

УДК 631.416.2:631.445.24:631.81:631.582

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГУМУСА ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ УДОБРЕНИЯ ОВОЩНОГО СЕВООБОРОТА

© 2019 г. Е. В. Воропаева^{1,*}, В. В. Воропаев²

¹Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина
196605 Санкт-Петербург—Пушкин, Петербургское ш., 10, Россия

²Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

*E-mail: lena.voropaeva.1973@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2018 г.

После доработки 23.10.2018 г.

Принята к публикации 13.06.2019 г.

Изучено влияние различных систем удобрения на содержание и качественный состав гумуса за ротацию овощного севооборота в дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности. Установлено увеличение содержания гумуса во всех вариантах хорошо окультуренной и высоко окультуренной почвы. Показано, что внесение навоза и извести в овощном севообороте оказало положительное влияние на трансформацию фракционного состава гумуса. Действие органо-минеральных систем удобрения проявилось главным образом в перераспределении фракций в составе гумуса, но не вышло за рамки принадлежности к зональному ряду почв. Приемы окультуривания привели к существенному увеличению наиболее трансформируемой части гумуса в хорошо- и высоко окультуренных вариантах.

Ключевые слова: содержание гумуса, качественный состав гумуса, окультуренная дерново-подзолистая почва, различные системы удобрения, овощной севооборот.

DOI: 10.1134/S0002188119090126

ВВЕДЕНИЕ

Легкие дерново-подзолистые почвы интенсивно используют в сельскохозяйственном производстве, имея при этом невысокие показатели почвенного плодородия, важнейшими из которых являются уровень содержания гумуса и его качественный состав. Длительное антропогенное воздействие на почву в условиях интенсивного земледелия часто приводит к деградации их гумусового состояния.

Содержание и состав гумусовых веществ являются основными показателями, определяющими процесс почвообразования, диагностические признаки, свойства и режимы почвы. Также гумус выполняет многочисленные экологические функции. При этом гумусовые вещества характеризуются достаточно высокой химической стабильностью и устойчивостью к биологическому разложению и в то же время могут значительно изменяться в результате проведения агротехнических мероприятий.

Проведенные исследования гумуса почв [1–5] показали, что различные агротехнологические приемы воздействуют на многие показатели гумусового состояния почв: содержание и запасы гумуса, распределение их по профилю, изменения во фракционно-групповом составе, химической структуре гумусовых веществ, содержании активных компонентов в составе гумуса. Главным фактором создания благоприятного гумусового режима является применение удобрений.

В связи с этим цель работы – изучение влияния минеральных и органо-минеральных систем удобрения на содержание и фракционно-групповой состав гумуса супесчаной дерново-подзолистой почвы в условиях агрофизического стационара Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2006 г. в агрофизическом стационаре под руководством Семенова В.А. был заложен опыт по оценке уровня воспроизводства плодородия

Таблица 1. Применение систем удобрения в овощном севообороте на различной по степени окультуривания дерново-подзолистой почве

Культура	Вариант	Уровни окультуривания почвы		
		средне окультуренная	хорошо окультуренная	высоко окультуренная
Капуста белокочанная	1	0	0	0
	2	N50P0K0	80 т/га + N70P40K80	100 т/га + N80P50K90
	3	N70P30K60	80 т/га + N90P70K100	100 т/га + N110P80K110
Морковь столовая	1	N40P0K20	N40P10K30	N60P20K40
	2	N90P50K70	N110P60K80	N110P60K80
	3	N110P80K110	N120P90K110	N130P90K120
Свекла столовая	1	0	N40P0K30	N40P20K30
	2	N40P20K50	N60P0K50	N70P30K50
	3	N70P30K80	N100P40K80	N110P50K50
Ячмень + многолетние травы 1-го года пользования	1	N30P0K30	N45P0K0	N40P0K0
	2	N40P10K40	N55P30K30	N60P30K30
	3	N70P30K70	N100P60K70	N110P50K60
Многолетние травы 2-го года пользования	1	0	0	0
	2	N50P0K70	N50P0K70	N50P0K70
	3	N70P0K90	N70P0K90	N70P0K90

Примечание. Нумерация вариантов та же в табл. 2–5.

окультуренной дерново-подзолистой почвы в системах удобрения разной интенсивности.

На подготовительном этапе с 2003 по 2005 г. была сформирована трехвариантная схема системы воспроизводства почвенного плодородия (окультуривания) за счет применения навоза и извести: 1 – контроль без удобрений (средне окультуренная почва), 2 – навоз 160 т/га + известь 1 т/га (хорошо окультуренная почва), 3 – навоз 520 т/га + известь 3 т/га (высоко окультуренная почва). В ходе исследования для поддержания плодородия система удобрения была дополнена внесением навоза под капусту в дозах 80 и 100 т/га в вариантах 2 и 3.

Дополнительным фактором исследования была минеральная система удобрения, направленная на регулирование питания культур в соответствии с их биологическими особенностями и различными уровнями интенсивности технологий их возделывания. Расчет доз минеральных удобрений осуществляли на планируемую урожайность по приходу ФАР с поправкой на плодородие почвы. Внесение удобрений в севообороте осуществляли по схеме, представленной в табл. 1.

Исходная почва опыта – дерново-слабоподзолистая окультуренная супесчаная с оптимальными параметрами агрохимических свойств: pH_{KCl} 5.6, содержание гумуса – 3%, $N_{общ}$ – 0.14%, содер-

жание подвижных соединений P_2O_5 – 285 мг/кг, K_2O – 220 мг/кг. К 2006 г. показатели были улучшены до следующих величин: pH_{KCl} 6.2 и 6.4, содержание гумуса – 3.5–3.8%, $N_{общ}$ – 0.20 и 0.22%, содержание подвижных соединений P_2O_5 – 355 и 433 мг/кг, K_2O – 484 и 738 мг/кг в вариантах 2 и 3 соответственно.

Исследование провели в овощном севообороте: капуста белокочанная–столовая морковь–столовая свекла–ячмень + многолетние травы–многолетние травы 1-го года пользования–многолетние травы 2-го года пользования (клевер красный + тимофеевка луговая).

Программа наблюдений включала отбор образцов после окончания ротации севооборота с целью определения изменения содержания в почве гумуса, его лабильных форм и группового состава. Общий углерод определяли по Тюрину, групповой состав гумуса – по Тюрину в модификации Пономаревой–Плотниковой, лабильный – по методу Почвенного института, углерод, экстрагируемый горячей водой, – по Шульц–Кершенсу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание общего углерода и гумуса в вариантах опыта представлено в табл. 2.

Таблица 2. Содержание общего углерода и гумуса в вариантах опыта в 2006 и 2011 гг.

Вариант	2006 г.		2011 г.	
	С	гумус	С	гумус
%				
Средне окультуренная почва				
1	2.11	3.64	1.81	3.12
2	1.66	2.86	1.60	2.76
3	1.59	2.75	1.90	3.28
Хорошо окультуренная почва				
1	2.02	3.49	2.51	4.33
2	2.35	4.04	2.98	5.13
3	2.26	3.90	3.45	5.25
Высоко окультуренная почва				
1	2.23	3.84	2.78	4.80
2	2.33	4.03	2.64	4.55
3	2.26	3.89	2.80	4.83
<i>HCP</i> _{0,5}	0.1	—	0.1	—

Количество гумуса по итогам 1-й ротации овощного севооборота достоверно снизилось на 0.52% в контрольном варианте средне окультуренной почвы. Такое снижение содержания гумуса произошло в результате повышения его минерализации под пропашными культурами севооборота. В варианте 3 средне окультуренной почвы содержание гумуса за ротацию увеличилось на 0.53%, что было связано с увеличением поступления послеуборочных остатков в почву при применении интенсивной минеральной системы удобрения.

Применение органических удобрений и мелиоранта способствовало увеличению содержания гумуса во всех вариантах хорошо окультуренной и высоко окультуренной почвы. На хорошо окультуренной почве при внесении минеральных удобрений количество гумуса возросло на 0.84%, в варианте 2 — на 1.09, в варианте 3 — на 1.35%. В вариантах с высоко окультуренной почвой содержание гумуса увеличилось в варианте 1 на 0.96, 2 — на 0.52, 3 — на 0.94%.

Возрастание количества гумуса в вариантах с хорошо и высоко окультуренной почвой произошло как в результате внесения органических удобрений, так и в результате увеличения поступления в почву послеуборочных и корневых остатков возделываемых в севообороте культур, особенно многолетних трав.

Известно, что применение минеральных, органических и известковых удобрений способству-

ет созданию и сохранению благоприятного гумусового режима дерново-подзолистых почв. При этом системы удобрения должны не только поддерживать оптимальное количество гумуса, но и способствовать улучшению его качественного состава.

При изучении качественных показателей гумуса в 2006 г. (табл. 3) установлено, что исходная почва опыта без внесения навоза и извести (средне окультуренный вариант) характеризовалась низким содержанием всех фракций ГК, в составе которых преобладали фракции ГК-1 и ГК-3. Фракция ГК-2 отсутствовала. Суммарное содержание ФК в почве было больше суммы ГК, при этом соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ составляло 0.70–0.72.

Внесение навоза и извести на подготовительном этапе (хорошо окультуренный вариант) привело к увеличению суммы ГК за счет фракций ГК-1 и ГК-3, количество фракции ГК-2 не изменилось. Возросло суммарное количество ФК, в основном в результате увеличения фракции ФК-1. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ составило 0.85–0.86.

Применение высокой дозы органических удобрений и извести (высоко окультуренный вариант) привело к появлению фракции ГК-2 в составе гумуса, но не обеспечило дальнейшего улучшения его качественного состава. Таким образом, приемы окультуривания приводили к изменению фракционно-группового состава гумуса почвы, но при этом сохранялись типичные для данных почв признаки гумусообразования: низкое содержание фракции ГК-2, преобладание в групповом составе ФК и, как следствие, фульватная направленность процессов образования гумуса.

Приемы сельскохозяйственного использования почвы за ротацию овощного севооборота привели не только к изменению содержания гумуса, но и его фракционно-группового состава. Анализ данных табл. 3 показал увеличение суммы ГК, в т.ч. количества наиболее агрономически ценной фракции ГК-2, предположительно связанной с Са. По мнению авторов работы [1], это закономерный процесс, названный расфракционированием или перегруппировкой фракций, который наблюдают в гумусе дерново-подзолистых почв при известковании. В результате, наряду с уменьшением содержания ГК, переходящих в непосредственную щелочную вытяжку, увеличивается доля фракции ГК-2, связанной с Са.

Такая же закономерность была отмечена в составе ФК. Суммарное количество ФК возрастало (в % к С), при этом выявлена тенденция к снижению наиболее агрессивной фракции ФК-1а.

Таблица 3. Фракционно-групповой состав гумуса дерново-подзолистой почвы

Вариант	C _{общ.} , %	Фракции ГК				Фракции ФК					Σ фракций	НО	ГК/ФК
		1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ			
2006 г.													
Средне окультуренная почва													
1	2.11	<u>0.30</u> 14.3	<u>0.0</u> 0	<u>0.25</u> 11.9	<u>0.55</u> 26.2	<u>0.08</u> 3.8	<u>0.24</u> 11.4	<u>0.16</u> 7.6	<u>0.29</u> 13.8	<u>0.77</u> 36.7	<u>1.32</u> 62.8	<u>0.79</u> 37.2	0.71
2	1.66	<u>0.26</u> 15.3	<u>0.0</u> 0	<u>0.22</u> 12.9	<u>0.48</u> 28.2	<u>0.08</u> 4.7	<u>0.19</u> 11.2	<u>0.15</u> 8.8	<u>0.26</u> 15.3	<u>0.68</u> 40.0	<u>1.16</u> 68.2	<u>0.50</u> 31.8	0.70
3	1.59	<u>0.25</u> 15.6	<u>0.0</u> 0	<u>0.21</u> 13.1	<u>0.46</u> 28.7	<u>0.07</u> 4.4	<u>0.19</u> 11.9	<u>0.13</u> 8.1	<u>0.25</u> 15.6	<u>0.64</u> 40.0	<u>1.10</u> 68.7	<u>0.49</u> 31.3	0.72
Хорошо окультуренная почва													
1	2.02	<u>0.40</u> 20.0	<u>0.0</u> 0	<u>0.35</u> 17.5	<u>0.75</u> 37.5	<u>0.08</u> 4.0	<u>0.40</u> 20.0	<u>0.10</u> 5.0	<u>0.30</u> 15.0	<u>0.88</u> 44.0	<u>1.63</u> 81.5	<u>0.39</u> 18.5	0.85
2	2.35	<u>0.43</u> 18.7	<u>0.0</u> 0	<u>0.39</u> 16.9	<u>0.82</u> 35.6	<u>0.09</u> 3.9	<u>0.42</u> 18.3	<u>0.11</u> 4.8	<u>0.34</u> 14.8	<u>0.96</u> 41.7	<u>1.78</u> 77.4	<u>0.57</u> 22.6	0.85
3	2.26	<u>0.44</u> 19.1	<u>0.0</u> 0	<u>0.36</u> 15.6	<u>0.80</u> 34.8	<u>0.09</u> 3.9	<u>0.39</u> 16.9	<u>0.12</u> 5.2	<u>0.33</u> 14.3	<u>0.93</u> 40.4	<u>1.73</u> 75.2	<u>0.53</u> 24.8	0.86
Высоко окультуренная почва													
1	2.23	<u>0.37</u> 16.8	<u>0.02</u> 0.9	<u>0.34</u> 15.4	<u>0.71</u> 32.3	<u>0.08</u> 3.6	<u>0.32</u> 14.5	<u>0.11</u> 5.0	<u>0.34</u> 15.4	<u>0.85</u> 38.6	<u>1.56</u> 70.9	<u>0.67</u> 29.1	0.83
2	2.33	<u>0.38</u> 16.5	<u>0.02</u> 0.9	<u>0.34</u> 14.8	<u>0.72</u> 30.4	<u>0.08</u> 3.5	<u>0.34</u> 14.8	<u>0.09</u> 3.9	<u>0.35</u> 15.2	<u>0.86</u> 37.4	<u>1.58</u> 68.7	<u>0.75</u> 31.3	0.84
3	2.26	<u>0.37</u> 16.1	<u>0.02</u> 0.9	<u>0.35</u> 15.2	<u>0.74</u> 32.2	<u>0.08</u> 3.5	<u>0.34</u> 14.8	<u>0.10</u> 4.3	<u>0.35</u> 15.2	<u>0.87</u> 37.8	<u>1.61</u> 70.0	<u>0.65</u> 30.0	0.85
HCP _{0.5}	0.1	<u>0.02</u> 0.3	<u>0.01</u> 0.5	<u>0.02</u> 0.4	—	<u>0.01</u> 0.2	<u>0.02</u> 0.6	<u>0.01</u> 0.3	<u>0.01</u> 0.4	—	—	—	—
2011 г.													
Средне окультуренная почва													
1	1.81	<u>0.31</u> 17.2	<u>0.02</u> 1.1	<u>0.28</u> 15.5	<u>0.61</u> 33.9	<u>0.07</u> 3.9	<u>0.32</u> 17.7	<u>0.03</u> 1.7	<u>0.38</u> 21.1	<u>0.80</u> 44.4	<u>1.41</u> 78.3	<u>0.40</u> 21.7	0.76
2	1.60	<u>0.28</u> 17.5	<u>0.02</u> 1.2	<u>0.25</u> 15.6	<u>0.55</u> 34.3	<u>0.07</u> 4.3	<u>0.29</u> 18.1	<u>0.05</u> 3.1	<u>0.35</u> 21.8	<u>0.76</u> 47.5	<u>1.31</u> 81.8	<u>0.29</u> 18.2	0.72
3	1.90	<u>0.33</u> 17.4	<u>0.02</u> 1.0	<u>0.29</u> 15.3	<u>0.64</u> 33.7	<u>0.06</u> 3.1	<u>0.30</u> 15.7	<u>0.04</u> 2.1	<u>0.39</u> 20.5	<u>0.79</u> 41.6	<u>1.43</u> 75.3	<u>0.47</u> 24.7	0.81
Хорошо окультуренная почва													
1	2.51	<u>0.39</u> 15.6	<u>0.06</u> 2.4	<u>0.34</u> 13.6	<u>0.79</u> 31.6	<u>0.07</u> 2.8	<u>0.34</u> 13.6	<u>0.12</u> 4.8	<u>0.31</u> 12.4	<u>0.84</u> 33.6	<u>1.63</u> 65.2	<u>0.88</u> 34.8	0.94
2	2.98	<u>0.42</u> 14.5	<u>0.06</u> 2.1	<u>0.43</u> 14.8	<u>0.91</u> 31.4	<u>0.08</u> 2.7	<u>0.39</u> 13.4	<u>0.13</u> 4.5	<u>0.45</u> 15.5	<u>1.05</u> 36.2	<u>1.96</u> 67.6	<u>1.02</u> 32.4	0.87
3	3.45	<u>0.43</u> 14.3	<u>0.09</u> 3.0	<u>0.44</u> 14.7	<u>0.96</u> 32.0	<u>0.07</u> 2.4	<u>0.39</u> 13.0	<u>0.09</u> 3.0	<u>0.39</u> 13.0	<u>0.94</u> 31.3	<u>1.90</u> 63.3	<u>1.55</u> 36.7	1.02
Высоко окультуренная почва													
1	2.78	<u>0.37</u> 13.2	<u>0.09</u> 3.2	<u>0.39</u> 13.9	<u>0.85</u> 29.6	<u>0.07</u> 2.5	<u>0.39</u> 13.9	<u>0.11</u> 3.9	<u>0.32</u> 11.4	<u>0.92</u> 32.8	<u>1.77</u> 63.2	<u>1.01</u> 36.8	0.92
2	2.64	<u>0.36</u> 13.8	<u>0.11</u> 4.2	<u>0.38</u> 14.6	<u>0.85</u> 32.7	<u>0.07</u> 2.7	<u>0.36</u> 13.8	<u>0.08</u> 3.1	<u>0.36</u> 13.8	<u>0.87</u> 33.5	<u>1.72</u> 66.1	<u>0.92</u> 33.9	0.97
3	2.80	<u>0.34</u> 12.1	<u>0.12</u> 4.3	<u>0.40</u> 14.3	<u>0.86</u> 30.7	<u>0.07</u> 2.5	<u>0.33</u> 12.5	<u>0.09</u> 3.2	<u>0.33</u> 11.8	<u>0.84</u> 30.0	<u>1.70</u> 60.7	<u>1.10</u> 39.3	1.05
HCP _{0.5}	0.1	<u>0.02</u> 0.4	<u>0.01</u> 0.6	<u>0.02</u> 0.4	—	<u>0.01</u> 0.3	<u>0.02</u> 0.5	<u>0.01</u> 0.3	<u>0.01</u> 0.8	—	—	—	—

Примечание. Над чертой – % от массы почвы, под чертой – % от C_{общ.}

Таблица 4. Содержание углерода, извлекаемого горячей водой, пирофосфатом натрия и щелочью

Вариант	C _{общ} , %	C _{эгв} , мг/кг	C _{пир} (рН 7.0)	C _{NaOH}
			% к массе почвы	
Средне окультуренная почва				
1	2.1	49	0.43	0.62
	1.8	38	0.32	0.70
2	1.7	52	0.41	0.53
	1.6	36	0.33	0.64
3	1.6	46	0.40	0.51
	1.9	37	0.30	0.69
Хорошо окультуренная почва				
1	2.0	77	0.45	0.88
	2.5	47	0.39	0.80
2	2.3	76	0.48	0.94
	2.9	51	0.42	0.89
3	2.3	79	0.53	0.92
	3.0	50	0.45	0.89
Высоко окультуренная почва				
1	2.2	98	0.49	0.77
	2.8	60	0.39	0.83
2	2.3	99	0.48	0.80
	2.6	57	0.40	0.79
3	2.3	101	0.47	0.79
	2.8	59	0.39	0.74
HCP _{0.5}	—	2.0	0.01	0.02
	—	1.0	0.2	0.4

Примечание. Над чертой – 2006 г., под чертой – 2011 г.

Внесение органических удобрений приводило к увеличению в составе гумуса относительного содержания негидролизуемого остатка, что связано с поступлением большого количества растительных остатков многолетних трав и полугумифицированных веществ с навозом. Известно, что в органических удобрениях содержится большое количество гумифицированных и полугумифицированных продуктов, содержащих лигниноподобные соединения, способные входить в состав негидролизуемого остатка [6, 7].

Соотношение C_{ГК} : C_{ФК} возрастало во всех вариантах опыта. Гуматную направленность процесса образования гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве обеспечивали наиболее интенсивные минеральные системы удобрения на фоне внесения навоза и применения извести.

По мнению некоторых исследователей [8], органическое вещество почв подразделяется на

2 фракции: первая – относительно инертное вещество почвы, и вторая – разлагаемая часть органического углерода. Роль второй части является особенно значимой в питании растений, т.к. она влияет на процессы минерализации и иммобилизации питательных веществ.

Э. Шульц и М. Кершенс [9] считали, что достоверным параметром оценки разлагаемой части органического вещества (**ОВ**) является содержание углерода, экстрагируемого горячей водой (C_{эгв}) (табл. 4). Установлено, что разлагаемая часть **ОВ** почв зависит от применения органических удобрений. Внесение навоза и мелиоранта привело к увеличению C_{эгв} в 2006 г. в хорошо и высоко окультуренных вариантах на 25–50%. Содержание C_{эгв} за ротацию овощного севооборота снижалось, особенно существенно в высоко окультуренных вариантах.

Сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева показано, что для дерново-подзолистых почв наиболее информативной для суждения о лабильных формах гумусовых веществ является вытяжка децимолярного раствора нейтрального пирофосфата натрия [2]. В нашем опыте в исследованную вытяжку переходило небольшое количество гумусовых веществ – от 0.3 до 0.5%. Содержание углерода, экстрагируемого пирофосфатом натрия, уменьшалось за ротацию севооборота на 0.06–0.11%.

На основании проведенных исследований в работе [3] предположили, что в дерново-подзолистой почве непосредственная щелочная вытяжка экстрагирует из почвы наиболее лабильные гумусовые вещества. Уменьшение содержания данных гумусовых веществ в хорошо и высоко окультуренной почвах происходило в результате перехода некоторой части наиболее оптически плотных гумусовых кислот во фракцию ГК-2, связанную с кальцием. Содержание углерода, извлекаемого 0.1 н. NaOH незначительно возрастало в средне окультуренных вариантах, в хорошо и высоко окультуренных почвах оно снижалось.

Одним из важнейших показателей гумусового состояния почв является глубина гумификации органического вещества, о которой судят по индексу оптической плотности гуминовых кислот. Этот показатель, разработанный Т.А. Плотниковой и В.В. Пономаревой [10], характеризует выраженность ароматических структур в молекулах гумусовых кислот и является наиболее информативным для характеристики их химической природы.

Индекс оптической плотности гуминовых кислот в вариантах с применением органо-минеральной системы удобрения незначительно сни-

жался, что можно было рассматривать как тенденцию к уменьшению доли ароматических структур в молекулах и увеличению их алифатической части (табл. 5).

Слабое влияние окультуривания легкой дерново-подзолистой почвы на величину оптической плотности гуминовых кислот отмечали в работе [11], что позволило выделить биоклиматический фактор как главный в формировании гуминовых кислот.

По мнению [10], биоклиматические условия Нечерноземной зоны способствуют формированию в подзолистых почвах гумусовых веществ типа фульвокислот, а гуминовые кислоты этих почв отличаются низкой оптической плотностью, что указывает на их слабую конденсированность и близость к фульвокислотам.

Таким образом, приемы окультуривания, улучшая агрохимические свойства почвы и оптимизируя почвенную микрофлору, оказали двойственное влияние на фракционно-групповой состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы. С одной стороны, с внесением больших доз навоза увеличилось количество подвижных гуминовых и фульвокислот. Одновременно активизировалась почвенная биота, что усилило процессы минерализации гумусовых веществ и привело к уменьшению количества нерастворимого остатка. Органические удобрения стимулировали процессы гумификации, и это в результате обеспечило увеличение суммарного содержания гуминовых кислот, вследствие чего отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот в среднем в опыте расширилось.

По результатам ротации овощного севооборота установлено увеличение содержания подвижных гумусовых веществ при внесении минеральных удобрений в средне окультуренных вариантах. По данным фракционно-группового состава можно сделать вывод о мобилизующем действии минеральных удобрений на почвенный гумус, в котором увеличилось содержание подвижных фракций, используемых в питании растений.

Внесение навоза и извести в овощном севообороте оказало положительное влияние на трансформацию фракционного состава гумуса, способствуя увеличению содержания гуматов кальция в пахотном слое и уменьшая количество подвижных гумусовых веществ в хорошо и высоко окультуренных вариантах.

Увеличение нерастворимого остатка в хорошо и высоко окультуренных вариантах было обусловлено поступлением большого количества свежих растительных остатков, которые при

Таблица 5. Оптическая плотность фракции ГК-1 (2011 г.)

Вариант	$C_{\text{общ}}, \%$	Оптическая плотность, $E_{\text{с}}^{\text{мг/мл}}$
Средне окультуренная почва		
1	1.81	6.9
2	1.60	7.5
3	1.90	6.4
Хорошо окультуренная почва		
1	2.51	6.0
2	2.98	5.8
3	3.45	5.7
Высоко окультуренная почва		
1	2.78	6.0
2	2.64	6.1
3	2.80	6.1

дальнейшей трансформации включались в состав гумина, что способствовало стабилизации гумуса почвы.

Действие органо-минеральных систем удобрения проявлялось главным образом в перераспределении фракций в составе гумуса, но не выходило за рамки принадлежности состава гумуса к зональному ряду почв по основным показателям: типу гумуса, отношению углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, величине нерастворимого остатка и другие.

Приемы окультуривания приводили к существенному увеличению содержания наиболее трансформируемой части гумуса в хорошо и высоко окультуренных вариантах. Однако высокое содержание активного пула гумуса ($C_{\text{эГВ}}$) при внесении больших доз навоза неизбежно связано с потерями углерода почвы и может быть экономически не выгодным и экологически небезопасным.

ВЫВОДЫ

1. Количество гумуса снизилось в контрольном варианте средне окультуренной почвы на 0.52%. Во всех вариантах хорошо окультуренной и высоко окультуренной почвы содержание гумуса достоверно увеличилось.

2. Супесчаная дерново-подзолистая почва без окультуривания содержала в сумме больше ФК, чем ГК, в связи с чем соотношение $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ составляло 0.72–0.81. Гумус во всех опытных вариантах был гуматно-фульватного типа.

3. Внесение навоза и извести на подготовительном этапе опыта привело к увеличению сум-

мы ГК за счет фракций ГК-1 и ГК-3. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ составило 0.83–0.86.

4. Органо-минеральная система удобрения овощного севооборота вызвала уменьшение содержания фракции ГК-1 в хорошо и высоко окультуренных вариантах, при этом возросло количество наиболее агрономически ценной фракции ГК-2.

5. Внесение органических удобрений привело к увеличению в составе гумуса относительного содержания нерастворимого остатка до 32.4–39.3% от общего С почвы против 20.5–21.8% в исходной почве.

6. Органо-минеральная система удобрения на фоне приемов окультуривания обеспечила расширение соотношения $C_{ГК} : C_{ФК}$ до 0.87–1.05.

7. Содержание углерода, экстрагируемого горячей водой, пирофосфатом натрия и 0.1 н. NaOH увеличилось при применении органо-минеральных систем удобрения.

8. Органо-минеральная система удобрения на фоне окультуривания показала тенденцию к снижению оптической плотности фракции ГК-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакина Л.Г., Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Изменение содержания и состава гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном полевом опыте по известкованию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 572–581.
2. Бакина Л.Г., Орлова Н.Е. Особенности извлечения гумусовых кислот из почв растворами пирофосфата натрия различной щелочности // Почвоведение. 2012. № 4. С. 445–452.
3. Бакина Л.Г., Плотникова Т.А., Митина О.Ж. Лабильность гумусовых веществ дерново-подзолистой глинистой почвы Северо-Запада России при известковании // Агрехимия. 1997. № 6. С. 27–31.
4. Воропаева Е.В. Гумусное состояние светло-серых лесных почв Волго-Вятского региона при длительном систематическом применении различных систем удобрения: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб.–Пушкин: СПбГАУ, 1998. 16 с.
5. Воропаева Е.В. Трансформация гумуса окультуренной дерново-подзолистой почвы в овощном севообороте // Мат-лы научн. сессии Агрофизического института по итогам 2013 г. Санкт-Петербург, 20–21 марта 2014 г. СПб.: АФИ, 2014. С. 79–84.
6. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 288 с.
7. Лана В.В., Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Бирюкова О.М. Влияние длительного применения удобрений на групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агрехимия и плодородие почв. 2011. № 1. С. 111–116.
8. Когут Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение. 2003. № 3. С. 308–316.
9. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. 1998. № 7. С. 890–894.
10. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Л.: Наука, 1980. 222 с.
11. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Трансформация состава и свойств хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава. СПб.: АФИ, 2011. 108 с.

Changes of Humus Content and Humus Composition of Sod-Podzolic Soil in Vegetable Crop Rotation at Different Fertilizer Application

E. V. Voropaeva^{a, #} and V. V. Voropaev^b

^aPushkin Leningrad State University
Peterburgskoe shosse 10, Saint-Petersburg-Pushkin 196605, Russia

^bAgrophysics Research Institute
Grazhdanskiy prosp. 14, Saint Petersburg 195220, Russia

[#]E-mail: lena.voropaeva.1973@mail.ru

The influence of different fertilizer application on humus content and humus composition for rotation of vegetable crop rotation in sod-podzolic soil of different degree of cultivation is considered. The increase of humus content in all variants of well-cultivated and highly cultivated soil is established. It was shown that the application of manure and lime in vegetable crop rotation had a positive impact on the transformation of the fractional composition of humus. The influence of organo-mineral fertilizer application were detected mainly in the redistribution of fractions in the humus, but did not go beyond belonging to the zone number of soils. Methods of cultivation have led to a significant increase in the most transformable part of the humus on the well – and highly cultivated variants.

Key words: humus content, humus composition, sod-podzolic soil, vegetable crop rotation, different fertilizer application.