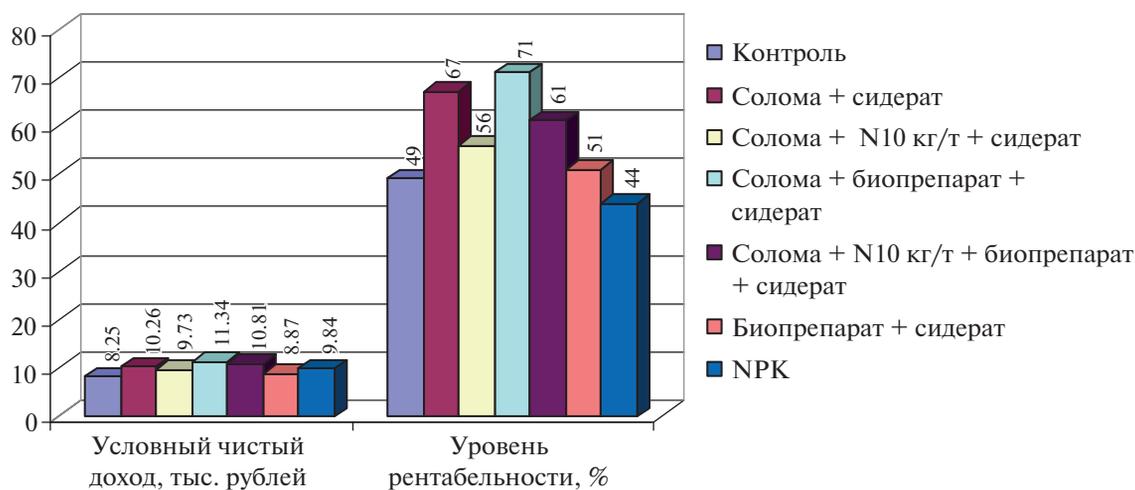


Рис. 2. Экономическая эффективность технологий возделывания озимой пшеницы с применением удобрений.

ный режим чернозема типичного на более высоком уровне в течение всей вегетации озимой пшеницы: содержание минерального азота в пахотном слое было больше на 0,6–2,4, доступных соединений фосфора – на 6–10, калия – на 9–11 мг/кг. Однако различия в содержании доступных P_2O_5 и K_2O между вариантами с применением органической и органо-минеральной систем удобрения были недостоверными. На фоне минеральных удобрений содержание минерального азота было достоверно больше контроля на 3,9, подвижного фосфора – на 19 мг/кг.

3. Возделывание озимой пшеницы после сидерального пара способствовало стабилизации содержания гумуса в почве. Совместное использование соломы и сидерата повысило содержание гумуса к концу ротации севооборота на 0,23%, комплексное применение их с азотной добавкой 10 кг N/т и биопрепаратом – на 0,30%.

4. Прибавка урожайности зерна озимой пшеницы в среднем за ротацию севооборота при применении органической системы удобрения (солома + сидерат, солома + биопрепарат + сидерат, биопрепарат + сидерат) составила 0,06, 0,25 и 0,14 т/га, органо-минеральной (солома + 10 кг N/т + сидерат, солома + 10 кг N/т + сидерат + биопрепарат) – от 0,22 до 0,38 т/га. Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы сформировалась на фоне применения минеральных удобрений – 3,60 т/га (в контроле – 2,79 т/га). Таким образом, применение только органической системы удобрения не обеспечило объем получаемой продукции озимой пшеницы на уровне использования минеральных удобрений.

5. Использование соломы, сидерата в комплексе с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 в системе

удобрения озимой пшеницы было экономически целесообразным и рентабельным. Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы при этом существенно превосходил вариант с применением минеральных удобрений и составил соответственно 71 и 44%. Последнее особенно важно в современных экономических условиях аграрного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
2. Шейджен А.Х., Бондарева Т.И., Кизинюк С.В. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп: Полиграф-Юг, 2013. 572 с.
3. Довбан К.И. Зеленое удобрение. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.
4. Кормилицин В.Ф. Зеленое удобрение и гумусное состояние почвы. Агрохимия зеленого удобрения в органическом земледелии Поволжья. Сообщ. 1 // Агрохимия. 1995. № 5. С. 44–65.
5. Колсанов Г.В. Гречишная солома в удобрении ячменя на типичном черноземе лесостепи Поволжья // Агрохимия. 2005. № 5. С. 59–65.
6. Лошаков В.Г. Зеленое растение в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.
7. Buchner W. Umweltschonender Maisanbau durch Daner begrünung // Mais. 1986. Bd. 14. № 2. P. 31–34.
8. Anon A. Wie wird die Brache Grün // Lohnunternehmen in Land – Fort – Wirtsch. 1986. Bd. 43. № 7. P. 350–351.
9. Morris R.A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36–82.
10. Lou Y. The effect of straw management and reduced tillage on soil N and P // Zhejiang Agr. Univ. 1994. B. 24. № 4. P. 359–363.

11. Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н. Влияние соломы на почвенные процессы и урожайность сельскохозяйственных культур // Использование соломы как органического удобрения. М.: Колос, 1980. С. 3–33.
12. Vales J., Strand P. Vliv nekterych regylovateľnych faktorů na produkci obilnin v ekosystémech reparsk ze oblasti // Roste. Vyroba. 1989. V. 35. № 2. S. 123–134.
13. Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 1998. 287 с.
14. Колсанов Г.В. Солома как удобрение в зернопашном севообороте на черноземе Лесостепи Поволжья // Агрохимия. 2006. № 5. С. 30–40.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.
17. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 445 с.
18. Тарасов С.А., Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деградации соломы // Вестн. Курск. ГСХА. 2014. № 6. С. 43–46.
19. Добровольский Г.В., Чумаков А.Н., Гришин Н.Е. Дегградация почв – угроза экологического кризиса // Куда движется глобализация. Волгоград, 2014. С. 192–203.
20. Докучаев В.В. Избр. соч. М.: Гос. изд-во сел.-хоз. лит-ры, 1954. 708 с.
21. Grondek K. Skead frakcyjny prochnicy czarnoziemy Zdegradawanego w zalensci od gatunku przyoranuch rostin poplonowych // Acta agraria et silvestria ser Agraria. Krakow, 2004. V. 41. P. 3–12.
22. Никончик П.И. Влияние специализированных севооборотов и систем удобрений на баланс гумуса в почве // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина, 2007. С. 113–135.
23. Привалова Е.А. Влияние компонентного состава соломы на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы // Вестн. Иркут. ГТУ. 2010. № 7. С. 156–160.
24. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw // Biomass and Bioenergy. 2013. V. 57. P. 264–279.

Influence of Organic, Organo-Mineral and Mineral Fertilizer Systems on Soil Properties and Yield of Winter Wheat in the Middle Volga Region

A. Kh. Kulikova^a, E. A. Yashin^a, A. E. Yashin^a, and E. S. Volkova^{a, #}

^a*P.A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University
Novy Venets Boulevard 1, Ulyanovsk 432017, Russia*

[#]*E-mail: volkova-ivinaelena@yandex.ru*

The effectiveness of the organic fertilizer system of winter wheat in comparison with mineral and organo-mineral was studied. The study was carried out in 2013–2017 in a 5-full grain sideral crop rotation: a pair of sideral (vico-oat mixture) – winter wheat – millet – spring wheat – barley. The field experiment consisted of 7 variants: 1 – control, 2 – straw + siderate, 3 – straw + 10 kg N/t of straw + siderate, 4) – straw + biological preparation Baikal EM–1 + siderate, 5 – straw + 10 kg N/t + biological preparation + siderate, 6 – biological preparation + siderate, 7 – N64P32K54. Winter wheat was cultivated by sideral steam and in all variants there was siderate. Consequently, in variants 2, 4 and 6, organic fertilizer systems were used, in variants 3 and 5 – organo-mineral and variant 7 – mineral fertilizer systems. It was found that all fertilizer systems using straw, sideral mass and biological preparation had a beneficial effect on soil properties. A complex of techniques was more effective in this regard, including the use of precursor straw with a nitrogen additive to it at a dose of 10 kg N/ha/t of straw, a biological preparation Baikal EM-1 and a sideral mass. At the same time, the biological activity of the soil increased by 26% on average during the growing season and the years of study, the content of mineral forms of nitrogen increased by 2.4, available phosphorus and potassium compounds – by 10 and 11 mg/kg of soil. In the variant with the use of mineral fertilizers, the corresponding indicators were 3.9, 19 and 11 mg/kg of soil. Cultivation of winter wheat after sideral steam stabilized the humus content in the soil, the combined use of precursor straw and siderate increased its content during rotation of crop rotation by 0.23%, their complex use with a nitrogen additive of 10 kg N/t of straw and a biological preparation – by 0.30%. The combined use of straw, sideral mass, biological preparation (organic fertilizer system) in winter wheat cultivation technology contributed to an increase in the yield of winter wheat grain (on average for 5 years by 0.25 t/ha, while adding 10 kg of nitrogen to the straw at the rate of 1 t (organo-mineral system) – by 0.38 t/ha. The use of a mineral fertilizer system provided the largest increase in the yield of winter wheat grain in this experiment – by 0.81 t/ha. However, grain production using mineral fertilizers is much less profitable: the level of profitability with the use of organic fertilizer systems was 67, 71 and 51, organo-mineral – 56 and 61, mineral – 44%.

Key words: winter wheat, organic, organo-mineral and mineral fertilizer systems, soil properties, yield and economic efficiency of products.