

УДК 631.417.2:631.445.4

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ГРАНУЛОДЕНСИМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ЦЕЛИННОГО И ПАХОТНОГО ТИПИЧНОГО ЧЕРНОЗЕМА*

© 2010 г. Б.М. Когут¹, Э. Шульц², Н.А. Титова¹, В.А. Холодов¹

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, Россия
E-mail: kogutb@mail.ru

²Центр исследования окружающей среды им. Гельмгольца, Халле (Заале), Германия
E-mail: elke.schulz@ufz.de

Поступила в редакцию 23.11.2009 г.

Изучено изменение содержания органического углерода и азота, определенных способом сухого озоления на автоматическом анализаторе, при распашке целинных черноземов Курской обл. Рассмотрено участие органического вещества гранулоденсиметрических фракций в трансформации общего гумуса в ряду целинная степь–пятипольный зернотравяной севооборот без удобрений (длительность опыта – 37 лет)–бессменные пары (длительность опытов – 37 лет и 54 года). Установлено, что с увеличением антропогенных нагрузок уменьшение содержания общего органического углерода типичного чернозема происходит в основном за счет органического вещества легкой фракции с плотностью ≤ 1.8 г/см³ и таковых илистых частиц 1–2 мкм.

Ключевые слова: органическое вещество, гранулоденсиметрические фракции, целинный и пахотный типичные черноземы.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных причин, препятствующих устойчивому функционированию пахотных почв, является значительное сокращение в них гумуса [1–3]. Процесс уменьшения содержания и запасов гумуса при введении целинных почв в культуру известен давно, и общие закономерности этого процесса всесторонне освещены в работах [4, 5]. Подробный анализ данного процесса с современных позиций дан также в обзоре [6]. Однако проблема представляется в недостаточной степени изученной с точки зрения участия отдельных компонентов органического вещества в формировании и трансформации общего гумусового фонда.

Для решения подобной задачи целесообразно воспользоваться методом физического фракционирования почв. Исследования последних десятилетий убедительно показали, что он позволяет разделить сложную систему органического вещества почв на крупные функционально значимые группы компонентов, различающиеся по связи с глинистой частью почвы, и при этом выделить их с наименьшими изменениями их естественного состояния [7]. Эти группы фракций: легкая фракция с плотностью < 2.0 г/см³, не связанная с глинистой мат-

рицей, и илистые частицы, в которых органическое вещество адсорбировано глинистыми минералами и оксидами – гидроксидами Fe и Al. Было показано, что легкие и илистые фракции характеризуются различной массой, содержанием и составом органического вещества, а также различным ответом на характер землепользования и применяемые агротехнические приемы [8].

Цель работы – изучение динамики содержания органического углерода и азота при распашке целинных черноземов Курской обл. и участия органического вещества гранулоденсиметрических фракций в трансформации общего гумуса в ряду целинная степь–пятипольный зернотравяной севооборот без удобрений (длительность опыта – 37 лет)–бессменные пары (длительность опытов – 37 лет и 54 года).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование по участию отдельных компонентов в потере органического вещества целинными почвами при их различном использовании были проведены на типичном черноземе в Курской обл.: в Петринском опорном пункте Почвенного института им. В.В. Докучаева и Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. В.В. Алехина (ЦЧЗ). Смешанные образцы верхнего слоя (0–25 см) были отобраны в следующих вариантах: в длительном опыте Петринского опор-

* Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ 07-04-01186а.

ного пункта – бесменный чистый пар без удобрений (длительность 37 лет), пятипольный зерно-травяной севооборот без удобрений (клевер 1-го года пользования– озимая пшеница–сахарная свекла–кукуруза–яровой ячмень+клевер); в ЦЧЗ – бес-сменный чистый пар без удобрений (длительность 54 года) и целинная некосимая степь.

Гранулоденсиметрическое фракционирование воздушно-сухих образцов почв проводили по методу Шаймухаметова, Травниковой [9] в модификации Шульц [10]. Фракционирование проводили тремя основными операциями:

1. Выделение илистых частиц (<2 мкм) путем обработки образца почвы ультразвуком и дальнейшее разделение их на две подфракции размером < 1 мкм и 1–2 мкм.
2. Обработка остатка почвы бромформ-этанольной смесью с плотностью 2 г/см³ для выделения легких фракций той же плотности.

3. Разделение легких фракций на две с плотностью 1.8–2.0 и ≤ 1.8 г/см³.

Непосредственно перед фракционированием из образца почвы удаляли мелкие корни и другие растительные остатки путем центрифугирования с водой (3000 об./мин) в течение 10 мин.

Сущность модификации Э. Шульц состоит в дополнении к илистым частицам <1 мкм выделении частиц размером 1–2 мкм, как было в оригинальной методике [7] и как принято обозначать границу ила в отечественном почвоведении, чтобы иметь возможность сравнения с результатами зарубежных исследований, в которых принимают международную градацию ила < 2 мкм.

При этом были выделены 2 группы фракций: илистые – ИЛ1 (<1 мкм) и ИЛ2 (1–2 мкм), легкие фракции – ЛФ1 (с плотностью ≤ 1.8 г/см³) и ЛФ2 (с плотностью 1.8–2.0 г/см³). Илистые фракции выделяли и анализировали из смешанного образца каждого варианта опыта в четырехкратной повтор-

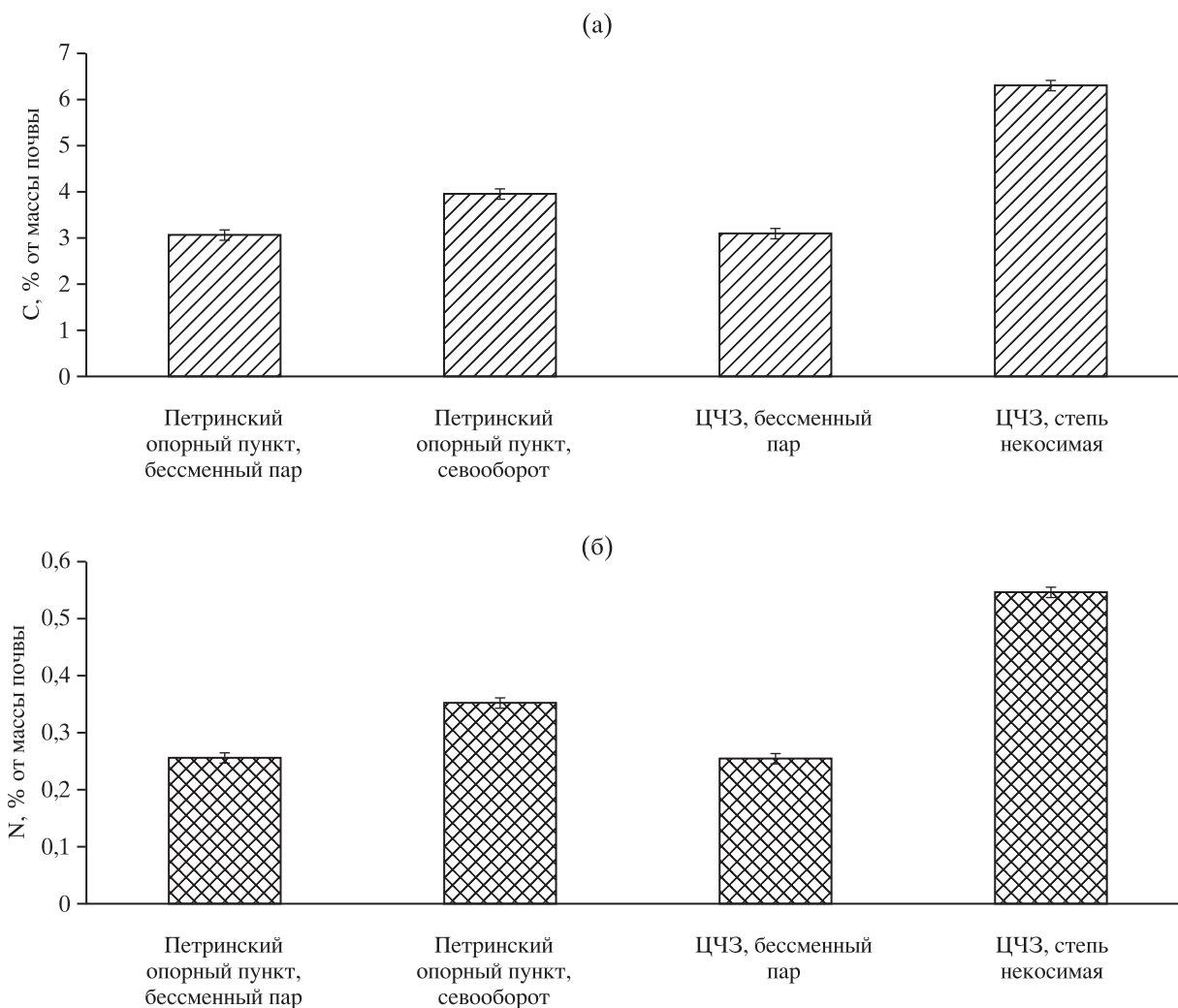


Рис. 1. Содержание органического углерода (а) и азота (б) при различном использовании типичного чернозема.

ности; легкие фракции также выделяли в четырехкратной повторности, далее, ввиду получения их малого количества, объединяли в одну и анализировали. Определение содержания $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ в образцах почв и фракций выполнено на автоматическом анализаторе VARIO-EL (Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Величины общего содержания органического углерода и азота при различном использовании типичного чернозема свидетельствовали о достоверном уменьшении ($P = 0.95$) их содержания в ряду: целина > севооборот > бессменные пары (рис. 1). Несмотря на различную продолжительность парования типичного чернозема на двух исследованных объектах, содержание в них $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ было одинаковым (соответственно 3.3 и 0.25% от массы почвы). Согласно данным [11], стационарный уровень (состояние динамического равновесия), соответствующий минимальному содержанию гумуса [12], устанавливается в типичном черноземе уже после 20 лет бессменного парования. Потеря общего $C_{\text{орг}}$ в почвах пара по сравнению с целиной составила ~ 48%.

Количественный выход гранулоденсиметрических фракций показал (рис. 2), что наибольшую долю в почве составлял остаток после фракционирования, который трактуется как фракция, содержащая микроагрегаты, устойчивые к непродолжительной обработке (10–15 мин) ультразвуком [13]. Показательно, что его содержание увеличивалось в вариантах от целины к бессменным парам, и его величина была обратно пропорциональна общему содержанию органического углерода (53.6 → 57.6 → 59.6 → 61.3% от массы почвы). На долю илистых фракций < 1 мкм приходилось 25.9–27.5% от массы почвы, при этом не отмечено статистически достоверных различий между всеми изученными вариантами. Выход фракций размером 1–2 мкм несколько уменьшался от целины (14.8%) к почве севооборота (14.1%) и далее к почвам 37- и 54-летнего паров (соответственно 11.4 и 10.5%). Относительное уменьшение содержания этой фракции в парах по сравнению с целиной составило 23–29%.

Более существенно проявлялись различия по выходу легких фракций – от 2.08% на целине до 1.32% в почве севооборота и до 0.71–0.84% в вариантах бессменного пара. По сравнению с целиной содержание ЛФ1 в почве севооборота уменьшилось ~ на 53, в почвах пара – ~ на 63%.

Определение содержания $C_{\text{орг}}$ во фракциях показало (табл.1), что наиболее обогащены углеродом во всех изученных вариантах фракции ЛФ1 (50.7–51.2% от массы фракции в вариантах паров, 44.6–45.9% на целине и в севообороте). Следует отметить, что согласно исследованиям [14], в состав органического вещества легкой фракции входят как

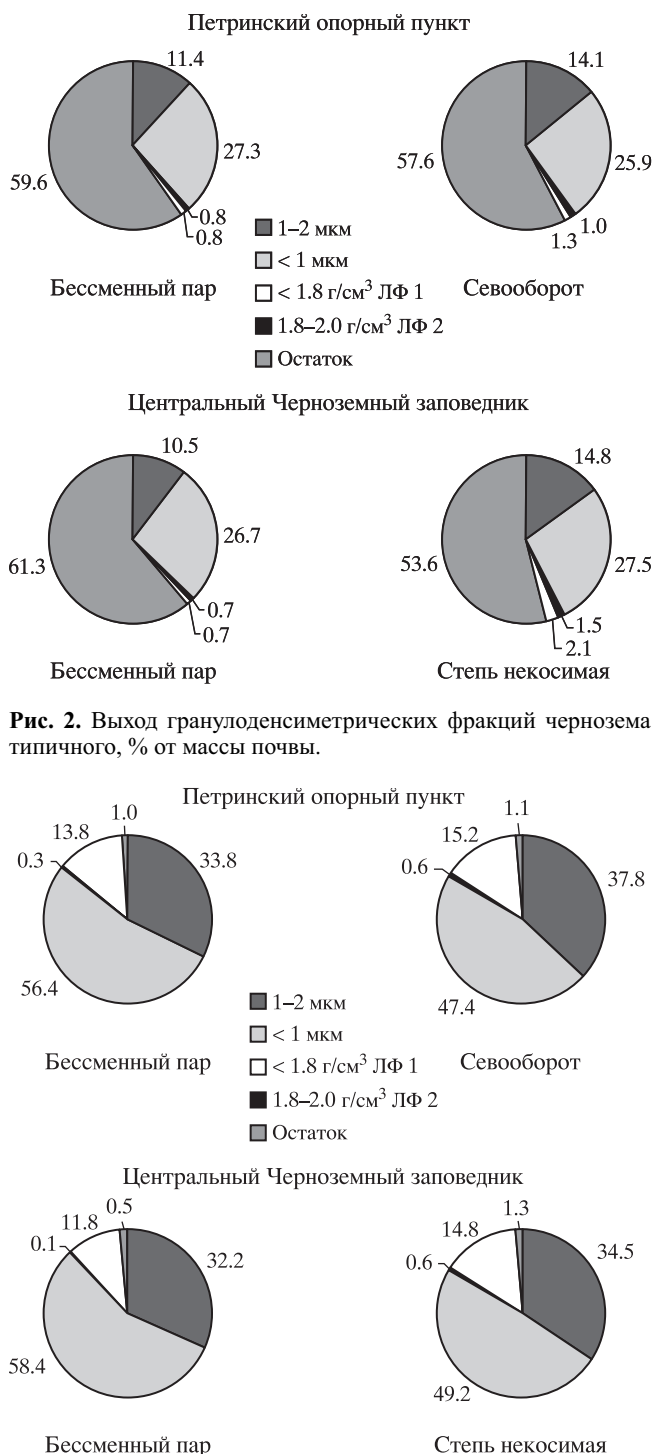


Рис. 2. Выход гранулоденсиметрических фракций чернозема типичного, % от массы почвы.

Рис. 3. Вклад органического углерода гранулоденсиметрических фракций в общий $C_{\text{орг}}$ типичного чернозема при различном его использовании.

постморальные остатки растительного, животного происхождения и микробной биомассы, так и коагуляты комплексно-гетерополярных солей наиболее высокомолекулярных гуминовых кислот с выраженной ароматической структурой. Вероятно, ввиду минимального поступления органичес-

Таблица 1. Статистическая характеристика содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в гранулоденсиметрических фракциях исследованных почв

Фракция	$C_{орг}$				$N_{общ}$				C:N	
	% от массы фракций				% от массы фракций					
	M	s	m	V, %	M	s	m	V, %		
1-2 мкм	9.07	0.27	0.11	3.0	0.66	0.02	0.01	2.6	13.7	
<1 мкм	6.35	0.21	0.09	3.3	0.58	0.01	0.003	1.5	11.0	
1.8-2.0 г/см ³	1.15				0.075				15.3	
<1.8 г/см ³	50.69				2.15				23.6	
Остаток	0.05				0.009					
Петринский опорный пункт, бессеменный пар										
1-2 мкм	10.63	0.51	0.21	4.8	0.93	0.05	0.02	5.5	11.4	
<1 мкм	7.26	0.27	0.11	3.7	0.72	0.02	0.01	3.1	10.1	
1.8-2.0 г/см ³	2.43				0.215				11.3	
<1.8 г/см ³	45.85				2.74				16.7	
Остаток	0.08				0.001					
Петринский опорный пункт, севооборот										
1-2 мкм	9.49	0.48	0.20	5.0	0.69	0.03	0.01	3.9	13.8	
<1 мкм	6.77	0.22	0.10	3.3	0.64	0.01	0.005	2.1	10.6	
1.8-2.0 г/см ³	0.64				0.052				12.3	
<1.8 г/см ³	51.15				2.07				24.7	
Остаток	0.02				0.01					
ЦЧЗ, бессеменный пар										
1-2 мкм	14.67	0.27	0.11	1.9	1.25	0.02	0.008	1.6	11.7	
<1 мкм	11.28	0.37	0.15	3.3	1.10	0.03	0.01	3.0	10.2	
1.8-2.0 г/см ³	2.72				0.17				16.0	
<1.8 г/см ³	44.65				2.69				16.6	
Остаток	0.15				0.011					
ЦЧЗ, степь некосимая										

Таблица 2. Изменение содержания $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в гранулоденсиметрических фракциях типичного чернозема при различном его использовании

Фракция	$C_{орг}$		$N_{общ}$		E-SOC
	% от массы почвы				
	Петринский опорный пункт, бессеменный пар				
1–2 мкм	1.04		0.075		2.95
<1 мкм	1.73		0.162		2.1
1.8–2.0 г/см ³	0.009		0.0006		0.4
< 1.8 г/см ³	0.43		0.018		16.5
Остаток	0.03		0.005		0.016
	Петринский опорный пункт, севооборот				
1–2 мкм	1.50		0.131		2.7
<1 мкм	1.88		0.187		1.8
1.8–2.0 г/см ³	0.02		0.002		0.6
< 1.8 г/см ³	0.60		0.036		11.6
Остаток	0.04		0.007		0.020
	ЦЧЗ, бессеменный пар				
1–2 мкм	1.00		0.073		3.1
<1 мкм	1.80		0.172		2.2
1.8–2.0 г/см ³	0.005		0.0004		0.2
< 1.8 г/см ³	0.37		0.015		16.5
Остаток	0.01		0.006		0.006
	ЦЧЗ, степь некосимая				
1–2 мкм	2.17		0.186		2.3
<1 мкм	3.10		0.303		1.8
1.8–2.0 г/см ³	0.04		0.0025		0.4
< 1.8 г/см ³	0.93		0.056		7.1
Остаток	0.08		0.006		0.023

Примечание. E-SOC – коэффициент обогащения = $C_{фракции} / C_{почва}$ (% от массы фракции) : $C_{почва}$ (% от массы почвы).

ких остатков в почве бессменных паров, в составе органического вещества ЛФ1 этих вариантов в отличие от вариантов, занятых растительностью, доминирующую роль играют “старые” высоко конденсированные гуминовые кислоты, содержащие повышенные количества органического углерода. Следующими по обогащенности углеродом являлись фракции илов: ИЛ2 (в парах 9.1–9.5, в севообороте и целине – 10.6–14.7%), ИЛ1 (6.4–6.8% в парах, 7.3–11.3% – в севообороте и целине). Фракция ЛФ2 содержала $C_{\text{орг}}$ от массы фракции: в почве паров – 0.64–1.15%, севообороте – 2.43%, в некосимой степи – 2.72%. Минимальное содержание $C_{\text{орг}}$ отмечено в остатке почвы после фракционирования: 0.02–0.05% от массы остатка в парах, 0.08–0.15% – в севообороте и целине. В распределении углерода по фракциям обнаружены две тенденции: в почве целины и в севообороте, с одной стороны, и в почве бессменных паров, с другой. Во фракциях ЛФ1 содержание углерода в почвах целины и севооборота было меньше, чем в почвах паров, во всех остальных фракциях оно было больше, чем в парах.

Изменения содержания азота во фракциях (% от массы фракции) повторяло ту же последовательность уменьшения, которая отмечена для содержания $C_{\text{орг}}$: максимальное содержание в ЛФ1 (2.15–2.74%), меньшее – в ИЛ2 (0.66–1.25%) и ИЛ1 (0.58–1.10%) и минимальное – в ЛФ2 (0.05–0.22%) и остатке (<0.001%). При этом, в отличие от $C_{\text{орг}}$ все фракции почв севооборота и целинной степи превосходили аналогичные фракции почв бессменных паров.

В то же время соотношение C:N, традиционно отражающее степень обогащенности органического вещества азотом, показало (табл. 1), что наиболее обогащено азотом органическое вещество ИЛ1(10.1–11.0), менее всего – ЛФ1 (16.6–24.7). Подобная закономерность отмечена для других почв ранее [8, 13].

По количеству (массе) фракций в почве и содержанию органического углерода во фракциях рассчитали вклад органического вещества каждой фракции в общий $C_{\text{орг}}$ почв (табл. 2, рис. 3). Расчет показал, что органическое вещество целинного и пахотных вариантов типичного чернозема в основном (~ на 98%) состоит из органического вещества илистых (ИЛ1+ИЛ2) и легкой (ЛФ1) фракций. При этом максимальная доля органического вещества ($C_{\text{фракции}}$, % от $C_{\text{орг}}$ почвы) сосредоточена в ИЛ1 (47.4–58.4%), далее следуют ИЛ2 (32.2–37.8%) и ЛФ1 (11.8–15.2%).

Величины коэффициентов обогащения органическим веществом гранулоденсиметрических фракций (E-SOC) по сравнению с таковыми почвы (табл. 2) свидетельствуют, что с увеличением антропогенной нагрузки на типичный чернозем в ряду

Таблица 3. Изменение соотношения величин массы и содержания $C_{\text{орг}}$ легких и илистых фракций под влиянием антропогенеза

Вариант	ЛФ:ИЛ	$C_{\text{ЛФ}}:C_{\text{ИЛ}}$
Петринский опорный пункт, бессменный пар	0.04	0.16
Петринский опорный пункт, севооборот	0.06	0.19
ЦЧЗ, бессменный пар	0.04	0.14
ЦЧЗ, степь некосимая	0.09	0.19

Примечание. ЛФ – сумма масс двух легких фракций (<1.8 г/см³ и 1.8–2.0 г/см³), ИЛ – сумма масс илистых фракций (< 1 мкм и 1–2 мкм).

целинная степь–севооборот–бессменные пары при уменьшении общего содержания органического вещества (рис. 1) синхронно происходило увеличение коэффициентов E-SOC в илистых и легкой фракции ЛФ1 и уменьшение таковых в легкой фракции ЛФ2 и остатке почвы. Ранее, в работе [15] было установлено, что при возрастании общего содержания органического углерода в почвах под влиянием удобрений величины коэффициентов обогащения илистых фракций уменьшаются. Учитывая неодинаковую природу органического вещества различных гранулоденсиметрических фракций [8], следует полагать, что при трансформации общего содержания гумуса при антропогенезе происходит перераспределение органического вещества по этим фракциям, проявляющееся в разнонаправленности характера изменений их показателя E-SOC.

Предложенные в работе [14] показатели соотношения масс легких и илистых фракций (ЛФ/ИЛ) и органического углерода этих же фракций ($C_{\text{ЛФ}}/C_{\text{ИЛ}}$) для оценки влияния удобрений на гумусовое состояние пахотных почв позволяют в определенной степени дифференцировать по этим индикаторам варианты типичного чернозема, находящиеся под различными антропогенными нагрузками (табл. 3). Ранее авторами также были установлены статистически достоверные различия между неудобренными и удобренными вариантами по показателю $C_{\text{ЛФ}}/C_{\text{ИЛ}}$ в условиях длительного опыта на типичном черноземе Петринского опорного пункта [16]. Вышеизложенное дает возможность рекомендовать рассмотренные показатели для оценки агрогенной трансформации гумусового состояния черноземов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ содержания углерода фракций (% от массы почвы) однозначно показал, что уменьшение содержания органического углерода в ряду целина–севооборот–бессменные пары происходило за счет легкой фракции ЛФ1 с плотнос-

тью $<1.8 \text{ г/см}^3$, наиболее богатой легкоразлагаемыми органическими компонентами и не связанной прочно с минеральной частью почвы, а также за счет уменьшения органического вещества илистых частиц размером 1–2 мкм. Такие данные получены впервые, благодаря примененной модификации метода, предложенной Э.Шульц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чесняк Г.Я., Гаврилюк Ф.Я., Крупеников И.А., Лактионов Н.И., Шилихина И.И. Гумусовое состояние черноземов // Русский чернозем. 100 лет после Докучаева. М., 1983. С.186–198.
2. Шевченко Г.А., Щербаков А.П. Гумусное состояние черноземов ЦЧО // Почвоведение. 1984. № 8. С. 50–56.
3. Васильева Н.А. Агрегатная структура типичного чернозема под целинной растительностью и длительным паром: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2009. 14 с.
4. Тюрин И.В. Органическое вещество почв. М.–Л.: Сельхозгиз, 1937. 288 с.
5. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
6. Титова Н.А., Когут Б.М. Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв // Итоги науки и техники (серия почвоведение и агрохимия). М.: ВИНТИ, 1991. Т. 8. 154 с.
7. Шаймухаметов М.Ш., Титова Н.А., Травникова Л.С., Лабенец Е.М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 1984. № 8. С. 131–141.
8. Титова Н.А., Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почв // Почвоведение. 1995. № 5. С. 638–646.
9. Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С. Способ извлечения из почвы поглощающего комплекса // А.С. № 1185238. Госком. СССР по делам изобретений и открытий. Заявка № 3732977. Приоритет изобретения. 30.03. 1984.
10. Schulz E. Einfluss von Bodenart und langjährig differenzierter Düngung auf die Akkumulation und Stabilisierung organischer Bodensubstanz (OBS) in unterschiedlichen Bodenfraktionen. Umweltforschungszentrum UFZ, Leipzig–Halle. 1999. S. 365–380.
11. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. 1996. 48 с.
12. Körschens M. Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Massnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. – Diss. B, Akad. d. Landw.–Wiss., Berlin, 1980.
13. Травникова Л.С. Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация // Почвоведение. 2002. № 7. С. 832–843.
14. Травникова Л.С., Титова Н.А., Шаймухаметов М.Ш. Роль продуктов взаимодействия органических и минеральных составляющих в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 1992. № 10. С. 81–96.
15. Schulz E., Travnikova L.S., Titova N.A., Kogut B.M., Körschens M. Influence of soil type and fertilization on accumulation and stabilization of organic carbon in different SOM fractions // Proc. 12th Internat. soil conservation organization conference. 2002. China: Beijing, P. 304–308.
16. Когут Б.М., Травникова Л.С., Титова Н.А., Куваева Ю.В., Шевцова Л.К., Шульц Э. Экспресс-показатель агроэкологического мониторинга гумусового состояния черноземов // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2002. Вып. 56. С. 65–71.

Organic Matter of Granulodensimetric Fractions from Virgin and Arable Typical Chernozems

B. M. Kogut¹, E. Schulz², N. A. Titova¹, V. A. Kholodov¹

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Russian Academy of Agricultural Sciences, Pyzhevskii per. 7, Moscow, 119017 Russia

E-mail: kogutb@mail.ru

²Helmholtz Centre for Environmental Research, UFZ, 06120 Halle (Saale), Theodor-Lieser Str.4, Germany
E-mail: elke.schulz@ufz.de

Changes in the contents of organic carbon and nitrogen in virgin chernozems of the Kursk region under plowing conditions were determined by the dry combustion method (Automatic Analyzer). The participation of the granulodensimetric fractions of organic matter in the transformation of total humus was analyzed for the series: virgin steppe–five-course grain-grass crop rotation without fertilization (field trial duration 37 years)–continuous fallow (duration 37 and 54 years). It was found that the content of organic carbon in typical chernozem decreased with increasing anthropogenic load mainly due to organic matter of the light fraction with specific density $\leq 1.8 \text{ г/см}^3$ and that of clay particles 1–2 μm in size.

Key words: organic matter, granulodensimetric fractions, virgin and arable typical chernozems.