

# Роль органического вещества почвы в получении высоких урожаев и повышении эффективности использования азота и фосфора растениями

Дж.Джонстон

Органическое вещество почвы имеет основополагающее значение в обеспечении растений элементами питания, особенно в условиях постоянного повышения потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур. В этой статье обсуждаются данные о взаимодействии азота и фосфора с органическим веществом почвы, а также роль органического вещества в получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур, полученные в многолетних полевых опытах на Ротамстедской опытной станции.

Первый пример вклада органического вещества (ОВ) почвы в повышение урожайности сельскохозяйственных культур, приведенный в настоящей статье, - это результаты опыта с бессменным ячменем на Ротамстедской опытной станции в Хусфилде. Опыт в Хусфилде был заложен в 1852 г. на тяжелосуглинистой почве, в которую ежегодно вносились минеральные удобрения (NPK) или навоз в дозе 35 т/га. В результате в настоящее время содержание ОВ в варианте с внесением NPK и в варианте с внесением навоза составляет 1.74 и 6.16% соответственно. Начиная с 1968 г., в обоих вариантах опыта ежегодно вносились четыре дозы азотного удобрения (0, 48, 96 и 144 кг N/га). Изменения в урожайности зерна, начиная с середины 70-х годов 20-го века, для трех последовательно выращиваемых сортов ярового ячменя с возрастающей потенциальной урожайностью, показаны на рис. 1. На почве с более низким содержанием ОВ наблюдалась отзывчивость ячменя на азотные удобрения, при этом различия в максимальной урожайности между тремя сортами были невелики в течении трех периодов исследований. На почве с более высоким содержанием ОВ ячмень слабо отзывался на азотные удобрения, но поскольку потенциальная урожайность от сорта к сорту повышалась, их максимальная урожайность также увеличивалась вследствие более высокого содержания ОВ в почве. В настоящее время разница между максимальной урожайностью зерна в двух вариантах опыта превышает 2.5 т/га.

Похожие результаты были получены в длительном

опыте с озимой пшеницей в Брудбалке. В этом опыте начиная с 1843 г. ежегодно вносились минеральные удобрения или навоз в дозе 35 т/га. В результате в настоящее время содержание ОВ в варианте с внесением NPK и в варианте с внесением навоза составляет 1.93 и 4.87% соответственно. В этом опыте сравнивали урожайность зерна при разных дозах азотных удобрений на фоне РК с урожайностью, полученной после внесения одного навоза. До 1967 г. урожайность зерна после внесения навоза часто была немного выше, чем после внесения минеральных удобрений (Garner and Dyke, 1969), но повышение урожайности озимой пшеницы после внесения навоза было меньше, чем для ярового ячменя, возможно потому, что озимая пшеница формирует корневую систему в течение более длительного вегетационного периода. После того как с 1968 года стали выращивать короткостебельные сорта с улучшенным соотношением зерно/солома и более высокой потенциальной урожайностью, большая урожайность была получена после внесения навоза только при дополнительном использовании азотного удобрения в дозе 96 кг N/га. Интересно, что когда сорт Hereward начали выращивать в Брудбалке в 1996 г., внесение дополнительно к навозу азотного удобрения в дозе 96 кг N/га не привело к дальнейшему увеличению урожайности по сравнению с внесением оптимальной дозы минеральных удобрений (Johnston et al., 2009). Начиная с 2005 года было необходимо вносить дополнительно к навозу 144 кг N/га для получения более высокой урожайности, чем при внесении только минеральных удобрений. По-видимому, суммарное количество доступного для растений азота, содержащегося в навозе (35 т/га), и минерализованного азота из накопленного ОВ было недостаточно для получения максимальной урожайности сорта озимой пшеницы с высокой потенциальной урожайностью. Интересно обсудить возможные причины этого.

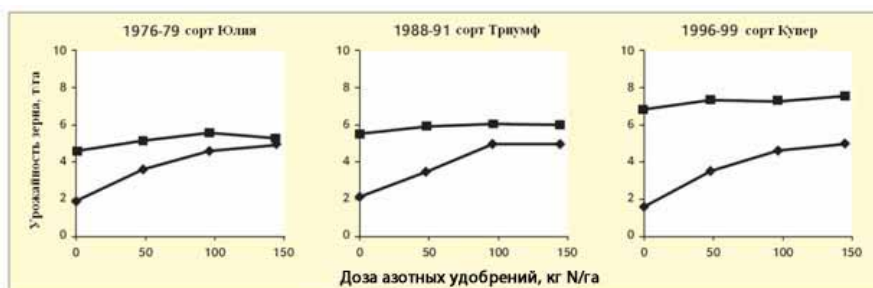
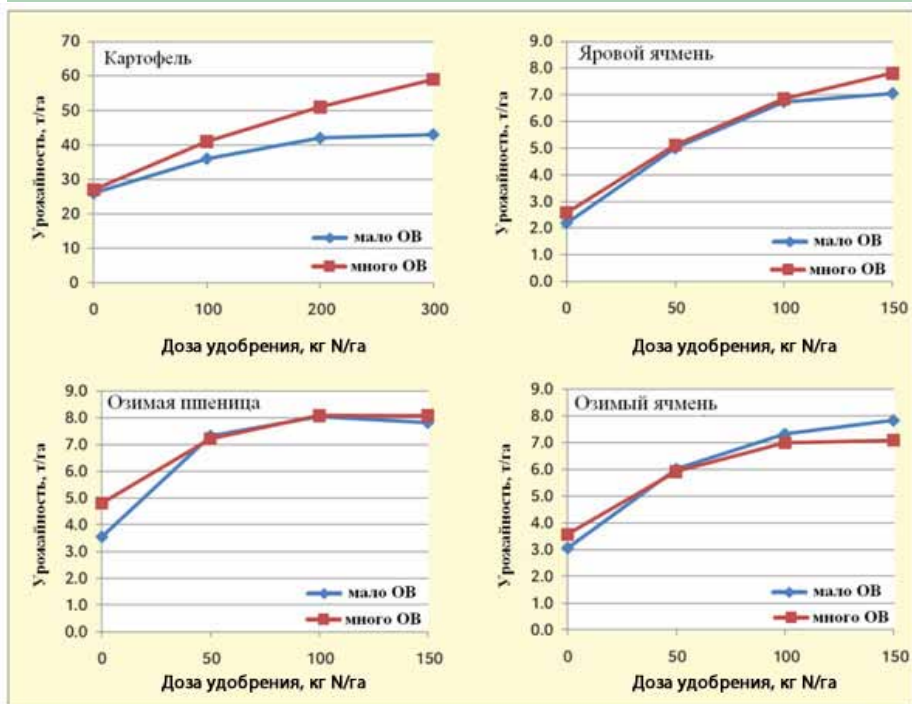


Рис. 1. Отзывчивость трех сортов ярового ячменя с возрастающей потенциальной урожайностью (слева направо) на внесение азотных удобрений в опыте с бессменным ячменем в Хусфилде, Ротамстед. Ячмень выращивали на почвах с двумя уровнями содержания органического вещества -1.74% (ромбы) и 6.16% (квадраты)

## Взаимодействие органического вещества почвы и азота

В настоящее время к проблеме эф-



**Рис 2.** Отзывчивость яровых и озимых культур на азотные удобрения. Культуры выращивались на легкосуглинистой почве с двумя уровнями содержания органического вещества (1.3 и 3.4%).

фективного использования азота в сельском хозяйстве проявляется значительный интерес. Это связано не только с тем, что потери различных форм азота из почвы могут иметь неблагоприятные экологические последствия, но также и с тем, что они приводят к финансовым потерям фермеров. Многочисленные данные подтверждают более эффективное использование азота на почвах, содержащих больше органического вещества и лучшей оструктуренности, что позволяет корням растений охватывать больший объем почвы и более эффективно извлекать элементы питания.

На легкосуглинистой почве с двумя уровнями содержания ОВ в разные годы выращивали картофель, яровой ячмень, озимую пшеницу и озимый ячмень с внесением четырех возрастающих доз азотных удобрений (рис. 2).

Урожайность картофеля и ярового ячменя всегда была выше на почве, содержащей больше ОВ, независимо от дозы азота, и эффективность использования азота из удобрений повышалась с ростом урожайности. Лучшая оструктуренность почвы, содержащей больше ОВ, позволяла корням быстрее развиваться и лучше поглощать элементы питания в большем объеме почвы. Урожайность озимых культур, вегетационный период которых длиннее, чем у яровых, почти не зависела от содержания ОВ при любой дозе азотных удобрений. Возможно, это происходило потому, что озимые культуры, посеянные осенью, имели больше времени для того, чтобы развить хорошую корневую систему и в почве с низким содержанием ОВ.

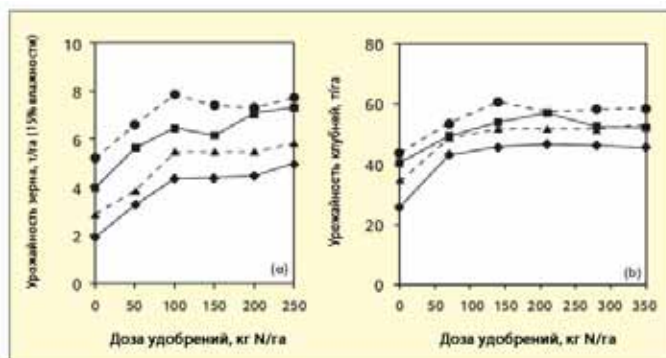
В другом опыте, начиная с 1964 г., на легкосуглинистой почве изучалось влияние различных органических удобрений на содержание ОВ в почве и урожайность возделываемых культур. Схема опыта включала два периода внесения органических удобрений (периоды «применения») и два периода выращивания

«контрольных» культур (Johnston et al., 2009). Ежегодное внесение органических удобрений в соответствующие периоды включало заделку соломы (7.5 т/га на абсолютно сухой вес), внесение навоза (50 т/га на сырой вес), а также выращивание злаково-клеверного травостоя (временное пастбище) и его заделку в качестве «зеленого удобрения» перед посевом «контрольных» культур для оценки влияния дополнительного ОВ, накопленного в течение двух периодов «применения».

В 1986 г. содержание органического углерода в верхнем слое почвы 0-23 см в варианте без внесения органических удобрений было 0.65%, что примерно соответствовало равновесному уровню для данной почвы. Органические удобрения повысили содержание углерода в почве до 0.85% при внесении соломы, до 1.06% при внесении навоза и

до 0.9% после заделки 8-летнего злаково-клеверного травостоя. Урожайность картофеля (в 1988 и 1989 годах) и озимой пшеницы (в 1987 и 1988 годах) была получена в вариантах с внесением шести доз азота и сравнивалась с величинами, полученными в варианте без внесения органических удобрений. (рис. 3). Минимальную урожайность всегда получали на почве с более низким содержанием ОВ, а максимальную – в основном на почвах, распаханых после злаково-клеверного травостоя. Во всех случаях более низкие дозы азотных удобрений требовались для достижения оптимальной урожайности на почве с более высоким содержанием ОВ.

Полученные данные позволяют сделать два интересных вывода. Во-первых, максимальная отзывчивость озимой пшеницы на высокие дозы азотных удобрений наблюдалась в варианте с внесением навоза



**Рис 3.** Отзывчивость озимой пшеницы в 1987–88 годах (а) и картофеля в 1988–89 годах (б) на внесение азотных удобрений на разных фонах органических удобрений (см. текст). Варианты опыта/содержание органического вещества, %: Ромбы – без внесения органических удобрений/0.65%; Треугольники – заделка соломы/0.85%; Квадраты – внесение навоза/1.06%; Круги – заделка злаково-клеверного травостоя/0.9%.

(рис. 3а)—эффект, аналогичный тому, что наблюдался в вышеописанном опыте в Брудбалке, и, возможно, объясняемый той же причиной. Во-вторых, после распашки злаково-клеверного пастбища максимальная урожайность была достигнута в варианте с внесением 100 кг N/га. Возможно, это произошло в результате дополнительного поступления азота в почву в конце вегетационного периода вследствие минерализации азота из остатков травосмеси, заделанных предыдущей осенью. Если этот минерализованный азот находится ниже по профилю почвы, в зоне, где корни активно поглощают элементы питания, то его благоприятное воздействие будет трудно спутать с влиянием азотного удобрения, внесенного на поверхность почвы.

Кроме того, следует отметить еще два момента. Во-первых, хотя максимальная урожайность была получена после распашки злаково-клеверного травостоя, содержать луг в течение трех лет должно быть экономически целесообразно в рамках общего бюджета хозяйства. Во-вторых, постоянный благоприятный эффект давала заделка соломы – один из немногих способов, доступный для большинства фермеров и позволяющий немного увеличить или, по крайней мере, поддержать уровень содержания ОВ в почве, а также, возможно, предотвратить его потери.

### Взаимодействие органического вещества почвы и фосфора

Кроме важной зависимости между содержанием ОВ и отзывчивостью растений на азотные удобрения, существуют не менее важные взаимодействия между ОВ и содержанием доступного для растений фосфора. В опыте на тяжелосуглинистой почве, которая, как известно, трудно поддается обработке, особенно весной, были заложены опытные делянки с двумя уровнями содержания ОВ - 1.5% (пашня) и 2.4% (луг), и 24 уровнями содержания фосфора, определяемого в вытяжке гидрокарбоната натрия по методу Олсена. После 12-летнего подготовительного периода на участках выращивали картофель, сахарную свеклу и яровой ячмень в двух ротациях трехлетнего севооборота. По

полученным данным для каждой культуры строили график для средних за два года значений урожайности в зависимости от содержания доступного фосфора в почве, определенного по методу Олсена. Кривую отзывчивости статистически обрабатывали для определения максимальной урожайности и уровня содержания фосфора в почве, соответствующего 95% от максимальной урожайности (табл. 1).

Урожайность ярового ячменя, соответствующая 95% от максимальной урожайности, была существенно ниже на почве с низким содержанием ОВ, чем на почве с более высоким содержанием ОВ. Урожайность картофеля и сахарной свеклы была одинаковой на обеих почвах, потому что эти культуры высеваются позже и почву для них можно подготовить лучше, чем для ярового ячменя. Однако содержание фосфора (по Олсену), соответствующее 95% от максимальной урожайности, в почве с большим содержанием ОВ было гораздо ниже. Положительное влияние ОВ на урожайность было связано с улучшением почвенной структуры, что позволяло корням растений свободнее расти и распространяться в почве, и, таким образом, более эффективно находить и поглощать доступный фосфор.

Затем образцы почвы, отобранные со всех 48 делянок (2 уровня содержания ОВ × 24 уровня содержания фосфора по Олсену), были использованы для выращивания райграса в теплице при одинаковых условиях. По результатам были построены кривые отзывчивости - зависимость между суммарной урожайностью, полученной с четырех укосов, и содержанием доступного фосфора, определенного по методу Олсена. Полученные кривые отзывчивости для двух почв с разными уровнями содержания ОВ визуально не различались. Для обеих почв и полученные значения урожайности (95% от максимальной урожайности), и соответствующие уровни содержания доступного фосфора по Олсену (табл. 1), были одинаковыми. Этот факт подтверждает предположение о том, что в полевых опытах именно из-за различной структуры почвы в вариантах с высоким и низким содержанием ОВ, были получены разные значения содержания доступного фосфора в почве, соответствующие 95% от максимальной урожайности.

**Таблица 1.** Урожайность и содержание доступного фосфора (по методу Олсена), соответствующее 95% от максимальной урожайности, определенной из графика зависимости средней урожайности для двух лет от содержания доступного фосфора в почве.

Урожайность	Содержание органического вещества в почве, %	Урожайность, соответствующая 95% от максимальной урожайности, т/га	Содержание доступного фосфора, соответствующее 95% максимальной урожайности	R <sup>2</sup>
<b>Полевой опыт</b>				
Зерно ярового ячменя, т/га	2.4	5.00	16	8.83
	1.5	4.45	45	0.46
Клубни картофеля, т/га	2.4	44.7	17	0.89
	1.5	44.1	61	0.72
Сахарная свекла – сбор сахара, т/га	2.4	6.58	18	0.87
	1.5	6.56	32	0.61
<b>Вегетационный опыт</b>				
Абсолютно сухое вещество травы, г/сосуд	2.4	6.46	23	0.96
	1.5	6.51	25	0.82

## Выводы

Во многих системах земледелия трудно увеличить содержание ОВ в почве без внесения значительных количеств органических удобрений. Однако необходимо делать все возможное для сохранения и увеличения содержания ОВ в почве, потому что оно улучшает структуру почвы и, следовательно, повышает способность корней растений распространяться в почве в поисках элементов питания, необходимых для нормального роста и развития растений и достижения высокой урожайности. Это особенно важно для поглощения азота и фосфора растениями и, соответственно, более эффективного использования азотных и фосфорных удобрений в сельском хозяйстве.

Дж. Джонстон – старший научный сотрудник фонда Лоуса, Ротамстедская опытная станция, Великобритания (Lawes Trust, Rothamsted Research, Harpenden, UK. AL5 2JQ). E-mail: johnny.johnston@rothamsted.ac.uk

Настоящая статья основана на публикации: Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. A.E. Johnston, P.R. Poulton, and K. Coleman. 2009. *Advances in Agronomy* 101:1-57.

## Литература

Garner, H.V. and G.V. Dyke. 1969. *Rothamsted Experimental Station Report for 1968, Part 2*, 26-49.

Johnston, A.E., P.R. Poulton, and K. Coleman. 2009. *Advances in Agronomy* 101, 1-57.

Перевод статьи и адаптация – к.б.н. Иванова С.Е. – вице-президент МИПР по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку.

Переводчик выражает благодарность региональному директору Международного института питания растений по Югу и Востоку России Носову В.В. за ценные замечания.

# Новый подход к оценке эффективности использования фосфора из удобрений в сельском хозяйстве

А.Е. Джонстон, Дж. К. Сайерс

Часто утверждают, что фосфор неэффективно применяется в сельском хозяйстве, и коэффициент эффективности использования фосфора из удобрений растениями обычно составляет от 10 до 20%. Мы утверждаем, что такая низкая эффективность является в значительной степени артефактом, связанным с методом расчета. При расчете показателя эффективности «балансовым методом» с учетом выноса фосфора с урожаем, выраженного в процентах от внесенного фосфора, а также при условии, что содержание доступного фосфора в почве поддерживается около критического уровня, эффективность использования фосфорных удобрений часто превышает 90%.

В недавнем исчерпывающем обзоре мировой литературы по эффективности применения фосфорных удобрений в различных системах земледелия, климатических условиях и на разных типах почв Сайерс с соавт. (Syers et al., 2008) показали, что эффективность использования фосфора из минеральных удобрений с учетом последствий часто составляет от 50 до 90% при расчете соответствующим методом с учетом времени последствий удобрений. В настоящей статье показано, как подходы, описанные в обзоре, могут быть развиты в дальнейшем.

Эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения  $K_{эф}$  (%) часто определяется разностным методом – отношением разности в выносе данного элемента с урожаем в вариантах опыта с удобрением и контрольным (без удобрений) к количеству вносимого в почву с удобрением элемента питания:

$$*K_{эф} = \frac{(B_y - B_0)}{Y_d} * 100\%$$

\* название показателя дано переводчиком Ивановой С.Е. Данный коэффициент соответствует коэффициенту использования питательных веществ из удобрений (КИУ), определенного разностным методом с учетом фактического выноса.

$K_{эф}$  – эффективный коэффициент использования элемента питания из удобрения, %

$B_y$  – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции на удобренном участке, кг/га

$B_0$  – вынос элемента питания с урожаем с учетом побочной продукции на контрольном (неудобренном) участке, кг/га

$Y_d$  – количество элемента питания, внесенное с удобрениями (доза удобрения), кг д.в./га

Хотя этот метод обычно хорошо применим для азотных удобрений, для фосфора и калия он имеет некоторые ограничения. Почему? Азот, внесенный в форме минеральных удобрений, содержащих карбамид, аммоний или нитрат, и не использованный растениями, редко остается в почве в исходном виде. Нитраты, оставшиеся в почве после уборки урожая, вымываются из почвенного профиля. При денитрификации происходит восстановление нитратного азота до молекулярного азота или оксидов азота, и их улетучивание. Газообразные потери азота происходят также в виде аммиака. Таким образом, рассчитывать коэффициент эффективности ис-