

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-4-42-48

УДК 633.112.1«321»:631.58:631.53.041(470.40/43)

Режим органического вещества и баланс гумуса почвы при возделывании сои по технологии прямого посева в лесостепи Среднего Поволжья

Тойгильдин А. Л.^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Мухаметвалеев Л. Р.^{1✉}, аспирант кафедры «Земледелие, растениеводство и селекция».

Тойгильдина И. А.¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие, растениеводство и селекция».

¹ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

43200, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉mukhametvaleev@list.ru

²Ульяновский НИИСХ - филиал Сам НЦ РАН

433315, Ульяновская область, п. Тимирязевский, ул. Институтская, д.19.

Резюме. Цель исследований заключалась в изучении закономерностей накопления биогенных ресурсов плодородия почвы и формирования урожайности сои, возделываемой по технологии прямого посева при разных нормах внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Исследования проводили в многолетнем стационарном 2-факторном полевом опыте. Сою возделывали в севообороте со следующим чередованием: рапс – озимая пшеница – соя – яровая пшеница – гречиха – ячмень. Изучали нормы внесения минеральных удобрений – фактор А: 1 – без удобрений; 2 – под озимую пшеницу – $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$, под сою $N_6P_{15}K_{23}S_2$; 3 – под озимую пшеницу – $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$, под сою $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ и промежуточные почвопокровные культуры (ППК), высеваемые после озимой пшеницы – фактор В: 1 – без ППК; 2 – смесь яровых ППК; 3 – смесь озимых ППК. В технологии прямого посева основным источником поступления органического вещества в почву являлись пожнивно-корневые остатки (ПКО) и солома, при возделывании сои их накапливалось от 3,52 до 4,58 т/га. Посев ППК увеличивал общее поступление органического вещества в почву на 63,2...83,4%. Результаты моделирования гумусового баланса показали, что основным источником его новообразования являлись промежуточные почвопокровные культуры. Их вклад варьировал в интервале 219...317 кг/га, что соответствовало 41,7...45,5% от общего количества образования гумуса. Бездефицитный или положительный баланс гумуса достигался при использовании биомассы ППК. Минеральные удобрения, вносимые при посеве в дозе $N_6P_{15}K_{23}S_2$, обеспечили прирост урожайности сои на 20,6% (0,32 т/га), тогда как повышение нормы внесения до $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ увеличило этот показатель до 28,4% (0,44 т/га). Кроме того, статистически значимое повышение урожайности на 14,6% (0,21 т/га) получено при посеве сои после смеси озимых почвопокровных культур.

Ключевые слова: соя, прямой посев, удобрения, промежуточные культуры, баланс гумуса, урожайность.

Для цитирования: Тойгильдин А. Л., Мухаметвалеев Л. Р., Тойгильдина И. А. Режим органического вещества и баланс гумуса почвы при возделывании сои по технологии прямого посева в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 42-48. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-42-48

Organic matter regime and soil humus balance during direct-seeding soybean cultivation in the Forest-steppe of the Middle Volga region

Toygildin A.L. ^{1,2}, Mukhametvaleev L.R. ^{1✉}, Toygildina I.A. ¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉mukhametvaleev@list.ru

²Ulyanovsk Research Institute of Agriculture - Branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

433315, Ulyanovsk Region, Timiryazevsky Settlement, Institutskaya Street, 19

Abstract. The aim of the research was to study the patterns of accumulation of biogenic resources of soil fertility and formation of soybean yields cultivated using direct seeding technology at different rates of application of mineral fertilizers and sowing of intermediate ground cover crops in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. The studies were carried out in a long-term stationary 2-factor field experiment. Soybeans were grown in a crop rotation with the following alternation: rapeseed - winter wheat - soybeans - spring wheat - buckwheat - barley. The rates of application of mineral fertilizers were studied - factor A: 1 - without fertilizers; 2 - for winter wheat - $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$, for soybeans $N_6P_{15}K_{23}S_2$; 3 - for winter wheat – $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$, for soybeans $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ and intermediate soil cover crops (ISC) sown after winter wheat – factor B: 1 – without ISC; 2 – mixture of spring ISC; 3 – mixture of winter ISC. In the direct seeding technology, the main source of organic matter entering the soil were crop-root residues (CRR) and straw; when cultivating soybeans, they accumulated from 3.52 to 4.58 t/ha. Sowing ISC increased the total input of organic matter into the soil by

63.2...83.4%. The results of humus balance modeling showed that the main source of its new formation were intermediate soil cover crops. Their contribution ranged from 219 to 317 kg/ha, corresponding to 41.7 to 45.5% of the total humus formation. A deficit-free or positive humus balance was achieved using the biomass of the direct seeding complex. Mineral fertilizers applied during sowing at a dose of $N_6P_{15}K_{23}S_2$ provided a 20.6% (0.32 t/ha) increase in soybean yield, while increasing the application rate to $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ increased this figure to 28.4% (0.44 t/ha). Furthermore, a statistically significant yield increase of 14.6% (0.21 t/ha) was obtained when soybeans were sowed after a mixture of winter cover crops.

Keywords: soybeans, direct seeding, fertilizers, catch crops, humus balance, yield.

For citation: Toygildin A.L., Mukhametvaleev L.R., Toygildina I.A. Organic matter regime and soil humus balance during direct-seeding soybean cultivation in the Forest-steppe of the Middle Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 42-48 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-42-48

Введение

Плодородие почвы – важнейший критерий устойчивости функционирования агроэкосистем и обеспечения продовольственной безопасности государства. Одним из основных критериев оценки плодородия почвы выступает содержание в ней органического вещества, которое обеспечивает оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур. Однако многолетняя активная эксплуатация почв, особенно наиболее плодородных черноземов стала причиной потерь органического вещества и их продуктивного потенциала [1, 2].

Теоретической основой для регулирования содержания органического вещества в почве служит закон возврата, являющийся следствием фундаментального закона сохранения вещества и энергии. При этом процессы трансформации органического вещества и баланс гумуса в рамках традиционных технологий, предполагающих механическую обработку почвы, к настоящему времени исследованы достаточно полно [3, 4, 5]. При этом установлено, что для бездефицитного баланса гумуса черноземных почв наряду с заделкой соломы возделываемых зерновых культур необходимо производить посев сидератов, возделывать многолетние травы (до 25% от площади) и вносить органические удобрения, в т.ч. в виде навоза.

Несмотря на эффективность указанных приемов, они получили недостаточное распространение по причине, что возделывание сидератов приводит к росту производственных затрат, возделывание многолетних трав не всегда соответствует специализации агропредприятий, поэтому площадь под ними не велика, а навоза недостаточно из-за невысокой численности поголовья скота.

В условиях прогрессирующей деградации пахотных земель особую актуальность приобретает разработка и внедрение агротехнологий, направленных на восстановление почвенного плодородия и повышение устойчивости агроценозов к климатическим колебаниям по аналогии с природными экосистемами [6]. Одной из таких технологий является прямой посев, который, согласно исследованиям, позволяет эффективно противостоять эрозионным процессам, минимизировать экологические риски в контексте глобального изменения климата и значительно сократить производственные издержки. [7, 8].

Ключевым требованием для успешного внедрения технологии прямого посева выступает формирование на поверхности почвы мульчирующего слоя. Его основу составляют растительные остатки основных культур, а также биомасса специально возделываемых промежуточных почвопокровных культур (ППК). Под ППК понимают сельскохозяйственные растения (как правило, многокомпонентные смеси), занимающие поле в интервале между возделыванием основных культур севооборота [9]. Главной задачей их использования является не получение товарной продукции, а формирование защитного растительного покрова и снажжение органическим веществом почвенных микроорганизмов.

Особенности применения технологии прямого посева в комплексе с ППК, а также их совместное воздействие на динамику органического вещества и гумусовый баланс в специфических условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья остаются малоизученными. Данное обстоятельство и определяет научную новизну и актуальность представленного исследования.

Цель исследований: изучить закономерности накопления биогенных ресурсов плодородия почвы и формирование урожайности сои, возделываемой по технологии прямого посева при разных нормах внесения минеральных удобрений и посева промежуточных почвопокровных культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья.

Задачи исследований:

оценить накопление биомассы промежуточных почвопокровных культур, формируемых после уборки озимой пшеницы;

изучить накопление органического вещества и баланс гумуса в почве при возделывании сои по технологии прямого посева;

определить особенности формирования урожайности сои под влиянием норм минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур.

Материалы и методы

Исследования по оценке влияния технологии прямого посева в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и промежуточных почвопокровных культур на режим органического вещества и баланс гумуса при возделывании сои проводили в 2-факторном стационарном полевом опыте кафедры земледелия, растениеводства и селекции ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Сою возделывали в 6-

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

польном зерновом севообороте со следующей схемой чередования: рапс яровой – озимая пшеница – соя – яровая пшеница – гречиха – ячмень.

В опыте изучали следующие факторы: фактор А – нормы внесения минеральных удобрений: удобрения под озимую пшеницу – предшествующую культуру для промежуточных почвопокровных культур и сои: A₀ – контрольный вариант без применения удобрений; A₁ – N₄₀P₁₅K₂₃S₂ (комплексные удобрения NPK(S) – 8:19:29(3) + 0,2Zn – 80 кг/га при посеве; подкормка аммиачной селитрой в период возобновления вегетации озимой пшеницы – 100 кг/га); A₂ – N₈₀P₃₀K₄₆S₅ (комплексные удобрения NPK(S) – 8:19:29(3)+0,2Zn – 160 кг/га, подкормка аммиачной селитрой в период возобновления вегетации – 100 кг/га + подкормка аммиачной селитрой в конце кущения озимой пшеницы – 100 кг/га).

Удобрения под сою: A₀ – без удобрений; A₁ – N₆P₁₅K₂₃S₂ (80 кг/га комплексных удобрений NPK(S) – 8:19:29 (3) + 0,2 Zn при посеве); A₂ – N₁₃P₃₀K₄₆S₅ (160 кг/га комплексных удобрений NPK(S) – 8:19:29 (3) + 0,2 Zn при посеве).

Фактор В – промежуточные почвопокровные культуры: B₀ – без почвопокровных культур; B₁ – смесь яровых культур (состав: вика – 3,13 кг/га; чечевица – 3,13; овес – 4,69; сорго-суданский гибрид – 0,63; редька масличная – 0,47; дайкон – 0,31; лен – 1,25; фацелия – 0,31 кг/га, норма высева смеси – 13,9 кг/га); B₂ – смесь озимых культур (состав: озимая рожь – 12,5 кг/га, озимая вика – 12,5 кг/га, норма высева смеси – 25 кг/га). Подбор состава смесей и норма высева проводились по методике О.Л. Кибалюк (Томашовой) [10].

В опытах возделывали сорт сои УСХИ – 6, норма высева – 0,7 млн. всхожих семян, сроки посева 4...22 мая, посев основных и промежуточных культур проводили сеялкой прямого посева СПС- 4000 «Десна-Полесье», с одновременным внесением минеральных удобрений (на вариантах, предусматривающих их использование). Защита посевов сои от вредных организмов заключалась в обработке посевов по вегетации гербицидом (Концепт, МД, СЭ 0,9 л/га) и инсектоакарицидом (Кинфос, КЭ, КЭ 0,4 л/га).

Повторность опыта 3-кратная, размещение – систематическое методом наложения. Размер делянок первого порядка – 648 м² (36×18), второго – 324 м² (18×18).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый малогумусный (4,6%) со слабокислой реакцией среды (5,9) и повышенным содержанием фосфора (128 мг/кг по Чирикову) и высоким – калия (169 мг/кг по Чирикову). Степень насыщенности основаниями составляет 97,2%, сумма поглощенных оснований 28,7 мг-экв./100 г почвы.

Исследования проводили как по общепринятым методикам, так и с использованием

специализированных методов, адаптированных для изучения особенностей технологии прямого посева (Дридигер В. К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву. Ставрополь: Ставрополь-Сервис-Школа, 2020. 69 с.; Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева / В. И. Кирюшин, В. К. Дридигер, А. Н. Власенко и др.; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр. Москва: Издательство МБА, 2019. 136 с.): структура урожая – согласно инструкции по методике отбора проб и анализов почвы и растений (*Инструкция по методике отбора проб и анализов почвы и растений. Часть 1. Безенчук, 1971. 32 с.*), определение массы пожнивных и корневых остатков после уборки сельскохозяйственных культур проводили по методу Н.З. Станкова (*Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 254 с.*); урожайность – методом сплошного обмолота; баланс гумуса рассчитывался по нормативам и параметрам, установленным для чернозема выщелоченного в прежних исследованиях (*Морозов В.И., Подсевалов М.И., Шайкин С.В., Проектирование системы земледелия. Ульяновск, 2009. с. 98*); полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа (*Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. 2011. 351 с.*).

Погодные условия существенно отличались по годам исследований, при этом 2022 и 2024 гг. были более увлажненными, когда за май – август выпало соответственно 275 и 319 мм при среднемноголетнем значении 258 мм. В 2023 г. сложились засушливые условия, за указанный период количество осадков составило 112 мм. Вегетационные периоды сои по влагообеспеченности можно расположить в следующий ряд: 2024 г. (ГТК за вегетацию = 1,11) > 2022 г. (ГТК за вегетацию = 0,95) > 2023 г. (ГТК за вегетацию = 0,40).

Результаты

Исследования показали, что масса растительных остатков промежуточных почвопокровных культур, поступающих в почву, существенно изменялась по годам исследований, так же отличалась в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и состава смеси.

Проведенный анализ данных за три года показал преимущество в продуктивности смеси озимых ППК относительно смеси яровых культур. Накопление биомассы у озимых культур составило 2,39...2,82 т/га при среднем значении 2,61 т/га, что на 10,6...23,5% выше, чем у смеси яровых промежуточных посевов (1,95...2,55 т/га; среднее 2,21 т/га) (табл. 1).

Таблица 1. Биомасса промежуточных почвопокровных культур, формируемых после уборки озимой пшеницы за 2021-2024 гг.

ППК	Нормы удобрений под предшественник	Накопление биогенных ресурсов, т/га				
		ПКО	Наземная биомасса	Всего	По ППК	По удобрениям
Яровые	б/у	0,92	1,03	1,95	2,21	2,17
	$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	1,00	1,13	2,13		2,38
	$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	1,16	1,39	2,55		2,69
Озимые	б/у	1,09	1,30	2,39	2,61	-
	$N_{40}P_{15}K_{23}S_2$	1,22	1,41	2,63		-
	$N_{80}P_{30}K_{46}S_5$	1,33	1,49	2,82		-
НСР 05 для частных средних		0,24	0,29	-	-	-
НСР 05 для фактора А		0,14	0,17			
НСР 05 для фактора В		0,17	0,21			
$F_{\phi} < F_{05}$						

Почвопокровные культуры повышали свою продуктивность при внесении минеральных удобрений под предшествующую культуру – озимую пшеницу. Смесь озимых культур к периоду посева сои на контроле сформировала 2,39 т/га биомассы, тогда как на фоне $N_{40}P_{15}K_{23}S_2$ на 0,24 т/га или 10,0% больше, на фоне $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$ – соответственно на 0,43 т/га или 18,0%.

Режим органического вещества в почве складывался из биомассы промежуточных культур, соломы и пожнивно-корневых остатков сои (рис. 1).

Ключевым фактором, определявшим объем аккумулированного органического вещества в различных вариантах опыта, выступали промежуточные почвопокровные культуры (ППК). На контроле (без применения удобрений) использование яровых ППК обеспечило рост поступления органики с 3,32 до 5,47 т/га, что на 64,8% выше исходного уровня. Применение смеси озимых культур повысило этот показатель до 6,09 т/га, что соответствует приросту на 83,4%. Возделывание ППК на удобренном фоне дополнительно увеличило объем поступающего в почву органического вещества на 2,44...3,31 т/га или с ростом на 63,2...80,9%.

Таблица 2. Накопление фитомассы, отчуждение урожая и поступление органического вещества в почву в севооборотах, т/га за 2022-2024 гг. (сухое вещество)

Норма удобрений (фактор А)	Промежуточные культуры (фактор В)	Вынос азота с урожаем	Вынос азота из почвы*	Минерализация гумуса, кг/га	Новообразования гумуса, кг/га				Баланс гумуса +- , кг/га
					солома	ПКО	ППК	всего	
Без удобрений	б/ППК	117	41,5	415	172	116	-	288	-127
	Яровые	125	45,6	456	183	123	219	525	69
	Озимые	134	50,4	504	193	129	269	591	87
$N_6P_{15}K_{23}S_2$	б/ППК	141	55,1	551	202	135	-	337	-215
	Яровые	155	63,8	638	218	146	240	604	-34
	Озимые	160	63,9	639	224	149	296	670	31
$N_{13}P_{30}K_{46}S_5$	б/ППК	152	54,7	547	215	143	-	358	-189
	Яровые	159	54,6	546	223	149	287	659	113
	Озимые	174	63,7	637	241	160	317	718	82

*- расчет проведен с учетом биологического и минерального азота

Прогноз баланса гумуса показал, что наибольшие объемы минерализации гумуса были отмечены на вариантах с более высокой урожайностью и достигали 637...639 кг/га (варианты с внесением удобрений и ППК) (табл. 2). При возделывании сои без удобрений и без промежуточных почвопокровных культур основными источниками новообразования

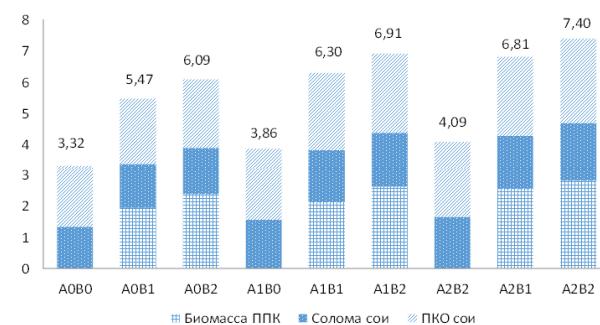


Рис.1. Поступление органического вещества в почву при возделывании сои за 2022-2024 гг.

При расчетах прогнозируемого баланса гумуса нами учитывался азот, поступивший в почву с минеральными удобрениями, и биологический азот, фиксированный растениями сои. Оценка продуктивности симбиотической азотфиксации показала, что соя накапливала от 75,4 кг/га (контроль – без удобрений и без ППК) до 97,1 кг/га ($N_{13}P_{30}K_{46}S_5$, смесь озимых ППК) биологического азота.

гумуса являлись пожнивно-корневые остатки и солома сои, которые компенсировали соответственно 172 и 116 кг/га потерю гумуса, некомпенсированные объемы его минерализации на обоих вариантах составили 127 кг/га.

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

При использовании минеральных удобрений без промежуточных культур некомпенсированные потери гумуса увеличились до – 189...215 кг/га.

В прогнозируемом балансе гумуса основную статью в его новообразовании занимала биомасса промежуточных почвопокровных культур, которые компенсировали от 219 кг/га (без удобрений) до 317 кг/га (при последействии удобрений, внесенных под предшествующую озимую пшеницу $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$).

Оценка вклада источников органического вещества показала, что за счет пожнивно-корневых остатков на вариантах без почвопокровных культур компрессировалось 24...28% потерь гумуса, за счет соломы – 37...41%, а некомпенсированные потери достигали 31...39%.

Согласно прогнозному расчету на вариантах с использованием промежуточных почвопокровных культур складывался бездефицитный и положительный баланс гумуса – от – 34 кг/га ($N_6P_{15}K_{23}S_2$, смесь яровых ППК) до + 113 кг/га ($N_{13}P_{30}K_{46}S_5$, смесь яровых ППК), при этом новообразование гумуса на 4,7...17,3% превышало его минерализацию.

Эффективность любых агротехнических приемов в конечном счете оценивается по уровню урожайности. Согласно полученным данным, существенное положительное воздействие на формирование урожая сои оказывали два ключевых фактора: применение минеральных удобрений и использование промежуточных культур (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность сои в технологии прямого посева в зависимости от минеральных удобрений и промежуточных культур за 2022-2024 гг., т/га

Удобрение - фактор А	Промежуточная культура – фактор В			Среднее по факт. А	Откл. от контроля +-
	Без ПК	Яровые ПК	Озимые ПК		
Без удобрений	1,44	1,55	1,65	1,55	
$N_6P_{15}K_{23}S_2$	1,74	1,91	1,97	1,87	+0,32
$N_{13}P_{30}K_{46}S_5$	1,87	1,96	2,14	1,99	+0,44
Среднее по факт.В	1,68	1,81	1,92	-	-
Откл. от контроля +-	-	+0,12	+0,24	-	-
HCP_{05} для частных различий			0,30		
HCP_{05} для факторов А и В			0,18		

Применение минеральных удобрений при посеве обеспечило статистически значимое увеличение урожайности сои. Так, внесение стартовой дозы $N_6P_{15}K_{23}S_2$ (80 кг/га) способствовало получению прибавки урожая в 0,32 т/га (+20,6%) относительно контроля. Удвоение нормы удобрений – $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ (160 кг/га) позволило увеличить урожайность на 0,44 т/га или на 28,4%.

Оценка эффективности промежуточных почвопокровных культур показала, что урожайность сои достоверно возрасла при ее посеве после смеси озимых почвопокровных культур. В среднем за годы исследований на варианте без ППК урожайность сои составила 1,44 т/га, тогда как после смеси озимых ППК – 1,65 т/га, что на 0,21 т/га или 14,6% больше в сравнении с контролем.

Обсуждение

Для воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения Среднего Поволжья актуальной проблемой является оптимизация режима органического вещества и обеспечение бездефицитного баланса гумуса в почве, что можно достичь за счет использования биогенных ресурсов, воспроизводимых в агрофитоценозах (солома, ПКО), посева многолетних трав, сидератов, навоза и других источников органического вещества [11, 12]. Однако приемы оптимизации режима органического вещества на практике применяются не достаточно широко, что ведет к деградации почвенного плодородия.

О состоянии и изменениях в содержании органического вещества почвы можно судить по

прогнозированию гумусового баланса, где объем минерализации гумуса определяется по выносу азота урожаем с учетом соотношения углерода к азоту (C:N), а объемы новообразования рассчитываются по установленным коэффициентам.

Одним из ключевых элементов технологии прямого посева выступает формирование на поверхности почвы мульчирующего слоя. Данный агроприем выполняет многокомпонентную защитную функцию, предотвращая эрозионные процессы, перегрев пахотного горизонта и прорастание сорняков. Важным ресурсом для создания такого слоя являются промежуточные почвопокровные культуры (ППК), возделываемые в интервале между уборкой озимой пшеницы и посевом сои. Их возделывание обеспечивает формирование дополнительной биомассы в объеме 1,95...2,82 т/га сухого вещества, что на 58,7...72,0% превышает аналогичный показатель на контроле. Комплексное использование соломы, пожнивно-корневых остатков основной культуры и биомассы ППК создает предпосылки для формирования бездефицитного или положительного баланса гумуса в почве.

Кроме того, исследованиями Б. А. Борисова с соавторами [13] установлено, что при технологии прямого посева в сравнении с традиционной технологией, достоверно увеличивается содержание легкоразлагаемого органического вещества и проявляется тенденция к повышению содержания гумуса, а особенно гуминовых кислот в его составе и к улучшению других показателей плодородия почвы, в частности агрофизических показателей, что также положительно сказывается на плодородии почвы.

Важным агротехническим достоинством промежуточных почвопокровных культур выступает их способность эффективно использовать ресурсы летне-осеннего сезона (влагозапасы и тепло) для формирования биомассы – как надземной части, так и корневой системы. Вместе с растительными остатками в пахотном слое накапливается значительный объем элементов питания, достигающий 97,9 кг/га азота, 36,2 кг/га фосфора и 123,4 кг/га калия. В условиях Ростовской области, характеризующихся недостаточным увлажнением, использование ППК в качестве предшественника для сои предотвращает чрезмерное иссушение почвы, что благоприятные условия для получения выровненных всходов и оптимального онтогенеза растений, что в конечном итоге реализуется в максимальной прибавке урожая [14], что также согласуется с нашими данными.

Можно прогнозировать, что в ротации севооборота благоприятное воздействие промежуточных культур на показатели почвы, в первую очередь на ее биологическую активность и содержание органического вещества, будет иметь кумулятивный эффект. Дальнейшее изучение роли промежуточных культур в системе почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия с применением технологии прямого посева представляется научно и практически обоснованным.

Заключение

Промежуточные почвопокровные культуры, занимающие поле после уборки озимой пшеницы, показали, что наибольшее количество сухой биомассы – от 2,39 до 2,82 т/га – формировалась смесь озимых культур, тогда как смесь яровых видов культур формировалась от 1,95 до 2,55 т/га. При этом на всех вариантах опыта положительное влияние на продуктивность ППК оказывало внесение минеральных удобрений.

На неудобренном фоне посев яровых ППК увеличил общее поступление органического вещества в почву с 3,32 до 5,47 т/га (на 64,8%), а смеси озимых культур – до 6,09 т/га (на 83,4%). На фоне внесения удобрений под предшествующую культуру прибавка от ППК составила 2,44...3,31 т/га или 63,2...80,9%. В целом применение минеральных удобрений достоверно увеличивало объемы накопления органического вещества в почве из всех его источников.

Наибольшие объемы минерализации гумуса были отмечены на вариантах с более высокой урожайностью и достигали 637...639 кг/га (варианты с удобрениями и ППК). В прогнозируемом балансе основную статью в новообразовании гумуса занимали промежуточные почвопокровные культуры, которые компенсировали от 219 кг/га (без удобрений) до 317 кг/га (при последействии удобрений, внесенных под предшествующую озимую пшеницу $N_{80}P_{30}K_{46}S_5$), что составляло от 41,7 до 45,5% от общего объема образования гумуса. При совместном использовании соломы, пожнивно-корневых остатков

и биомассы ППК прогнозируется бездефицитный и положительный баланс гумуса в почве.

Внесение минеральных удобрений при посеве в норме $N_6P_{15}K_{23}S_2$ повышало урожайность сои на 0,32 т/га (на 20,6% к контролю), при увеличении нормы до $N_{13}P_{30}K_{46}S_5$ прибавка составила 0,44 т/га (на 28,4% к контролю). При возделывании сои без ППК урожайность сои составила 1,44 т/га, тогда как после смеси озимых ППК она достоверно возросла до 1,65 т/га или на 0,21 т/га (14,6%).

Литература

1. Демин Е. А., Волкова Н. А., Наков Д. Д. Содержание органического углерода в структурных отдельностях чернозема выщелоченного при использовании возрастающих доз минеральных удобрений в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 3(75). С. 11-16. doi: 10.12737/2073-0462-2024-11-16
2. Содержание органического углерода и азота в размерных фракциях агрегатов типичных черноземов / В. А. Холодов, Н. В. Ярославцева, М. А. Яшин и др. // Почвоведение. 2021. № 3. С. 320-326. doi:10.31857/S0032180X21030072
3. Зезин Н. Н., Постников П. А., Намятов М. А. Баланс гумуса в полевых севооборотах // Пермский аграрный вестник. 2019. № 2(26). С. 57-64. EDN DWCCHI
4. Семинченко Е. В. Баланс гумуса, элементов питания и продуктивность биологизированных севооборотов Нижнего Поволжья // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 89-94. EDN XRHIKD
5. Научно-практическое обоснование биологизации земледелия лесостепной зоны Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсевалов и др. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2020. 386 с. ISBN 978-5-6043485-2-9
6. Природоподобные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в системе прямого посева / В. К. Дридигер, Е. И. Годунова, Р. Г. Гаджиумаров и др. // Земледелие. 2025. № 1. С. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-3-9. EDN QDSWNZ.
7. Прямой посев – технология, восстанавливающая деградированные свойства черноземов / А. Л. Иванов, В. П. Белобров, В. К. Дридигер и др. // Сельскохозяйственный журнал. 2025. № 1(18). С. 23-47. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/003.1.18.2025. EDN GQAMON.
8. Горянин О. И., Пронович Л. В. Влияние элементов технологий на эффективность возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 6. С. 11-15. doi:10.53859/02352451_2024_38_6_11
9. Севообороты для технологии прямого посева в условиях лесостепной зоны среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин, О. Л. Кибалюк, И. А. Тойгильдина и др. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

университет им. П.А. Столыпина, 2023. 192 с. ISBN 978-5-605-10710-1. EDN SKILRZ.

10. Патент РФ № RU2781776C1 Томашова О.Л. Способ подбора почвопокровных культур и расчет норм высева // Патент России от 18.10.2022 Бюл. № 29.

11. Дедов А. А., Несмиянова М. А., Дедов А. В. Влияние темпов разложения растительных остатков на лабильное органическое вещество почвы и урожайность культур севооборота // Земледелие. 2017. № 4. С. 6-8.

12. Мамеев В. В., Ториков В. Е., Нестеренко О. А. Изменение баланса гумуса в полевых севооборотах и мероприятия по его увеличению // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 6(100). С. 9-17. doi: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17. EDN NDPVGC.

13. Гумусовое и агрегатное состояние чернозема южного при переходе от традиционной обработки к прямому посеву / Б. А. Борисов, Д. О. Рогожин, О. Е. Ефимов и др. // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 13–14 февраля 2023 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. С. 21-24. EDN TZKXMN.

14. Зеленская Г. М., Зеленский Н. А. Использование покровных сидеральных культур в сохранении плодородия почвы и повышении продуктивности пашни // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 4(46). С. 11-19. EDN AZQRGH.

References

1. Demin E. A., Volkova N. A., Nakov D. D. The content of organic carbon in structural units of leached chernozem with the use of increasing doses of mineral fertilizers in the forest-steppe zone of the Trans-Urals // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2024. Vol. 19, No. 3(75). P. 11-16. doi: 10.12737/2073-0462-2024-11-16

2. The content of organic carbon and nitrogen in the size fractions of aggregates of typical black soils / V. A. Kholodov, N. V. Yaroslavtseva, M. A. Yashin, et al. // Soil Science. 2021. No. 3. P. 320-326. doi:10.31857/S0032180X21030072.

3. Zezin N.N., Postnikov P.A., Namyatov M.A. Humus balance in field crop rotations // Perm Agrarian Vestnik. 2019. No. 2(26). P. 57-64. EDN DWCCHI

4. Seminchenko E. V. Balance of humus, nutrients and productivity of biologized crop rotations in the Lower Volga region // Perm Agrarian Vestnik. 2018. No. 2(22). P. 89-94. EDN XRHKD.

5. Scientific and practical substantiation of the biologization of agriculture in the forest-steppe zone of the Volga region / A. L. Toygildin, V. I. Morozov, M. I. Podsevalov, et al. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin. 2020. 386 p. ISBN 978-5-6043485-2-9

6. Nature-like technologies for cultivating agricultural crops in the direct seeding system / V. K. Dridiger,

E. I. Godunova, R. G. Gadzhumarov, et al. // Agriculture. 2025. No. 1. P. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-3-9. EDN QDSWNZ.

7. Direct seeding – a technology that restores degraded properties of black soils / A. L. Ivanov, V. P. Belobrov, V. K. Dridiger, et al. // Agricultural Journal. 2025. No. 1(18). P. 23-47. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/003.1.18.2025. EDN GQAMON.

8. Goryain O. I., Pronovich L. V. Influence of technology elements on the efficiency of spring barley cultivation in arid conditions of the Volga region // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2024. Vol. 38. No. 6. P. 11-15. doi:10.53859/02352451_2024_38_6_11

9. Crop rotations for direct seeding technology in the forest-steppe zone of the middle Volga region / A. L. Toygildin, O. L. Kibalyuk, I. A. Toygildina, et al. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2023. 192 p. ISBN 978-5-605-10710-1. EDN SKILRZ.

10. Russian Federation Patent No. RU2781776C1 Tomashova O.L. Method for selecting soil cover crops and calculating seeding rates // Russian Patent dated 18.10.2022 Bull. No. 29.

11. Dedov A. A., Nesmeyanova M. A., Dedov A. V. Influence of the rate of decomposition of plant residues on labile organic matter of the soil and the yield of crops in crop rotation // Agriculture. 2017. No. 4. P. 6-8.

12. Mameev V. V., Torikov V. E., Nesterenko O. A. Change in the humus balance in field crop rotations and measures to increase it // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2023. No. 6 (100). P. 9-17. doi: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17. EDN NDPVGC.

13. Humus and aggregate state of southern black soil during the transition from traditional cultivation to direct seeding / B. A. Borisov, D. O. Rogozhin, O. E. Efimov, et al. // Resource-saving technologies and technical means for production of crop and livestock products: Collection of articles from the VIII International Scientific and Practical Conference, Penza, February 13–14, 2023. – Penza: Penza State Agrarian University, 2023. P. 21–24. EDN TZKXMN.

14. Zelenskaya G. M., Zelensky N. A. Use of cover green manure crops in maintaining soil fertility and increasing arable land productivity // Vestnik of the Don State Agrarian University. 2022. No. 4(46). P. 11–19. EDN AZQRGH.