

## ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА И ФРАКЦИЙ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ

© 2012 г. Ю. В. Куваева

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7*

Впервые изучен групповой состав гумуса фракций микроагрегатов (илистых – коллоидной и предколлоидной; тонкой, средней и крупной пыли) дерново-глубокоподзолистой среднесуглинистой почвы в трех ротациях пятипольного зернопропашного севооборота на длительном опыте Почвенного института им. В.В. Докучаева. Установлено, что на интенсивно удобряемом варианте с высокими дозами удобрений N150P150K180 кг/га в год + навоз 120 т/га после первой ротации увеличилось содержания гумуса относительно варианта со средними дозами N60P60K60. Это обусловлено в основном более высоким содержанием углерода во фракциях средней и крупной пыли. Тем не менее, за время наблюдений на обоих вариантах опыта проявилась тенденция к уменьшению содержания гуматов, связанных с пылеватыми фракциями. Видимо, этим обусловлено ухудшение микроструктуры на обоих вариантах, выраженное в уменьшении содержания фракции средней пыли, накоплении предколлоидной и тонкопылевой фракций. На интенсивно удобряемом участке состояние микроструктуры лучше: выше содержание пылеватых фракций и присущих им зрелых компонентов гумуса, входящих в группы гуматов и негидролизуемого остатка. Интенсивная система удобрений позволила в течение трех ротаций поддерживать стабильное содержание гумуса фракции средней пыли, благодаря чему темпы ее разрушения были значительно ниже, чем на варианте минеральными удобрениями без применения навоза.

*Ключевые слова:* гумус, групповой состав гумуса, микроагрегаты.

Способность обеспечивать растения питанием и оптимальными водно-воздушными условиями – ведущие качества почв как основы сельскохозяйственного производства и биопродуктивно-

сти. Оно определяется свойствами продуктов взаимодействия гумусовых веществ с минеральными компонентами почвы. В агропочвах порядка 80–100% этих продуктов сосредоточено в тонкодисперсной фазе – микроагрегатах <50 мкм, на базе которых формируются макроагрегаты – основа водно-воздушного режима почв. Природа органического вещества микроагрегатов и состав их минеральной фазы закономерно изменяются в соответствии с размерами (Хан, 1969; Шаймухаметов, 1974; Титова и др., 1995; Anderson et al., 1981; Edwards, Bremner, 1967). Содержание и соотношение компонентов гумуса в микроагрегатах связано с условиями почвообразования.

Агродерново-подзолистым почвам в условиях сельскохозяйственного использования свойственны низкая гумусированность и оструктуренность. С целью раскрытия механизмов их изменения при длительном применении удобрений на Зеленоградском опорном пункте Почвенного института им. В.В. Докучаева по окончании первой ротации пятипольного зернопропашного севооборота Н.А. Титовой и Л.С. Травниковой были начаты исследования тонкодисперсной фазы почвы. В начале третьей ротации к работе подключился автор настоящей публикации.

В задачи работы входили анализ распределения почвенной массы по фракциям микроагрегатов; определение содержания и группового состава гумуса во фракциях и изменение изучаемых показателей в течение трех ротаций севооборота.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Работы велись на мелкоделяночном опыте (№3), заложенном для изучения действия различных сочетаний доз минеральных удобрений и навоза на фоне известной окультуривание и повышение производительности старопахотных дерново-подзолистых почв. Выбраны контрастные по удобренности варианты на дерново-глубокоподзолистой среднесуглинистой почве с близким содержанием гумуса перед закладкой опыта (1971 г.): 1) делянка 1, повторность III (C = 1,11%) со средними дозами N60P60K60 кг/га д.в. в год (табл.1, обр.5); 2) делянка 4, повторность II (C = 1,01%) с высокими дозами N150P150K180 кг/га д.в. в год + 120 т/га навоза в ротацию (обр. 6). Известь (4,5–5 т/га) и навоз

**Таблица 1.** Состав микроагрегатов (над чертой, % от массы почвы) и их вклад в углерод почвы (под чертой)

Размер фракции, мкм	1977		1979		1983		1986	
	номер образца							
	5	6	5	6	5	6	5	6
<0,2	<u>3,4</u>	<u>6,9</u>	<u>4,1</u>	<u>4,6</u>	<u>4,2</u>	<u>3,8</u>	<u>3,7</u>	<u>4,3</u>
	15,9	26,0	18,3	14,5	17,7	14,2	17,0	15,9
<0,2–1	<u>4,9</u>	<u>6,2</u>	<u>5,5</u>	<u>5,7</u>	<u>7,4</u>	<u>7,9</u>	<u>8,3</u>	<u>8,7</u>
	21,6	24,5	24,0	19,5	30,0	28,0	36,6	30,4
1–5	<u>9,2</u>	<u>8,4</u>	<u>7,8</u>	<u>8,1</u>	<u>9,9</u>	<u>9,9</u>	<u>10,9</u>	<u>10,3</u>
	31,2	20,6	25,6	22,7	25,0	24,2	26,8	24,9
5–10	<u>17,4</u>	<u>16,9</u>	<u>16,7</u>	<u>16,6</u>	<u>15,0</u>	<u>15,6</u>	<u>13,0</u>	<u>14,0</u>
	16,6	17,4	14,7	15,7	12,3	15,9	10,3	14,9
10–50	<u>54,0</u>	<u>54,5</u>	<u>53,6</u>	<u>53,0</u>	<u>57,3</u>	<u>55,8</u>	<u>57,4</u>	<u>56,4</u>
	9,4	12,9	10,8	13,2	8,6	12,0	11,6	11,6

вносили под осеннюю вспашку при закладке опыта и перед + 120 т/га навоза в ротацию (обр. 6). Известь (4,5–5 т/га) и навоз вносили под осеннюю вспашку при закладке опыта и перед началом каждой ротации (1976, 1981 гг.). Образцы отбирали по окончании первой ротации (1976 г., подсолнечник), перед весенней вспашкой (май 1977 г.); во вторую и третью ротации – в сентябре перед осенней вспашкой (ротация II – 1979 г., картофель; ротация III – 1983 г., яровая пшеница; конец ротации III – 1986 г., кукуруза). С делянок 5×7 м<sup>2</sup> в пределах контура исследуемой почвы из пахотного горизонта буром отбирали 10 образцов и формировали среднюю пробу.

Почву разделяли на фракции микроагрегатов по методу Шаймухаметова (1972) без химической обработки для сохранения продуктов органо-минерального взаимодействия в состоянии, близком к естественному. Водную суспензию диспергировали в ультразвуковом поле. Фракции коллоидов (<0,2 мкм), предколлоидов (0,2–1 мкм) и тонкой пыли (1–5 мкм) отделяли центрифугированием; среднюю (5–10 мкм) и крупную (10–50 мкм) пыль отмучивали по Сабанину (Агрофизические методы, 1966). В почвах и фракциях микроагрегатов определяли содержание общего углерода по Тюрину и групповой состав гумуса по Кононовой-Бельчиковой (Кононова, 1963).

Для статистического обеспечения проведено метрологическое исследование методик анализа на образцах третьей ротации. План исследования и математический аппарат обработки результатов разработаны А.С. Фридом (Куваева, Фрид, 2001).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В образцах почв, отобранных после первой ротации, наряду с принятым набором анализов Н.А. Титовой и Л.С. Травниковой проведено углубленное изучение природы и механизмов взаимодействия органических и минеральных компонентов фракций тонкодисперсных частиц методами микроскопирования, рентген-флуоресцентного анализа валового силикатного состава минеральной фазы, рентген-дифрактометрического анализа минералогического состава. Результаты подробно изложены в публикации Титовой и др. (1989). С уменьшением размеров микроагрегатов в них повышается содержание окислов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO; снижается доля SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> (материалы отчета Н.А. Титовой за 1981 г.). Основная масса глинистых минералов сосредоточена в частицах <5 мкм. С уменьшением размеров в них сокращается доля гидрослюдов, каолинитов и хлоритов, возрастает доля смешанослойных слюда-монтмориллонитовых образований и количество связанного с ними органического вещества. В препаратах гуминовых кислот, выделенных из микроагрегатов <5 мкм, проанализирован элементный состав и ИК-спектры.

Исследования, проведенные на первом этапе, позволили четко разделить микроагрегаты тонкодисперсной фазы на три группы, различные по природе органических и минеральных составляющих и характеру их связей (Титова, 1983; Титова и др., 1989). Илистые фракции представляют собой гомогенную массу прочных адсорбционных комплексов глинистых минералов и оксидов Fe и Al с гумусовыми веществами, обогащенными водородом и азотом, фрагментами алифатической природы, с низкой степенью окисленности, ароматичности, зрелости. В коллоидах (<0,2 мкм) сосредоточены вещества преимущественно фульватного состава с С гк/С фк порядка 0,2; в предколлоидах (0,2–1 мкм) возрастает доля гуматов, С гк/С фк достигает 1. В минеральной фазе коллоидов преобладают слюда-монтмориллонитовые смеша-

нослойные образования, в небольших количествах (10–15%) – каолинит-монтмориллонитовые. Частицы предколлоидов на 70% состоят из минералов индивидуальной природы – высокожелезистых гидрослюды и хлоритов, на 10–15% из смешанослойных образований хлорит-монтмориллонитового и слюда-монтмориллонитового типов; здесь сосредоточено максимальное количество  $Al_2O_3$ .

Микроагрегаты тонкой пыли (1–5 мкм) наиболее гетерогенны, сложны по составу и формам связей органических и минеральных компонентов. Минеральная фаза на 65–75% состоит из зерен первичных минералов; до 35% приходится на глинистые минералы, в составе которых преобладают высокоокристаллизованные гидрослюды и хлориты; доля слюда-монтмориллонитовых минералов снижена; повышено количество  $SiO_2$  (видимо, опаловидного кремнезема). Гумусовые вещества тонкой пыли входят в две группы продуктов органо-минерального взаимодействия: 1) прочные микроагрегаты, состоящие из глиноорганических частиц (труднодиспергируемого ила <1 мкм) с низким содержанием углерода и фульватным типом гумуса, среди которых равномерно распределено вещество металлоорганических комплексов с Fe, Al и другими катионами – металлогуматов с повышенным содержанием гумуса (до 50%) гуматного состава; 2) одновременно металлогуматы присутствуют в тонкой пыли как сгустки, не связанные с минеральной матрицей, а распределенные свободно между зернами первичных минералов. Поэтому гумусовые вещества, выделенные из фракции тонкой пыли, представляют собой суммарный пул с высоким содержанием компонентов гуматной природы.

Микроагрегаты средней и крупной пыли (5–10 и 10–50 мкм) также гетерогенны, но их минеральная фаза состоит в основном из зерен первичных минералов; глинистых минералов очень мало, так как размеры их доменов и квазикристаллов редко превышают 5 мкм (Титова и др., 1989). Основная часть гумусовых веществ микроагрегатов средней пыли распределена в виде сгустков между зернами первичных минералов и фитолитами. Во фракции крупной пыли с увеличением размеров доля таких сгустков снижается и возрастает количество органогенных микроагрегатов, представляющих собой фрагменты остатков растительного и жи-

вотного происхождения на разных стадиях преобразования; здесь сосредоточена также основная часть инертных углистых частиц (Титова и др., 1989; Травникова, Артемьева, 2001).

Основываясь на экспериментально установленных различиях гумусовых веществ, сосредоточенных в илистых и пылеватых микроагрегатах, а также на анализе литературных материалов, Травникова и др. (1992) предложили гипотезу о различных путях их формирования. Согласно гипотезе, гумусовые вещества илистых фракций формируются на поверхности глинистых минералов из низкомолекулярных продуктов преобразования органических остатков путем поликонденсации, возможно, при участии бактерий (по схеме Кононовой), и закрепляются химическими связями в глиноорганических комплексах. Пылеватые фракции (1–50 мкм) являются благоприятной средой обитания почвенных микроорганизмов и микрофауны, так как размеры их микропор и ниш (порядка 0,8–3 мкм) создают для обитателей оптимальные условия влаго- и воздухообеспеченности и защиты от хищников типа *Protozoa* (Титова и др., 1989). В этих микроагрегатах из высокомолекулярных продуктов разложения органических остатков, метаболитов и продуктов лизиса микробов, грибов и актиномицетов образуются (по схеме Александровой (1980)) хорошо сформированные высокомолекулярные гумусовые вещества второй группы с повышенной ароматичностью в основном в виде металлогуматов.

В табл. 1 приведены данные распределения почвенной массы и органического вещества по фракциям микроагрегатов. Продукты гумификации, формирующиеся первым путем, сосредоточены в микроагрегатах <5 мкм, обогащенных глинистыми минералами: в легкодиспергируемом иле и в труднодиспергируемом иле, входящем в тонкую пыль. Это основной фонд органического вещества почвы, включающий до 80% ее углерода, а также большую часть элементов питания. Прочносвязанные органические и минеральные компоненты глиноорганических комплексов защищают друг друга от разрушения, сохраняя почву как природное тело.

Гумусовые вещества, образующиеся вторым путем, термодинамически наиболее устойчивы, но физически не защищены, так как не имеют прочных связей с минеральной матрицей. Все

элементы питания, входящие в них, имеют биотическое происхождение, поэтому они легко используются для питания растениями и почвенной биотой (Титова и др., 1989; Травникова и др., 1992). Д.В. Ханом (1969) установлена важнейшая функция новообразованных гуматов пылеватых фракций: «склеивание» тонкодисперсных частиц в агрегаты высоких порядков с оптимальными водно-физическими свойствами.

Соотношением этих двух направлений гумусообразования определяется гумусное и структурное состояние почв. Результаты первого этапа работ подтвердили перспективность изучения состава микроагрегатов и их органического вещества для оценки влияния на них агротехнических приемов.

*Гумус почв и его групповой состав.* Многолетние наблюдения показали, что на интенсивно удобряемом участке (обр. 6) к концу первой ротации содержания органического углерода (С общ) по сравнению с вариантом без применения навоза (обр. 5) возросло на 0,34% (около 30% от исходного С почвы) и сохранялось на этом уровне в следующие две ротации (табл. 2). На обоих вариантах от срока к сроку содержание С общ почв синхронно колебалось на 0,09–0,26% (т.е. на 8–16% от С общ почвы), но различия между вариантами сохранялись на уровне 0,3–0,4%. Направленных изменений за период наблюдений выявлено не было. На обоих вариантах содержание углерода почв было максимальным во вторую ротацию, минимальным – в третью. Приуроченности к внесению навоза и культурам севооборота не отмечено.

Подробная характеристика группового состава гумуса почв дана ранее (Титова, 1983). Абсолютное содержание всех групп гумуса (в процентах относительно массы почвы) выше в почве интенсивно удобряемого варианта, но различия в содержании экстрагируемых компонентов (С гк и С фк) малозначимы; соотношение С гк/С фк характерно для дерново-подзолистых почв (порядка 0,5–0,7). Увеличение содержания общего углерода в варианте с навозом относительно минерального обеспечено в основном (порядка 80%) гумусовыми веществами неэкстрагируемого остатка: С ост больше на 0,28–0,35% (от массы почвы), доля его в углероде почвы – на 5–7%. Содержание С гк больше лишь на 0,02–0,03%, С фк – на 0,03–0,05%.

*Микроагрегатный состав почв и содержание органического углерода во фракциях микроагрегатов.* Доля микроагрегатов в массе почвы возрастает с их размерами от коллоидов (порядка 4%) к крупной пыли (около 50%). В первые две ротации микроагрегатный состав на обоих вариантах был практически одинаков. Исключение – повышенное содержание фракций коллоидов и предколлоидов на интенсивно удобряемом варианте (обр. 6) по окончании первой ротации, обусловленное отбором образцов весной, после осеннего внесения навоза (см. ниже). В третью ротацию проявились различия между вариантами: на варианте с минеральными удобрениями (обр. 5) содержание средней пыли стало достоверно ниже, чем на интенсивно удобряемом (Куваева, Фрид, 2001).

Содержание гумуса максимально в микроагрегатах <5 мкм, составляющих всего около 20% от массы почвы, но включающих основную массу глинистых минералов: их суммарный вклад в углерод почвы может достигать 85%. Во фракциях 5–50 мкм (средней и крупной пыли), обедненных глинистыми минералами, содержание углерода резко убывает. На интенсивно удобряемом варианте с навозом оно обычно выше во всех фракциях, но разница относительно минерального варианта максимальна в микроагрегатах 5–50 мкм: средней пыли в 1,4–1,6 раза, крупной – в 1,4–1,9 раза, во фракциях же <5 мкм не более 1,3 раза.

Сравнивая данные, полученные в разные годы, необходимо учитывать, что по окончании первой ротации севооборота образцы почвы отбирали не в сентябре, как принято, после уборки урожая, перед внесением навоза под осеннюю вспашку, а в начале мая следующего года. В это время условия почвенной среды были иными, чем в следующие сроки. Заканчивался период весеннего переувлажнения почв, когда микробиологические и биохимические процессы протекают в анаэробном режиме, при температурах, ниже летних; это способствует накоплению восстановленных, кислых продуктов трансформации органического вещества (Дьяконова, 1972; Овчинникова, 2007; Зайдельман, 2009). Данные микроагрегатного состава показали (табл. 1), что на интенсивно удобряемом варианте (обр. 6) фракция коллоидов пополнилась продуктами первичного преобразования навоза, внесенного осенью.

**Таблица 2.** Групповой состав гумуса (по Кононовой–Бельчиковой) дерново-подзолистой средне-суглинистой почвы и фракций ее микроагрегатов, % С от массы почвы и фракций микроагрегатов

Показатель	1977		1979		1983		1986	
	номер образца							
	5	6	5	6	5	6	5	6
Почва								
С	1,15	1,49	1,24	1,65	1,07	1,39	1,09	1,46
С гк	0,21	0,23	0,18	0,21	–	–	–	–
С фк	0,30	0,36	0,38	0,42	–	–	–	–
С ост	0,64	0,90	0,68	1,02	–	–	–	–
<u>С гк</u>								
С фк	0,70	0,64	0,47	0,50	–	–	–	–
<0,2 мкм коллоиды								
С	5,43	5,65	5,58	5,26	4,54	5,25	5,00	5,39
С гк	0,54	0,68	–	–	0,47	0,64	–	–
С фк	3,15	3,43	–	–	1,96	2,04	–	–
С ост	1,74	1,54	–	–	2,11	2,57	–	–
<u>С гк</u>								
С фк	0,17	0,19	–	–	0,24	0,31	–	–
<0,2–1 мкм предколлоиды								
С	5,06	5,86	5,38	5,68	4,44	4,96	4,81	5,11
С гк	0,74	1,05	–	–	0,89	1,00	–	–
С фк	2,56	2,71	–	–	1,04	0,93	–	–
С ост	1,76	2,10	–	–	2,50	3,30	–	–
<u>С гк</u>								
С фк	0,29	0,39	–	–	0,86	1,08	–	–
1–5 мкм тонкая пыль								
Р	9,2	8,4	7,8	8,1	9,9	9,9	10,9	10,3
С	3,88	3,64	4,06	4,63	2,71	3,40	2,68	3,53
С гк	0,84	0,91	0,71	0,78	0,55	0,54	–	–
С фк	1,77	1,42	0,51	0,58	0,60	0,70	–	–
С ост	1,27	1,31	2,84	3,27	1,56	2,16	–	–
<u>С гк</u>								
С фк	0,48	0,64	1,30	1,34	0,92	0,77	–	–
5–10 мкм средняя пыль								
С	1,10	1,54	1,09	1,56	0,88	1,42	0,86	1,55
С гк	0,22	0,25	0,21	0,24	0,12	0,17	–	–
С фк	0,24	0,29	0,25	0,26	0,22	0,29	–	–
С ост	0,64	1,00	0,63	1,06	0,54	0,96	–	–

Показатель	1977		1979		1983		1986	
	номер образца							
	5	6	5	6	5	6	5	6
С гк	0,92	0,86	0,84	0,92	0,54	0,59	–	–
С фк								
10–50 мкм крупная пыль								
С	0,20	0,36	0,26	0,41	0,16	0,30	0,22	0,30
С гк	0,03	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	–	–
С фк	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,06	–	–
С ост	0,12	0,24	0,18	0,29	0,09	0,20	–	–
<u>С гк</u>								
С фк	0,60	0,71	0,60	0,71	0,40	0,67	–	–

Примечание. Образец 5 – вариант со средними дозами минеральных удобрений N60P60K60; образец 6 – вариант с высокими N150P150K180 кг/га д.в. в год + 120 т/га навоза в ротацию севооборота.

Ее доля от массы почвы в 1,5–2 раза превышала уровень сентябрьских образцов всех последующих сроков; несколько возросла и доля предколлоидной фракции. По сравнению опытом без внесения навоза доля коллоидной фракции от массы почвы также была выше в 2 раза, тогда как в осенних образцах последующих сроков разница между вариантами не превышала 1,1 раза. Содержание углерода коллоидной и предколлоидной фракций на варианте с навозом в образцах, отобранных весной, оказалось максимальным среди всех сроков. Хотя на варианте с минеральными удобрениями в этих фракциях, а также во всех пылеватых фракциях и в почвах обоих вариантов наибольшее содержание углерода отмечено во вторую ротацию. Несмотря на нестандартное время отбора образцов по окончании первой ротации, основные закономерности распределения почвенной массы и органического вещества по фракциям микроагрегатов сохранялись на обоих вариантах во все сроки.

За десятилетний период исследований, охвативший три ротации севооборота, на обоих вариантах выявлено дезагрегирование пахотного слоя: уменьшалась доля средней пыли и ее вклад в углерод почвы при увеличении доли и вкладов предколлоидной фракции, а также, в меньшей степени, фракции тонкой пыли. Изменения показателей рассчитывали по отношению к уровню второй ротации в связи с нестандартным временем отбора образцов

по окончании первой ротации. Разрушение микроструктуры более выражено на варианте с минеральными удобрениями (обр. 5): потери средней пыли составили в относительном выражении 22,1 (обр. 5) против 15,7% (обр. 6); ее вклад в углерод почвы уменьшился на 30 и 5%. Особенно интенсивным было накопление предколлоидной фракции, которое в относительном выражении составило 51% (обр. 5) и 52,6% (обр. 6); ее вклад в углерод почвы возрос на 52,5 и 56%. Относительное повышение содержания тонкой пыли более значительно на варианте с минеральными удобрениями (на 40 и 27%). Но увеличение ее вклада в углерод почвы в варианте с навозом оказалось больше: в относительном выражении на 4,7 (обр. 5) и 9,7% (обр. 6). Это объясняется значительным снижением содержания углерода тонкой пыли на варианте с минеральными удобрениями в третью ротацию.

На уровне фракций микроагрегатов проявилась тенденция к уменьшению содержания углерода за время наблюдений, не выраженная в почве. На варианте с минеральными удобрениями снижение содержания углерода наметилось во всех фракциях мельче 10 мкм; на варианте с навозом – только во фракциях мельче 5 мкм. В средней пыли (5–10 мкм) уровень содержания углерода был довольно стабильным; очевидно, поэтому здесь менее выражено ее дезагрегирование. На варианте с минеральными удобрениями было близким к стабильному содержание углерода крупной пыли, включающей органические остатки на разных стадиях преобразования. Видимо, их гумификация менее продуктивна, чем на интенсивно удобряемом варианте, и формирующиеся при этом сгустки гуматной природы в меньшей степени пополняют фракцию средней пыли.

Тенденция к снижению содержания углерода наиболее выражена во фракции тонкой пыли варианта с минеральными удобрениями. По данным первого этапа исследований, микроагрегаты тонкой пыли являются очень устойчивыми образованиями с наиболее сложной внутренней организацией. Их прочность обусловлена органо-минеральными взаимодействиями сложного комплекса минеральных компонентов и гумусовых веществ различного происхождения и природы. Как сказано выше, в связи с высокой заселенностью микроорганизмами, микроагрегаты тонкой пыли

играют большую роль в накоплении, преобразовании и закреплении гумуса (Титова и др., 1989). Во фракции сосредоточено порядка 20–30% от углерода почвы; тенденция к снижению ее гумусированности может быть признаком серьезных изменений происходящих в ней процессов гумусообразования и в дальнейшем неблагоприятно отразиться на гумусном состоянии почвы.

Полученные данные о распределении почвенной массы и органического вещества по фракциям микроагрегатов говорят об интенсивном ухудшении микроструктуры и качества гумуса в результате накопления предколлоидной фракции, которое практически одинаково на обоих вариантах. Разрушение микроагрегатов средней пыли, содержащих агрономически ценный гумус, также происходило на обоих вариантах, но значительно интенсивнее – на варианте с минеральными удобрениями. Видимо, это обусловлено меньшей стабильностью гумуса в последнем случае.

*Групповой состав гумуса фракций микроагрегатов.* Анализ группового состава гумуса микроагрегатов дает представление о его характере и особенностях в соответствии с размерами фракций, позволяет выявить различия между вариантами, а также изменения за период наблюдений.

Для характеристики группового состава гумуса всех пяти фракций микроагрегатов взяты данные анализа осенних образцов третьей ротации. Так как принято использовать показатели, полученные в период стабилизации гумуса – после уборки урожая перед осенней вспашкой. После первой ротации образцы были отобраны весной; во вторую ротацию анализировали только пылеватые фракции (1–50 мкм), содержащие компоненты, наиболее важные для структурообразования и питания растений.

Микроагрегаты разного размера значительно отличаются по содержанию и соотношению групп гумуса. По мере увеличения микроагрегатов от предколлоидов к крупной пыли содержание всех групп гумуса снижается. На интенсивно удобряемом варианте (обр. 6), как правило, выше содержание углерода стабильных групп – С<sub>гк</sub> и С<sub>ост</sub> (за редким исключением – во фракциях мельче 5 мкм); содержание С<sub>фк</sub> меньше различается между вариантами.

Экстрагируемость гумуса, выраженная как сумма С<sub>гк</sub>+С<sub>фк</sub> в процентах от общего количества углерода микроагрегатов, позволяет судить о его подвижности и способности к взаимодействию с агентами почвенной среды. Наиболее выражены эти качества у гумуса коллоидов: содержание фульватной группы в нем самое высокое, поэтому экстрагируемость гумуса максимальна – более 50% от углерода фракции. В предколлоидах, тонкой и средней пыли С<sub>гк</sub>+С<sub>фк</sub> последовательно снижается и несколько возрастает в крупной пыли, в большей степени – на минеральном фоне (43,6–42,4–38,6–43,8%), незначительно – на фоне с навозом (38,9–36,5–32,4–33,3%). Таким образом, по мере укрупнения микроагрегатов степень подвижности гумуса уменьшается. В варианте с интенсивной органо-минеральной системой удобрений его стабильность выше во всех фракциях, в большей степени – в пылеватых, содержащих агрономически ценные вещества.

Фульватный состав гумуса коллоидов более выражен на варианте с минеральными удобрениями (С<sub>гк</sub>/С<sub>фк</sub> 0,24 и 0,31). Вклады С<sub>фк</sub> в углерод фракции достигают 43% (обр. 5) и 39% (обр. 6); вклады С<sub>гк</sub> – всего 10 и 12% соответственно. Содержание С<sub>ост</sub> близко к С<sub>фк</sub>, его доля в углероде фракции минимальна: 47% на минеральном фоне, 49% на фоне с навозом.

Состав гумуса предколлоидов совершенно иной: содержание С<sub>гк</sub> максимально из всех фракций микроагрегатов, С<sub>фк</sub> довольно близко к нему, С<sub>гк</sub>/С<sub>фк</sub> составляет около 1. Доля С<sub>гк</sub> в углероде фракции на обоих вариантах одинакова (20%); доля С<sub>фк</sub> выше на минеральном (24 и 19%). На варианте с навозом больше С<sub>ост</sub> и его доля в углероде фракции (56 и 61%).

Значительные различия в групповом составе гумуса коллоидной и предколлоидной фракций обусловлены, очевидно, разным составом их минеральной фазы, так как гумусовые вещества определенной природы обладают свойством к соответствующим глинистым минералам (Титова, 1972, 1976, 1977; Травникова, Титова, 1978). Установлено также, что в предколлоидах сосредоточено максимальное количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который обладает высокой аффинностью (сродством) к гидрофобным компонентам водорастворимого органического вещества, входящего в группу гуминовых

кислот (Милановский, Шеин, 2002), что способствует их накоплению во фракции.

В микроагрегатах тонкой пыли, как и в предколлоидах, содержание экстрагируемых компонентов очень близко на обоих вариантах: количество С<sub>гк</sub> одинаково, С<sub>фк</sub> несколько выше, С<sub>гк</sub>/С<sub>фк</sub> порядка 0,9–0,8. На варианте с навозом значительно больше содержание С<sub>ост</sub> (в 1,4 раза) и его доля в углероде фракции (58 и 64%).

Состав гумуса микроагрегатов средней и крупной пыли значительно различается между вариантами по содержанию стабильных групп: С<sub>гк</sub> и С<sub>ост</sub> на интенсивно удобряемом участке выше в 1,5–2 раза. Доля С<sub>ост</sub> в углероде средней пыли максимальна среди фракций микроагрегатов: 61% (обр.5) и 68% (обр.6).

Показатели вкладов в С<sub>гк</sub>, С<sub>фк</sub> и С<sub>ост</sub> фракций микроагрегатов в углерод почвы позволяют оценить соотношение компонентов гумуса различной природы и его изменения. На обоих вариантах в составе углерода изучаемых почв 39,4% приходилось на С<sub>ост</sub> фракций <5 мкм, представленный в основном прочносвязанными гумусовыми веществами глиноорганических комплексов. Это подтверждает представления о формировании стабильной части гумуса в соответствии с содержанием и составом глинистых минералов (Шаймухаметов, 1974; Шаймухаметов и др., 1984; Травникова и др., 1992; Титова и др., 1995). На варианте с навозом (обр. 6) выше доля стабильных групп гумуса средней и крупной пыли: суммарные вклады С<sub>гк</sub> этих фракций в углерод почвы составили 2,8% (обр. 5) и 3,5% (обр. 6), С<sub>ост</sub> – 12,4% и 18,8%. Суммарные вклады С<sub>фк</sub> средней и крупной пыли в углерод почв оказались одинаковыми на обоих вариантах. Видимо, накопление веществ фульватной группы в этих фракциях обусловлено преимущественно биоклиматическими факторами, так как связано с первичным преобразованием органических остатков и жизнедеятельностью почвенной биоты. На варианте с минеральными удобрениями выше доля экстрагируемых компонентов микроагрегатов, обогащенных глинистыми минералами: сумма С<sub>гк</sub> предколлоидов и тонкой пыли (20,5%), а также сумма вкладов С<sub>фк</sub> всех фракций <5 мкм (15,8%).

Условия удобренности наиболее значимо отражаются на содержании углерода остатка. На интенсивно удобряемом варианте  $C_{ост}$  всех микроагрегатов мельче 10 мкм выше на 0,42–0,60%, крупной пыли – на 0,11–0,12%. Повышение  $C_{ост}$  относительно минерального фона максимально во фракциях 5–50 мкм: в средней пыли в 1,6–1,8 раза, в крупной – до 2,2 раза, тогда как во фракциях мельче 5 мкм – не более 1,2 раза. Разница между вариантами доли  $C_{ост}$  в углероде микроагрегатов нарастает по мере их укрупнения от 2,5% в коллоидах до 6–10% в пылеватых фракциях. Это согласуется с данными о накоплении в пылеватых фракциях органо-генных микроагрегатов (Стриганова, 2000; Травникова, Артемьева, 2003). Обогащение органо-генными микроагрегатами происходит при увеличении биомассы растений и всех представителей почвенной биоты в результате применения удобрений, а также при поступлении их в составе органических удобрений (Чернова, 1966; Стриганова, 2000). Внесение навоза усиливает развитие целлюлозоразлагающих бактерий, пигменты и слизи которых участвуют в агрегировании минеральной части почвы и гумусообразовании (Титова и др., 1989).

Внутри органо-генных микроагрегатов складываются факультативно-анаэробные условия, способствующие активному формированию гумусовых веществ гуматной природы, которые обладают выраженными гидрофобными свойствами (Кононова, 1963; Милановский, Шеин, 2002; Милановский, 2009). Исследованиями Е.Ю. Милановского и Е.В. Шеина установлено, что усиление гидрофобности гумусовых веществ обусловлено повышением их ароматичности, зрелости; их взаимодействие между собой энергетически более выгодно, чем взаимодействие с водой, поэтому они концентрируются в местах образования и не мигрируют по профилю (Милановский и др., 1993; Милановский, 2000; Милановский, Шеин, 2002; Шеин, Милановский, 2003). Гидрофильные свойства гумусовых веществ формируются в окислительных условиях на поверхности агрегатов и микроагрегатов. За них ответственны полярные группировки, боковые радикалы, присущие фульватным компонентам, которые благодаря этому, легко растворяются и передвигаются по профилю.

Гидрофобное взаимодействие гуматов, входящих в микроагрегаты разного размера, приводит к формированию гидрофобных «мостиков»; в этот момент их способность к взаимодействию максимальна. После образования «мостиков» гуматы оказываются внутри агрегатов, в недоступности для агентов почвенной среды. Со временем между внутренними поверхностями, очевидно, устанавливаются и другие формы связи различной природы, стабилизируя агрегаты. В варианте с навозом условия для этого значительно более благоприятные, чем на варианте с минеральными удобрениями.

Зайдельман (2009) отмечает также, что за водопрочность элементов почвенной структуры в большой мере ответственны кутаны на поверхности минеральных зерен, образованные гидроксидами Fe. Растворение кутан в условиях переувлажнения, особенно – длительного, в весенний период, на 30–40% снижает их стабильность и ведет к разрушению. Гуматы, взаимодействуя с гидроксидными пленками, способны стабилизировать их, благодаря гидрофобным свойствам.

Таким образом, установленная Д.В. Ханом (1969) особая значимость для агрегирования новообразованных гуматов экспериментально и теоретически обоснована как механизм их гидрофобных взаимодействий (Милановский, Шеин, 2002; Шеин, Милановский, 2000; Милановский, 2009).

Интенсивное перемешивание почвы при сельскохозяйственных обработках открывает большие поверхности контакту с кислородом воздуха и солнечным излучением; это стимулирует активное использование гумуса «мостиков» микрофлорой для питания и ведет к разрушению путем окисления под действием солнечного излучения (Кауричев, Орлов, 1982). Происходит «распаковка» агрегатов; если пополнение новообразованных гуматов не достаточно интенсивно, разрушение «мостиков» преобладает над их образованием. Эти процессы проявились в уменьшении содержания фракции средней пыли и накоплении предколлоидов и тонкой пыли, установленных данными исследованиями.

*Изменения группового состава гумуса тонкодисперсных частиц за время наблюдений.* За период с первой по третью ротацию групповой состав гумуса менялся по-разному в илистых фракциях,

тонкой пыли и фракциях 5–50 мкм средней и крупной пыли. Это обусловлено природой компонентов минеральной фазы и гумуса микроагрегатов. На обоих вариантах в илистых фракциях различия содержания С гк за время наблюдений не превышали 1,2 раза; во всех пылеватых фракциях выявлена тенденция последовательного снижения С гк. Уровень С фк средней и крупной пыли оставался стабильным, как и С ост средней пыли. С ост крупной пыли во вторую ротацию был максимальным: выше, чем в первую и третью ротации, на фоне минеральных удобрений в 1,5–2 раза, на фоне с навозом 1,2–1,5 раза.

Наиболее значительными были изменения содержания фульватной группы и остатка в микроагрегатах <5 мкм, обогащенных глинистыми минералами: коллоидной, предколлоидной и тонкой пыли. Экстрагируемость гумуса этих фракций в весенних образцах была в 1,5–2 раза выше, чем в осенних; доля С гк+С фк достигала 64–73% от углерода фракций. Это обусловлено очень высоким содержанием С фк и пониженным С ост. Содержание С фк было выше в 1,5–3 раза, доля С фк в углероде фракций достигала 40–60%. Количество С ост, напротив, было в 1,5–2,5 раза меньше, чем в осенних образцах, его доля в углероде частиц – всего 27–36%. В образцах второй ротации состав гумуса илистых фракций не анализировали (см. выше), но характер изменений содержания С фк и С ост всех фракций <5 мкм от первой к третьей ротации был одинаковым. Правомерно ожидать этого и во вторую ротацию.

Разница содержания С фк и С ост фракций микроагрегатов <5 мкм между весенними и осенними образцами на каждом варианте оказалась многократно больше, чем между вариантами в один срок (как правило, не более 1,2 раза). При этом соизмеримых отличий содержания углерода в почвах и микроагрегатах <5 мкм между весенним и осенними образцами не наблюдалось, хотя в этих фракциях сосредоточено до 80% углерода почв. Полученные данные дают основания предполагать, что компоненты фульватной группы образуют с глинистыми минералами фракций мельче 5 мкм динамичную систему. Закрепление их в глиноорганических комплексах, по-видимому, обратимо. В зависимости от условий почвенной среды его прочность меняется и устанавливается соот-

ветствующий уровень равновесного соотношения между свободной и связанной формами, которые при анализе группового состава гумуса входят в экстрагируемую фульватную группу и неэкстрагируемый остаток. С удобренностью этот уровень не связан; видимо, он задается климатическими факторами (температурой, влажностью), от которых зависят условия, влияющие на деятельность микрофлоры и направление химических процессов. Повышенная влажность и пониженные температуры весеннего периода обусловили в почве кислую, восстановительную среду, что привело к разрушению связей фульватных компонентов гумуса с минеральной фазой (Овчинникова, 2007; Зайдельман, 2009). Поэтому в весенних образцах фракции <5 мкм имеют повышенное содержание С фк и сниженное – С ост.

Видимо, по тем же причинам на обоих вариантах в образцах, отобранных весной, определение группового состава гумуса почвы в целом дало долю С фк в углероде почвы в 1,5–1,7 раза ниже, чем сумма вкладов С фк фракций <50 мкм; доля же С ост была в 1,4–1,5 раза выше, чем сумма вкладов С ост фракций <50 мкм. Условия почвенной среды в весенний период вызвали ослабление связей фульватных веществ с минеральной матрицей, поэтому привели к интенсивному их разрушению. При выделении фракций микроагрегатов под действием ультразвука часть гумусовых веществ, вошедших в С ост при экстрагировании из исходной почвы, стала подвижной и перешла в фульватную группу.

Компоненты фульватной группы обогащены полярными группировками, придающими им высокую гидрофильность, от которой зависит способность к взаимодействию с минеральными компонентами, в основном с глинистыми минералами и полуторными окислами (Милановский, Шеин, 2002; Милановский, 2009). Поэтому условия среды имеют большое значение для прочности их закрепления на минеральных поверхностях илистых фракций и для обусловленных этим сезонных колебаний. Гуматы обладают выраженными гидрофобными свойствами и стремятся к консолидации с веществами сходной природы. Их способность к взаимодействию с активными центрами на поверхности минералов снижена, поэтому уровень содержания С гк, в том числе – в илистых

фракциях, не детерминируется факторами, определяющими уровни С<sub>фк</sub> и С<sub>ост</sub>.

Изменения группового состава гумуса тонкой пыли отражают гетерогенность ее минералогического состава и компонентов гумуса: С<sub>гк</sub> менялся аналогично показателям пылеватых фракций, содержащих металлогуматы; С<sub>фк</sub> и С<sub>ост</sub> – аналогично показателям илистых фракций, представляющих собой глиноорганические комплексы.

Во фракциях средней и крупной пыли значительных сопряженных колебаний С<sub>фк</sub> и С<sub>ост</sub> между разными сроками не наблюдалось, так как содержание глинистых минералов в них очень мало.

Снижение количества С<sub>гк</sub> всех пылеватых фракций на обоих вариантах на первый взгляд сходно с изменением С<sub>фк</sub> фракции тонкой пыли. Но содержание С<sub>гк</sub> снижалось последовательно от первой до третьей ротации, тогда как С<sub>фк</sub> тонкой пыли во вторую ротацию был минимальным и затем снова возрос.

Гуматы пылеватых фракций в основной массе не защищены прочными связями с минеральной матрицей, поэтому интенсивная обработка почвы стимулирует их усиленное разрушение. Это дает основания воспринимать уменьшение содержания С<sub>гк</sub> пылеватых фракций на обоих вариантах как результат разрушения и/или недостаточного пополнения гуматов. На интенсивно удобряемом варианте с высокими дозами навоза этот процесс менее выражен, поэтому тормозится снижение содержания микроагрегатов средней пыли.

Ритм колебаний содержания органического вещества в почвах обоих вариантов совпадает с изменениями содержания углерода и состава гумуса фракций тонкой и крупной пыли. Во вторую ротацию на обоих вариантах отмечен максимальный за время наблюдений уровень содержания углерода почв, углерод фракций тонкой и крупной пыли и их С<sub>ост</sub>. Доля остатка в углероде этих фракций достигла 70%; увеличились вклады их С<sub>ост</sub> в углерод почвы. Видимо, уровень содержания гумуса в почве определяется состоянием гумуса остатка фракций тонкой и крупной пыли, которое обусловлено скорее всего биоклиматическими факторами,

так как связи со степенью удобренности и внесением навоза не выявлено.

Изменения группового состава гумуса фракций микроагрегатов, в том числе – значительные колебания показателей, выявленные в связи с весенним отбором образцов, информативны для раскрытия механизмов органо-минеральных взаимодействий. Проверить выявленные тенденции возможно при более детальном наблюдении в течение нескольких сезонов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние наблюдения в длительном опыте за изменениями содержания гумуса и его группового состава дерново-глубокоподзолистой среднесуглинистой почвы и ее тонкодисперсных фракций показали, что под пятипольным зернопропашным севооборотом на интенсивно удобряемом участке с навозом по сравнению с вариантом, получающим средние дозы минеральных удобрений, уже к концу первой ротации произошло устойчивое увеличение содержания гумуса, которое сохранялось в течение двух последующих ротаций. Повышение обеспечено в основном содержанием гумуса группы остатка почвы, а в его составе остатком микроагрегатов средней и крупной пыли, имеющих в основном органогенную природу. В этих микроагрегатах образуются зрелые гуматы гидрофобной природы, непосредственно участвующие в формировании водопрочных агрегатов; содержание их также повышено по сравнению с вариантом, получающим минеральные удобрения.

Ритм колебаний содержания гумуса в почвах обоих вариантов между сроками наблюдений соответствовал колебаниям углерода остатка микроагрегатов тонкой и крупной пыли и определялся, видимо, биоклиматическими факторами, так как связи с внесением удобрений и с культурами севооборота не выявлено.

Характер изменений группового состава гумуса фракций микроагрегатов в период наблюдений обусловлен природой компонентов их минеральной фазы и гумуса и различался в илистых фракциях, тонкой пыли и фракциях средней и крупной пыли. Во всех микроагрегатах мельче 5 мкм, обогащенных глинистыми минералами (илистых и тонкой пыли), в зависимости от условий

почвенной среды меняется прочность закрепления компонентов фульватной группы в виде глиноорганических комплексов, поэтому значительным колебаниям подвержено содержание фульватной группы и остатка. На содержании углерода во фракциях это не отражалось. Уровень содержания гуматов илистых фракций довольно стабилен. Во всех пылеватых фракциях проявилась тенденция к уменьшению содержания гуматов, что неблагоприятно для структурообразования.

За время наблюдений на обоих вариантах ухудшилось качество почвенной микроструктуры: разрушалась фракция средней пыли, значительно активнее – на варианте с минеральными удобрениями; интенсивно нарастало содержание и вклад в углерод почвы предколлоидной фракции, содержащей гумус низкой степени зрелости. Независимо от удобрённости, проявилась тенденция к снижению содержания наиболее ценной части гумуса – гуминовых кислот всех пылеватых фракций.

Применение интенсивной органо-минеральной системы удобрений позволило поддерживать лучшее состояние микроструктуры и гумуса по сравнению с вариантом, получающим средние дозы минеральных удобрений. Фракция средней пыли наиболее активно отзывалась на условия удобрённости лучшими показателями микроагрегатного состава, содержания гумуса и его группового состава. На варианте с минеральными удобрениями происходило более интенсивное разрушение фракции средней пыли; в углероде почвы была выше доля илистых фракций, содержащих гумус низкой степени зрелости.

Проведенные исследования показали, что применение интенсивной системы удобрений в течение трех ротаций пятипольного зернопропашного севооборота не позволило полностью стабилизировать состояние микроструктуры и гумуса дерново-глубокоподзолистой среднесуглинистой почвы. Но показатели, характеризующие гумус тонкодисперсной фазы, были лучше, чем на варианте с минеральными удобрениями; темпы разрушения фракции средней пыли в третью ротацию снизились.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
2. *Агрофизические методы исследования почв.* М.: Наука, 1966. С. 14–30.
3. *Дьяконова К.В.* Органические и минеральные вещества лизиметрических вод некоторых типов почв и их роль в современном процессе почвообразования // Органическое вещество целинных и освоённых почв. М.: Наука, 1972. С. 183–223.
4. *Зайдельман Ф.Р.* Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. С. 720.
5. *Кауричев И.С., Орлов Д.С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 247 с.
6. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы. М.: Наука, 1963. 314 с.
7. *Куваева Ю.В., Фрид А.С.* Динамика органического вещества тонкодисперсных частиц дерново-подзолистых почв в длительных опытах // Почвоведение. 2001. № 1. С. 52–61.
8. *Милановский Е.Ю.* Амфифильные компоненты гумусовых веществ почв // Почвоведение. 2000. № 6. С. 706–715.
9. *Милановский Е.Ю.* Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
10. *Милановский Е.Ю., Шеин Е.В.* Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусообразования и в генезисе почв // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1201–1213.
11. *Милановский Е.Ю., Шеин Е.В., Степанов А.А.* Лиофильно-лиофобные свойства органического вещества и структура почвы // Почвоведение. 1993. № 6. С. 122–126.
12. *Овчинникова М.Ф.* Особенности трансформации гумусовых веществ в разных условиях землепользования. Дис. ...докт. биол. н. М., 2007.
13. *Стриганова Б.Р.* Локомоторная и трофическая активность беспозвоночных как фактор формирования почвенной структуры // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1247–1254.

14. *Титова Н.А.* Органическое вещество тонкодисперсных фракций почв Калмыцкой степи // Почвоведение. 1976. № 7. С. 37–44. (Sov. Soil Sci. 1976. V. 8. № 4. P. 430–438.)
15. *Титова Н.А.* Органическое вещество пылеватых фракций почв солонцового комплекса Калмыкии // Тез. V Делегатского съезда ВОП. Т. 2. Минск, 1977.
16. *Титова Н.А.* Особенности органического вещества микроагрегатов пахотной дерново-подзолистой почвы // Докучаевское почвоведение 100 лет на службе сельского хозяйства. Л., 1983. С. 19–20.
17. *Титова Н.А.* Природа гумуса и формы его связи с минеральной частью целинных и освоенных почв сухостепного ряда юго-востока Европейской части СССР // Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.: Наука, 1972. С.
18. *Титова Н.А., Травникова Л.С., Куваева Ю.В., Володарская И.В.* Состав органических и минеральных компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1989. № 6. С. 89–97.
19. *Титова Н.А., Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш.* Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почв // Почвоведение. 1995. № 5. С. 639–646.
20. *Травникова Л.С., Артемьева З.С.* Физическое фракционирование органического вещества почв с целью изучения его устойчивости к биодegradации // Экология и почвы. Избр. лекции X всерос. школы. Пущино, 2001. С. 337–346.
21. *Травникова Л.С., Титова Н.А.* Факторы, регулирующие распределение органического вещества по фракциям <5 мкм в почвах солонцового комплекса Калмыкии // Почвоведение. 1978. № 11. С. 109–121.
22. *Травникова Л.С., Титова Н.А., Шаймухаметов М.Ш.* Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющих в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 1992. № 10. С. 81–96.
23. *Хан Д.В.* Органо-минеральные соединения и структура почвы. М.: Наука, 1969. 142 с.
24. *Чернова Н.М.* Зоологическая характеристика компостов. М.: Наука, 1966. 155 с.

25. *Шаймухаметов М.Ш.* Опыт использования ультразвука при изучении механизма закрепления органического вещества в почве // Почвоведение. 1974. № 5. С. 134–138.
26. *Шаймухаметов М.Ш., Воронина К.А.* Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // Почвоведение. 1972. № 8. С. 134–138.
27. *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.
28. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю.* Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53–61.
29. *Anderson D.W., Saggat S., Bettany J.R., Stewart J.W.B.* Particulate size fractions and their use in studies of soil organic matter. I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulphur // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1981. V. 45. № 4. P. 767–772.
30. *Edwards A.P., Bremner J.M.* Microaggregates in soils // J. Soil Sci. 1967. V. 18. №1. P. 64–73.

## THE GROUP COMPOSITION OF HUMUS AND FRACTIONS OF FINE-DISPERSED PHASE IN THE SODDY-PODZOLIC MEDIUM-LOAMY SOIL IN A LONG-TERM EXPERIMENT

**Yu. V. Kuvaeva**

The group composition of humus in microaggregates (colloidal, pre-colloidal, fine, medium and coarse silt) of the soddy-podzolic medium-loamy soil has been first studied in three five-course grain-tilled crop rotations in the long-term experiment of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. It is shown that in the trial with a higher dose of fertilizers (N150P150K180 kg/ha/year + 120 t/ha of manure) the humus content increases in soil after the first rotation as compared to that with average fertilizer doses (N60P60K60). This is explained by the content of carbon bond to microaggregates of medium and coarse silt. At the same time both experimental variants reveal deterioration of the microstruc-

ture including the decrease in the content of medium silt, accumulation of pre-colloidal and fine-dispersed fractions. It becomes evident that the best microstructure is observed in the variant enriched with fertilizer: it contains a great amount of silty fractions and humus components in the form of humates and nonhydrolyzed residues. Moreover, both experimental variants show a tendency towards decreasing the content of humates bond to silty fractions. The intensive system of fertilization in three rotations allowed maintaining the stable content of humus in the fraction of medium silt, the latter being disturbed to a lesser extent than that in the variant without manure application.

*Key words:* humus, group composition of humus, microaggregates.