

УДК 631.871:631.874:631.445.25:631.559

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЛОМЫ И СИДЕРАТОВ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ

© 2023 г. И. Б. Сорокин^{1,*}, С. П. Кулижский², О. А. Пасько³, О. Э. Мерзляков²

¹Станция агрохимической службы “Томская”
ул. Беринга, 12а, Томск 634063 Россия

²Томский государственный университет
просп. Ленина, 36, 634050 Томск, Россия

³Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург
ул. Сестрорецкая, 6, Санкт-Петербург 197183, Россия

*E-mail: sorokin.ib@mail.ru

Поступила в редакцию 09.03.2023 г.

После доработки 15.04.2023 г.

Принята к публикации 14.06.2023 г.

Исследование в полевом стационарном опыте на серой лесной почве Томской обл. доказало преимущество биологизации земледелия с применением биоресурсов агроценозов (соломы и сидератов) в зернопаровом севообороте. Регулярное внесение только N45 перед посевом обеспечило среднюю прибавку урожайности зерновых культур 4.3 ц/га (на 26%), соломы без азота – на 1.3 ц/га (на 7.5%). При внесении соломы с азотом в течение 20 лет получена прибавка урожайности, не превышающая суммарное действие азота и соломы, – 5.1 ц/га (на 30.7%). Применение сидерального пара на фоне регулярного внесения соломы обеспечило повышение урожайности зерновых культур на 3.8 ц/га (на 22.4%). Через 20 лет эксперимента снизилось среднее содержание гумуса в пахотном горизонте на 9.6% от исходного при применении чистого пара без внесения удобрений. Для сохранения потенциального плодородия внесение только соломы и (или) минерального азота в этом случае также было недостаточным. При этом пар сидеральный и регулярное внесение соломы обеспечили сохранение содержания гумуса в пахотном горизонте на исходном уровне. За 4 ротации (2001–2021 гг.) зернопарового севооборота отмечена возрастающая эффективность сидерального пара на фоне регулярного применения соломы в качестве удобрения по сравнению с вариантом чистого пара: в 1-й ротации урожайность зерновых культур в этих вариантах была на одном уровне, во 2-й – урожайность после сидерального пара была больше на 11.7%, чем после чистого пара, в 3-й ротации – соответственно больше на 18%, и в 4-й ротации сидеральный пар обеспечил лучшую урожайность зерновых культур, чем после чистого пара (увеличение на 36.5%).

Ключевые слова: биологизация, сидеральный пар, солома, гумус.

DOI: 10.31857/S0002188123090119, EDN: VXSLNU

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в мире актуализировался социальный запрос на качественные продукты питания [1] и соответствующие технологии сельскохозяйственного производства [2]. Особое внимание уделяется решению задач оптимизации объемов использования минеральных удобрений и пестицидов, постоянного воспроизводства почвенного плодородия, переходу от общепринятых агротехнологий к биоземледелию [3]. Биологизация земледелия требует повышения в севооборотах доли сидеральных бобовых культур, многолетних трав, научной оптимизации применения удобрений [4] и др. Новые подходы к управлению почвенным плодородием, продуктивностью рас-

тений и устойчивостью агроценозов, основанные на закономерностях почвенного плодородия, управления эдафическими и эпифитными процессами, позволяют повышать плодородие почвы и целенаправленно увеличивать потенциальный и эффективный ресурс сельскохозяйственного производства.

Наиболее распространенным способом повышения продуктивности культурных агроценозов является улучшение режима минерального питания сельскохозяйственных культур путем применения только минеральных удобрений и (или) чистых паров. В долговременном периоде такое землепользование ведет к снижению почвенного плодородия и, как следствие, к снижению про-

дуктивности агроценозов. Исследования в длительных опытах показали, что комплексное применение органических и минеральных удобрений обеспечивает высокую продуктивность севооборотов и рост содержания почвенного органического вещества в 1.2–1.6 раза, улучшение гумусового состояния почвы и повышение ее биологической активности [5–7].

Обобщение ряда исследований в длительных опытах с удобрениями Географической сети показало, что в биологизированных агротехнологиях при совместном применении минеральных и органических удобрений и использовании других биологических факторов прибавки урожайности по сравнению с контролем (без внесения удобрений) составляют от 30 до 100%, при применении только органических удобрений – от 20 до 70%. В качестве источника органических удобрений традиционно применяют продукты обмена сельскохозяйственных животных и компосты на основе навоза (помета). Вместе с тем, даже с учетом развития животноводства, при использовании всех ресурсов навоза и компостов в пахотных почвах России сохранится дефицит органического вещества и элементов минерального питания [8]. Поэтому кроме традиционных органических удобрений целесообразно повсеместно и комплексно использовать все возможные биоресурсы повышения почвенного плодородия в агроценозах: и солому с пожнивными остатками, и сидеральные культуры, и многолетние травы [9, 10].

Среди возделываемых сельскохозяйственных полевых культур только многолетние травы способны расширенно воспроизводить почвенное органическое вещество и другие показатели плодородия даже при отчуждении растительной массы. Другие культуры требуют восполнения органического вещества; особенно интенсивно минерализуется почвенное органическое вещество под пропашными культурами и чистым паром [11]. Эти особенности необходимо учитывать при планировании и совершенствовании севооборотов.

По темпам минерализации органического вещества, в условиях интенсивного земледелия сельскохозяйственные культуры различаются: почва под посевами зерновых теряет 0.9–1.1 т гумуса/га в год, кукурузы на силос – 1.2–1.3, сахарной свеклы и черного пара – 1.8–1.9 т гумуса/га в год. При этом возделывание люцерны повысило содержание гумуса за 18 лет на 0.15–0.44%. Комплексное применение приемов биологизации земледелия способствовало увеличению содержания гумуса на 0.06–0.1% [12].

Применение сидерации может иметь нежелательные эффекты. Ее использование на серой лесной среднесуглинистой почве меняло сезонную динамику скорости эмиссии CO_2 из почвы. Происходило усиление процессов минерализации органического вещества за счет вновь поступившего на 38–131% по отношению к черному пару. Потерям подвергалось 19–79% углерода, аккумулированного в чистой первичной продукции редьки масличной [13]. Потерь можно избежать при использовании научно обоснованных способов внесения сидератов для обеспечения сельскохозяйственных культур возможностями продуктивного использования CO_2 и элементов минерального питания. Например, последствие сидерата в севообороте пролонгируется при осенней заделке в почву зеленого удобрения – предварительно скошенную летом зеленую массу в расстил с приростом отавы вносят в почву при ранней осенней вспашке [14].

Цель работы – изучение влияния длительного применения соломы и сидератов на серой лесной почве на продуктивность агроценозов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном стационарном опыте по следующей схеме: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N45, 3 – солома + N45, 4 – солома, 5 – солома + сидерат. Опыт заложен в Томской обл. в 1999 г. в производственных условиях на серой лесной тяжелосуглинистой почве (содержание гумуса – 3.6%, pH_{KCl} 4.8, содержание P_2O_5 – 17.1, K_2O – 9.7 мг/100 г). Повторность опыта четырехкратная. Общая площадь делянки – 67.5 м² (15 × 4.5 м), площадь учетных площадок – 1 м². В течение 4-х ротаций зернопарового севооборота (2000–2021 гг.) регулярно вносили солому (5 т/га) после уборки зерновой культуры и минеральный азот под предпосевную культивацию, а также в варианте 5 (солома 5 т/га + сидерат) 4 раза применяли сидерат (в начале каждой ротации) в сравнении с чистым паром. На делянках вариантов 1 и 2, где не вносили солому, после уборки зерновой культуры ее удаляли. Обработка почвы: до 2007 г. – отвальная вспашка, затем – минимальная поверхностная обработка.

Методы лабораторных испытаний: ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО; ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом; ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности; ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений

Таблица 1. Влияние регулярного внесения соломы (5 т/га) и сидерата на урожайность сельскохозяйственных культур (2001–2021 гг.), ц/га

Год	Культура	Варианты					НСР ₀₅
		1. Контроль	2. N45	3. Солома + N45	4. Солома	5. Солома + сидерат	
2001	Яровая пшеница	21.0	22.5	20.5	21.7	29.8	3.8
2002	Овес	8.8	18.4	20.2	13.1	9.5	2.5
2003	Яровая пшеница	13.9	21.1	22.0	14.1	16.7	4.6
2005	Ячмень	26.3	24.1	25.0	23.7	33.1	4.1
2006	Яровая пшеница	10.3	10.3	10.0	10.4	12.6	3.3
2008	Озимая пшеница	19.3	27.5	30.7	28.4	28.8	5.0
2009	Яровая пшеница	29.7	33.5	36.2	29.8	24.8	3.2
2010	Яровая пшеница	23.4	26.9	27.5	24.5	22.5	2.9
2012	Ячмень	10.7	9.5	10.8	10.1	18.2	5.5
2013	Овес	19.1	21.1	21.9	16.6	20.9	10.3
2014	Овес	21.0	22.6	26.5	17.4	20.6	4.6
2015	Яровая пшеница	8.7	12.1	12.3	8.7	10.6	2.6
2018	Ячмень	9.3	12.8	18.5	16.7	15.1	3.9
2019	Овес	24.1	36.0	33.3	25.6	31.8	6.8
2020	Рапс	8.3	13.6	12.0	8.9	12.3	3.8
2021	Яровая пшеница	16.1	24.6	21.9	17.7	19.7	3.1
Средняя урожайность за 2001–2021 гг.		16.7	21.0	21.8	18.0	20.4	
Прибавка	–	–	4.3	5.1	1.3	3.8	
	%		26.0	30.7	7.5	22.4	

Примечание. 2000, 2004, 2011, 2016 г. – пар, внесение сидерата; 2007, 2017 г. – нет данных.

фосфора и калия по методу Кирсанова; ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО; ГОСТ 26213-91 Почвы. Определение органического вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По сравнению с другими органическими удобрениями солома трансформируется в почве более медленно, причем скорость роста содержания гумуса доминирует над скоростью минерализации. В этом заключается ее полезное свойство в большей мере повышать потенциальное плодородие. Дозу минерального азота при закладке опыта рассчитывали для восполнения азота в почве, который потребляют микроорганизмы, активно размножающиеся при внесении соломы. Причем иммобилизация азота в наших опытах отмечена лишь в первый год после внесения соломы. Очевидно, при регулярном ежегодном внесении соломы наступает баланс азота, потребляемого почвенными микробами и возвращающегося в почву при естественном их отмирании. Это доказывает

вариант с регулярным внесением после зерновых культур соломы 5 т/га без азота, в котором урожайность культур не только не снижалась, но устойчиво повышалась до 10%.

На серой оподзоленной почве опыта регулярное внесение в течение 20 лет соломы без азота обеспечило достоверную среднемноголетнюю прибавку урожайности на 1.3 ц/га (на 7.5%) (табл. 1). Регулярное внесение минерального азота ежегодно обеспечивало максимальную прибавку урожайности в опыте, т.к. это нивелировало негативный эффект, связанный с дефицитом элемента в агроценозах северного земледелия. Применение азота с соломой не оказало синергетического эффекта, скорее это было сложение эффектов от применения соломы и азотных удобрений.

Регулярное внесение соломы и сидерата в паровом поле севооборота (производственного культурооборота) повысило среднемноголетнюю урожайность на 3.8 ц/га (на 22.4%) по сравнению с контролем без удобрений после чистого пара.

Таблица 2. Содержание органического вещества (гумуса) в почве стационара (2021 г.), %

Вариант	Глубина отбора образцов, см							
	0–10		10–20		Среднее в слое 0–20 см	20–40		Среднее в слое 0–40 см
	1	2	1	2		1	2	
1. Контроль	3.17	–	3.34	–	3.25	3.01	–	3.17
2. N45	3.53	+0.36	3.31	–0.03	3.42	2.55	–0.47	3.13
3. Солома + N45	3.37	+0.20	3.21	–0.13	3.29	2.54	–0.47	3.04
4. Солома	3.76	+0.59	3.16	–0.18	3.46	2.44	–0.57	3.12
5. Солома + сидерат	3.73	+0.56	3.55	+0.21	3.64	2.91	–0.10	3.40
<i>HCP</i> ₀₅		0.51		0.27			0.21	

Примечание. В графе – абсолютный показатель, 2 – прибавка.

При закладке полевого стационарного опыта в 1999 г. среднее содержание гумуса в пахотном горизонте (0–20 см) составляло 3.6%. Через 20 лет эксперимента применение чистого пара без внесения удобрений (контроль) снизило среднее содержание гумуса в пахотном горизонте на 9.6% от исходного, регулярное внесение соломы без минерального азота – на 4%, чуть больше были потери при внесении азота без соломы – на 5%, при применении соломы с азотом – на 8.6% (табл. 2). Очевидно, что внесение соломы с азотом смешало процессы ее деструкции в сторону минерализации, что обеспечивало наибольшее повышение урожайности в опыте. И только замена чистого пара сидеральным при регулярном внесении соломы обеспечила сохранение содержания гумуса в пахотном горизонте на исходном уровне. В слое 0–10 см наблюдали достоверное повышение содержания гумуса в вариантах 4 и 5. Это связано с тем, что в хозяйстве, где расположен опытный стационар, с 2007 г. применяли минимальную поверхностную обработку почвы (без вспашки).

Таблица 3. Влияние регулярного внесения соломы (5 т/га) и сидерата на урожайность сельскохозяйственных культур в ротациях зернопарового севооборота (2001–2021 гг.), ц/га

	Ротации			
	1-я	2-я	3-я	4-я
1. Контроль (без удобрений)	19.1	21.8	14.9	14.5
2. N45	24.6	24.5	16.3	21.8
3. Солома + N45	24.5	25.4	17.9	21.4
4. Солома	20.4	23.4	13.2	17.2
5. Солома + сидерат	18.7	24.4	17.6	19.7
<i>HCP</i> ₀₅	5.5	1.9	1.8	3.7

Снижение содержания органического вещества (*ОВ*) в слое 20–40 см в вариантах опыта компенсировалось его увеличением в слое 0–10 см, поэтому в общем слое 0–40 см средняя разница содержания *ОВ* между вариантами опыта и контролем была не существенной, кроме варианта 5 с сидеральным паром, где гумуса было больше на 7.25% в сравнении с контролем.

Таким образом, длительное применение чистого пара в зернопаровом севообороте без внесения органических удобрений или при их недостаточном количестве (внесение только соломы), приводило к снижению содержания гумуса в почве. Замена чистого пара сидеральным в зернопаровом севообороте и регулярное внесение в почву соломы позволили в течение 20 лет сохранить содержание гумуса на исходном уровне.

Анализ данных урожайности сельскохозяйственных культур после каждого внесения сидерата (в ротациях) в севообороте показал, что влияние на урожайность совместного внесения сидерата и соломы со временем изменялось (табл. 3). В 1-й ротации севооборота урожайность зерновых культур после применения 2-х видов пара (контроль – чистый пар, вариант 5 – сидеральный пар) была на одном уровне, во 2-й ротации урожайность после сидерального пара была на 11.7% больше, после 3-го внесения сидерата урожайность увеличилась на 18%, после 4-го внесения сидерата урожайность увеличилась по сравнению с чистым паром на 36.5% (по данным 2018–2021 гг.).

Чистый пар без внесения удобрений способствовал постепенному снижению плодородия, обусловленному минерализацией почвенного органического вещества в отсутствие внесения органических удобрений. Применение сидерального пара с регулярным внесением в почву соломы

сохраняло плодородие почвы и урожайность на более высоком уровне. Таким образом, за 20 лет исследования результаты опыта в динамике показали возрастающее преимущество сидерального пара над чистым паром (без внесения удобрений) в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, иммобилизацию азота в наших опытах наблюдали лишь в 1-й год внесения соломы, в дальнейшем выявили баланс азота между его потреблением почвенными микробами и возвращением в почву при их естественном отмирании. Это показал вариант с регулярным внесением после зерновых культур соломы без минерального азота, где не только не снижалась урожайность, а была обеспечена достоверная среднесуточная прибавка урожайности на 1.3 ц/га (на 7.5%).

2. Через 20 лет применения чистого пара без внесения удобрений в зернопаровом севообороте снизилось среднее содержание гумуса в пахотном горизонте на 9.6% от исходного, регулярное внесение соломы без минерального азота снизило содержание гумуса на 4%, чуть больше были потери при внесении азота без соломы – 5%, при применении соломы с азотом – 8.6% в слое 0–20 см. И только замена чистого пара сидеральным при регулярном внесении соломы обеспечили сохранение содержания гумуса в пахотном горизонте на исходном уровне.

3. В 1-й ротации севооборота урожайность культур после применения 2-х видов пара (чистого пара – в контроле и сидерального) была на одном уровне; во 2-й ротации урожайность после сидерального пара была на 11.7% больше; после 3-го внесения сидерата урожайность увеличилась на 18%; после 4-го внесения сидерата урожайность увеличилась по сравнению с чистым паром на 36.5%. Таким образом, отмечена возрастающая со временем эффективность сидерального пара на фоне регулярного внесения соломы перед чистым паром без внесения органических удобрений.

4. Проведенное исследование имеет значение для прогнозирования баланса почвенного органического вещества при использовании почв в сельскохозяйственном производстве, создании математических моделей, проектировании систем питания, севооборотов, систем земледелия, а также в решении вопросов биологизации земледелия как в интенсивном, так и в органическом производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Organic in Europe: Prospects and developments 2023. Электр. ресурс. Режим доступа: <https://www.organicseurope.bio/?redirect=1>
2. *Zavrzhnov A., Vedishchev S., Kadomtsev A.I., Pavlov A., Prokhorov A., Vyuzov M.* Methods for restoring fertility and improving physical and mechanical properties of soils // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012045>
3. *Pasko O., Staurskaya N., Zakharchenko A., Zharnikov V., Larionov Y.* Bio-farming as the basis of environmentally-sustainable arable farming at the time of global warming // Res. Anthol. Strateg. Ach. Agricultural Sustain. 2022. P. 600–627.
4. *Ляцев А.А.* Почвенная биота и плодородие почвы в условиях юга Западной Сибири. Тюмень: ТюмГСХА, 2004. 252 с.
5. *Васбиева М.Т.* Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений // Почвоведение. 2021. № 1. С. 90–99. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010135>
6. *Мерзлая Г.Е.* Эффективность длительного применения биологизированных систем удобрения // Агрохимия. 2018. № 10. С. 27–33. <https://doi.org/10.1134/S0002188118100113>
7. *Мерзлая Г.Е.* Исследование устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений на дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 2021. № 3. С. 355–362. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21030126>
8. *Еськов А.И., Лукин С.М., Мерзлая Г.Е.* Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве России // Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 20–23.
9. *Сорокин И.Б., Титова Э.В., Касимова Л.В.* Растительное органическое вещество как основа почвенного плодородия // Земледелие. 2008. № 1. С. 14–15.
10. *Сорокин И.Б., Титова Э.В., Сиротина Е.А., Малиновская Л.А., Петрова Л.В.* Влияние биоресурсов агроценозов на продуктивность и экологическую устойчивость агроландшафтов // Пробл. агрохим. и экол. 2014. № 2. С. 19–23.
11. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (Информ.-аналит. справ-к) / Под ред. А.И. Еськова. Владимир: ВНИПТИОУ, 2006. 200 с.
12. *Коржов С.И., Трофимова Т.А., Котов Г.В.* Влияние полевых культур и приемов биологизации на сохранение почвенного плодородия // Плодородие. 2017. № 6 (99). С. 25–28.
13. *Соколова, Л.Г., Зорина С.Ю., Белоусова Е.Н., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В.* Эмиссия CO₂ при введении краткосрочной сидерации в паровое поле в условиях лесостепной зоны Прибайкалья // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1262–1273. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21100117>
14. *Сорокин И.Б.* Возобновляемые биоресурсы повышения плодородия пахотных почв подтаежной зоны Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск: ОмскГАУ им. П.А. Столыпина, 2013. 40 с.

Effect of Long-Term Use of Straw and Siderates on Gray Forest Soil on the Productivity of Agroecosystems

I. B. Sorokin^{a, #}, S. P. Kulizhskiy^b, O. A. Pasko^c, and O. E. Merzlyakov^b

^aSubstation of agrochemical service "Tomsk"
ul. Beringa 12a, Tomsk 634063, Russia

^bTomsk State University
prosp. Lenina 36, Tomsk 634050, Russia

^cNational Open Institute
St. Petersburg, Sestroretskaya ul. 6, St. Petersburg 197183, Russia

[#]E-mail: sorokin.ib@mail.ru

A study in a stationary field experiment on gray forest soil of the Tomsk region proved the advantage of biologization of agriculture with the use of biological resources of agroecosystems (straw and siderates) in the grain-steam crop rotation. Regular application of only N45 before sowing provided an average increase in grain yield of 4.3 c/ha (by 26%), straw without nitrogen – by 1.3 c/ha (by 7.5%). When applying straw with nitrogen for 20 years, an increase in yield was obtained, not exceeding the total effect of nitrogen and straw – 5.1 c/ha (by 30.7%). The use of sideral steam against the background of regular application of straw provided an increase in the yield of grain crops by 3.8 c/ha (by 22.4%). After 20 years of the experiment, the average humus content in the arable horizon decreased by 9.6% from the initial when using pure steam without fertilizers. In order to preserve the potential fertility, the introduction of only straw and (or) mineral nitrogen in this case was also insufficient. At the same time, the lateral steam and regular application of straw ensured the preservation of the humus content in the arable horizon at the initial level. During 4 rotations (2001–2021) of the grain-steam crop rotation, the increasing efficiency of sideral steam was noted against the background of regular use of straw as fertilizer compared to the pure steam variant: in the 1st rotation, the yield of grain crops in these variants was at the same level, in the 2nd – the yield after sideral steam was 11.7 more% more than after pure steam, in the 3rd rotation – respectively 18% more, and in the 4th rotation, sideral steam provided better grain yields than after pure steam (an increase of 36.5%).

Keywords: biologization, sideral steam, straw, humus.