

ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ДЕРНОВОГО ПРОЦЕССА ВЫСОКИХ ДОЗ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Р.Ф. Байбеков, д.с.-х.н., ВНИИА, В.А. Седых, к.с.-х.н., В.И. Савич, д.с.-х.н., Н.Л. Поветкина, к.б.н., РГАУ-МСХА

Показано, что внесение птичьего помета в почву в оправданных с экологической точки зрения дозах усиливает развитие дернового процесса почвообразования, изменяет структурные взаимосвязи между свойствами почв.

Ключевые слова: помет, дерновый процесс, окультуривание.

Внесение в почву оправданных с экологической и экономической точек зрения высоких доз органических удобрений приводит к повышению их окультуренности [1, 5, 11]. Это обусловлено увеличением степени гумусированности почв, емкости поглощения, влагоемкости и, как следствие, повышением содержания подвижных форм биогенных элементов, улучшением с агрономической точки зрения водно-физических и физико-механических свойств почв [10, 11]. Как правило, это сопровождается повышением микробиологической и ферментативной активности почв [5, 7, 8]. Развитие данных процессов приводит к повышению интенсивности проявления в почвах дернового процесса почвообразования, который также оптимизирует агрономически важные свойства почвы [1].

Внесение в почву высоких экономически и экологически оправданных доз органических удобрений, с нашей точки зрения, приводит, в первую очередь, к проявлению в почвах следующих процессов:

1. К поступлению в почву значительного количества энергии, информации и вещества, чуждого естественной почве. При этом в почву поступают и нехарактерные для неё группы микроорганизмов. Все это способствует нарушению равновесного состояния.

2. К переходу почвы на новый, более высокий энергетический уровень, поддержание которого возможно только при оправданном, постоянном добавочном внесении в почву органических удобрений.

3. При прекращении указанного уровня внешнего воздействия в почве начинают протекать деградиационные процессы, более интенсивные, чем до внесения удобрений в исходной почве.

4. При повышении содержания в почве органического вещества и миграции его в более глубокие слои почв происходят: усиление дернового процесса почвообразования и, как следствие, усиление биохимического выветривания и переход в подвижную форму биогенных элементов; привнос антропогенного вещества и биогенных элементов в почву; изменение соотношения высоты и оснований пирамид масс и энергии в почвенном профиле.

Однако, наблюдающееся при этом увеличение степени гумусированности почв сопровождается проявлением закона убывающей отдачи, когда добавочное внесение органических удобрений в почву приводит к все меньшему увеличению степени гумусированности. Изменяются и структурные взаимосвязи между свойствами почв и динамика содержания биогенных элементов на единицу увеличения содержания гумуса.

В представленной статье приведены экспериментальные данные, подтверждающие эти теоретические положения.

Цель исследований – определить влияние высоких доз органических удобрений на развитие дернового процесса почвообразования.

Методика. Объект исследования – дерново-подзолистые почвы Московской области. Детальные исследования проведены на этих почвах, образцы которых взяты с опыта кафедр

ры растениеводства РГАУ-МСХА и стационарных площадок на землях Петелинской птицефабрики [5, 9].

Методика исследования состояла в определении агрохимических, физико-химических свойств почв и их микробиологической активности, в оценке энергии, содержащейся в отдельных компонентах почв, в статистической обработке данных агрохимического обследования почв Московской области и материалов 40-летнего опыта кафедр растениеводства и почвоведения [4, 5, 6, 12].

Результаты и их обсуждение. Внесение оправданно высоких доз органических удобрений в почву сопровождается повышением содержания гумуса и биогенных элементов, что приводит к лучшему развитию растений и активизации дернового процесса почвообразования. Так, в слабоокультуренной дерново-подзолистой почве без внесения удобрений содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O в A_n составляло 3,6 и 10,3 мг/100 г соответственно, S – 8 мг-экв/100 г. При внесении навоза в дозе 40 т/га за ротацию севооборота рассматриваемые показатели были, соответственно, 33,2; 19,3 и 17,6 [5]. В слабоокультуренной дерново-подзолистой почве без внесения удобрений содержание гумуса (%) в 1980 и 2010 гг. составило, соответственно, 1,07 и 1,02, в хорошо окультуренной почве с внесением NPK и 40 т/га навоза за ротацию севооборота – 1,8 и 1,9% в слое A_n и 0,8 и 1,0% в слое 20-40 см. В этом же варианте без внесения навоза и NPK в A_n в 1980 г. – 1,5 и в 2010 г. – 1,5%; в горизонте B, соответственно, 0,6 и 0,8% [9]. В аналогичной почве, по данным Е.И. Шиловой, при внесении 40 т/га навоза за ротацию севооборота содержание гумуса за 16 лет изменилось с 1,26 до 1,70%, S – с 10,0 до 12,7 мг-экв/100 г, K_2O – с 5,6 до 26,4 мг/100 г, P_2O_5 – с 3,1 до 25,4 мг/100 г [3].

По рассчитанным нами данным для 17 птицеводческих хозяйств Московской области, при внесении в почвы постоянно высоких доз птичьего помета (500–1000 т/га, при влажности 80%) содержание P_2O_5 достигло 150 мг/100 г, K_2O – 40 мг/100 г, гумуса – 5,9%. При этом на дерново-подзолистой среднегуминистой почве при внесении средней дозы помета (100–500 т/га, при влажности 80%) содержание гумуса составляло в A_n и A_2B $2,8 \pm 0,3$ и $0,7 \pm 0,1\%$, оптическая плотность водной вытяжки при 465 нм, соответственно, $1,9 \pm 0,1$ и $0,1 \pm 0,01\%$. При внесении же высоких доз помета содержание гумуса в A_n и в A_2B составляло $5,2 \pm 1,1$ и $0,7 \pm 0,1\%$, оптическая плотность соответственно $2,0 \pm 0,1$ и $0,23 \pm 0,02\%$.

В то же время, органические удобрения, вносимые в почву, увеличивая ее плодородие, повышают концентрацию продуктов транспирации растений, развивающихся на этих почвах и продуктов испарения из удобренных почв.

По данным И.С. Шатилова и А.Ф. Шарова [12], при высоких дозах внесения навоза в почву (100 т/га в течение ротации севооборота) отмечалось уменьшение содержания подвижных фосфатов с 35 до 25 мг/100 г и подвижного калия – с 38 до 16 мг/100 г почвы.

Органические удобрения на основе жидкого навоза и жидкого помета приводят в первую очередь к миграции вносимых соединений в более глубокие слои почвенного профиля. Это позволяет проникать в эти горизонты и корневым системам выращиваемых растений. В результате, увеличивается мощность гумусового горизонта, а потребление растениями биогенных элементов из нижних слоев почвы вносит положительный вклад в их баланс в пахотном горизонте.

Так, по полученным данным, фильтрация в среднем по полному севообороту за 30 лет составила (кг/га): на слабоокультуренной и хорошо окультуренной почве, соответственно, $N-NO_3$ с верховодкой – 8,4 и 19,3; K_2O – 3,5 и 4,7; Ca – 31,8 и 46,9; Mg – 19,2 и 29,1 [5].

Высокие дозы органических удобрений существенно изменяют биологическую активность почв. В исследуемых дерново-подзолистых почвах сухая биомасса микроорганизмов в слабо и хорошо окультуренных почвах составляла, соответственно, 350 и 710 кг/га, грибов – 200 и 650; микро- и мезофауны – 100 и 650 кг/га [5, 11]. По А.К. Миненко [7], соотношение микроорганизмов в слабо и хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах равно: развивающихся на МПА – 1:1,9; на КАА = 1:2; нитрификаторов – 1:4; денитрификаторов – 1:0,8; актиномицетов – 1:3,6; грибов – 1:0,5.

Повышение содержания органического вещества в почвах при внесении высоких доз органических удобрений существенно изменяет структурные взаимосвязи между свойствами почв, в частности, наблюдается изменение свойств почв от содержания в них гумуса.

Увеличение окультуренности дерново-подзолистых почв приводит к нейтрализации кислотности, увеличению отношения $C_{гк}:C_{фк}$ до 1,0 – 1,5–2,0; увеличению гумусированности и, как следствие, к увеличению емкости поглощения почв, степени насыщенности основаниями, содержания подвижных форм фосфора, калия, азота. При этом изменяется зависимость ряда свойств почв от pH, степени гумусированности, емкости поглощения.

В таблице 1 приведены зависимости pH почв от суммы поглощенных оснований и степени гумусированности дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности. Как видно из представленных данных, структурные взаимосвязи являются характеристическими, как для почв разной степени окультуренности, так и для отдельных культур полевого севооборота, изменяющих как pH, так и содержание гумуса, подвижных форм кальция и магния в почвах.

1. Взаимосвязь pH (Y), суммы обменных оснований (X₁) и содержания гумуса (X₂) в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности

Вариант опыта	Культура	Уравнение регрессии	R ²
ОК ₁ -1	Пар	$Y = 0,035X_1 + 0,0604X_2 + 4,1$	22
	Многолетние травы	$Y = -0,0374X_1 + 0,0165X_2 + 4,6$	37
ОК ₃ -1	Пар	$Y = 0,0575X_1 - 0,1485X_2 + 5,4$	31
	Многолетние травы	$Y = -0,0400X_1 - 0,2387X_2 + 6,9$	34

В хорошо окультуренной почве при более высоком содержании гумуса, чем в слабоокультуренной почве, некоторое увеличение гумуса не приводит к увеличению pH (коэффициенты при X_2 отрицательные). Для почв под паром коэффициенты при X_2 также различаются, что связано с разной зависимостью pH от суммы поглощенных оснований в сравниваемых почвах. При окультуривании pH увеличивается с возрастанием суммы поглощенных оснований X_1 и уменьшается с увеличением гумусированности.

При оценке взаимосвязей pH(Y), суммы поглощенных оснований (X_1) и содержания гумуса в почве (X_2) для отдельных вариантов получены достаточно значимые величины коэффициентов корреляции: для ОК₃-2 (хорошо окультуренной почвы с внесением удобрений для урожая с использованием 2% ФАР) под ячменем: $Y = 0,0472X_1 + 0,178X_2 + 5$; $r = 0,44$; для трав 2-го года пользования $Y = 0,0129X_1 + 0,2675X_2 + 5,1$; $r = 0,43$; для овса $Y = 0,0656X_1 - 0,1014X_2 + 5,2$; $r = 0,51$.

В ряде работ отмечается, что чем более тесная связь между свойствами почв, тем почва более окультурена. По полученным нами данным, коэффициент множественной регрессии связи pH, суммы поглощенных оснований и гумуса составлял под зерновыми культурами на слабоокультуренной почве 0,1; на хорошо окультуренной слабо удобренной – 0,4; а на хорошо окультуренной хорошо удобренной – 0,44.

По рассчитанным нами данным, для дерново-подзолистых почв коэффициент корреляции зависимости содержания подвижного фосфора от содержания гумуса составлял в вариантах без внесения NPK – $0,48 \pm 0,06$; с внесением NPK – $0,61 \pm 0,12$. Коэффициент корреляции содержания подвижных форм калия от содержания гумуса составлял в вариантах без внесения NPK – $0,32 \pm 0,07$, с внесением – $0,47 \pm 0,11$.

При очень высоких дозах органических удобрений в почвах огородов (до 100 т/га) структурные взаимосвязи между свойствами почв изменяются.

По данным И.В. Кузнецовой [6, 8], нами рассчитаны структурные взаимосвязи между свойствами почв огородов на дерново-подзолистых почвах Московской области. Полученные данные приведены в таблице 2.

2. Структурные взаимосвязи между свойствами темных стратоземов на дерново-подзолистых почвах

Зависимость	Уравнение регрессии
$r = f(pH_{KCl}; pH_{H_2O}; Ca^{2+})$	$Y = 7,6 + 4,7pH_{KCl} - 5,5pH_{H_2O} + 0,3Ca^{2+}$, $r = 0,94$
$r = f(Mg^{2+}; S; Hg)$	$Y = -6,6 - 1,07Mg + 0,648S + 0,83Hg$, $r = 0,93$
$r = f(V\%; P_2O_5; K_2O)$	$Y = 5,38 - 0,05V + 0,02P + 0,02K$, $r = 0,65$
$r = f(>0,25; n)$	$Y = 0,63 + 0,07(>0,25) + 0,004n$; $r = 0,72$
$r = f(HB; B_3; ДАВ)$	$Y = -9,77 + 0,19HB + 0,74B_3 + 0,04ДАВ$, $r = 0,93$

Примечание. P_2O_5 ; K_2O – подвижные формы P, K, мг/100 г почв; S – сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г; Hg, Ca, Mg – гидролитическая кислотность, поглощенные Ca, Mg, мг-экв/100 г; V% – степень насыщенности основаниями; HB – наименьшая влагоемкость, %; B₃ – влажность завядания, %; ДАВ – диапазон активной влаги; n – пористость агрегатов; >0,25 содержание частиц > 0,25 мм, %.

Как видно из представленных данных, наблюдается прямая зависимость содержания гумуса от pH_{KCl} и количества поглощенного кальция, прямо пропорционального сумме поглощенных оснований и гидролитической кислотности; содержание гумуса слабо связано с содержанием подвижных форм фосфора и калия; пропорционально связано с содержанием частиц > 0,25 мм и пористостью агрегатов.

В то же время, содержание гумуса прямо пропорционально связано с влагоемкостью, влажностью завядания, диапазоном активной влаги. Более правильно сказать, что изученные свойства почв прямо пропорционально зависят от содержания гумуса. Но при высоком содержании гумуса эта зависимость становится менее значимой.

Вносимые в почву органические удобрения являются чужеродными для неё по своему химическому и биохимическому составу и микрофлоре, что приводит к их интенсивному разложению. Так, коэффициент гумификации в почвах навоза около 0,3 [2, 4, 8]. В то же время, эта величина, очевидно, зависит от вида и дозы органических удобрений, свойств почв, климата и ряда других условий. Различается она и у почв разной степени окультуренности. Так, по данным Н.Ф. Ганжары [2], в огородных дерново-подзолистых почвах навоз разлагается на $34,0 \pm 4,8\%$ от исходного содержания без участия микрофауны и на $51,0 \pm 2,8\%$ с её участием, в то время, как на полевой почве, соответственно, – на $20,4 \pm 1,8$ и $44,0 \pm 7,3\%$.

Повышенные дозы органических удобрений, вносимые в почву, увеличивают интенсивность протекания в ней процессов химического и биохимического выветривания. Это увеличивает количество в пахотном и подпахотном слоях подвижных форм биогенных элементов, что также является важным фактором усиления развития дернового процесса почвообразования.

Так, по полученным данным, при отрицательном балансе в звене 7-польного севооборота по фосфору и калию, в связи с развитием дернового процесса и биохимическим выветриванием за 40 лет использования почв содержание подвижных форм фосфора и калия, а также pH при однократном известковании не изменились [5, 9].

Органические удобрения, вносимые в почву, содержат значительное количество энергии. Это увеличивает вероят-

ность протекания в почвах реакций с затратой энергии, формирования вторичных минералов и более сложных форм органических соединений. Общая энергоёмкость дерново-подзолистой почвы, включая аккумулированную энергию гумуса (слой 0-6 см), растительных послеуборочных остатков, а также аккумулированную в биоте почвы, составляла при низком плодородии почв 145,8 млн кДж/га; а при высоком плодородии – до 2235,3 млн кДж/га [5, 9]. При этом в биоте почвы, растительных остатках и гумусе запасы энергии составляли для низкого плодородия почв соответственно 15,8; 54,6 и 1395,0, а для высокого плодородия 48,7; 105,0 и 2204 млн кДж/га [5, 9].

При внесении в почвы высоких доз органических удобрений органические вещества и корни растений проникают на большую глубину. Это увеличивает высоту пирамиды массы, существующей при дерновом процессе почвообразования, но несколько уменьшается отношение основания пирамиды к ее высоте, что снижает степень устойчивости и соответствует более неравновесному состоянию.

В то же время, с нашей точки зрения, пирамиды масс и энергии в почвенном профиле различаются для отдельных элементов и степени окультуренности почв (доз вносимых в них органических удобрений). Так, отношение энергоёмкости (млн кДж/га) в растительных остатках и гумусе составляло для слабоокультуренной почвы 0,04, для хорошо окультуренной – 0,05; отношение энергии, заключенной в биоте и гумусе, составляло для слабоокультуренной почвы 0,01, а для хорошо окультуренной – 0,02. В хорошо окультуренной почве меньшая доля фитомассы поступала в почву.

Отношение количества поступающей и отчуждаемой фитомассы составляло для слабоокультуренной почвы 0,83, для хорошо окультуренной – 0,64 кг/га. Отношение отчуждения и поступления с фитомассой кальция в почву на слабоокультуренной почве составляло для викоовсяной смеси 2,4, для озимой пшеницы – 0,4, для картофеля – 0,2, для ячменя – 1,8, для овса – 0,4. В то же время, эти показатели для хорошо окультуренной почвы равны, соответственно, 2,1; 0,3; 0,1; 1,2 и 0,01. Однако, для многолетних трав рассматриваемое соотношение было больше для хорошо окультуренной почвы. Почти аналогичная зависимость отмечалась и по калию.

Информационную нагрузку несет и изменение содержания элементов по профилю почв. Так, соотношение азота биомассы (мг/кг) в слоях 40-60 и 0-20 см составляло для слабоокультуренной почвы 0,04, а для хорошо окультуренной – 0,12. Отношение содержания водорастворимых фосфатов в A_n и B_1 в дерново-подзолистой почве составляло при внесении помета в дозе 100 т/га – 6,2, а при внесении 1000 т/га – 1600.

Таким образом, внесение 40 т/га навоза за ротацию 7-польного севооборота на дерново-подзолистой суглинистой

почве привело к значительному повышению плодородия почв и урожайности зерновых культур до 70 ц/га. Внесение в аналогичную почву 100 т/га навоза за ротацию севооборота уменьшило подвижность фосфора и калия, усилило миграцию нитратов в грунтовые воды.

Периодическое внесение помета 80%-ной влажности в дозе 100 т/га в производственных целях повысило плодородие дерново-подзолистых среднесуглинистых почв.

Внесение высоких, экологически оправданных доз органических удобрений в почву усиливает развитие дернового процесса почвообразования. При этом почва переходит на новый, более высокий энергетический уровень, который может поддерживаться только постоянным применением органических удобрений. Созданная, более плодородная почва находится дальше от состояния экологического равновесия со средой, чем исходный аналог. При внесении повышенных доз органических удобрений в почвы проявляется закон убывающей отдачи.

Литература

1. Байбеков Р.Ф. Влияние длительного применения удобрений на агроэкологическое состояние подзолистых и черноземных почв европейской части России// Автореф. докт. дисс.- М., 2003.- 33 с. 2. Ганжара Н.Ф., Солодова Т.А. О скорости разложения свежих органических веществ в почвах// В сб.: «Современные процессы почвообразования и их регулирование в условиях интенсивных систем земледелия».- М.: ТСХА, 1985.- С. 18-23. 3. Духанин Ю.А., Савич В.И., Батанов Б.Н., Савич К.В. Информационная оценка плодородия почв.- М., ФГНУ «Росинформагротех», 2006.- 473 с. 4. Духанин Ю.А., Савич В.И., Замараев А.Г., Трубицина Е.В. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой.- М., ФГНУ «Росинформагротех», 2005, 324 с. 5. Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г., Духанин Ю.А. Энергомассообмен в звене полевого севооборота, ч. 2.- М.: ВНИИА, 2005.- 336 с. 6. Кузнецова И.В. Модель плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы на покровных суглинках, Модели плодородия почв и методы их разработки// Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева.- М., 1982.- С. 60-66. 7. Миненко А.К. Пути регулирования биологической активности дерново-подзолистых почв при повышении степени их окультуренности// Автореф. докт. дисс.- М.: ТСХА, 1991.- 40 с. 8. Почвы Московской области и их использование/ Под ред. Шишова Л.Л.- М.: РАСХН. Т.1, 2, 2002. 9. Савич В.И., Седых В.А., Раскатов В.А., Кузнецов М.М. Экологические факторы стоимостной оценки земель.- М.: РГАУ-МСХА, 2011.- 237 с. 10. Савич В.И., Булгаков Д.С., Вукотов Н.Г., Раскатов В.А. Интегральная оценка плодородия почв.- М.: ТСХА, 2010.- 347 с. 11. Савич В.И., Парахин Н.В., Степанова Л.П., Шишов Л.Л., Кершенс М. Агрономическая оценка гумусового состояния почв.- Орел: ОГАУ, 2001, т.1 – 234 с., т.2 – 205 с. 12. Шатилов И.С., Шаров А.Ф. Продуктивность полевых культур и показатели плодородия почв при внесении разных норм органических удобрений// Изв. ТСХА, 1992, вып. 1, С. 3-10.

EFFECT OF HIGH APPLICATION RATES OF ORGANIC FERTILIZERS ON THE DEVELOPMENT OF SODDY PROCESS

R.F. Baibekov¹, V.A. Sedykh², V.I. Savich², N.L. Povetkina²

¹Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia ²Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia

It was shown that the application of poultry manure at ecologically sound rates enhances the development of the soddy process and affects the structural interrelations between soil properties.

Keywords: poultry manure, soddy process, cultivation.