

Александр Васильевич Халин¹, Станислав Анатольевич Федюнин²,

Максим Юрьевич Нестеренко³, Денис Анатольевич Гринцов⁴

^{1,2,3,4}Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Оренбург, Россия

¹aleksander.xalin@yandex.ru

²stanislav.fedyunin@yandex.ru

³geoecol-onc@mail.ru

⁴arisstroy204@qmail.com

ВЛИЯНИЕ ЗВЕНЬЕВ СЕВООБОРОТОВ НА РЕЖИМ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО В СТЕПНЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

Цель исследований – выявить влияние сельскохозяйственных культур и звеньев севооборотов на режим органического вещества чернозема южного в степной зоне Южного Урала и разработать биологические способы его стабилизации. Исследования проводились в составе многолетнего стационарного полевого опыта в условиях засушливой степи Оренбургского Предуралья. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднесиловый карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса 4,4 % и слабощелочной реакцией почвенного раствора (pH_{H_2O} – 7,8). Схема опыта включала семь различных по составу и системе удобрений звеньев севооборотов с ротацией 3 года. Эксперимент проводился в соответствии с общепринятыми методиками. Размещение вариантов – систематическое, в два яруса, площадь опытных деленок – 486 м². Повторность опыта была трехкратная во времени и четырехкратная на территории. Проведена сравнительная оценка полевых, кормовых культур и звеньев севооборотов по продуктивности, количеству поступающей в почву растительной органики и объему новообразований гумуса. Для условий богарного земледелия степной зоны Южного Урала в качестве дополнительных ресурсов растительной органики для воспроизводства почвенного плодородия предложено более широкое использование сидератов и побочной продукции растениеводства, разработаны эффективные звенья севооборотов, обеспечивающие стабилизацию гумусного состояния почвы, даны рекомендации по оптимизации структуры севооборотов. Наибольшее поступление в почву пожнивных и корневых остатков (22,18–22,91 т/га) обеспечили звенья с кормовыми травами. Для положительного баланса гумуса в агроценозах степной зоны необходимо в состав полевых севооборотов включать кормовые травы и сидеральные культуры, в качестве дополнительного источника растительной органики использовать побочную продукцию, вместо чистых паров использовать занятые пары либо вносить навоз в норме не менее 20 т/га.

Ключевые слова: гумус, гумификация, минерализация гумуса, плодородие почвы, растительные остатки, сидераты, звено севооборота, степная зона

Для цитирования: Халин А.В., Федюнин С.А., Нестеренко М.Ю., и др. Влияние звеньев севооборотов на режим органического вещества чернозема южного в степных агроценозах // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 87–99. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-87-99.

Alexander Vasilievich Khalin¹, Stanislav Anatolyevich Fedyunin², Maxim Yuryevich Nesterenko³, Denis Anatolyevich Grintsov⁴

^{1,2,3,4}Orenburg FRC of the Ural Branch of the RAS, Orenburg, Russia

¹aleksander.xalin@yandex.ru

²stanislav.fedyunin@yandex.ru

³geoecol-onc@mail.ru

⁴arisstroy204@qmail.com

CROP ROTATION LINKS INFLUENCE ON THE ORGANIC MATTER REGIME OF SOUTHERN CHERNOZEM IN STEPPE AGROCENOSIS

The objective of the study is to identify the influence of agricultural crops and crop rotation links on the organic matter regime of southern chernozem in the steppe zone of the Southern Urals and to develop biological methods for its stabilization. The studies were conducted as part of a long-term stationary field experiment in the arid steppe conditions of the Orenburg Cis-Urals. The soil of the experimental plot is southern chernozem, low-humus, medium-deep, carbonate, heavy loamy with a humus content of 4.4 % and a slightly alkaline reaction of the soil solution ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - 7.8$). The experimental design included seven crop rotation links of different composition and fertilizer system with a rotation of 3 years. The experiment was carried out in accordance with generally accepted methods. The placement of options is systematic in two tiers, the area of the experimental plots is 486 m². The experiment was repeated three times in time and four times on the territory. A comparative assessment of field, forage crops and crop rotation links was carried out in terms of productivity, the amount of plant organic matter entering the soil and the volume of newly formed humus. For the conditions of dry farming in the steppe zone of the Southern Urals, a wider use of green manure and by-products of plant growing was proposed as additional resources of plant organic matter for the reproduction of soil fertility, effective crop rotation links were developed to ensure stabilization of the humus state of the soil, and recommendations were given for optimizing the structure of crop rotations. The largest input of stubble and root residues into the soil (22.18–22.91 t/ha) was provided by the links with forage grasses. For a positive humus balance in the agrocenoses of the steppe zone, it is necessary to include forage grasses and green manure crops in the composition of field crop rotations, use by-products as an additional source of plant organic matter, use occupied fallows instead of clean fallows, or apply manure at a rate of at least 20 t/ha.

Keywords: humus, humification, humus mineralization, soil fertility, plant residues, green manure, crop rotation link, steppe zone

For citation: Khalin AV, Fedyunin SA, Nesterenko MY, et al. Crop rotation links influence on the organic matter regime of southern chernozem in steppe agrocenosis. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):87-99. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-87-99.

Введение. В контексте современных вызовов и трансформаций развитие отрасли растениеводства должно базироваться на принципах глубокой адаптации к зональным особенностям земледелия. Создание сбалансированных, устойчивых и высокопродуктивных агроландшафтов, максимально соответствующих местным экосистемным условиям, является ключевой задачей. Этот процесс требует комплексного подхода к рациональному использованию природных и земельных ресурсов, включая оптимизацию агротехнических мероприятий, минимизацию воздействия на окружающую среду и внедрение инновационных технологий. Управление агроландшафтами должно основываться на системном анализе и прогнозировании, что позволит обеспечить устойчивость и эффективность сельскохозяйственного производства.

Длительное нерациональное использование пахотных угодий, сопровождающееся нарушением агротехнических регламентов и норм земледелия, привело к деградации почвенного покрова. В результате этого комплекса негативных

факторов, включающих изменение характера почвообразовательных процессов, эрозионные явления, снижение содержания гумуса, деградацию физических свойств почвы, техногенное загрязнение и ухудшение фитосанитарного состояния агроэкосистем, наблюдается значительное ухудшение плодородия земель.

Почва, являясь ключевым компонентом биосферы, представляет собой высокоорганизованную биологическую экосистему, выполняющую целый спектр глобальных биосферных и экологических функций, которые обеспечивают функционирование и устойчивость биогеоценозов. Состояние почвы служит интегральным индикатором важнейших природных и антропогенных процессов, происходящих в ландшафте. Основу почвенного плодородия формирует гумус, представляющий собой сложный комплекс органоминеральных соединений, включающий в себя как гуминовые кислоты, так и фульвокислоты, а также их производные.

Гумус является единственным источником азота и основным поставщиком минеральных

элементов питания в доступной для растений форме. Известно, что органическое вещество почвы в среднем содержит 98 % запасов азота, 80 серы и 60 % фосфора от их валового количества в почве, а также значительное количество микроэлементов [1]. Обеспеченность почвы гумусом во многом определяет и агрофизические показатели ее плодородия, такие как структурное состояние, объемную массу, плотность твердой фазы.

Процесс высвобождения питательных элементов из гумуса в форме, доступной для растений, осуществляется через минерализацию. Интенсивность этого процесса существенно зависит от ряда факторов, включая условия аэрации, увлажнения, а также состав и активность почвенной микрофлоры. Важно отметить, что повышение уровня аэрации почвы способствует активизации минерализационных процессов, в то время как снижение аэрации приводит к их угнетению. Этот феномен можно объяснить через призму динамического равновесия углеродного цикла в почве, где интенсивная обработка нарушает естественные процессы стабилизации органического вещества, увеличивая его разложение и, как следствие, потери углерода. В условиях дефицита органических удобрений, который является характерной чертой современного сельскохозяйственного производства, данный дисбаланс усугубляется, приводя к деградации почвенного плодородия и снижению агрономической продуктивности.

Механическая обработка почвы, особенно ее отвальные способы, также является причиной развития эрозионных процессов, которые проявляются преимущественно в виде водной, а в степной зоне дополнительно и ветровой эрозии. В результате пыльных бурь из верхнего слоя почвы в сухом состоянии выдувается ее мелкая (<1 мм) плодородная фракция. Дефляция является одним из ведущих факторов потери плодородия почв и серьезной проблемой для юго-востока европейской территории России [2]. Водной эрозии обрабатываемые земли подвергаются, даже при незначительном уклоне. Смыв почвы происходит преимущественно весной во время снеготаяния или летом в результате ливневых осадков. Из почвы при этом в первую очередь вымывается мелкодисперсная фракция, богатая гумусовыми веществами. Установлено, что недобор урожая на слабосмытых поч-

вах достигает 10–12 %, на среднесмытых – 30–50, а на сильносмытых – 60–80 % [3].

В результате отмеченных факторов использование гумуса, как важнейшего природного ресурса, приобрело по существу хищнический характер. Так, по данным Саратовских ученых на пахотных землях черноземами ежегодно теряется от 0,01 до 0,03 % гумуса в абсолютном выражении, каштановыми почвами – от 0,01 до 0,02 % [4]. В почвах Оренбургской области содержание гумуса с момента распашки снизилось в черноземах типичных с 12,5 до 9,5 %; обыкновенных – с 7,4 до 5,7; южных – с 7,1 до 5,6 и темно-каштановых почвах с 4,2 до 3,2 %, при этом более высокие темпы дегумификации отмечены у изначально более плодородных почв [5].

Наиболее интенсивно минерализация гумуса происходит при паровании поля, особенно в чистых парах, в которых его потери могут возрасти до 3,0 т/га в год. Оптимизация в структуре посевных площадей доли чистых паров, применение занятых и сидеральных паров позволяет сбалансировать режим органического вещества в агроценозах [6, 7]. Вместе с тем в засушливой зоне пары по-прежнему широко используются в зерновом производстве, являясь в условиях дефицита влаги незаменимым предшественником для озимых культур. В Оренбургской области площадь паров в отдельные годы достигает 800 тыс. га, что составляет 15–16 % в структуре посевных площадей. В последние десятилетия значение их возросло в связи с сокращением набора возделываемых культур, преобладанием среди них зерновых колосовых культур и подсолнечника.

Механическая обработка почвы в сочетании с дегумификацией является основным фактором, приводящим к ухудшению ее структурного состояния. Это выражается в сокращении доли агрономически ценных агрегатов и снижении водопрочности почвенной структуры. Данные процессы являются ключевыми элементами переуплотнения почв и ускоряют их физическую деградацию. Дегумификация пахотных земель представляет собой актуальную проблему, проявляющуюся в различных земледельческих регионах мира и приобретающую глобальный характер, что актуализирует необходимость разработки и внедрения инновационных агротехнологий, направленных на стабилизацию гумусного состояния почв.

Основным источником органического вещества, участвующего в образовании гумуса и имеющего фундаментальное значение в формировании и развитии почв, является растительная биомасса [6]. Именно высшие растения, определяющие функциональные особенности, строение и разнообразие биогеоценозов, составляют основу глобального процесса гумусообразования. Посредством накопления гумуса в почве в биоценозах формируются запасы химической энергии, обеспечивающей их биоэнергетический потенциал [1].

Трансформация органического вещества в почве и динамика гумусного баланса представляют собой сложные процессы, обусловленные совокупностью факторов. Ключевыми детерминантами в этом контексте выступают количественные и качественные характеристики поступления органических остатков, а также тепловой и водно-воздушный режимы почвы, ее физико-химические свойства. В природных экосистемах количество формируемой растительной биомассы обеспечивает положительный баланс гумуса. В агроценозах, где значительная часть растительного вещества безвозвратно отчуждается в виде продукции, количество поступающих в почву органических остатков снижено в 2–8 раз [7]. Даже солома зерновых культур нередко используется в кормовых целях и на прочие нужды животноводства. Корневых и пожнивных остатков, как правило, недостаточно для воспроизводства гумуса в необходимом объеме. Особенно остро это выражено в засушливом климате, в котором продуктивность агроценозов невысока, а микробиологическая активность почвы снижена. В таких условиях минерализация гумуса преобладает над гумификацией, что приводит к сокращению его валовых запасов и снижению плодородия почвы. Поэтому оптимизация режима органического вещества в почве является важнейшим условием воспроизводства ее плодородия и сохранения продуктивности агроландшафтов.

Важным фактором стабилизации гумусного состояния почвы в агроценозах является внесение органических удобрений. Однако при высокой степени распаханности территорий и недостаточном развитии отрасли животноводства возможность применения навоза в требуемых объемах отсутствует в связи с ограниченным его количеством и высокими затратами на его внесение. Альтернативным и более доступным

видом органических удобрений являются сидераты. Вместе с тем, в условиях засушливого земледелия их выращивание нередко возможно только в составе сидеральных паров, что снижает их эффективность в сравнении с чистыми. Поэтому из дополнительных источников растительного вещества необходимо в первую очередь использовать побочную нетоварную продукцию растениеводства, которая является наиболее доступным ресурсом для воспроизводства гумуса и обеспечивает рациональное его использование.

Сельскохозяйственные культуры различаются потреблением элементов питания, технологией выращивания, системой обработки почвы, количеством оставляемых растительных и корневых остатков. Поэтому другим доступным направлением контроля за режимом органического вещества в почве и биологизации земледелия, не требующем дополнительных затрат, является соблюдение севооборотов. В современных условиях интенсификации земледелия чередование культур в севообороте позволяет оптимизировать их возделывание, снижая возможное негативное влияние на почву и природную среду, обеспечивая регуляцию, восстановление и устойчивость экосистем. Для воспроизводства плодородия почвы наиболее значимы плодосменные севообороты, включающие кормовые травы и бобовые культуры, обеспечивающие наибольшее количество поступающих в почву растительных остатков [7]. Немаловажно включать в состав севооборотов культуры с разным соотношением азота и углерода [6]. Исследования по продуктивности севооборотов с внесением пожнивного сидерата, использованием минеральных удобрений и соломы, проведенные в Татарстане, показали, что заделка пожнивного сидерата и соломы при возделывании зерновых культур с включением в севооборот многолетних трав существенно улучшает структурное состояние почвы, увеличивает содержание гумуса и продуктивность звена [8]. Необходимо также стремиться к отказу от использования чистых паров или применять вместо них пары занятые, позволяющие снизить объемы минерализации гумуса. В земледелии Оренбуржья сложившийся в последние годы в условиях рынка ограниченный набор возделываемых культур с преобладанием в их числе зерновых и подсолнечника является причиной однотипности севооборотов и ограничивает соб-

людение принципа плодосмена. Это вызывает необходимость дальнейшего изучения севооборотов, как важнейшего биологического фактора воспроизводства плодородия почвы и обеспечения экологического равновесия степных агроландшафтов.

Цель исследований – выявить влияние полевых культур и звеньев севооборотов на режим органического вещества чернозема южного в степной зоне Южного Урала и разработать биологические способы его стабилизации.

Задачи: провести сравнительную оценку полевых и кормовых культур по урожайности различных видов продукции, количеству растительных, корневых остатков и объему новообразований гумуса; изучить влияние различных сельскохозяйственных культур на плодородие почвы и его воспроизводство; разработать эффективные звенья севооборотов, обеспечивающие стабилизацию гумусного состояния почвы; составить рекомендации по оптимизации структуры полевых севооборотов для степной зоны Южного Урала.

Объекты и методы. Исследования проводились на территории центральной зоны Оренбургской области в условиях степной зоны в составе многолетнего стационарного полевого опыта в соответствии с методикой Б.А. Доспехова [9]. Повторность опыта была трехкратная во времени и четырехкратная на территории. Размещение вариантов в опыте – систематическое, в два яруса. Площадь опытной деланки каж-

дого варианта составляла 486 м². Исследования проведены в 2018–2022 гг., из которых три года были остро засушливыми с годовой суммой осадков 250–286 мм (при климатической в регионе норме 354 мм) и один благоприятный по увлажнению 2022 г. (427 мм). В течение четырех из пяти лет отмечалось превышение нормы среднегодовой температуры воздуха на 0,4–1,3 °С.

Объектом исследований являлся чернозем южный, занимающий в Оренбургской области наибольшую среди других подтипов черноземов площадь в структуре пахотных угодий – 44 %. Почва опытного участка была представлена черноземом южным среднесиловым тяжелосуглинистым карбонатным с содержанием гумуса 4,4 %. По данным агрохимического обследования валовое содержание макроэлементов в почве в расчете на 1 кг составляло: N-NO₃ – 10,2 мг; N-NH₄ – 114; P₂O₅ – 25; K₂O – 350 мг. Реакция почвенного раствора слабощелочная, рН_{H2O} – 7,8.

В опыте нами исследовались способы стабилизации режима органического вещества в почве на основе использования сидератов, растительных и корневых остатков, соломы, листовых и стеблевой массы кукурузы. Изучалось влияние различных по продуктивности зерновых, крупяных, кормовых культур, однолетних и многолетних трав на плодородие почвы, оценивалась их способность обеспечивать воспроизводство почвенного плодородия. Схема опыта включала семь различных по составу звеньев севооборотов с ротацией 3 года (табл. 1).

Таблица 1

Схема полевого опыта
Scheme of the field experiment

Вариант	Структура звена севооборота, система удобрений					
	Первый год		Второй год		Третий год	
1	Пар чистый	P ₉₀ K ₆₀	Озимая рожь	N ₂₀	Просо	–
2	Пар занятый (суданская трава)	P ₉₀ K ₆₀	Яровая пшеница твердая	N ₂₀	Просо	–
3	Суданская трава + донник	P ₉₀ K ₆₀	Донник 2-го года жизни (сидерат)	–	Просо	–
4	Кукуруза на зерно	N ₂₀ P ₉₀ K ₆₀	Яровая пшеница мягкая	N ₂₀	Гречиха	N ₂₀
5	Ячмень на зерно + донник	P ₉₀ K ₆₀	Донник 2-го года жизни (сидерат)	–	Просо	–
6	Ячмень + горох	P ₉₀ K ₆₀	Яровая пшеница мягкая	N ₂₀	Просо	–
7	Ячмень + многолетние травы	P ₉₀ K ₆₀	Многолетние травы 2-го года жизни	–	Многолетние травы 3-го года жизни	–

Технологии выращивания сельскохозяйственных культур соответствовали рекомендуемым для соответствующей аграрной зоны. Продуктивность культур и звеньев севооборотов оценивалась по урожайности натуральной продукции, выходу кормовых единиц и переваримого протеина. Учет пожнивных и корневых остатков осуществлялся с применением метода рамочной выемки по методу Н.З. Станкова [10]. Учет урожайности кормовых культур проводился путем скашивания с площади 25–50 м², зерновых культур – методом прямого обмолота комбайном марки «Terrion SR2010» с учетной площади деланки 50–70 м². Структура урожая анализировалась в каждом варианте на всех повторностях. Расчет баланса гумуса почвы проводился по методу И.В. Тюрина [11].

Результаты и их обсуждение. Развитие растениеводства представляет собой многофакторную и многоаспектную задачу, требующую комплексного и обоснованного подхода к управлению природными и земельными ресурсами. Стабильный уровень органического вещества в пахотных землях является критически важным фактором, влияющим на функционирование агроценозов.

Восполнение запасов органического вещества в почве в условиях нехватки органических удобрений только за счет пожнивных и корневых остатков является явно недостаточным из-за низкой продуктивности агроценозов, особенно в условиях дефицита влаги. Так, по данным Л.Н. Александровой, в естественных экосистемах количество сухого вещества чистой первичной продукции уменьшается от 23,0 т/га в год в степных и мезофитных лугах, до 15,0 в зоне сухих степей и 10,0 т/га в год в пустынных степях. В ее составе доля надземной части не превышает 12–30 %, а остальная, подземная часть формируется и остается в корнеобитаемом слое почвы [12]. В агроценозах засушливой степи Оренбуржья воздушно-сухая масса надземной растительной части за вычетом основной продукции растениеводства в среднем не превышает 0,06 т/га в год, что в 1,83 раза меньше, чем на целине [13]. В сходных условиях Казахстана (Шортанды) при отчуждении только зерна возврат органического вещества в почву в 2,5 раза меньше, чем в естественной степи, а при отчуждении дополнительно и части соломы – в 4–5 раз меньше. При этом подземная продуктивность зерновых (корневая система растений)

в 6–9 раз ниже, чем в травяных экосистемах [14]. В связи с этим имеется острая необходимость в поиске других приемов воспроизводства плодородия почв и восстановления их биоэнергетического потенциала.

Проведенные исследования позволили выявить, что наибольшее поступление в почву органического вещества со стерневыми и корневыми остатками обеспечивают многолетние и однолетние травы, формирующие, как правило, мощную корневую систему. Это одна из причин, по которой в севооборотах их относят к хорошим и отличным предшественникам для других культур. В нашем опыте в составе звеньев севооборотов на кормовые цели и сидераты возделывались следующие травы: донник, люцерна, житняк, суданская трава. Из изучаемых звеньев формирование наибольшей абсолютно-сухой массы пожнивных и корневых остатков обеспечило звено с многолетними травами (вариант № 7) – в среднем за три года 24,91 т/га (табл. 2).

Достаточно высокий и почти одинаковый объем пожнивных и корневых остатков отмечался также в звеньях: суданская трава + донник – донник – просо – 22,53 т/га; пар, занятый суданской травой – яровая пшеница – просо – 22,18 т/га. Суданская трава, донник и просо формировали хорошую корневую систему и по массе корневых остатков уступали только травосмеси многолетних трав в седьмом варианте опыта. Далее по выходу пожнивных и корневых остатков следовали звенья: ячмень + донник – донник – просо (вариант № 5) – 18,06 т/га и ячмень + горох – яровая пшеница – просо (вариант № 6) – 17,66 т/га. Наименьшее поступление в почву пожнивных и корневых остатков было зафиксировано в паровом звене с чистым паром: пар чистый – озимая рожь – просо, в котором их абсолютно-сухая масса в среднем за три года не превысила 13,45 т/га.

Таким образом, из исследуемых звеньев севооборотов лучшие показатели по количеству поступающей в почву массы пожнивных и корневых остатков обеспечило звено с многолетними травами, а также звенья: суданская трава + донник – донник – просо; пар занятый (суданская трава) – яровая пшеница – просо. Паровое звено с чистым паром из-за отсутствия возделывания культуры в паровом поле имело самые низкие показатели пополнения органики за счет этих видов растительных остатков.

Поступление растительного вещества в почву в различных звеньях севооборотов
Intake of plant matter into the soil in various links of crop rotation

Вариант	Структура звена севооборота	Абсолютно сухая растительная масса, т/га				
		Растительные остатки		Солома	Сидеральная масса	Всего
		пожнивные	корневые			
1	Пар чистый	–	–	–	–	–
	Озимая рожь	2,45	3,48	6,64	–	12,57
	Просо	1,25	6,27	2,49	–	10,01
	Σ	3,70	9,75	9,13	–	22,58
2	Пар занятый (суданская трава)	2,02	6,15	–	–	8,17
	Яровая пшеница твердая	1,20	5,21	2,04	–	8,45
	Просо	1,32	6,28	2,32	–	9,92
	Σ	4,54	17,64	4,36	–	26,54
3	Суданская трава + донник	1,67	6,56	–	–	8,23
	Донник 2-го года жизни (сидерат)	1,71	4,90	–	3,74	10,35
	Просо	1,29	6,40	2,15	–	9,84
	Σ	4,67	17,86	2,15	3,74	28,42
4	Кукуруза на зерно	3,12	1,50	6,06	–	10,68
	Яровая пшеница мягкая	0,64	3,55	1,67	–	5,86
	Гречиха	1,07	5,81	2,64	–	9,52
	Σ	4,83	10,86	10,37	–	26,06
5	Ячмень на зерно + донник	0,65	4,53	–	–	5,18
	Донник 2-го года жизни (сидерат)	1,85	5,10	–	3,81	10,76
	Просо	1,35	4,58	2,20	–	8,13
	Σ	3,85	14,21	2,20	3,81	24,07
6	Ячмень + горох	1,75	4,88	–	–	6,63
	Яровая пшеница мягкая	0,58	3,85	1,56	–	5,99
	Просо	1,30	5,30	2,43	–	9,03
	Σ	3,63	14,03	3,99	–	21,65
7	Ячмень + многолетние травы	1,32	3,71	–	–	5,03
	Многолетние травы 2-го года жизни	3,21	6,63	–	–	9,84
	Многолетние травы 3-го года жизни	3,34	6,70	–	–	10,04
	Σ	7,87	17,04	–	–	24,91

Дополнительным источником поступления органики в почву является использование сидеральной массы, малоценных видов побочной продукции, листостебельной массы подсолнечника и кукурузы, выращиваемых на зерно. В изучаемых звеньях севооборотов с этой целью нами использовалась солома озимой ржи, яровой пшеницы, проса, гречихи, а также сухая листостебельная масса кукурузы.

Наибольшее поступление в почву абсолютно сухой массы соломы обеспечила озимая рожь – 6,64 т/га, минимальное ее количество поступило при выращивании яровой пшеницы твердой – 2,04 т/га и яровой пшеницы мягкой 1,56–1,67 т/га. Незначительно уступала озимой ржи по приходу растительного вещества кукуруза – на 0,58 т/га.

Использование зеленой массы донника второго года жизни в качестве сидеральной массы в третьем и пятом вариантах опыта позволило иметь дополнительное поступление в почву 3,74–3,81 т/га абсолютно-сухой, богатой белком растительной массы. Выращивание сидератов является одним из менее затратных и достаточно эффективных приемов стабилизации режима органического вещества в почве. Однако в условиях дефицита влаги выращивать после них в одном вегетационном периоде другие культуры проблематично, так как при незначительных летних осадках запасов почвенной влаги для вегетации второй культуры, как правило, не хватает, поэтому отсутствие продукции в год выращивания сидератов является существенным экономическим фактором, ограничивающим их применение в условиях засушливой степи.

По совокупной растительной массе, обеспечивающей поступление органического вещества в почву, лучшим оказалось звено севооборота: суданская трава + донник – донник – просо (вариант № 3) – 28,42 т/га абсолютно-сухой массы. Незначительно уступали ему по этому показателю паровое звено с занятым суданской травой паром (вариант № 2) и пропашное звено: кукуруза – яровая пшеница – гречиха (вариант № 4), соответственно на 6,6 и 8,3 %. В звене с многолетними травами, отличавшимся наибольшим в опыте количеством пожнивных и корневых остатков, другие виды поступлений в почву растительного вещества отсутствовали, и оно уступало лучшему варианту опыта на 3,5 т/га.

Наименьшим количеством оставляемого на поле растительного вещества характеризовались звенья севооборотов: паровое (пар чистый – озимая рожь – просо (вариант № 1)) – 22,58 т/га и зерновое (ячмень + горох – яровая пшеница – просо (вариант № 6)) – 21,65 т/га. Это объясняется наличием чистого пара в паровом звене и отсутствием побочной продукции у злакобобовой смеси на зеленый корм, в зерновом звене.

Оценка влияния звеньев севооборота на режим органического вещества почвы нами была проведена на основании расчетов баланса гумуса. Она показала, что во всех звеньях, кроме парового с чистым паром, обеспечивался положительный баланс гумуса. Это свидетельствует о том, что объем растительного вещества, поступающего в почву в виде корневых и пожнивных остатков, сидеральной массы или соломы, в

большинстве случаев достаточен для образования гумуса в количестве, обеспечивающем его положительный баланс. Наибольшее в опыте увеличение валового запаса гумуса отмечалось в звене с многолетними травами – 1,31 т/га в год, в котором значительное количество пожнивных и корневых остатков обеспечило в условиях степной зоны образование гумуса в объеме, превышающем его расход в 2,29 раза (табл. 3).

Хорошее гумусообразование обеспечило также и другое травяное звено: суданская трава + донник – донник – просо (вариант № 3). По величине баланса гумуса оно уступало лучшему варианту лишь на 37,6 %. Существенное влияние на объем гумификации в этом звене оказывало использование донника в качестве сидерата, а также значительный объем корневых и пожнивных остатков суданской травы и соломы проса. Замена суданской травы на ячмень сократила новообразование гумуса в 1,22 раза.

Среднее в опыте значение положительного баланса гумуса 0,65 т/га в год отмечалось в пропашном звене: кукуруза на зерно – яровая пшеница – гречиха. Кукуруза относится к группе сельскохозяйственных культур интенсивного типа, характеризующихся значительным выносом элементов питания из почвы. Вместе с тем, при выращивании ее на зерно в качестве дополнительного источника растительного вещества для воспроизводства гумуса имеется возможность использовать сухую листостебельную массу, в то время как при производстве силоса на поле остаются только пожнивные и корневые остатки.

В паровых полях в результате интенсивной обработки почвы отмечается высокая минерализация гумуса. Так, в степной зоне Южного Урала объем минерализации гумуса в чистом паре в зависимости от систем обработки почвы варьирует от 1,7 до 3,4 т/га в год [15]. При этом, отсутствуют поступления в почву растительного вещества, способные восполнить потери гумуса. Продукты минерализации гумуса используются культурами, главным образом, только на следующий год, и значительная их часть непродуктивно теряется из почвы в атмосферу, либо вымывается водой. По данным В.В. Чибиса, в условиях Омской области шестипольный зернотравяной севооборот (50 % люцерны) по количеству новообразованного гумуса на 4,24 т/га превышал пятипольный зернопаровой севооборот (20 % пар) [7]. Это подтверждает важную роль многолетних трав в стабилизации гумусного состояния почв.

Баланс гумуса в звеньях севооборотов
Humus balance in crop rotation links

Номер варианта опыта	Структура звена севооборота	Расход гумуса, т/га	Новообразование гумуса, т/га				Баланс гумуса, т/га (+/-)	
			Всего	В том числе образовано			в звене	в расчете на 1 год
				из соломы	пожнивных и корневых остатков	сидеральной массы		
1	Чистый пар – озимая рожь – просо	4,97	4,89	2,60	2,29	–	–0,08	–0,03
2	Пар занятый (суданская трава) – яровая пшеница твердая – просо	4,62	5,52	1,25	4,27	–	0,90	0,30
3	Суданская трава + донник – донник 2-го года жизни – просо	4,02	6,47	0,68	4,72	1,07	2,45	0,82
4	Кукуруза на зерно – яровая пшеница мягкая – гречиха	4,41	6,36	2,93	3,43	–	1,95	0,65
5	Ячмень + донник – донник 2-го года жизни – просо	3,87	5,30	0,71	3,47	1,12	1,43	0,48
6	Ячмень + горох – яровая пшеница мягкая – просо	4,17	4,46	1,13	3,33	–	0,29	0,10
7	Ячмень + многолетние травы – многолетние травы 2-го года жизни – многолетние травы 3-го года жизни	3,04	6,97	–	6,97	–	3,93	1,31

В паровом звене с чистым паром отмечался отрицательный баланс гумуса. Даже дополнительное использование соломы обеих зерновых культур не позволило компенсировать повышенную при паровании минерализацию гумуса. Проблему дегумификации при использовании чистого пара способен решить занятый пар. Возделывание парозанимающей культуры позволяет снизить в паровом поле непродуктивную минерализацию гумуса и обеспечивает в год парования поступление в почву растительных остатков, либо сидеральной массы. Исследования в звене севооборота с паром, занятым суданской травой на зеленый корм показали, что дополнительная растительная масса в виде пожнивных и корневых остатков суданской травы обеспечила положительный баланс гумуса в размере 0,30 т/га в год. Но и в этом случае новообразование гумуса компенсирует его потери лишь с незначительным превышением. В связи с этим, по нашему мнению, целесообразным является внесение под пар навоза в норме не

менее 20 т/га. Это позволяет ощутимо увеличить валовый запас гумуса в почве и дает возможность использовать при необходимости часть побочной продукции на нужды животноводства.

Важным критерием агропроизводственной эффективности севооборотов и их звеньев является их хозяйственная оценка [16]. Самую высокую продуктивность в опыте обеспечило пропашное звено (вариант № 4), в котором было получено максимальное количество сухого вещества 14,18 т/га и выход кормовых единиц 11,03 т/га (табл. 4). Достаточно высокий выход кормовых единиц обеспечили также паровое звено с паром занятым (вариант № 2) – 8,9 т/га, травяное звено (вариант № 7) – 8,14 т/га и зерновое звено: ячмень + горох – яровая пшеница – просо (вариант № 6) – 8,07 т/га. Звено с паром, занятым суданской травой, имело более высокую продуктивность, чем третье звено, где первой культурой возделывалась смесь суданской травы с донником. В то же время шестое

звено (ячмень + горох – яровая пшеница мягкая – просо) имело более высокие показатели продуктивности, чем пятое (ячмень + донник – донник – просо), выход кормовых единиц в нем превышал на 10,4 %, а выход кормопротеиновых единиц – на 2,3 %.

Урожай зерна одним из высоких отмечался в первом звене с чистым паром. Однако оно уступало по продуктивности пропашному звену и звену с занятым паром, в связи с отсутствием

продукции в год парования, выход кормопротеиновых единиц здесь был самым низким – 6,87 т/га.

Посевы ячменя и многолетних трав в травяном звене обеспечили наибольший валовый выход кормопротеиновых единиц – 11,16 т/га в среднем за три года, обеспечивая при этом самый высокий показатель бездефицитного баланса гумуса за счет новообразований из пожнивных и корневых остатков.

Таблица 4

Продуктивность звеньев севооборотов
Productivity of crop rotation links

Вариант	Вид продукции	Валовый выход сухого вещества, т/га	Валовый выход, т/га		
			Кормовых единиц	Переваримого протеина	Кормопротеиновых единиц
1	Зерно	3,66	4,41	0,39	4,21
	Солома	9,13	3,31	0,20	2,66
	Всего	12,79	7,72	0,59	6,87
2	Зерно	2,60	3,21	0,32	3,24
	Солома	4,36	1,73	0,11	1,45
	Зеленая масса	5,46	3,96	0,37	3,86
	Всего	12,42	8,90	0,80	8,55
3	Зерно	1,43	1,59	0,23	1,46
	Солома	2,15	1,08	0,07	0,91
	Зеленая масса	6,05	4,42	0,65	5,48
	Всего	9,63	7,09	0,95	7,85
4	Зерно	3,81	5,77	0,40	4,98
	Солома	10,37	5,26	0,36	4,23
	Всего	14,18	11,03	0,76	9,21
5	Зерно	2,48	2,94	0,24	2,71
	Солома	2,20	1,03	0,08	0,84
	Зеленая масса	4,46	3,26	0,70	5,21
	Всего	9,14	7,23	1,02	8,76
6	Зерно	2,22	2,69	0,25	2,58
	Солома	3,99	1,70	0,10	1,41
	Зеленая масса	5,70	3,68	0,62	4,98
	Всего	11,91	8,07	0,97	8,97
7	Зерно	1,33	1,69	0,14	1,56
	Зеленая масса	9,57	6,45	1,27	9,63
	Всего	10,90	8,14	1,41	11,16

Для достижения оптимального гумусного состояния агроценозов степной зоны, необходимо интегрировать в структуру полевых севооборотов кормовые травы и сидеральные культуры. В условиях ограниченного применения навоза, как основного органического удобрения, вместо чистого пара рекомендуется использовать заня-

тый пар. Исследования показали, что помимо пожнивных и корневых остатков, являющихся основными источниками растительного вещества для гумусообразования в агроэкосистемах, в качестве дополнительного его ресурса целесообразно более широко использовать побочную продукцию растениеводства. Это позволит

расширить спектр возможностей для управления плодородием почвы. Комплексное применение разнообразных комбинаций культур в севооборотах и диверсифицированные подходы к их конструированию способствует не только повышению продуктивности сельскохозяйственных культур, но и значительно увеличивает потенциал для воспроизводства почвенного плодородия. Таким образом оптимизация структуры севооборотов с учетом вышеуказанных рекомендаций является ключевым фактором в управлении гумусным состоянием почв степной зоны, что в свою очередь способствует устойчивому развитию аграрного производства и сохранению экологического равновесия агроландшафтов.

Заключение. Изучаемые в опыте культуры значительно различались по количеству растительных и корневых остатков, обеспечивающих поступление органического вещества в почву. Наибольшее количество совокупной абсолютно-сухой растительной массы, оставленной на поле после уборки урожая, обеспечили озимая рожь – 12,57 т/га; кукуруза на зерно – 10,68; донник на сидераты – 10,35–10,76; многолетние травы – 10,04 т/га.

В составе звеньев севооборотов наибольшая масса пожнивных и корневых остатков была получена в звеньях, включающих травы: ячмень – многолетние травы – многолетние травы (24,91 т/га); суданская трава + донник – донник 2 года жизни – просо (22,53 т/га); пар занятый суданской травой – яровая пшеница – просо (22,18 т/га). Эти же звенья обеспечивали и наибольший совокупный выход растительных остатков всех видов.

Пропашное звено (кукуруза на зерно – яровая пшеница – гречиха) благодаря внесению в почву листостебельной массы кукурузы также имеет высокий показатель выхода растительных остатков (26,06 т/га), однако при выращивании кукурузы на силос эффективность звена по этому показателю была бы ниже на 41 %.

Меньшим в опыте поступлением в почву растительного вещества характеризовались паровое звено севооборота с чистым паром и зерновое звено. Увеличить этот показатель на 18–20 % позволяет замена чистого пара занятым и включение в состав зернового звена кукурузы.

Сравнительная оценка продуктивности культур и звеньев севооборотов показала, что наиболее высокий выход кормопротеиновых единиц обеспечило звено севооборота с многолетними травами (11,16 т/га), пропашное звено (9,21 т/га) и зерновое звено: ячмень + горох – яровая пшеница – просо (8,97 т/га). В пропашном звене, а также в звене с занятым паром получен самый высокий в опыте валовой выход кормовых единиц – 11,03 и 8,90 т/га соответственно.

Введение в севооборот многолетних трав и донника имело важное биологическое значение и позволило в опыте увеличить положительный баланс гумуса до 0,88–1,02 т/га в год. В паровом звене севооборота с чистым паром, даже при условии использования всей массы соломы зерновых культур в качестве мульчи, отмечается, хотя и незначительный, отрицательный баланс гумуса. В этом случае под чистый пар требуется дополнительно вносить навоз в норме не менее 20 т/га, либо использовать пар, занятый сидеральной культурой.

Список источников

1. Лыков А.М. Органическое вещество почвы и удобрений как фактор экологизации // Аграрный эксперт. 2008. № 8. С. 44.
2. Волошенкова Т.В., Гаджимаров Р.Г., Епифанова Р.Ф., и др. No-till и защита почв от дефляции // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5 (14). С. 34–41. DOI: 10.25930/2687-1254/004.5.14.2021. EDN: BQRUCH.
3. Балакай Н.И. Влияние водной эрозии на плодородие почв // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 1 (57). С. 28–33.
4. Чуб М.П., Медведев И.Ф., Потатурина Н.В., и др. Современное состояние плодородия почв Саратовской области // Агрохимия. 2003. № 4. С. 5–13.
5. Климентьев А.И., Ложкин И.В., Поляков Д.Г. Агрогенная трансформация гумусного состояния зональных типов почв степного Оренбуржья. В сб.: VII Международный симпозиум «Степи Северной Евразии». Оренбург, 2015. С. 484–487.

6. Дудкина Т.А. Поступление в почву органического вещества в севооборотах с разным соотношением групп культур // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 8. С 38–41.
7. Чибис В.В. Влияние чередования культур на накопление органического вещества в почве в условиях Омской области // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2021. № 1. С. 4.
8. Ахметзянов М.Р., Таланов И.П. Сравнительный анализ продуктивности севооборотов в зависимости от внесения минеральных удобрений, соломы и промежуточного сидерата // Плодородие. 2020. № 3. С. 34–37. DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.11. EDN: SRXITI.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011. 350 с.
10. Станков Н.З. Корневая система растений. М.: Колос, 1964. 191 с.
11. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: учение о почвенном грунте. М: ЕЕ Медиа, 2012. 290 с.
12. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Ленинград: Наука, 1980. 287 с.
13. Васильева Т.Н., Нестеренко Ю.М., Бакиров Ф.Г., и др. Биопродуктивность естественных и агроценозов Оренбуржья // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. № 1. С. 6. EDN: YLLZFX.
14. Продуктивность травяных экосистем: справочник / отв. редактор В.И. Кирюшин. М.: МБА, 2020. 100 с.
15. Скороходов В.Ю., Максютлов Н.А., Зоров А.А., и др. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала // Плодородие. 2021. № 6 (123). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06. EDN: KOXYJB.
16. Халин А.В. Влияние культур и агротехнологий на продуктивность звеньев севооборотов в условиях степной зоны Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 23–26.

References

1. Lykov AM. Organicheskoye veshchestvo pochvy i udobreniy kak faktor ekologizatsii. *Agrarnyy ekspert*. 2008;8:44. (In Russ.).
2. Voloshenkova TV, Gadzhumarov RG, Yepifanova RF, et al. No-till and soil protection from wind erosion. *Agricultural journal*. 2021;(5):34-41. (In Russ.). DOI: 10.25930/2687-1254/004.5.14.2021. EDN: BQRUCH.
3. Balakay NI. Vliyaniye vodnoy erozii na plodorodiye pochv. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2015;(1):28-33. (In Russ.).
4. Chub MP, Medvedev IF, Potaturina NV, et al. Actual state of soil fertility in Saratov oblast. *Agricultural chemistry*. 2003;4:5-13. (In Russ.).
5. Kliment'yev AI, Lozhkin IV, Polyakov DG. Agrogenic transformation of humus condition of steppe soils types in Orenburg region. In: *VII Mezhdunarodnyy simpozium "Steppes of Northern Eurasia"*. Orenburg; 2015. P. 484–487. (In Russ.). EDN: UGQCWD.
6. Dudkina TA. Incorporation of organic matter into the soil in crop rotations with different ratios of crop groups. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;8:38-41. (In Russ.).
7. Chibis VV. The influence of crop rotation on the accumulation of organic matter in the soil in the conditions of the Omsk region. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU*. 2021;1:4. (In Russ.).
8. Akhmetzyanov MR, Talanov IP. Comparative analysis of crop circuits depending on the introduction of mineral fertilizers, straw and intermediate soderate. *Plodorodie*. 2020;3:34-37. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.11. EDN: SRXITI.
9. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta*. Moscow: Al'yans; 2011. 350 p. (In Russ.).
10. Stankov NZ. *Kornevaya sistema rasteniy*. Moscow: Kolos; 1964. 191 p. (In Russ.).

11. Tyurin IV. *Organicheskoye veshchestvo pochv i yego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii: ucheniye o pochvennom grunte*. Moscow: EE Media; 2012. 290 p. (In Russ.).
12. Aleksandrova LN. *Organicheskoye veshchestvo pochvy i protsessy yego transformatsii*. Leningrad: Nauka; 1980. 287 p. (In Russ.).
13. Vasil'yeva TN, Nesterenko YUM, Bakirov FG, et al. Bioproductivity of natural and agrosorship of Orenburghy. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2017;1:7. (In Russ.). EDN: YLLZFX.
14. Kiryushin VI, editor. *Produktivnost' travyanykh ekosistem: spravochnik*. Moscow; 2020. 100 p. (In Russ.).
15. Skorokhodov VYU, Maksyutov NA, Zorov AA, et al. Sokhraneniye plodorodiya i zashchita pochvy ot erozii v stepnoy zone Yuzhnogo Urala. *Plodorodiye*. 2021;6:22-25. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06. EDN: KOXYJB.
16. Khalin AV. Vliyaniye kul'tur i agrotekhnologiy na produktivnost' zven'yev sevooborotov v usloviyakh stepnoy zony Yuzhnogo Urala. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;79(5):23-26. (In Russ.).

Статья принята к публикации 16.09.2025 / The article accepted for publication 16.09.2025.

Информация об авторах:

Александр Васильевич Халин¹, старший научный сотрудник отдела геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук

Станислав Анатольевич Федюнин², старший научный сотрудник отдела геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Максим Юрьевич Нестеренко³, заведующий отделом геоэкологии, доктор геолого-минералогических наук, доцент

Денис Анатольевич Гринцов⁴, аспирант отдела геоэкологии

Information about the authors:

Alexander Vasilievich Khalin¹, Senior Researcher, Department of Geoecology, Candidate of Agricultural Sciences

Stanislav Anatolyevich Fedyunin², Senior Researcher, Department of Geoecology, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

Maxim Yuryevich Nesterenko³, Head of the Department of Geoecology, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent

Denis Anatolyevich Grintsov⁴, Postgraduate student at the Department of Geoecology

