

СИСТЕМА УДОБРЕНИЯ ПРОСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛОМЫ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ТИПИЧНОМ ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

© 2019 г. А. Х. Куликова^{1,*}, С. А. Антонова¹, Е. А. Яшин¹

¹Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
430217 Ульяновск, бул. Новый Венец, 1, Россия

*E-mail: agroec@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.09.2018 г.

После доработки 05.11.2018 г.

Принята к публикации 12.03.2019 г.

Установлено, что применение соломы в качестве удобрения совместно с биопрепаратом байкал ЭМ-1 и азотной добавкой к ней (10 кг N/т соломы) способствовало улучшению агрофизического состояния, водного и питательного режимов типичного чернозема. При этом урожайность зерна проса в среднем за 3 года составила 2.97 т/га, превысив контроль на 12%, а на фоне минеральных удобрений – 3.87 т/га (на 46%). Применение соломы предшественника (озимой пшеницы), биопрепарата байкал ЭМ-1 и дополнительного азота в дозе 10 кг N/т соломы в технологии возделывания проса было экономически эффективно.

Ключевые слова: система удобрения, просо, удобрение соломой, биопрепарат, чернозем типичный, лесостепь, Поволжье.

DOI: 10.1134/S0002188119060073

ВВЕДЕНИЕ

Просо является одной из древнейших крупяных сельскохозяйственных культур, по питательной ценности и вкусовым качествам зерна находящийся в одном ряду с рисом, гречихой и ячменем. Отличительной особенностью культуры является мощная вегетативная масса, богатая азотом, высокая засухоустойчивость и относительная нетребовательность к почвам. В то же время просо предпочитает структурные почвы с высоким содержанием элементов питания в доступной форме и хорошо отзывается на внесение удобрений. При этом, если эффективность минеральных удобрений в технологии возделывания проса достаточно хорошо изучена [1–6], то органических (особенно соломы) – значительно меньше и при этом имеющиеся в научной литературе результаты (данные) относительно противоречивы. В отличие от других органических удобрений солома свое положительное действие проявляет не сразу. В связи с этим одним из актуальных способов повышения эффективности соломы в системе удобрения сельскохозяйственных культур является совместное использование ее с биологическими препаратами, активизирующими микробную трансформацию органического вещества, тем самым способствующими вы-

свобождению элементов питания в доступной для растений форме [7–9]. Имеются работы, в которых показана эффективность препарата байкал ЭМ-1, улучшающего структуру и микробиологическую активность деградированных почв [10].

В формировании эффективного плодородия почвы большую роль играют органические удобрения. Основным органическим удобрением традиционно считается навоз. Однако в силу сложившихся обстоятельств в сельском хозяйстве РФ это ценнейшее удобрение утратило доминирующую роль. Последнее обусловлено концентрацией животных на крупных комплексах с применением бесподстильного содержания животных, а также резким снижением поголовья скота в последние десятилетия. В современных условиях большее значение приобретает использование в качестве органического удобрения нетоварной части урожая, прежде всего соломы зерновых культур. Многими исследователями установлено, что 1 т соломы эквивалентна 3 т подстильного навоза и систематическое ее использование на фоне минимизации основной обработки почвы направлено на стабилизацию содержания гумуса в почве [11, 12]. Солома оказывает многостороннее положительное влияние на свойства почвы, улучшает физическое состояние, ее биологиче-

ские и агрохимические показатели. Наиболее целесообразно возвращать солому непосредственно в почву в качестве удобрения и энергетического материала для развития процессов почвообразования.

К негативным свойствам соломы относят ее ингибирующее действие, проявляющееся в задержке развития культуры, под которую ее вносили в качестве удобрения [13], что связано с выделением токсичных веществ при ее разложении [14], увеличение засоренности полей [15]. В процессе разложения соломы формируется ряд органических кислот, в частности муравьиная, уксусная, молочная, масляная, щавелевая, янтарная, валериановая, также отрицательно влияющих на развитие корневой системы возделываемых культур. На образование вредных соединений влияют условия, в которых происходит разложение нетоварной части урожая. В анаэробных условиях накапливается наибольшее количество негативно влияющих веществ, в аэробных – токсичные соединения разлагаются намного быстрее. Одной из важных характеристик эффективного использования биопрепаратов, в частности Байкала ЭМ-1, является ускорение процесса минерализации соломы без таких дискомфортных явлений, как неприятный гнилостный запах. При этом скорость разложения соломы возрастает в 1.5–2.0 раза по сравнению с естественным процессом компостирования [16], что требует научного подтверждения в различных условиях.

В настоящее время посевы проса в нашей стране занимают около 1 млн га (2% от общей площади зерновых культур), в том числе в Ульяновской обл. более 2 тыс. га, и продолжают расширяться. Однако урожайность культуры далека от своих потенциальных возможностей и в среднем не превышает 1.0 т/га, тогда как при хорошей агротехнике просо превосходит ранние яровые культуры и может формировать урожайность на уровне 4–5 т/га. Повышение урожайности и получение продукции высокого качества в условиях снижающегося плодородия почв возможно только на основе применения научно обоснованной системы удобрения, адаптированной к конкретным почвенно-климатическим условиям. В связи с вышесказанным, цель работы – изучение эффективности удобрения проса с использованием соломы предшествующей зерновой культуры (озимой пшеницы) в чистом виде, совместно с дополнительной дозой азота (10 кг N/т соломы), биопрепаратом байкал ЭМ-1 (2 л/га), а также применением их на фоне минеральных удобрений в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на базе стационарного опыта (с 1993 г.) кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновского ГАУ в 2014–2016 гг. в 5-польном зерновом севообороте с сидеральным паром: пар сидеральный – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Опыт внесен в Государственный реестр длительных опытов РФ (аттестат № 122). В первоначальной схеме опыта варианты с биопрепаратом отсутствовали, они были включены в 2013 г. с предварительным проведением уравнивающих посевов.

В опыте предусматривали изучение 12 вариантов систем удобрения проса: 1 – без удобрений (контроль), 2 – солома предшественника (озимой пшеницы), 3 – солома + 10 кг N/т соломы, 4 – солома + биопрепарат байкал ЭМ-1, 5 – солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат, 6 – биопрепарат, 7 – N129P34K54 (фон), 8 – фон + солома, 9 – фон + солома + 10 кг N/т соломы, 10 – фон + солома + биопрепарат, 11 – фон + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат, 12 – фон + биопрепарат.

Солому измельчали с помощью соломоизмельчителя, оборудованного на комбайне “TER-RION SP 2010”. Разравнивание соломы на полях, как и удаление ее с полей контрольного и фоновых вариантов, проводили вручную. Заделывали солому в 2 приема: после уборки дискованием на глубину 8–10 см, а затем через 10–15 сут запахивали на 22–25 см. Солому обрабатывали биопрепаратом после измельчения в дозе 2 л/га, одновременно вносили азотное удобрение в дозе 10 кг N_м/т соломы. В почву заделывали всю солому предшествующей культуры (озимой пшеницы). Она составила 3.5 т/га в 2014 г., 4.1 т/га в 2015 и 3.7 т/га в 2016 г., в среднем за 3 года – 3.8 т/га. Дополнительные дозы азота при этом составили 35, 41 и 37 кг/га.

Препарат байкал ЭМ-1 представляет собой смешанную культуру различных микроорганизмов, так называемых “эффективных микроорганизмов” (около 60 видов), которые участвуют в различных почвенных процессах, способствуя снижению численности патогенных грибов, активизации микробиологической деятельности и росту урожайности культур. Комплексный анализ микробного препарата показал присутствие в нем аммонифицирующих и молочнокислых бактерий, азотфиксирующих микроорганизмов.

В качестве минеральных удобрений, дозы которых рассчитывали на планируемую урожайность зерна проса в 4 т/га, использовали азофоску (17:17:17) (по количеству фосфора, потребность в котором наименьшая), для восполнения недо-

статка азота и калия в почву вносили N_m и K_x . Почва опытного поля – чернозем типичный среднесуглинистый со следующей агрохимической характеристикой на момент закладки опыта: содержание гумуса – 4.7%, подвижных фосфора и калия (по Чирикову) – 196 и 206 мг/кг, реакция почвенного раствора – близкая к нейтральной (pH_{KCl} 6.3–6.7). Объектом исследования был сорт проса Орловское-82. Полевой опыт заложен в четырехкратной повторности. Посевная площадь делянки 120 м² (6 × 20), учетная – 72 м² (4 × 18), расположение делянок рендомизированное.

Почвенные образцы для агрохимической характеристики отбирали ежегодно в период сева и фаз развития культуры: всходов, кущения, выметывания метелки, цветения и в период уборки. Применяли бур Малькова, отбор вели в пахотном слое почвы (0–25 см) каждого варианта на делянках 1-й и 3-й повторностей в 5-ти точках по 2-м диагоналям делянок. В этих образцах определяли нитраты – потенциометрическим методом (ГОСТ 26951-86), обменный аммоний – фотометрическим методом (ГОСТ 26489-85), подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91).

Вегетационный период 2014 г. характеризовался более высокими температурами (сумма за июнь–август составила 61°C при норме 56°C) и недостаточным количеством осадков. В 2015 г. условия увлажнения и температуры воздуха сложились для роста и развития культур благоприятно. Период вегетации 2016 г. отличался большим количеством осадков (за май–июль выпало 434 мм) и повышенной облачностью.

Технология возделывания проса была основана на общепринятых в Ульяновской обл. агротехнических приемах. Учет урожая проводили прямым комбайнированием с площади всей учетной делянки с последующим взвешиванием и пересчетом урожайности зерна на 14%-ную влажность и 100%-ную чистоту.

Химические анализы выполняли в испытательной лаборатории “Ульяновская ГСХА” (№ РОСС.RU.0001.513748) и аккредитованной лаборатории “САС “Ульяновская” (№ RA.RU.510251) по общепринятым методикам и ГОСТам. Полученные результаты подвергали статистической обработке методами дисперсионного анализа трехфакторного опыта по изучению 2-х градаций фактора *A* (без удобрений и фон НРК), 3-х градаций фактора *B* (без соломы, с применением соломы, с применением соломы совместно с дозой 10 кг N/т соломы) и 2-х градаций фактора *B* (без

биопрепарата, с применением биопрепарата) и корреляционно-регрессионного анализа с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность почвы. Плотность почвы, которая выражается через ее объемную массу (г/см³, т/м³), является основным показателем ее физического состояния. Для нормального развития большинства культур показатель меняется в довольно узких пределах: для суглинистых и глинистых почв – 1.0–1.3, легкосуглинистых – 1.1–1.4 г/см³. При этом увеличение или уменьшение плотности почвы от оптимума на 0.1–0.3 г/см³ приводит к снижению урожайности на 20–40% [18, 19].

Результаты проведенных исследований показали, что в зависимости от системы удобрения почва под посевами проса различалась по плотности сложения пахотного слоя (рис. 1).

В вариантах с использованием соломы ко времени посева проса в пахотном слое устанавливался благоприятный интервал плотности почвы при применении ее как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений: от 1.15 до 1.24 г/см³. В контрольном варианте в среднем за 3 года она составила 1.28 г/см³ в начале вегетации и 1.33 г/см³ – в ее конце. Последнее подтвердило несомненное положительное разуплотняющее воздействие соломы на почву.

Наиболее благоприятное сложение пахотного слоя по показателям плотности наблюдали в варианте совместного применения соломы, азотной добавки к ней и биопрепарата как на естественном, так и на фоне применения НРК с плотностью 1.17–1.15 и 1.21–1.19 г/см³ соответственно в начале и конце вегетации проса.

Запасы продуктивной влаги. В лесостепной зоне Среднего Поволжья одним из лимитирующих факторов в создании урожая сельскохозяйственных культур является влага. При этом просо имеет свои особенности ее потребления. Для прорастания его семян необходимо от 25 до 34% воды от массы зерна, тогда как пшеница требует 55, овес – 65, ячмень – 50, кукуруза – 45%. Однако при недостаточной влажности почвы в этот период слабые всходы проса с первичными корнями плохо сопротивляются засухе, частично отмирают, и урожайность культуры снижается. При сохранении влаги в пахотном слое хорошо укоренившиеся всходы довольно стойко переносят атмосферную засуху и очень быстро возобновляют рост после первых дождей. В связи с этим при

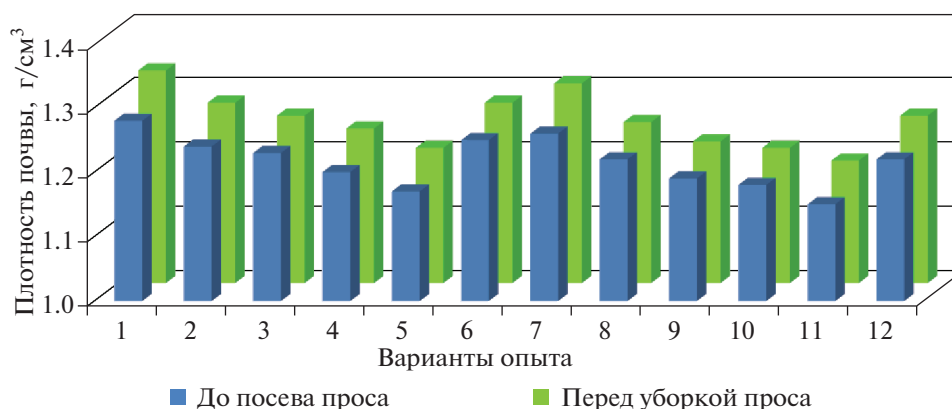


Рис. 1. Плотность почвы под посевами проса в зависимости от систем удобрения (слой 0–30 см, 2014–2016 гг.), г/см³. *HCP*₀₅ 3-х факторов (*АВВ*) в пахотном слое в фазе вегетации: посев – 0.04; уборка – 0.06.

возделывании проса особое значение приобретают агротехнические приемы накопления и сбережения влаги в почве [20].

Результаты проведенных исследований показали, что процессы влагонакопления находились в прямой зависимости от применения соломы, биопрепарата байкал ЭМ-1 и минеральных удобрений (табл. 1). Во всех вариантах с применением соломы запасы продуктивной влаги в пахотном слое увеличились на 5–15 мм, в 1-метровом – на 3–17 мм. Данные показатели свидетельствовали о

значительном положительном влиянии соломы, особенно при совместном применении с биопрепаратом байкал ЭМ-1 и дополнительной дозой азота, на водоудерживающую способность и влагоемкость почвы через улучшение ее физического состояния.

Уменьшение плотности (разуплотнение) и увеличение запасов продуктивной влаги в пахотном и 1-метровом слоях при применении соломы в качестве органического удобрения, особенно с дополнительной дозой азота и биопрепаратом

Таблица 1. Влияние систем удобрения проса на влагозапасы в черноземе типичном (мм, 2014–2016 гг.)

Вариант	Перед посевом		Перед уборкой	
	запасы продуктивной влаги	отклонение от контроля	запасы продуктивной влаги	отклонение от контроля
1. Контроль	35/127	–	16/44	–
2. Солома предшественника	40/130	5/3	19/47	3/3
3. Солома + 10 кг N/т соломы	45/132	10/5	21/48	5/4
4. Солома + биопрепарат	47/137	12/10	23/50	7/6
5. Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	50/138	15/11	26/55	10/11
6. Биопрепарат	41/129	6/2	20/46	4/2
7. NPK	42/130	7/3	22/45	6/1
8. NPK + солома	46/133	11/6	25/49	9/5
9. NPK + солома + 10 кг N/т соломы	47/135	12/8	25/49	9/5
10. NPK + солома + биопрепарат	49/142	14/15	27/56	11/12
11. NPK + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	50/144	15/17	28/58	12/14
12. NPK + биопрепарат	46/130	11/3	24/46	8/2
<i>HCP</i> ₀₅ (фактор <i>АВВ</i>)	4.2/5.4	–	3.5/2.8	–

Примечания. 1. Над чертой – слой 0–30 см, под чертой – слой 0–100 см. 2. Нумерация вариантов та же на рис. 1–4.

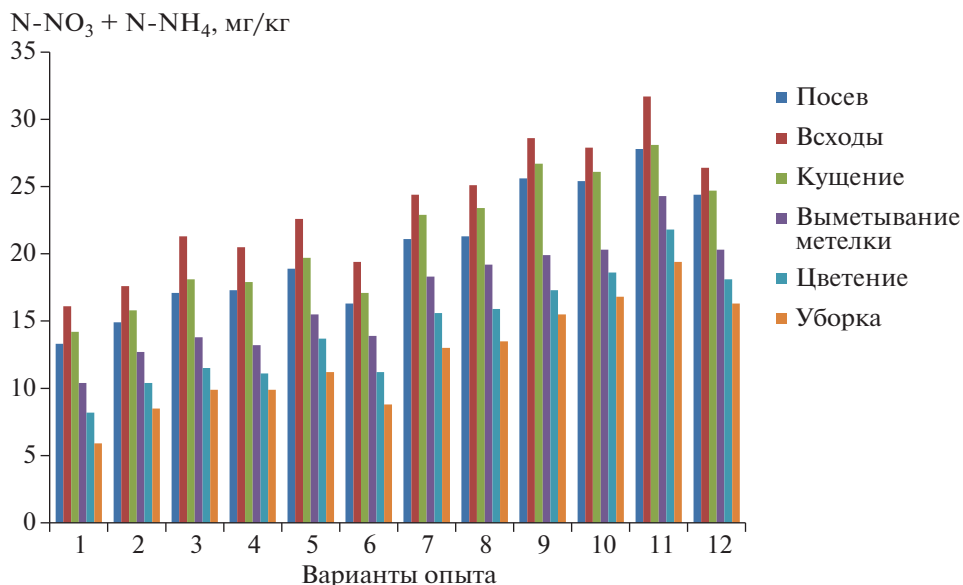


Рис. 2. Содержание доступных соединений азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) в почве (2014–2016 гг.), мг/кг. HCP_{05} 3-х факторов (АВВ) по содержанию доступных соединений азота в пахотном слое почвы в фазы вегетации: посев – 5.9, всходы – 5.2, кушение – 3.0, выметывание метелки – 3.1, цветение – 3.5, уборка – 4.1.

байкал ЭМ-1 способствовали улучшению питательного режима почвы.

Корреляционно-регрессионный анализ показал зависимость урожайности проса от количества продуктивной влаги и плотности почвы.

При этом уравнение множественной регрессии имело следующий вид:

$$y = -6.939 + 4.246x_1 + 0.037x_2,$$

где y – урожайность проса, т/га; x_1 – плотность почвы, г/см³; x_2 – количество продуктивной влаги в метровом слое, мм.

Множественный коэффициент корреляции, составивший 0.55, свидетельствовал о наличии слабой связи между данными показателями и урожайностью проса по этой модели. Вклад данных агрофизических показателей в получение зерновой продукции составил 30.3% (R^2). При этом наиболее высокая доля в формировании урожайности проса пришлась на плотность почвы (20.6%) и меньшая – на количество продуктивной влаги в почве (9.7%).

Содержание минерального азота. Обеспеченность растений азотом находится в прямой зависимости от наличия в почве форм минерального азота ($N-NH_4 + N-NO_3$), определяющих характер азотного питания, величину и качество урожая [21]. Содержание минерального азота в пахотном слое чернозема типичного в динамике в период вегетации проса приведено на рис. 2.

В результате проведенных исследований установили, что в посевах проса максимальное содержание минерального азота в почве за период вегетации культуры приходилось на фазу всходов. При этом минимальные показатели отмечали в контроле (16.5 мг/кг почвы). В среднем внесение в почву соломы в чистом виде повысило количество доступного азота в пахотном слое на 1.5 мг/кг. Однако на 2-й год возделывания проса отмечали снижение урожайности культуры, что во многом объяснялось сложным процессом разложения соломы, в состав которой входят лигнины и пентозаны. Для разлагающих клетчатку микроорганизмов требуется азот, который они извлекали (поглощали) из почвы, тем самым создавая конкуренцию культуре проса. При внесении в почву соломы с дополнительной дозой азота его содержание увеличилось на 5.1 мг/кг, в сочетании с биопрепаратом – на 4.4 мг/кг почвы. Однако более высокие показатели наблюдали в варианте с использованием соломы в комплексе с азотным удобрением в дозе 10 кг N/т соломы и препаратом байкал ЭМ-1, где содержание в пахотном слое $N-NH_4 + N-NO_3$ составило 23.2 мг/кг почвы, превысив контроль на 6.7 мг/кг. При обработке соломы бактериальным препаратом высвобождались питательные элементы, необходимые для полноценного развития возделываемой культуры. При этом дополнительная доза азота 10 кг N/т соломы способствовала оптимизации азотного питания и компенсации иммобилизованного азота [22].

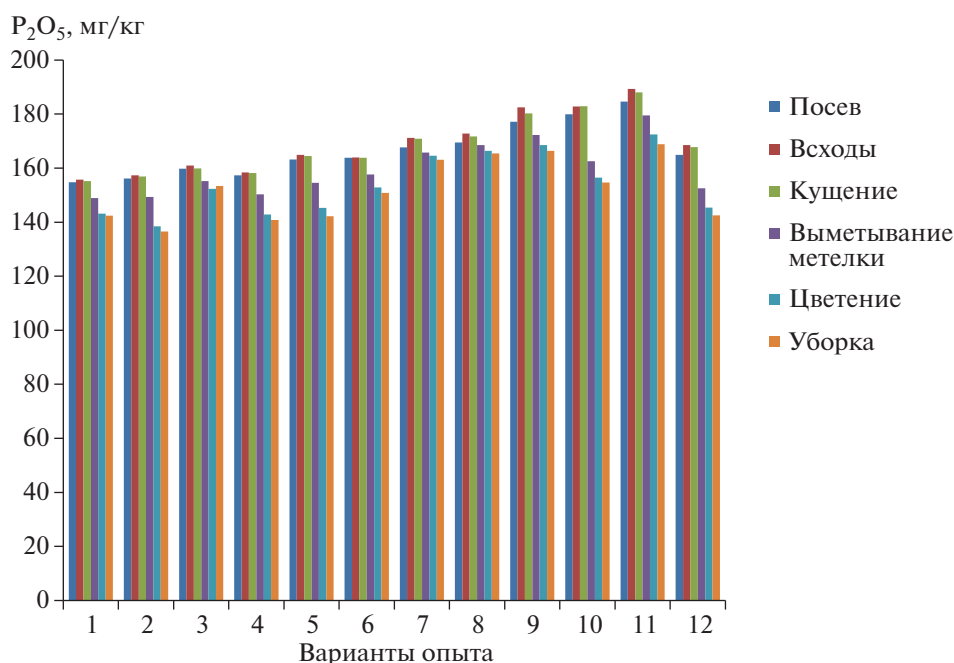


Рис. 3. Содержание доступных соединений подвижного фосфора в почве (2014–2016 гг.), мг/кг. HCP_{05} 3-х факторов (АВВ) по содержанию доступных соединений подвижного фосфора в пахотном слое почвы в фазы: посев – 4.5, всходы – 5.2, кушение – 4.9, выметывание метелки – 5.9, цветение – 6.1, уборка – 6.4.

Положительная динамика содержания минерального азота в почве прослежена на фоне внесения НРК как отдельно, так и в сочетании с соломой озимой пшеницы, азотной добавки к ней и биопрепаратом байкал ЭМ-1. В последнем варианте отмечали наиболее высокое содержание азота в доступной форме, которое составило 31.6 мг/кг почвы.

Содержание доступного фосфора. Как указывали выше, почва опытного поля (чернозем типичный) имела высокую обеспеченность подвижными соединениями фосфора, тем не менее, изменение их содержания в течение вегетации проса зависело от применения соломы, биопрепарата и минеральных удобрений (рис. 3).

Анализ почвы, отобранной до посева проса, показал, что в вариантах с внесением соломы и биопрепарата байкал ЭМ-1 прослежена тенденция к увеличению содержания доступного фосфора по сравнению с контролем на 1.5 и 9.0 мг/кг почвы соответственно. При добавлении азота к соломе в количестве 10 кг/т соломы количество доступного фосфора возрастало по отношению к контролю на 5.0 мг/кг. Внесение минеральных удобрений способствовало повышению содержания P_2O_5 на 13.0 мг/кг, которое достигло 155 мг/кг почвы.

Использование соломы совместно с биопрепаратом и азотной добавкой обеспечило повышение

содержания доступных фосфорных соединений на 29.8 мг/кг почвы по сравнению с контрольным вариантом. По-видимому, это объяснялось тем, что биопрепарат вносили в почву в теплый период времени при хорошей влагообеспеченности пахотного слоя (конец августа–начало сентября), поэтому все микробиологические процессы смогли проявить себя в полной мере. Кроме того, внесение соломы, очевидно, способствовало улучшению структуры пахотного слоя и удерживанию почвенной влаги, что повлияло на накопление в черноземе типичном фракций доступных фосфатов. Аналогичные данные приводятся в работах [19, 23]. Такая же закономерность содержания доступного P_2O_5 в пахотном слое сохранялась до конца вегетации. В целом следует отметить, что несмотря на внесение оптимальных доз минеральных удобрений, внесенные солома и биопрепарат способствовали сохранению высокого уровня содержания доступного фосфора в пахотном слое почвы. Последнее усиливалось при совместном применении их с минеральными удобрениями.

Содержание доступного калия. Динамика содержания доступного калия в почве приведена на рис. 4. В среднем за 3 года заделка в почву соломы предшественника увеличивала содержание в ней обменного калия по сравнению с контролем на 2.3 мг/кг. В результате обработки соломы биопре-

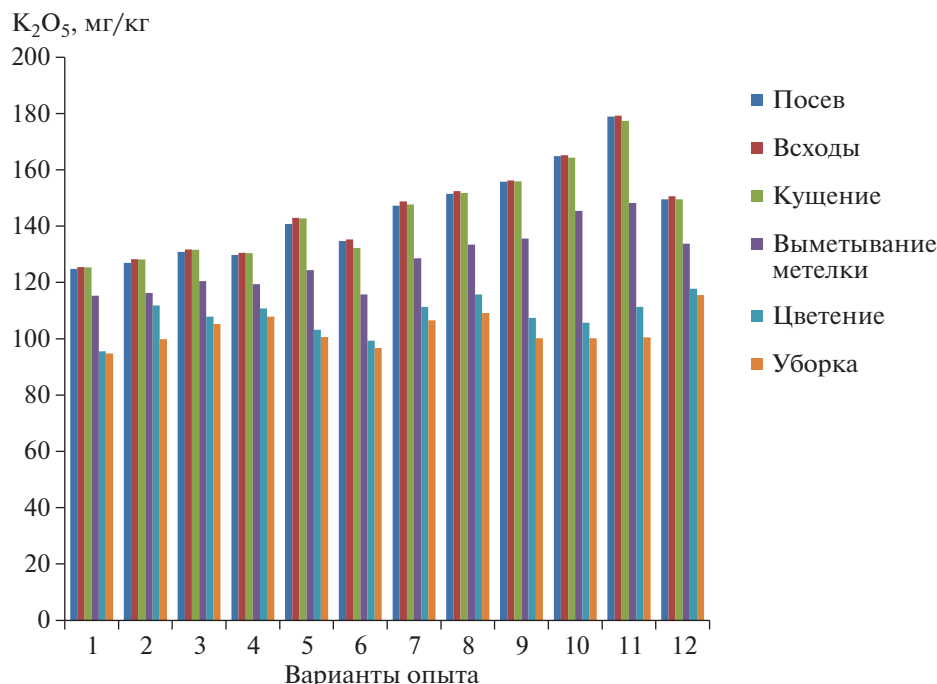


Рис. 4. Содержание доступных соединений обменного калия в почве (2014–2016 гг.), мг/кг. HCP_{05} 3-х факторов (АВВ) по содержанию доступных соединений обменного калия в пахотном слое почвы в фазы: посев – 3.2, всходы – 3.5, кушение – 4.0, выметывание метелки – 3.4, цветение – 5.2, уборка – 5.2.

паратом байкал ЭМ-1 количество его в почве повысилось на 9.9 мг/кг. Внесение дополнительной дозы азота способствовало увеличению доступного K_2O в почве на 6.2 мг/кг. При совместном их применении отметили более высокую величину данного показателя. Последнее, по-видимому, объяснялось активизацией работы микроорганизмов, разлагающих солому, в результате чего высвобождался калий. Применение соломы на фоне минеральных удобрений позволило увеличить содержание обменного калия на 26.7 мг/кг почвы по отношению к контролю. Наиболее высокий показатель содержания доступного K_2O также отмечали при использовании соломы совместно с азотной добавкой и биопрепаратом на фоне NPK (179 мг K_2O /кг почвы).

В среднем за 3 года содержание подвижного калия в почве всех вариантов было высоким и варьировало в пределах 124–179 мг/кг. Относительная стабильность содержания обменного калия в почве на протяжении длительного времени при ежегодном выносе 20–34 кг/га указывала на высокую мобилизационную активность черноземной почвы в возобновлении его запасов за счет необменных форм. Последнее зависело в том числе от более благоприятных агрофизического состояния и водного режима при использовании соломы в качестве удобрения.

Урожайность проса в зависимости от системы удобрения. Одним из лимитирующих факторов формирования высокой урожайности проса, несомненно, является полное удовлетворение потребности растений в элементах питания [24]. Как следствие, при этом повышалась урожайность культуры (табл. 2).

Использование соломы озимой пшеницы в качестве органического удобрения под посевами проса способствовало повышению урожайности зерна в среднем за 3 года на 0.02 т/га (т.е. не отмечено часто наблюдаемое ее снижение в первый год применения соломы), при сочетании соломы с азотным удобрением – на 0.18 т/га (на 8%), с биопрепаратом байкал ЭМ-1 – на 0.24 т/га (на 9%). Совместное применение соломы и минеральных удобрений обеспечило прибавку урожайности 0.93 т/га, или она повысилась на 35%; при сочетании их с азотной добавкой прибавка урожайности составила 1.14 т/га (43%). Наиболее высокую урожайность зерна проса во все годы и в среднем за 3 года отмечали при внесении соломы совместно с дополнительной дозой азота 10 кг д.в./т соломы и биопрепаратом байкал ЭМ-1, которая составила при применении на естественном фоне 2.97, на фоне NPK – 3.87 т/га. При этом отметили тесную положительную зависимость между содержанием в почве элементов питания в основ-

Таблица 2. Влияние систем удобрения на урожайность проса, т/га

Вариант	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014–2016 г.	Отклонение от контроля	
					т/га	%
Без удобрений (контроль) (фактор А)	2.58	2.92	2.50	2.66	–	–
Солома предшественника (фактор Б)	2.64	2.89	2.52	2.68	0.02	0.8
Солома + 10 кг N/т соломы	2.82	3.12	2.63	2.86	0.18	7.5
Солома + биопрепарат	2.95	3.06	2.68	2.90	0.24	9
Солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	2.98	3.21	2.73	2.97	0.31	11.7
Биопрепарат (фактор В)	2.85	2.99	2.60	2.81	0.15	5.6
N129P34K54 (фон)	3.56	3.85	3.08	3.50	0.84	31.6
N129P34K54 + солома	3.64	3.93	3.21	3.59	0.93	34.9
N129P34K54 + солома + 10 кг N/т соломы	3.90	4.05	3.44	3.80	1.14	42.9
N129P34K54 + солома + биопрепарат	3.97	3.87	3.38	3.74	1.08	40.6
N129P34K54 + солома + 10 кг N/т соломы + биопрепарат	4.01	4.16	3.45	3.87	1.21	45.5
N129P34K54 + биопрепарат	3.60	4.11	3.20	3.64	0.98	36.8
HCP ₀₅	Фактор А	0.05	0.03	0.03	–	–
	Фактор Б	0.06	0.03	0.04	–	–
	Фактор В	0.05	0.03	0.03	–	–
	Фактор АБВ	0.12	0.07	0.07	–	–

Таблица 3. Зависимость урожайности проса от содержания элементов питания в пахотном слое чернозема типичного

Сроки определения	Уравнения регрессии		
	у – урожайность, т/га	у – урожайность, т/га	у – урожайность, т/га
	х – N-NO ₃ , мг/кг	х – P ₂ O ₅ , мг/кг	х – K ₂ O, мг/кг
Перед посевом	$y = 0.099x + 1.225$ ($R^2 = 0.938$)	$y = 0.044x - 4.083$ ($R^2 = 0.801$)	$y = 0.026x - 0.588$ ($R^2 = 0.856$)
Всходы	$y = 0.099x + 0.894$ ($R^2 = 0.915$)	$y = 0.039x - 3.495$ ($R^2 = 0.860$)	$y = 0.026x - 0.655$ ($R^2 = 0.856$)
Кущение	$y = 0.102x + 1.041$ ($R^2 = 0.965$)	$y = 0.040x - 3.587$ ($R^2 = 0.846$)	$y = 0.027x - 0.718$ ($R^2 = 0.865$)

ные фазы развития культуры и урожайностью зерна проса (табл. 3).

Анализ влияния изученных факторов на урожайность зерна проса показал, что доля влияния минеральных удобрений составляла до 90%, соломы озимой пшеницы – до 6 и биопрепарата байкал ЭМ-1 – до 4%.

Расчеты экономической эффективности технологий возделывания проса показали, что совместное применение соломы и биологического препарата являлось наиболее эффективным по

сравнению с другими вариантами: уровень рентабельности при этом превысил контроль на 5%. Использование биопрепарата в чистом виде снижало рентабельность по сравнению с контрольным вариантом. Внесение тех же компонентов на фоне минеральных удобрений было менее эффективно. На фоне НРК лучший экономический эффект был достигнут при совместном применении соломы, азотной добавки и биопрепарата где условный чистый доход с 1 га пашни при этом превышал контроль на 2845 руб. (табл. 4).

Таблица 4. Экономическая эффективность возделывания проса при применении соломы, биопрепарата и минеральных удобрений (2014–2016 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Стоимость, руб.*	Затраты, руб./га	Условный доход, руб./га	Рентабельность, %
Без удобрений	2.66	23940	8726	15214	174
Солома	2.68	24120	8780	15340	175
Солома + N10	2.86	25740	9393	16347	174
Солома + биопрепарат	2.90	26100	9362	16738	179
Солома + N10 + биопрепарат	2.97	26730	11093	15637	141
Биопрепарат	2.81	25290	10904	14387	132
НРК	3.50	31500	16336	15164	93
НРК + солома	3.59	32310	16368	15875	97
НРК + солома + N ₁₀	3.80	34200	16746	17454	104
НРК + солома + биопрепарат	3.74	33660	16421	17239	105
НРК + солома + N10 + биопрепарат	3.87	34830	16771	18059	108
НРК + биопрепарат	3.64	32760	16091	16669	104

*Цена реализации зерна проса – 9000 руб./т

Следовательно, использование соломы совместно с биологическим препаратом байкал ЭМ-1 и азотной добавкой к ней при возделывании проса является экономически целесообразным. Полученные результаты согласовались с многолетними данными работы [10].

ВЫВОДЫ

1. Использование соломы в качестве удобрения способствовало созданию оптимального строения пахотного слоя чернозема типичного при возделывании проса. Разуплотнение пахотного горизонта до посева проса отмечали как в варианте отдельного применения соломы озимой пшеницы, где плотность составила 1.24 г/см³ (в контроле – 1.28 г/см³), так и в варианте совместного внесения соломы с азотной добавкой и биопрепаратом байкал ЭМ-1 – 1.17 г/см³. Аналогичная тенденция сохранялась до уборки проса: в контрольном варианте плотность почвы составила 1.33 г/см³, с внесением соломы – 1.28, с применением соломы и азотной добавкой и биопрепаратом байкал ЭМ-1 – 1.21 г/см³. Увеличение запасов продуктивной влаги на 2–5 мм в 1-метровом слое почвы перед посевом проса отмечали при внесении соломы в чистом виде и на 8–15 мм – совместно с азотной добавкой и биопрепаратом байкал ЭМ-1.

2. Внесение соломы в сочетании с азотной добавкой и биопрепаратом как на естественном фо-

не, так и на фоне минеральных удобрений способствовало улучшению агрохимических показателей почвы. В среднем за вегетацию проса в пахотном слое поддерживался более высокий уровень содержания минерального азота (15–28 мг/кг), подвижных фосфора (156–185 мг/кг) и калия (127–179 кг/га), несмотря на активное потребление элементов питания растениями на формирование урожая.

3. Применение соломы озимой пшеницы в качестве удобрения проса не привело к снижению урожайности зерна, при совместном использовании с азотным удобрением она увеличивалась на 0.18 т/га, с биопрепаратом байкал ЭМ-1 – на 0.24 т/га. Использование соломы на фоне НРК обеспечило прибавку урожайности 0.93 т/га. Более высокая урожайность сформировалась в варианте с совместным применением соломы, азотной добавки и биопрепарата на фоне НРК и в среднем за 3 года составила 3.87 т/га. Применение соломы предшественника, биопрепарата байкал ЭМ-1 и дополнительного азота в дозе 10 кг N/т соломы в технологии возделывания проса было экономически эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрашитов Р.Х., Елисеев В.И. Формирование урожайности проса в зависимости от уровня минерального питания // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2006. № 9. С. 244–247.

2. Асаева Т.Д. Влияние удобрений на урожайность и структуру урожая африканского проса на дерново-глеевой оподзоленной почве // Изв. Горского ГАУ. 2015. Т. 52. № 4. С. 66–69.
3. Белоголовцев В.П., Имашев И.Г. Влияние минеральных удобрений на химический состав урожая проса при выращивании на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья // Аграр. научн. журн. 2016. № 2. С. 3–6.
4. Беспалова Н.С., Жабин М.А. Влияние обеспеченности почвы элементами минерального питания на урожай и качество проса // Агротехн. вестн. 2007. № 3. С. 27–28.
5. Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Мезенцева Е.Г., Бирюкова О.М. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агротехн. 2011. № 11. С. 17–24.
6. Глиева О.В. Влияние минерального питания на формирование элементов структуры урожая проса // Зернобобовые и крупяные культуры. 2015. № 3. С. 21–25.
7. Тарасов С.А., Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы // Вестн. Курск. ГСХА. 2014. № 6. С. 43–46.
8. Русакова Н.В., Воробьев Н.Н. Использование биопрепарата баркон для инокулирования соломы, применяемой в качестве удобрения // Достиж. науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 25–28.
9. Колсанов Г.В. Солома как удобрение в зернопашном севообороте на черноземе лесостепи Поволжья // Агротехн. 2005. № 5. С. 30–40.
10. Кумскова Н.Д., Гаращук Д.Ю. Влияние биопрепарата Байкал-ЭМ1 на урожайность гречихи // Дальневост. аграр. вестн. 2011. № 2. С. 11–14.
11. Колсанов Г.В. Гречишная солома в удобрении ячменя на типичном черноземе лесостепи Поволжья // Агротехн. 2005. № 5. С. 59–65.
12. Чекалин С.Г. Плодородие почвы и основные пути его регулирования // Изв. Оренбург. ГАУ. 2014. № 3. С. 14–17.
13. Русакова И.В., Воробьев Н.И. Использование биопрепарата баркон для инокулирования соломы, применяемой в качестве удобрения // Достиж. науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 25–28.
14. Стейнфорт А.Р. Солома злаковых культур. М.: Колос, 1983. 191 с.
15. Зеленева А.В., Иванцова Е.А. Влияние приемов биологизации на засоренность посевов полевых культур в севооборотах Волгоградской области // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса: наука и высш. проф. образование. 2011. № 4. С. 1–6.
16. Голов В.И., Тимофеева Я.О. Экологические проблемы использования бытовых и производственных отходов в качестве удобрений и возможности самоочищения почв от ксенобиотиков и тяжелых металлов // Изв. Дальневост. федерал. ун-та. Экономика и управление. 2005. № 4. С. 100–105.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Изд-во "Альянс", 2011. 352 с.
18. Щитов С.В., Тихончук П.В., Спириданчук Н.В. Технологическое воздействие на почву колесных тракторов // Достиж. науки и техники АПК. 2012. № 6. С. 73–74.
19. Barzegar A.R., Yousefi A., Daryashenas A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat // Plant and Soil. 2002. V. 247. № 2. P. 295–301.
20. Кузнецов А.Ю. Влияние полиакриламидного полимера и удобрений на водоудерживающую способность и запасы продуктивной влаги серой лесной почвы // Инновационные технологии в АПК: теория и практика. Сб. статей II Всерос. научн.-практ. конф. 2014. С. 111–114.
21. Помазкина Л.В. Агротехника азота в таежной зоне Прибайкалья. Новосибирск, 1985. 176 с.
22. Тарасов С.А. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы // Вестн. Курск. ГСХА. 2014. № 6. С. 43–46.
23. Varinderpal-Singh N.S., Dhillon B.S. Effect of incorporation of crop residues and organic manures on adsorption/desorption and bioavailability of phosphate // Nutr. Cycl. Agroecosyst. 2006. V. 76. № 1. P. 95–108.
24. Кравченко В.Н., Тукабаева А.И. Действие серы и азота на урожайность проса // Изв. Оренбург. ГАУ. 2011. Т. 1. № 29(1). С. 44–46.

System of Fertilizer to Millet Straw on the Typical Chernozem of Steppe of Volga Region

A. N. Kulikova^{a,*}, S. A. Antonova^a, and E. A. Yashin^a

^a P.A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University
bul. Novy Venets 1, Ulyanovsk 430217, Russia

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

It was found that the use of straw as a fertilizer in conjunction with the biological product Baikal EM-1 and nitrogen additive to it (10 kg/t straw) contributes to the improvement of agrophysical state, water and nutrient regimes of the soil. At the same time, the yield of millet grain averaged 2.97 t/ha for 3 years, exceeding the control by 12%, against the background of mineral fertilizers – 3.87 t/ha (46%). The use of straw predecessor (winter wheat), a biological product Baikal EM-1 and the additional nitrogen in the dose of 10 kg N/t straw in the technology of cultivation of millet was cost effective.

Key words: millet, straw, typical chernozem, biological product, fertilizer.