

Последствия отчуждения соломы при возделывании пшеницы и ячменя: обзор литературы

Д.Д. Таркалсон, Б. Браун, Г. Кок и Д.Л. Бьорнберг

Рациональность отчуждения соломы пшеницы и ячменя вызывает ряд вопросов, связанных как с плодородием почвы, так и с круговоротом элементов питания. Недавно проведенный обзор публикаций показал, что отчуждение соломы зерновых колосовых культур, возделываемых при орошении, не оказывает негативного влияния на содержание органического углерода в почве ($C_{орг.}$). В условиях неорошаемого земледелия результаты были более вариабельны и зависели от продуктивности культур. При отчуждении соломы из почвы выносятся большое количество элементов питания, что усиливает истощение почвенного плодородия и увеличивает расходы, связанные с возмещением выноса элементов питания из почвы за счет внесения удобрений.

Вопрос о влиянии отчуждения соломы зерновых колосовых культур на плодородие почвы и круговорот элементов питания остается весьма актуальным. Важно также понимать, как использование соломы на подстилку и корм животным, а также при производстве биоэтанола влияет на стоимость удобрений и топлива.

Солома таких зерновых колосовых культур, как пшеница и ячмень служит источником целлюлозы при производстве биотоплива. В 2001-2006 гг. объем надземной биомассы пшеницы и ячменя в США оценивался в среднем в 64.3 млн. т/год (абсолютно сухое вещество). В 2000 г. суммарная надземная биомасса пшеницы и ячменя в США составила лишь 25% от надземной биомассы кукурузы¹.



Последствия отчуждения соломы зависят от орошения и других элементов агротехнологии.

Поступление растительных остатков в почву имеет большое значение, поскольку это основной источник органического углерода. Поступление органического углерода улучшает такие показатели почвенного плодородия, как структура, плотность и водоудерживающая способность почвы, скорость инфильтрации влаги, а также микробиологическая активность почвы. Надземные растительные остатки выполняют

1 - Листья, стебель с метелкой, обертки початков (здесь и далее – прим. переводчика).

и ряд других важных функций. Они предотвращают водную и ветровую эрозию, поскольку играют роль физического барьера между почвой и атмосферой. Кроме того, растительные остатки снижают эвапотранспирацию, улучшают инфильтрацию влаги в почве, а также служат источником элементов питания.

Основное внимание в данном обзоре уделено следующим аспектам: влиянию отчуждения соломы на содержание $C_{орг.}$ в почве и на обеспеченность почвы элементами питания растений. Для ответа на вопрос, как изменяется содержание $C_{орг.}$ в почве при внесении и отчуждении соломы зерновых колосовых культур были проанализированы опубликованные опытные данные.

Орошаемое земледелие

В течение 11-ти летнего периода исследований, проводившихся Бордовским с соавт. (Bordovsky et al., 1999) в штате Техас (США) в условиях орошения, определялось содержание $C_{орг.}$ в слое почвы 0-8 см под бессменной пшеницей, возделываемой как при минимальной, так и при традиционной обработке почвы, а также в севообороте пшеница – сорго (пожнивная культура)². Согласно полученным данным, содержание $C_{орг.}$ в почве повышалось вне зависимости от того, оставались или отчуждались растительные остатки. Однако в том случае, когда солома оставлялась в поле, содержание $C_{орг.}$ в почве повышалось сильнее. При обеих системах обработки почвы средняя урожайность зерна пшеницы и надземной биомассы растений за указанный период были на 6% выше при поступлении растительных остатков в почву, чем при их отчуждении.

Трехлетние полевые опыты, проведенные Бахрани с соавт. (Bahrani et al., 2002) в Иране в условиях полива по бороздам, выявили тенденцию повышения содержания $C_{орг.}$ в слое почвы 0-30 см при заделке растительных остатков в почву. Однако даже в том случае, когда растительные остатки отчуждались, содержание $C_{орг.}$ в почве в течение указанного периода не снижалось. Средняя урожайность зерна

2 - Минимальная обработка почвы.

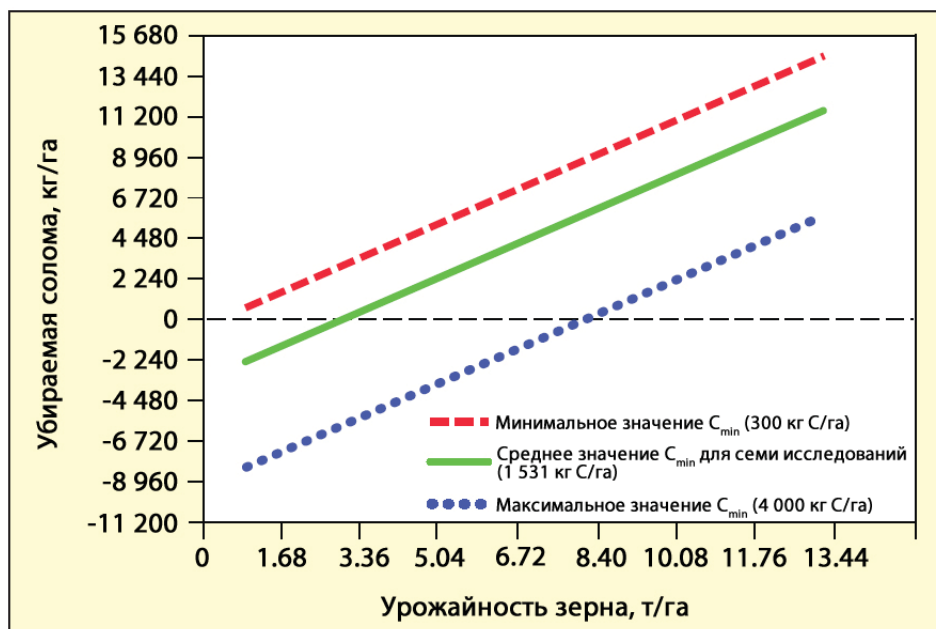


Рис. 1. Количество пшеничной соломы, которое может ежегодно отчуждаться при разных уровнях урожайности зерна при условии сохранения содержания $C_{орг}$ в почве (исходя из величины $C_{мин}$). Сплошная линия отображает усредненные результаты 7-ми исследований. Пунктирные линии отображают верхнюю и нижнюю границы – построены исходя из данных, которые не использовались при усреднении. Авторы данной статьи готовы предоставить информацию по всем использованным источникам.

и соломы пшеницы были значительно выше в тех вариантах опыта, где растительные остатки отчуждались или сжигались по сравнению с вариантами с заделкой растительных остатков в почву.

За 14 лет исследований, проведенных в штате Техас (США) при поливе по бороздам, Андерсандер и Рейгер (Undersander, Reiger, 1985) не выявили различий в содержании $C_{орг}$ в почве между вариантами опыта с разным использованием растительных остатков³. Было установлено, что за период с 1967 г. по 1980 г. среднее по всем вариантам содержание $C_{орг}$ в слое почвы 0-15 см повысилось с 0.76 до 1.24%, а в слое почвы 15-30 см осталось на уровне 0.67%. За указанный период наблюдений не было выявлено различий в урожайности зерна пшеницы (в среднем 3.36 т/га) и надземной биомассы растений (в среднем 4.15 т/га) между вариантами опыта.

По окончании 6-ти летнего периода исследований, проводившихся в Новой Зеландии в условиях полива дождеванием, Куртин и Фрейзер (Curtin, Fraser, 2003) также не наблюдали различий в содержании $C_{орг}$ в почве между вариантами опыта с разным использованием растительных остатков. За указанный период не было выявлено изменений в урожайности зерна и соломы зерновых колосовых культур⁴ по вариантам опыта за исключением одного года, когда заделка соломы в почву привела к снижению урожайности зерна.

В течение 5-ти лет полевых опытов⁵ с поливом напуском по полосам Фоллетт с соавт. (Follett et al., 2005)

3 - Заделывались в почву, отчуждались и сжигались.

4 - Пшеница, ячмень, овес.

5 - Севообороты: озимая пшеница – кукуруза, озимая пшеница – фасоль (кукуруза и фасоль – пожнивные культуры).

наблюдали повышение содержания $C_{орг}$ в слое почвы 0-30 см при всех изученных способах использования соломы, если в почву вносилось азотное удобрение. Содержание $C_{орг}$ в почве повышалось сильнее при поступлении растительных остатков в почву, чем при их отчуждении или сжигании. Следует также отметить, что содержание $C_{орг}$ в почве росло сильнее при оставлении растительных остатков на поверхности почвы (нулевая обработка) по сравнению с их заделкой в почву (традиционная вспашка) и сжиганием. Средняя урожайность зерна пшеницы была значительно выше при сжигании растительных остатков с последующей заделкой (6.52 т/га), чем в варианте с заделкой растительных остатков в почву без сжигания (5.71 т/га).

Следует отметить, что в вышеуказанном исследовании содержание $C_{орг}$ в почве поддерживалось и даже повышалось при отчуждении или сжигании растительных остатков. По-видимому, это связано с поступлением органического вещества за счет отмирания корневой системы растений и микробной биомассы. Как показывают исследования, подземная биомасса растений способствует накоплению $C_{орг}$ в почве. По оценкам ряда исследователей, в подземной биомассе растений сосредоточено 25-50% углерода.

Анализ подземной биомассы растений имеет свои сложности из-за проблем, связанных с отбором образцов, а также трудностей при оценке поступления углерода из корневой системы растений и из корневых выделений. Кроме того, из-за невозможности полного удаления надземной биомассы растений при проведении полевых операций часть послеуборочных остатков все-таки остается в поле. Эти растительные остатки никак не учитываются, и их количество может варьировать в широких пределах.

Минимальное ежегодное поступление углерода с надземной биомассой растений, необходимое для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве

Минимальное поступление углерода с надземной биомассой пшеницы ($C_{мин}$), необходимое для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве, было определено для условий неорошаемого земледелия, однако данная информация может быть полезна сельхозпроизводителям при принятии решений по использованию соломы и в условиях орошения.

На основе литературных данных Джонсон с соавт. (Johnson et al., 2006) рассчитали значения $C_{мин}$



Рациональное использование соломы приобретает все большее значение.

для пшеницы, выращиваемой в разных севооборотах (табл. 1). Большая часть полевых опытов была проведена в неорошаемых условиях, то есть при варьировании влагообеспеченности растений. При орошении продуктивность растений в целом более высока и стабильна, поэтому для орошаемых систем земледелия приведенные величины C_{min} могут быть использованы только как ориентировочные.

Мы взяли за основу значения C_{min} , полученные Джонсоном с соавт. (Johnson et al., 2006), чтобы рассчитать количество растительных остатков пшеницы, которое можно отчуждать при разных уровнях урожайности зерна при условии поддержания содержания $C_{орг}$ в почве (рис. 1). Средняя линия на графике отображает усредненные данные 7-ми исследований, согласно которым для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве ежегодное поступление углерода должно составлять 1531 кг С/га. Данная линия показывает, что для сохранения содержания $C_{орг}$ в почве солома не должна отчуждаться, если урожайность зерна составляет менее 3,09 т/га. При урожайности зерна, равной, например, 6,72 т/га, запасы $C_{орг}$ в почве не истощаются при отчуждении по-

рядка 3920 кг соломы/га. Пунктирные линии отражают верхнюю и нижнюю границы, исходя из опубликованных данных. Авторы данной статьи готовы предоставить более подробную информацию по проведенным расчетам и использованной методологии.

Вынос элементов питания с соломой

Солома пшеницы и ячменя содержит важнейшие элементы питания растений, поэтому отчуждение соломы с поля усиливает истощение почвенного плодородия и вызывает негативные экономические последствия. В табл. 2 дается среднее содержание азота, фосфора и калия в пшеничной и ячменной соломе, исходя из ряда опубликованных данных.

Учитывая среднее содержание элементов питания в соломе и диапазон цен на минеральные удобрения, в пересчете на доллары США удобрительная ценность пшеничной соломы составляет 7.77-24.31 долл./т, а ячменной – 8.64-27.57 долл./т (табл. 3).

В системах земледелия, где солома отчуждается, происходит более сильное истощение почвенных запасов элементов питания растений, чем в системах земледелия, где убирается только зерно. В соломе содержится меньше азота и фосфора и больше – калия по сравнению с зерном. В среднем соотношение между содержанием основных элементов питания в соломе и зерне пшеницы составляет 0.47, 0.26 и 4.12, а в соломе и зерне ячменя – 0.49, 0.35 и 5.04 для азота, фосфора и калия соответственно. Истощение запасов элементов питания в почве (особенно калия) усиливается, когда с поля убираются и зерно, и солома.

Удобрительная ценность соломы

При оценке реальной ценности соломы должна учитываться потребность почвы во внесении элементов питания на перспективу. Например, почвы с

Таблица 1. Ежегодное поступление пшеничной соломы и непосредственно углерода, необходимое для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве: результаты опубликованных исследований (адаптировано из Johnson et al., 2006).

Регион	Продолжительность опытов, лет	Способ обработки почвы	Севооборот	Орошение	C_{min}	$Солома_{min}$
					-- кг/га/год --	
Монтана	6	Плоскорезная обработка (9-12 см)	Пшеница	Б/О	300	750
Вашингтон	30	Отвальная вспашка	Пар – пшеница	Б/О	4000	10000
Небраска	22	Отвальная вспашка	Пар – пшеница	Б/О	899	2248
Колорадо	84	Отвальная вспашка	Пар – пшеница	Б/О	1100	2750
Вашингтон	23	Отвальная вспашка	Пар – пшеница	Б/О	1200	3000
Мексика	5	Отвальная вспашка	Пшеница – кукуруза	О	1449	3623
Швеция	31	Ручная обработка	Пшеница – ячмень	Б/О	1500	3750
Вашингтон	30	Отвальная вспашка	Пшеница	Б/О	1999	4998
Канзас	42	Отвальная вспашка	Пшеница	Б/О	1999	4998
Орегон	45	Отвальная вспашка	Пар – пшеница	Б/О	2100	5250

О – орошение, Б/О – без орошения.

C_{min} – минимальное ежегодное поступление углерода с надземной биомассой растений (за минусом углерода, содержащегося в зерне), необходимое для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве. При расчетах учитывались надземные послеуборочные остатки и не учитывались подземные корневые остатки. Данные получены в научных исследованиях.

$Солома_{min}$ – минимальное ежегодное поступление надземной биомассы (за вычетом биомассы зерна), необходимое для поддержания содержания $C_{орг}$ в почве. $Солома_{min} = C_{min}/0.4$.

Таблица 2. Среднее содержание элементов питания в соломе пшеницы и ячменя (использовались разные источники).

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- кг/т -----		
Пшеница	8.1	1.2	10.3
Ячмень	6.4	0.8	16.5

Таблица 3. Экономическая оценка удобрительной ценности соломы пшеницы и ячменя с учетом минимальных и максимальных цен на минеральные удобрения в период 2001-2008 гг.

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всего
----- ам. долл./кг -----				
Низкие цены	0.49	0.55	0.31	
----- ам. долл./т -----				
Пшеница	3.92	0.66	3.17	7.77
Ячмень	3.11	0.44	5.09	8.64
----- ам. долл./кг -----				
Высокие цены	1.39	1.98	1.04	
----- ам. долл./т -----				
Пшеница	11.25	2.38	10.67	24.31
Ячмень	8.88	1.59	17.10	27.57

высокой обеспеченностью обменным калием могут не сразу нуждаться в применении калийных удобрений для возмещения выноса калия с соломой. Однако в долгосрочной перспективе для обеспечения устойчивой урожайности уже потребуются компенсировать вынос калия с соломой за счет внесения калийных удобрений.

Значительно труднее определить ценность соломы по азоту. Когда растительные остатки оставляются в поле, из-за временной иммобилизации азота микроорганизмами рекомендуется дополнительно вносить азотные удобрения. Применение азотных удобрений может способствовать увеличению скорости накопления C_{орг.} в почве. Однако при отчуждении соломы под последующую культуру севооборота может потребоваться меньшее внесение азота до установления нового равновесного состояния органического вещества в почве.

Земельные отношения в сельском хозяйстве часто строятся на основе договоров аренды земли между землевладельцами и арендаторами. Фермеры-арендаторы могут быть более заинтересованы в краткосрочных вложениях, в то время как землевладельцев больше интересует долгосрочный экономический эффект и рациональное использование земель. Обе стороны при принятии решений должны учитывать



При орошении образуется большое количество **соломы**.

важную роль элементов питания в жизни растений.

Многопольные орошаемые севообороты, включающие пшеницу и ячмень, могут отличаться от севооборотов, рассмотренных в данной статье. Например, на Севере Тихоокеанского прибрежного региона США севообороты с зерновыми колосовыми культурами обычно включают люцерну, кукурузу, картофель или сахарную свеклу. Для таких разнообразных орошаемых севооборотов имеется очень мало данных, связанных с поддержанием содержания C_{орг.} в почве.

Заключение

Согласно проанализированным данным, отчуждение соломы зерновых колосовых культур, возделываемых при орошении, не оказывает негативного влияния на содержание C_{орг.} в почве. Однако в условиях неорошаемого земледелия для сохранения содержания C_{орг.} в целом необходимо поступление в почву определенного количества надземных растительных остатков. В условиях высокопродуктивного орошаемого земледелия, по-видимому, формируется достаточное количество подземной растительной биомассы для поддержания или постепенного повышения содержания C_{орг.} в почве. При отчуждении соломы с поля из почвы выносятся значительное количество элементов питания. Для определения реальной ценности соломы сельхозпроизводителям необходимо учитывать затраты на удобрения при последующем возмещении выноса элементов питания из почвы с соломой.

Д-р Таркалсон (e-mail: david.tarkalson@ars.usda.gov) – почвовед-агроном по системам земледелия, а д-р Бьорнберг – сельскохозяйственный инженер, Служба сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США, г. Кимберли, штат Айдахо (США). Д-р Браун – специалист по агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур, Айдахский университет, г. Парма. Д-р Кок – специалист по ресурсосберегающим обработкам почвы, Вашингтонский университет – Айдахский университет, г. Москоу, штат Айдахо.

Литература

- Bahrani, M.J., M. Kheradnam, Y. Emam, H. Ghadiri, and M.T. Assad. 2002. *Exper. Agric.* 38:389-395.
- Bordovsky, D.G., M. Choudhary, and C.J. Gerard. 1999. *Soil Sci.* 164:331-340.
- Curtin, D. and P.M. Fraser. 2003. *Aus. J. Soil Res.* 41:95-106.
- Follett, R.F., J.Z. Castellanos, and E.D. Buenger. 2005. *Soil Tillage Res.* 83:148-158.
- Johnson, J.M.-F., R.R. Allmaras, and D.C. Reicosky. 2006. *Agron. J.* 98:622-636.
- Rasmussen, P.E., R.R. Allmaras, C.R. Rohde, and N.C. Roager, Jr. 1980. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44:596-600.
- Tarkalson, D., B. Brown, H. Kok, and D.L. Bjerneberg. 2009. *Western Nutrient Management Conf. Proc.* 8:32-37.
- Undersander, D.J. and C. Reiger. 1985. *Agron. J.* 77:508-511

Перевод с английского и адаптация: В.В. Носов.