

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПЛОДОРОДИЯ

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА КИСЛОТНОСТЬ, СОДЕРЖАНИЕ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

К.П. Хайдуков, к.б.н., Л.К. Шевцова, д.б.н., А.А. Коваленко, к.с.-х.н., А.А. Милютин, ВНИИА

Исследованы изменения содержания органического вещества в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве длительного опыта СШ-5 ЦОС ВНИИА. Установлено, что длительное применение органической и органоминеральной систем удобрения сохраняет исходный уровень плодородия почвы. Применение минеральных систем удобрения негативно воздействует на состояние гумуса почвы: уменьшается содержание общего углерода, гуминовых кислот, активных компонентов, что приводит к разрушению устойчивого органического вещества и снижению плодородия почвы.

**Ключевые слова:** кислотность, длительный опыт, органическое вещество почвы, гуминовые и фульвокислоты, активные компоненты гумуса, удобрения.

Органическое вещество почвы благоприятно влияет на формирование комплекса агрономических свойств, его содержание и качественный состав являются важными показателями почвенного плодородия.

При низких дозах внесения органических и минеральных удобрений возникает необходимость в применении мер по регулированию содержания и качественного состава органического вещества. Это наиболее полно можно установить только в длительных полевых опытах при изучении закономерностей изменений органического вещества под воздействием разнообразных агроприемов.

Анализ современных публикаций показывает, что многие авторы, характеризуя уровень плодородия исследуемых почв, используют в основном показатель содержания гумуса в почве. Однако этого недостаточно.

Исследования Л.К. Шевцовой [1], В.А. Черникова [2], Н.Ф. Ганжары [3], Л.Г. Бакиной [4], М.Ф. Овчинниковой [5], С.М. Лукина [6], С.М. Надежкина [7], В.А. Семенова [8], И.В. Володарской [9] и др. показали, что при оценке органического вещества почв необходимо, кроме общего содержания гумуса, учитывать его качество, особенно обогащенность активными компонентами.

Исследования в этом направлении при длительном применении удобрений (28 лет) и последующем их последствии (19 лет) проводили в стационарном полевом опыте ЦОС ВНИИА, заложенном в трех полях в 1964-1966 гг. в районе деревни Шебанцево (Домодедовский район, Московская обл.). Опыту был присвоен индекс СШ-5 (стационар Шебанцевский пятый). Почва участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая среднекультуренная. Исходная агрохимическая характеристика почвы:  $pH_{KCl}$  4,3;  $N_T$  – 5,4 мг-экв/100 г;  $S$  – 8,3 мг-экв/100 г;  $P_2O_5$  (по Кирсанову) – 67 мг/кг;  $K_2O$  (по Масловой) – 147 мг/кг; гумус по Тюрину – 1,57%.

Чередование культур в севообороте: картофель ранний, пшеница озимая, свёкла кормовая, ячмень яровой.

В связи с неоднократными изменениями схемы внесения удобрений большую часть исследований проводили в 10 вариантах, в которых системы удобрения на протяжении всего времени опыта были постоянными.

Исследования вели на фоне периодического известкования всего опыта. За 28-летний период применения удобрений 4 раза вносили известняковую муку в дозах: 2 т/га перед закладкой опыта, 8 – под пшеницу второй ротации севооборота, 4 – по окончании третьей ротации и 4 т/га – по окончании пятой ротации.

С 1993-1995 гг. после 28-летнего исследования действия возрастающих доз органических, минеральных удобрений и их сочетаний до 2006 г. изучали последствие внесенных за

этот период удобрений на культурах 4-польного зернового севооборота: вико-овес на зеленую массу – озимая пшеница – ячмень – овес.

Содержание углерода органического вещества почвы определяли методом Тюрина в модификации Никитина; содержание активных компонентов в составе гумуса следующими методами: непосредственная 0,1 н. NaOH вытяжка №1 (подвижный углерод по Тюрину); определение легкотрансформируемого органического вещества расчетным методом по Кёршенсу, Шульц [10].

В таблице 1 показана динамика pH солевой вытяжки.

Основная роль в снижении исходной кислотности почвы принадлежит фоновому известкованию, которое за 7 первых ротаций привело к существенному повышению pH при применении навоза и его сочетания с NPK. Длительное последствие без внесения удобрений и известки несколько снизило этот показатель, выровняло значение pH между вариантами.

К моменту завершения опыта кислотность почвы составила по разным вариантам от 5,5 до 5,9 ед. pH. В варианте М + 3NPK произошло наибольшее снижение кислотности под воздействием тройной дозы NPK.

1. Кислотности ( $pH_{KCl}$ ) почвы

Вариант опыта	Исходное (1964 г.)*	Через 28 лет (1992 г.)*	Через 19 лет последствие (2011 г.)
Контроль	4,2	6,1	5,9
Навоз, 50 т/га – фон Н	4,3	6,2	5,6
Н + NPK экв. фону Н	4,2	6,2	5,6
Н + 2NPK	-	-	5,8
Н + 3NPK	4,3	6,0	5,7
NPK – фон М экв. фону Н	4,2	6,1	5,8
М + NPK	4,2	5,9	5,8
М + 2NPK	4,2	5,9	5,7
М + 3NPK	4,2	5,8	5,5

\* По данным В.Ф. Ефремова [11].

Длительное систематическое внесение органических, минеральных удобрений и их сочетаний за 28 лет и 19 лет последствие оказало различное воздействие на изменение содержания органического вещества и его качество.

Возделывание культур зернопропашного севооборота без удобрений привело к снижению содержания органического углерода, которое к концу седьмой ротации снизилось на 0,18% по сравнению с исходным содержанием (табл. 2).

## 2. Содержание органического углерода ( $C_{орг.}$ ) в почве в зависимости от системы удобрения

Вариант опыта	Исходное (1964 г.)*	Через 28 лет (1992 г.)*	Через 19 лет последствие (2011 г.)	Баланс углерода	
				$\Delta C_1^{**}$	$\Delta C_2^{***}$
1	2	3	4	5	6
Контроль	0,92	0,74	0,78	-0,18	+0,04
Навоз, 50 т/га-фон Н	0,90	0,87	0,91	-0,03	+0,04
Н + NPK экв. фону Н	0,91	0,93	0,95	+0,02	+0,02
Н + 2NPK	0,87	0,97	0,93	+0,10	-0,04
Н + 3NPK	0,94	0,99	0,91	+0,05	-0,03
NPK -фон М экв. фону Н	0,95	0,74	0,71	-0,21	-0,03
М + NPK	0,93	0,80	0,72	-0,13	-0,08
М + 2NPK	0,94	0,82	0,72	-0,12	-0,10
М + 3NPK	0,95	0,84	0,70	-0,11	-0,14
HCP <sub>05</sub>	-	-	0,03	-	-

\*По данным В.Ф. Ефремова [11].

\*\* $\Delta C_1$  – изменение через 28 лет применения различных систем удобрения.

\*\*\* $\Delta C_2$  – изменение через 19 лет последствие ранее внесенных удобрений.

Внесение 50 т/га навоза за ротацию сократило потери  $C_{орг}$  до 0,03%. Совместное применение навоза с возрастающими дозами минеральных удобрений (1, 2, 3 дозы NPK, кратные навозу) повысило содержание органического углерода, соответственно, на 0,02; 0,10; 0,05% по сравнению с исходным. Использование вариантов минеральной системы удобрения, эквивалентных органической и органоминеральной, привело к снижению углерода в почве соответственно внесенным дозам удобрений на 0,21; 0,13; 0,12; 0,11% (см. табл. 2, рис. 1).

Изучение последствие различных систем удобрения показало, что за три ротации зернового севооборота (до 2006 г.) и дальнейшее использование пашни до 2011 г. под сенокос наблюдалось незначительное увеличение органического углерода на контроле – на 0,04%. В вариантах с органической и органоминеральной системами удобрения содержание углерода практически не изменилось и находилось на уровне, близком к исходному – 0,91-0,95% С. При применении минеральной системы удобрения отмечено дальнейшее снижение на 0,03; 0,08; 0,10; 0,14% С соответственно внесенным дозам (рис. 1).

Длительные полевые опыты – основная база, позволяющая проследить многолетнюю динамику изменения различных пулов органического вещества почв в зависимости от условий земледелия.

Органическое вещество почвы как многокомпонентную систему, исследователи часто представляют в виде двух основных пулов: устойчивое (инертное), слабо поддающееся минерализации ( $C_{мин.}$ ) и легкотрансформируемое ( $C_{trans.}$ ), которые можно выразить следующей формулой [12]:

$$C_{общ.} = C_{мин.} + C_{trans.},$$

где  $C_{мин.}$  – содержание гумуса в почве многолетнего чистого пара или абсолютного контроля (без удобрений) длительного, не менее 10-20 лет, опыта, когда содержание гумуса достигает равновесного состояния и практически не меняется;

$C_{trans.}$  – легкотрансформируемый органический углерод.

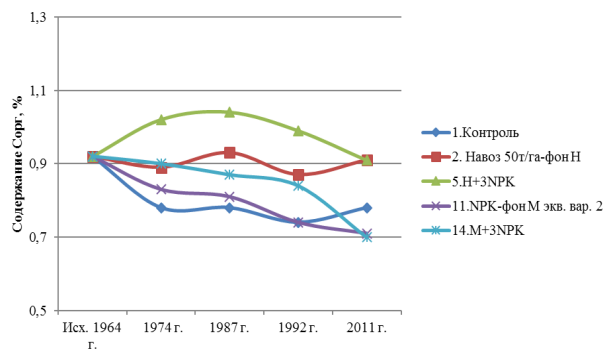


Рис. 1. Содержание органического углерода при применении различных систем удобрения

Активная часть гумуса служит наиболее доступным источником питания растений, определяет биологическую активность, другие агрономические свойства почв и заметно изменяется под влиянием различных агротехнических приемов. Она участвует в круговороте углерода и других элементов, формирует основные функции органического вещества и определяет эффективное плодородие почвы. Инертный гумус является своеобразным «органическим скелетом» почвы. По определению М. Кёршенса, эта часть гумуса термодинамически и биологически наиболее устойчива и отражает генетические особенности почв. При длительном экстенсивном использовании почвы активная часть гумуса может пополняться за счет инертной устойчивой части, что приводит к деградации почв.

В наших исследованиях за  $C_{мин.}$  было принято содержание гумуса в почве абсолютного контроля, установившееся через 28 лет на уровне 0,74% С к воздушно-сухой почве и мало изменяющееся в дальнейшем. Содержание  $C_{trans.}$  по разным вариантам опыта за весь период действия и последствие приведено в таблице 3.

## 3. Содержание углерода в почве, %

Вариант опыта	$C_{орг}$ (2011 г.)	$C_{мин}$	$C_{trans}$	Урожайность озимой пшеницы, ц/га (2011 г.)
Контроль	0,78	0,74	0,04	6,6
Навоз, 50 т/га-фон Н	0,91		0,17	14,7
Н + NPK экв. фону Н	0,95		0,21	12,7
Н+2NPK	0,93		0,19	15,1
Н+3NPK	0,91		0,17	13,0
NPK-фон М экв. фону Н	0,71		-0,03	-
М+NPK	0,72		-0,02	-
М+2NPK	0,72		-0,02	-
М+3NPK	0,70		-0,04	-
HCP <sub>05</sub>	0,03			1,8

Полученные данные показывают, что совместное применение органических и минеральных удобрений способствует накоплению  $C_{trans.}$  в составе гумуса. Наиболее высокое содержание активного гумуса было в варианте Н + NPK, эквивалентное навозу 50 т/га – 0,21 %, что ниже оптимального уровня содержания трансформируемого углерода для почв Германии, который составляет 0,30 % С. По мнению немецких ученых [12], такой уровень содержания активного углерода позволяет обеспечить растения и микроорганизмы необходимыми элементами питания, прежде всего азотом. Почва с таким содержанием  $C_{trans.}$  характеризуется высокой продуктивностью и благоприятными экологическими параметрами. В вариантах с минеральной системой удобрения активных форм органического вещества, определяемых расчетным методом, не обнаружено (табл. 3). Более того, количество углерода в этих вариантах даже ниже установившегося минимального уровня на контроле (без удобрений). Такие изменения в состоянии органического вещества дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в вариантах с минеральной системой

удобрения указывают на возможность разрушения центральной устойчивой части гумуса.

Установлена положительная взаимосвязь уровня содержания активных компонентов в составе гумуса ( $C_{trans}$ ) с урожайностью озимой пшеницы ( $r = 0,89$ ).

Определение содержания активных компонентов органического вещества расчетным методом относительно условно. Кроме того, этот метод требует наличия бессменного пара или длительного использования почвы без удобрений. Поэтому в настоящее время для характеристики активного пула углерода почвы используют различные экспериментальные подходы и методы. Нами применен метод определения подвижного углерода почвы (I фракция гумусовых веществ, определяемая при исследовании фракционно-группового состава гумуса) по Тюрину.

Гумусовые вещества этой фракции обладают особым коллоидным состоянием и могут формироваться как на начальных стадиях гумификации, так и в процессе деструкции гумусовых веществ почвы. Результаты детальных исследований этой фракции представлены в таблице 4.

Количество подвижных гумусовых веществ I фракции в вариантах опыта с органической и органоминеральной системами удобрения составляло от 27,9 до 29,6 % от  $C_{орг}$  почвы. Также, прослеживается тесная зависимость содержания подвижной фракции в составе гумуса от количества легкотрансформируемого углерода, коэффициент корреляции ( $r$ ) равен 0,97. Содержание наиболее ценной группы гуминовых кислот в этих вариантах изменялось от 7,7 до 9,9 %, фульвокислот – от 18,2 до 22,0%. Наиболее низким содержание гуминовых кислот было в вариантах с внесением одних минеральных удобрений – 5,6-7,1 % от  $C_{орг}$ .

Соотношение  $C_{ГК}:C_{ФК}$  составляло 0,28-0,36, тогда как совместное применение органических и минеральных удобрений данный показатель был на уровне 0,53.

#### 4. Содержание углерода и групповой состав первой фракции в разных вариантах длительного опыта в образцах 2011 г.\*

Вариант опыта	$C_{орг}$	$C_{NaOH}$	$C_{ГК}$	$C_{ФК}$	$C_{ГК}:C_{ФК}$
Контроль	0,78	$\frac{0,23}{29,4}$	$\frac{0,07}{8,9}$	$\frac{0,16}{20,5}$	0,43
Навоз, 50 т/га – фон Н	0,91	$\frac{0,27}{29,6}$	$\frac{0,07}{7,7}$	$\frac{0,20}{21,9}$	0,35
Н + NPK экв. фону Н	0,95	$\frac{0,28}{29,4}$	$\frac{0,09}{9,4}$	$\frac{0,19}{20,0}$	0,47
Н + 2NPK	0,93	$\frac{0,26}{27,9}$	$\frac{0,09}{9,6}$	$\frac{0,17}{18,2}$	0,53
Н + 3NPK	0,91	$\frac{0,27}{29,6}$	$\frac{0,09}{9,9}$	$\frac{0,18}{19,8}$	0,50
NPK – фон М экв. фону Н	0,71	$\frac{0,18}{25,0}$	$\frac{0,04}{5,6}$	$\frac{0,14}{19,7}$	0,28
М + NPK	0,72	$\frac{0,18}{25,0}$	$\frac{0,05}{6,9}$	$\frac{0,13}{18,0}$	0,38
М + 2NPK	0,72	$\frac{0,18}{25,0}$	$\frac{0,05}{6,9}$	$\frac{0,13}{18,0}$	0,38
М + 3NPK	0,70	$\frac{0,19}{27,1}$	$\frac{0,05}{7,1}$	$\frac{0,14}{20,0}$	0,36
$HC_{0,5}$	0,03	-	-	-	-

\*Над чертой – С, % к возд. – сух. почве, под чертой – С, % к  $C_{общ.}$  почвы.

По данным М.Ф. Овчинниковой [5], уменьшение содержания гуминовых кислот, соотношения  $C_{ГК}:C_{ФК}$  – показатели ухудшения качества органического вещества, снижения уровня плодородия почв.

Исследования оптической плотности гуминовых кислот показали, что наиболее высокими были величины экстинкции в почве на делянках, удобренных по органоминеральной схеме, где с химически «зрелыми» веществами в щелочном экстракте присутствует значительное количество новообразованных гумусовых веществ, молекулы которых обогащены алифатическими фрагментами. Наиболее низкие значения – в почве с длительным применением минеральной системы удобрения и на контроле (рис. 2). В соответствии с концепци-

ей М.М. Кононовой и В.В. Пономаревой, это предположительно указывает на то, что ГК почвы этих вариантов характеризовались менее сложной, более размытой структурой центральной части макромолекулы гуминовых кислот.

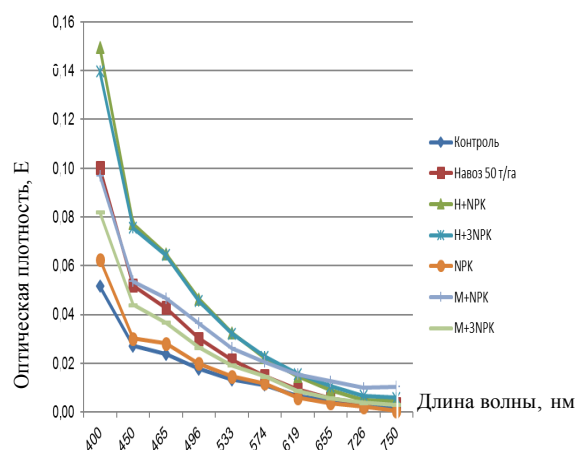


Рис. 2. Оптическая плотность гуминовых кислот при волнах разной длины

Видимо, уменьшение содержания биологически активных компонентов в составе гумуса приводит к тому, что почвенная микрофлора использует в качестве источника углерода «центральные», устойчивые, компоненты макромолекулы ГК, вызывая их деградацию. Это приводит к снижению уровня содержания гумуса и показателя оптической плотности в вариантах с длительным применением минеральной системы удобрения.

Длительное применение органических, минеральных удобрений и их сочетаний неодинаково воздействует на содержание и качественный состав органического вещества, что проявляется не только в длительном (до 19 лет) последствии. Органические удобрения совместно с минеральными увеличивают содержание углерода, улучшают состав гумуса, повышая долю гуминовых кислот первой фракции. Минеральные удобрения оказывают длительное неблагоприятное воздействие на органическое вещество, уменьшают уровень содержания общего углерода и количество гуминовых кислот в составе органического вещества, усиливают его фульватизацию даже после 19 лет последствия.

#### Литература

- Шевцова Л.К. Оптимизация гумусного состояния почв на основе исследований в длительных опытах // В сб.: Экологические функции агрохимии в современном земледелии. Материалы Всероссийского совещания Географической сети опытов с удобрениями. – М.: ВНИИА, 2008. – С. 213-216.
- Черников В.А. Комплексная оценка гумусового состояния почв. – Известия ТСХА. – 1987. – Вып. 6. – С. 83-94.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Флоринский М.А. Легкоразлагаемые органические вещества почв // Химизация с.-х. – 1990. – № 1. – С. 53-55.
- Бакина Л.Г. Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2013. – №1. – С. 41.
- Овчинникова М.Ф. Признаки и механизм агрогенной трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 2012. – №1. – С. 3-13.
- Лукин С.М. Оценка содержания активных компонентов органического вещества легких дерново-подзолистых почв при длительном применении удобрений // В сб.: Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество почв. – М.: ВНИИА, 2010. – 352 с.
- Надеждин С.М. Изучение взаимосвязи органического вещества с продуктивностью культур и моделирование гумусного состояния почв лесостепи среднего Поволжья // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ВНИПТИОУ, 2005. – С. 19-43.
- Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В. Лабораторная диагностика биологического качества органического вещества почвы. Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ВНИПТИОУ, 2005. – С. 214-230.
- Шевцова Л.К., Володарская И.В. Влияние длительного применения удобрений на баланс и качество гумуса // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 11. – С. 97-101.
- Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв. – М.: ВНИИА, 2012. – 32 с.
- Ефремов В.Ф. Изучение роли органического вещества

ва навоза в повышении плодородия дерново-подзолистых почв // В сб.: Результаты длительных исследований в системе географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (к 70-летию Гео-сети) // Под ред. В.Г. Сычёва. – М.: ВНИИА, 2011. – С. 47-71. 12.

Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и её трансформация при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. – 1998. – №7. – С. 870-894.

#### **EFFECT AND AFTEREFFECT OF THE LONG-TERM USE OF DIFFERENT FERTILIZING SYSTEMS ON THE ACIDITY AND ORGANIC MATTER OF SOIL**

**K.P. Khaidukov, L.K. Shevtsova, A.A. Kovalenko, A.A. Milyutina**

**Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, E-mail: hvaber@yandex.ru**

*Changes in the content of organic matter in soddy-podzolic soil of the long-term experiment SSh-5 at the Central Experimental Station of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry have been studied. It has been established that the prolonged use of organic and organic-mineral fertilizing systems preserves the original level of soil fertility. The use of mineral fertilizing systems negatively affects the state of soil humus: the contents of total carbon, humic acids, and active components are reduced, which leads to the destruction of sustainable organic matter and decreases the soil fertility.*

*Keywords: acidity, long-term experiment, soil organic matter, humic and fulvic acids, active humus components, fertilizers.*