

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА, СОДЕРЖАНИЕ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

**С.М. Лукин, д.б.н., Е.И. Золкина, Е.В. Марчук,**

*Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа –  
филиал ФГБНУ "Верхневолжский федеральный аграрный центр"  
601390, Владимирская область, Судогодский район, п. Вяткино, ул. Прянишникова, д. 2,  
e-mail: [vnion@vtsnet.ru](mailto:vnion@vtsnet.ru)*



*Представлены результаты исследования влияния длительного применения удобрений на урожайность культур и продуктивность зернопропашного севооборота, содержание и качественный состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлено, что при длительном применении удобрений наблюдается увеличение их долевого участия в формировании урожая и оплаты удобрений прибавкой урожая. При использовании повышенных доз органических удобрений происходит увеличение в почве запасов гумуса; в составе гумуса растет содержание гуминовых кислот, в т.ч. связанных с кальцием, увеличивается отношение  $C_{зк} : C_{фк}$ , снижается оптическая плотность гуминовых кислот. Применение минеральных удобрений способствует увеличению подвижности гумуса за счет увеличения доли 1-й фракции и снижения доли 2-й фракции гумусовых кислот. При использовании удобрений в почве возникают новые уровни стационарного состояния гумуса, соответствующие поступлению органического вещества с растительными остатками и удобрениями и его минерализации. Вместе с тем, несмотря на длительное применение повышенных доз органических удобрений, в почве сохраняются основные черты гумусообразования, свойственные данному генетическому типу.*

*Ключевые слова: севооборот, длительные стационарные опыты, органические удобрения, минеральные удобрения, дерново-подзолистая почва, гумус почв.*

Для цитирования: Лукин С.М., Золкина Е.И., Марчук Е.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. – 2021. – №3. – С. 93-98. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.18.

Содержание и качественный состав гумуса – важнейшие критерии оценки почвенного плодородия и экологической устойчивости почв, как компонента биосферы. Состав растительных остатков, минералогический и гранулометрический состав почв, температура, влажность определяют условия минерализации и гумификации органического вещества и, соответственно, темпы и направленность изменения содержания гумуса в почвах.

Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы характеризуются низким содержанием илистых частиц и, соответственно, значительно меньшей общей и удельной поверхностью, слабой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями, что не способствует закреплению продуктов разложения растительных остатков в почвах. Для легких почв характерны низкое содержание гумуса, фульватный тип гумуса, слабая степень гумификации органического вещества, очень низкое содержание гумино-

вых кислот, связанных с кальцием, повышенное содержание водорастворимых органических веществ [1-3].

Применение удобрений вызывает значительные изменения в круговороте углерода в агроценозах, направленность которых зависит от вида и доз применяемых удобрений, косвенного влияния их на физико-химические и биологические свойства почв, интенсивность минерализации и гумификации органического вещества. Под влиянием удобрений изменяются продуктивность агроценозов, соотношение отчуждаемой биомассы и пожнивно-корневых остатков, интенсивность минерализации и гумификации органического вещества, усвоение углерода автотрофными микроорганизмами.

Решающая роль органических удобрений в улучшении гумусового состояния почв подтверждается многолетними исследованиями в длительных опытах с удобрениями. Результаты их показывают, что систематиче-

ское внесение органических удобрений способствует не только стабилизации но и увеличению запасов гумуса в почвах [4-6].

Большинство ученых отмечает значительное влияние длительного применения удобрений на качественный состав гумуса. Под действием органических удобрений происходит накопление стабильных гумусовых соединений, в то время как применение минеральных удобрений ведет к увеличению содержания подвижного гумуса, снижению количества гуминовых кислот, связанных с кальцием и негидролизуемого остатка [7, 8].

Процессы накопления гумуса в почвах и изменения его качественного состава происходят медленно и могут быть достоверно оценены только в длительных полевых экспериментах. В этой связи длительные стационарные опыты Географической сети опытов с удобрениями представляют собой уникальную научную базу для проведения исследований по трансформации органического вещества почв при их сельскохозяйственном использовании.

Цель наших исследований – изучить изменения содержания и качественного состава органического вещества дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений.

**Методика.** Исследования выполнены в длительном стационарном опыте института, заложенном в 1968 г. на дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом севообороте: 1 – однолетний люпин; 2 – озимая пшеница; 3 – картофель; 4 – ячмень. Географические координаты участка: 56° 03' северной широты, 40° 29' восточной долготы.

Схема опыта: 1. Без удобрений; 2.  $P_{50}K_{60}$ ; 3.  $N_{50}P_{50}$ ; 4.  $N_{50}K_{60}$ ; 5.  $N_{50}P_{50}K_{60}$ ; 6. Навоз, 10 т/га; 7. Навоз, 20 т/га; 8.  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 9.  $N_{50}P_{50}K_{90}$ ; 10. Навоз, 5 т/га +  $N_{25}P_{12}K_{30}$ ; 11. Навоз, 10 т/га +  $N_{50}$ ; 12. Навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}$ ; 13. Навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 14.  $N_{100}P_{50}K_{120}$ ; 15.  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 16. Навоз, 10 т/га +  $N_{100}P_{50}K_{120}$ . В 1984-1989 г. изучали последствие удобрений. В 1990 г. в схему опыта были внесены изменения: в варианте 11 стали вносить навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома; в варианте 12 – навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома + сидерат; в варианте

15 –  $N_{50}P_{25}K_{60}$  + солома. Начиная с 2002 г., в варианте 11 используют  $N_{100}P_{50}K_{120}$  + солома; в варианте 12 изучают последствие удобрений на фоне без удобрений и  $N_{50}$ . Остальные варианты сохраняются без изменений с 1968 г. Варианты 6, 8, 10 и 7, 13, 14 выравнены по количеству питательных веществ в дозах, эквивалентных, соответственно, 10 и 20 т/га навоза. Повторность в опыте – 4-кратная, в контрольных вариантах – 8-кратная, размер делянок – 161 м<sup>2</sup>. До 1975 г. опыт проводили в четырех полях, в 1976-1984 г. – в трех полях, начиная с 1990 г. – в двух полях. В опыте имеется бесменный чистый пар, представляющий собой ежегодно обрабатываемую защитную полосу размером 10 х 250 м, расположенную между двумя полями опыта.

Почва – дерново-сильноподзолистая тяжелосупесчаная слабogleеватая, подстилаемая с глубины 40-50 см моренным суглинком. Свойства почвы перед закладкой опыта: pH 6,2-6,5 (на третьем поле без известия – 4,1), гидролитическая кислотность 1,0-2,2 мг-экв/100 г (на третьем поле 3,7-4,1), сумма поглощенных оснований 4,8-5,3 мг-экв/100 г (на третьем поле – 1,4),  $P_2O_5$  – 14-25,  $K_2O$  – 63-104 мг/кг, содержание гумуса 1,05-1,17 % [9]. Полученные данные в опытах подвергали статистической обработке с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA 6.0, STATVIA.

Определение содержания гумуса проводили по методу Тюрина, групповой и фракционный состав гумуса – по Пономаревой и Плотниковой, содержание трансформируемого органического вещества – по методу М.Кёршенца [10,11].

**Результаты и их обсуждение.** Исследования показали, что применение удобрений способствовало существенному увеличению продуктивности севооборота. Органическая система удобрения по действию на урожайность уступала минеральной как при умеренных, так и при повышенных дозах удобрения. Эффективность органоминеральной и минеральной систем удобрения при использовании умеренных доз удобрений была примерно одинаковой, однако при использовании удобрений в повышенных дозах более высокие прибавки урожая получены от органоминеральной системы удобрения (табл. 1).

**1. Влияние различных систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур (в среднем за 1968-2018 г.)**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Продуктивность севооборота в среднем*, ц з.е./га	Прибавка урожая	
	Одн. люпин, з/м	Озимая пшеница	Картофель	Ячмень		ц.з.е/га	%
Без удобрений	196	19,3	100	11,3	21,5		
Навоз, 10 т/га	220	26,3	149	17,3	29,6	8,1	38
Навоз, 5 т/га + $N_{25}P_{12}K_{30}$	226	29,1	171	22,7	34,0	12,5	58
$N_{50}P_{25}K_{60}$	225	28,8	176	25,0	34,6	13,1	61
Навоз, 20 т/га	229	29,2	173	20,8	33,2	11,7	54
Навоз, 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$	236	30,0	215	28,8	39,6	18,1	84
$N_{100}P_{50}K_{120}$	241	28,8	204	27,8	38,5	17,0	79
Навоз, 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$	251	29,8	228	29,0	41,1	19,6	91
НСР <sub>0,95</sub> , ц/га					1,3		

\*С учетом побочной продукции.

В среднем за 11 ротаций продуктивность севооборота при использовании органической системы удобрения оказалась ниже по сравнению с использованием органоминеральной системы удобрения на 4,4 – 6,4 ц з.е./га, или на 13-16 %.

Различные виды минеральных удобрений оказывали неодинаковое влияние на урожайность сельскохозяй-

ственных культур. Однолетний люпин слабо отзывался на внесение удобрений, в посевах озимой пшеницы наибольшее влияние на формирование урожая оказывали азотные и фосфорные удобрения, картофеля и ячменя – азотные и калийные удобрения (табл.2).

Вследствие снижения продуктивности севооборота в варианте без удобрений и роста окультуренности почвы

при длительном применении удобрений, с течением времени наблюдался рост прибавок урожая от удобрений, их долевого участия в формировании урожая, а также оплаты 1 кг NPK продукцией. Наибольшая оплата 1 кг удобрений урожаем (9,3 кг з.е.) получена при использовании их в умеренных дозах (навоз, 5 т/га + N<sub>25</sub>P<sub>12</sub>K<sub>30</sub>) (табл. 3, 4).

Анализ динамики содержания гумуса в почве длительного стационарного опыта показал, что за 50 лет проведения опыта содержание гумуса в почве контрольного варианта снизилось на 0,17 %, или на 16 % от первоначальных запасов. При этом наибольшие изменения в гумусовом состоянии почв происходят в первые годы проведения опыта. В конце второй – третьей ротаций севооборота содержание гумуса стабилизируется на новых уровнях, соответствующих поступлению органического вещества с растительными остатками и органическими удобрениями и его минерализации. При использовании полного минерального удобрения также наблюдалось снижение содержания гумуса, хотя и в меньшей степени по сравнению с контролем без удобрений (табл. 5).

## 2. Влияние длительного применения различных видов минеральных удобрений на продуктивность севооборота (в среднем за 11 ротаций)

Вариант опыта	Одно-летний люпин	Озимая пшеница	Картофель	Ячмень	В среднем, ц з.е./га
<i>Урожайность, ц/га</i>					
Без удобрений	196	19,3	100	11,3	21,5
P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	221	22,3	130	15,3	26,5
N <sub>50</sub> P <sub>50</sub>	224	27,7	145	20,0	30,6
N <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	218	25,3	157	22,2	31,1
N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	230	29,0	194	27,1	36,5
<i>Прибавка урожая, ц/га</i>					
Азотные удобрения	9	6,7	64	11,8	10,0
Фосфорные удобрения	12	3,7	37	4,9	5,4
Калийные удобрения	6	1,3	49	7,1	5,9

Применение органических удобрений способствовало стабилизации и повышению содержания органического углерода в почвах. Средняя доза подстильного навоза, обеспечивающая поддержание количества гумуса на исходном уровне, составляет 7-8 т/га.

## 3. Прибавки урожая и долевое участие удобрений в формировании урожая при длительном их использовании в севообороте

Вариант опыта	Ротация севооборота											В среднем
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я	11-я	
Навоз, 5 т/га + N <sub>25</sub> P <sub>12</sub> K <sub>30</sub>	<u>9,7</u> 24	<u>11,8</u> 31	<u>11,7</u> 32	<u>12,8</u> 40	<u>9,3</u> 25	<u>15,5</u> 41	<u>8,6</u> 35	<u>13,6</u> 37	<u>17,5</u> 45	<u>13,0</u> 47	<u>11,9</u> 39	<u>12,5</u> 37
Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	<u>12,1</u> 29	<u>15,2</u> 37	<u>19,2</u> 44	<u>15,8</u> 46	<u>15,0</u> 34	<u>22,1</u> 49	<u>11,4</u> 41	<u>24,1</u> 51	<u>26,2</u> 55	<u>20,0</u> 58	<u>13,8</u> 42	<u>18,1</u> 46
Навоз, 10 т/га + N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	<u>12,3</u> 29	<u>15,1</u> 37	<u>19,8</u> 44	<u>15,7</u> 45	<u>17,6</u> 38	<u>24,6</u> 52	<u>13,2</u> 45	<u>26,0</u> 53	<u>29,0</u> 58	<u>22,2</u> 60	<u>14,8</u> 44	<u>19,6</u> 48

Примечание. Над чертой – прибавки урожая ц з.е./га, под чертой – долевое участие удобрений в формировании урожая, %.

## 4. Оплата 1 кг д.в. удобрений урожаем при длительном их использовании в севообороте, кг з.е.

Вариант опыта	Ротация севооборота											В среднем
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я	11-я	
Навоз, 5 т/га + N <sub>25</sub> P <sub>12</sub> K <sub>30</sub>	7,2	8,7	8,7	9,5	6,9	11,5	6,4	10,1	13,0	9,6	8,8	9,3
Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	4,5	5,6	3,4	5,9	5,6	8,2	4,4	8,9	9,7	7,4	5,1	6,7
Навоз, 10 т/га + N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	3,0	3,7	2,4	3,9	4,3	6,1	3,3	6,4	7,2	5,6	3,7	4,8

## 5. Влияние длительного применения систем удобрения на содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, % (в среднем за 1968-2018 г.)

Вариант опыта	Содержание гумуса к концу 11-й ротации севооборота	Изменение содержания гумуса (±)
Без удобрений (контроль)	0,91	-0,17
P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	0,88	-0,20
N <sub>50</sub> P <sub>50</sub>	0,95	-0,13
N <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	0,96	-0,12
N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>60</sub>	0,99	-0,09
Навоз подстильный, 10 т/га	1,25	+0,17
Навоз подстильный, 20 т/га	1,47	+0,39
N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	1,04	-0,04
N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>90</sub>	0,95	-0,13
Навоз, 5 т/га + N <sub>25</sub> P <sub>12</sub> K <sub>30</sub>	1,07	-0,01
N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub> + солома**	1,09	+0,01
Последствие навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub> + солома + сидерат**	1,10	+0,02
Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	1,26	+0,18
N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	1,08	+0,00
N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub> + солома*	1,08	+0,00
Навоз, 10 т/га + N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	1,25	+0,17

\*С 1990 г., \*\*С 2002 г. НСР<sub>0,95</sub> = 0,05%,

Для определения активной (трансформируемой) части почвенного органического вещества использовали показатель минимального содержания гумуса, который может быть установлен при длительном паровании почвы, либо в почве контрольных вариантов опытов, когда в нее поступает незначительное количество свежего органического вещества [11]. При этом содержание активного (трансформируемого) органического вещества почв определяют по уравнению:

$$C_{\text{trans}} = C_{\text{орг}} - C_{\text{min}},$$

где  $C_{\text{орг}}$  – содержание ОВ в вариантах опыта;

$C_{\text{min}}$  – минимальное содержание гумуса в почве длительного чистого пара (контрольного варианта).

Для условий ФРГ определено, что величина  $C_{\text{min}}$  связана с гранулометрическим составом почв по уравнению:

$$C_{\text{min}} = 0,04 L,$$

где  $L$  – содержание частиц менее 0,0063 мм, %.

В условиях Российской Федерации при анализе гранулометрического состава почв, наиболее близкая к указанной фракции – фракция мелкой пыли и ила (< 0,005 мм), однако чаще всего определяется фракция физической глины (< 0,01 мм). Величину поправочного коэффициента для установления  $C_{\text{min}}$  можно опреде-

лить на основе содержания органического вещества в почве многолетнего чистого пара:

$$K = C_{\min} / L,$$

где  $C_{\min}$  – содержание углерода гумуса в длительно парующей почве,  $L$  – содержание различных гранулометрических фракций, %.

Определение в почве бессменного чистого пара содержания органического вещества свидетельствует о тесной зависимости его от гранулометрического состава почвы. Коэффициенты корреляции между  $C_{\text{орг}}$  и содержанием частиц размером  $\leq 0,005$ ,  $\leq 0,01$ ,  $\leq 0,05$  мм составляют 0,765, 0,817 и 0,818 соответственно (рис.1).

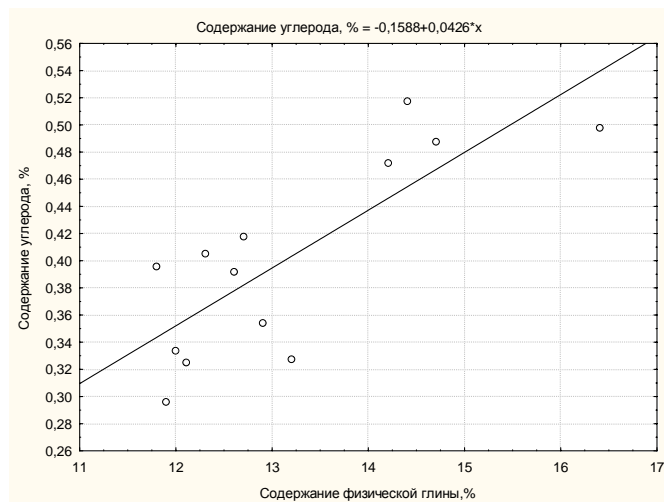


Рис. 1. Изменение содержания гумуса в почве бессменного чистого пара в зависимости от количества в ней физической глины

Минимальное содержание органического углерода в почве бессменного чистого пара составляет 0,495 %, с учетом количества физической глины в 1- и 2-м полях опыта содержание инертного органического углерода в почве зернопропашного севооборота равно 0,51%.

Исследования показали, что при длительном применении удобрений в почве происходит существенное увеличение содержания активного (трансформируемого) органического вещества, в то время как в контрольном варианте оно близко к минимальному. Доля  $C_{\text{trans}}$  в общем содержании органического углерода в почве в вариантах: без удобрений составила 3 %; навоз, 20 т/га – 40; навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$  – 30,  $N_{100}P_{50}K_{120}$  – 19, навоз, 10 т/га +  $N_{100}P_{50}K_{120}$  – 30% (рис.2).

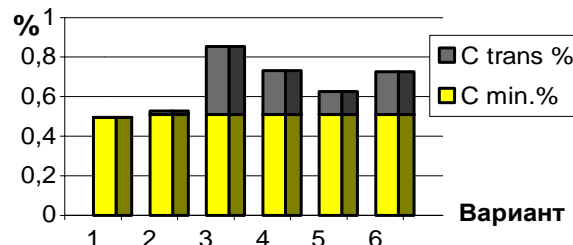


Рис. 2. Содержание инертного и трансформируемого органического вещества в почве в зависимости от систем удобрения (варианты: 1 – бессменный чистый пар; 2 – севооборот без удобрений; 3 – навоз, 20 т/га; 4 – навоз, 10 т/га +  $N_{50}P_{25}K_{60}$ ; 5 –  $N_{100}P_{50}K_{120}$ ; 6 – навоз, 10 т/га +  $N_{100}P_{50}K_{120}$ )

Результаты исследований качественного состава гумуса показывают различную направленность его изменения при использовании органических и минеральных удобрений. Установлено, что доля гумусовых веществ, извлекаемых раствором 0,1 М NaOH + 0,1 М  $Na_4P_2O_7$  колеблется, в зависимости от почвенного горизонта и удобрений, от 26 до 58 %. В пахотных горизонтах доля извлекаемой части гумуса составляет 34-37 %, в подпахотных – 30-40, в слое 40-60 см – 31-58 %. В более глубоких горизонтах почвы доля извлекаемой части гумуса имеет тенденцию к снижению, что связано с утяжелением гранулометрического состава почвы (табл. 6).

6. Групповой состав гумуса по вариантам опыта (в среднем по 2 полям, конец 6-й ротации севооборота)

Вариант опыта	Глубина горизонта, см	$C_{\text{общ.}}$	Гуминовые кислоты		Фульвокислоты		Остаток		$C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$
			C, %	% к $C_{\text{общ.}}$	C, %	% к $C_{\text{общ.}}$	C, %	% к $C_{\text{общ.}}$	
Без удобрений	0-20	0,571	0,061	11	0,138	24	0,372	65	0,44
	20-40	0,277	0,018	4	0,066	24	0,193	70	0,27
	40-60	0,138	0,004	3	0,043	31	0,092	67	0,08
	60-80	0,121	0,003	2	0,035	29	0,083	69	0,09
	80-100	0,118	0,004	3	0,045	38	0,069	58	0,08
Навоз, 20 т/га	0-20	0,730	0,096	13	0,157	22	0,477	65	0,61
	20-40	0,390	0,028	7	0,102	26	0,263	67	0,27
	40-60	0,151	0,008	5	0,058	38	0,085	57	0,14
	60-80	0,142	0,005	4	0,051	36	0,085	60	0,10
	80-100	0,116	0,003	3	0,027	23	0,086	74	0,11
Навоз, 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$	0-20	0,671	0,080	12	0,152	23	0,439	65	0,53
	20-40	0,314	0,026	8	0,079	25	0,209	67	0,33
	40-60	0,186	0,009	5	0,099	53	0,078	42	0,09
	60-80	0,155	0,004	3	0,049	32	0,102	66	0,08
	80-100	0,165	0,004	2	0,051	31	0,110	67	0,08
$N_{100}P_{50}K_{120}$	0-20	0,589	0,073	12	0,148	25	0,362	63	0,49
	20-40	0,258	0,023	9	0,081	31	0,154	60	0,28
	40-60	0,172	0,006	3	0,059	34	0,107	63	0,10
	60-80	0,154	0,006	4	0,055	36	0,093	60	0,11
	80-100	0,124	0,004	3	0,037	30	0,084	67	0,11

Доля гуминовых кислот в составе гумуса изменялась по вариантам опыта от 11 до 13 %. Наибольший прирост содержания гуминовых кислот произошел в варианте с органической системой удобрения, в результате увеличилось соотношение  $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ , а тип гумуса вместо

фульватного стал гуматно-фульватным. При использовании органоминеральной системы удобрения также произошло увеличение содержания гуминовых кислот и соотношения  $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ , хотя и в меньшей степени по сравнению с органической системой удобрения.



Применение минеральных удобрений способствовало увеличению подвижности гумуса, в результате чего доля негидролизующего остатка в пахотном и подпахотном горизонтах почвы снизилась с 65-70 до 60-63 %. При этом тип гумуса остался фульватным. Во всех вариантах опыта отмечаются резкое снижение содержания гуминовых и увеличение доли фульвовых кислот с глубиной отбора проб. В иллювиальных горизонтах почвы доля гуминовых кислот составила 2-5 % от общего содержания гумуса, а тип гумуса был резко фульватным.

Более подробная характеристика изменения качественного состава гумуса получена при последовательном фракционировании его по методу Пономаревой – Плотниковой. В соответствии с этим методом выделяют 7 фракций гумусовых соединений, в том числе 3 фракции гуминовых кислот, 4 фракции фульвокислот и негидролизующий остаток, в состав которого входят гумусовые вещества, прочно связанные с минеральной

частью почвы, а также частично гумифицированные продукты разложения, не определяемые при ручном отборе (детрит).

Применение органических удобрений способствовало увеличению в 2 раза содержания гуминовых кислот и снижению содержания фракции 1а – «агрессивных» фульвокислот. В результате этого отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  возросло с 0,58 до 0,99. При использовании органо-минеральной системы удобрения основные закономерности в изменении качественного состава гумуса оказались сходными с органической системой удобрения, однако прирост содержания гуминовых кислот был ниже и составил 75-87 %. Соответственно отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  возросло до 0,85.

Применение минеральных удобрений способствовало некоторому увеличению содержания 1- и 3-й фракций гуминовых кислот, в то время как, содержание 2-й фракции ГК, связанной с кальцием, несколько снизилось (табл.7).

**7. Влияние длительного применения систем удобрения на фракционно-групповой состав гумуса**

Вариант опыта	С <sub>орг.</sub> , %	Фракция гуминовых кислот			Фракция фульвокислот				Негидроли- зуемый остаток	С <sub>ГК</sub> : С <sub>ФК</sub>
		1-я	2-я	3-я	1а	1-я	2-я	3-я		
% к массе почвы										
1. Без удобрений	0,542	0,039	0,007	0,024	0,020	0,071	0,017	0,012	0,352	0,58
2. Навоз, 20 т/га	0,688	0,080	0,016	0,048	0,016	0,093	0,014	0,022	0,399	0,99
3. Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	0,607	0,072	0,014	0,043	0,017	0,076	0,039	0,019	0,327	0,85
4. N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	0,536	0,052	0,009	0,034	0,013	0,095	0,015	0,026	0,292	0,64
5. Навоз, 10 т/га + N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	0,613	0,067	0,008	0,040	0,010	0,087	0,010	0,020	0,371	0,90
% к С <sub>орг.</sub>										
1. Без удобрений	100	7,2	1,5	4,2	3,7	13,1	3,1	2,2	65,0	
2. Навоз, 20 т/га	100	11,6	2,3	7,0	2,3	13,5	2,0	3,2	58,1	
3. Навоз, 10 т/га + N <sub>50</sub> P <sub>25</sub> K <sub>60</sub>	100	11,9	2,3	7,1	2,8	12,5	6,4	3,1	53,9	
4. N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	100	9,7	1,7	6,3	2,4	17,7	2,8	4,9	54,5	
5. Навоз, 10 т/га + N <sub>100</sub> P <sub>50</sub> K <sub>120</sub>	100	10,9	1,3	6,5	1,6	14,2	1,6	3,3	60,5	

Важнейший показатель свойств гумусовых соединений – оптическая плотность. Она характеризует соотношение в их составе ароматических и алифатических групп. Исследованиями установлено, что наиболее высокие показатели оптической плотности гуминовых кислот наблюдаются в контрольном варианте и при использовании минеральной системы удобрения. Применение органических удобрений снижало оптическую плотность гуминовых кислот, что свидетельствует об увеличении в их составе доли алифатических структур и снижении степени бензоидности. Об этом же свидетельствует более широкое отношение  $E_{465} : E_{665}$  в вариантах с органическими удобрениями (табл. 8).

**8. Оптическая плотность гуминовых кислот (ГК-1 + ГК-2)**

Вариант опыта	Оптическая плотность $E_{ГКК}$ , мг/мл	$E_{465\text{ нм}} : E_{665\text{ нм}}$
Без удобрений	12,45	4,82
Навоз, 20 т/га	9,42	5,26
Навоз, 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$	11,40	5,20
$N_{100}P_{50}K_{120}$	12,38	4,93
Навоз, 10 т/га + $N_{100}P_{50}K_{120}$	10,38	5,15

Вместе с тем, несмотря на длительное применение даже повышенных доз органических удобрений, направленность гумусообразования меняется незначительно, сохраняя основные черты, свойственные данному генетическому типу почвы.

**Заключение.** Длительное применение удобрений способствует повышению плодородия почв и получе-

нию в севообороте на дерново-подзолистых супесчаных почвах до 40 ц з.е/га. Под влиянием повышенных доз органических удобрений происходит увеличение в почве запасов органического вещества, в том числе его активной (трансформируемой) части. В составе гумуса увеличивается содержание гуминовых кислот, в т.ч. связанных с кальцием, увеличивается отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$ , снижается оптическая плотность гуминовых кислот. Применение минеральных удобрений способствует увеличению подвижности гумуса за счет роста доли 1-й фракции и снижения доли 2-й фракции гумусовых кислот. При использовании удобрений в почве возникают новые уровни стационарного состояния гумуса, соответствующие поступлению органического вещества с растительными остатками и удобрениями и его минерализации. Однако, несмотря на длительное применение даже повышенных доз органических удобрений, в почве сохраняются основные черты гумусообразования, свойственные данному генетическому типу.

#### Литература

1. Никитин Б.А. Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 277 с.
2. Пестряков В.К. Гумусовый профиль дерново-подзолистых почв // Роль органического вещества в формировании почв и их плодородия. Научные труды. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1990. – С. 93-100.
3. Жуков А.И., Сорокина Л.П., Мосалева В.В. Гумус и урожайность зерновых культур на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 55-61.
4. Кёршенс М., Шульц Е. Органическое вещество почвы: динамика – воспроизводство – экономически и экологически обоснованные пока-

затели // Методы исследований органического вещества почв. – Владимир: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 43-85.

5. Körschens M. Soil -Humus -Climate. Practically relevant results of 79 long-term field experiments // Vortrag zum 2. Symp. "Wahrnehmung und Bewertung von Böden in der Gesellschaft am 12 Oktober 2018 im UFZ Leipzig". 2018. 12 p.

6. Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К., Рухович О.В., Беличенко М.В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России // Почвоведение. – 2020. – № 12. С.1521-1536.

7. Володарская И.В., Канзываа С.О, Завьялова Н.Е. Использование показателей фракционного состава и оптических свойств гумуса для обоснования результатов системного изучения агрогенной трансформации органического вещества (по исследованиям в длительных опытах на средне- и тяжелосуглинистых дерново-подзолистых поч-

вах) // Методы исследований органического вещества почв. – Владимир: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 86-101.

8. Шевцова Л.К., Черников В.А., Сычев В.Г., Беличенко М.В. и др. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1 // Агрохимия.-2019. – № 10. – С. 3-15.

9. Лукин С.М., Марчук Е.В., Золкина Е.И. Продуктивность зернопашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия. – 2018. – № 2. – С. 71-78.

10. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.

11. Körschens M. Beziehungen zwischen Feinanteil, C<sub>h</sub>- und N<sub>h</sub>- Gehalt des Bodens.-Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin, 1980, Bd. 24, (9), p.585–592.

## INFLUENCE OF LONG-TERM FERTILIZERS APPLICATION ON THE CROP ROTATION PRODUCTIVITY, CONTENT AND COMPOSITION OF SOIL ORGANIC MATTER

S.M. Lukin, Ye.I. Zolkina, Ye.V. Marchuk

All-Russian Scientific Research Institute of Organic Fertilizers – a branch of Upper Volga Federal Agrarian Research Center, Pryanishnikova ul. 2, 601390 Vyatkin, Russia, e-mail: [vnion@vtsnet.ru](mailto:vnion@vtsnet.ru)

*The results of the study of the effect of long-term application of fertilizers on crop yield and productivity of grain- row crop rotation, the content and qualitative composition of humus of sod-podzolic sandy loam soil are presented. It is established that long-term fertilizer application increased fertilizer contribution to crop yield. When using increased doses of organic fertilizers, the humus reserves in the soil increase, the content of humic acids, including those associated with calcium, increases, the ratio of C<sub>ha</sub>:C<sub>fa</sub> increases, and the optical density of humic acids decreases. The use of mineral fertilizers helps to increase the mobility of humus by increasing the share of fraction 1 and reducing the share of fractions 2 of humic acids. Under fertilizers application, new levels of the stationary state of humus arise, corresponding to the intake of organic matter with plant residues and fertilizers and its mineralization are emerge in the soil. At the same time, despite the long-term use of organic fertilizers, the main features of humus formation characteristic of this genetic soil type remains unchanged.*

**Keywords:** crop rotation, long-term stationary experiments, organic fertilizers, mineral fertilizers, sod-podzolic soils, soil humus.