

УДК 631.417.2

ДИСПЕРСНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В НЕОБРАБАТЫВАЕМЫХ И ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ

© 2019 г. В. М. Семенов^{1, *}, Т. Н. Лебедева¹, Н. Б. Паутова¹¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Россия, 142290, Пушкино Московской обл., ул. Институтская, 2

*e-mail: v.m.semenov@mail.ru

Поступила в редакцию 04.06.2018 г.

После доработки 31.07.2018 г.

Принята к публикации 24.10.2018 г.

Приведены данные по содержанию дисперсного органического вещества (РОМ) в гумусовых горизонтах разных типов почв. Показано влияние системы землепользования и удобрений на обеспеченность серой лесной почвы и типичного чернозема углеродом дисперсного органического вещества ($C_{РОМ}$). Оценена минерализационная способность РОМ при постоянных условиях температуры и влажности, получены соотношения между пулами РОМ и биологически активного органического вещества в почве. В почвах естественных угодий на долю РОМ совместно с гранулометрической фракцией песка приходилось 12–36% от массы почвы, содержание $C_{РОМ}$ варьировало от 1.66 до 8.03% от массы фракции, а доля $C_{РОМ}$ в общем $C_{орг}$ составляла от 20 до 48%. Пахотные серая лесная почва и типичный чернозем были обеднены $C_{РОМ}$ в 3.0–3.2 и 2.0–2.8 раза соответственно по сравнению с образцами необрабатываемых почв. Минерализационная способность РОМ в серой лесной почве и типичном черноземе оказалась примерно одинаковой (7.9–12.1 и 7.2–8.2% от $C_{РОМ}$ соответственно), что было примерно в 1.2–2.4 раза больше, чем для всего почвенного органического вещества. Отмечено, что РОМ может быть чувствительным индикатором динамики $C_{орг}$ в почве, хорошим предиктором изменений содержания и качества почвенного органического вещества и значимым источником потенциально-минерализуемого органического вещества в почве.

Ключевые слова: органический углерод, физическое фракционирование, активный пул почвенного органического вещества, минерализация

DOI: 10.1134/S0032180X19040130

ВВЕДЕНИЕ

Живые особи, неживое органическое вещество и находящиеся в почве природные и термически измененные органические материалы биологического происхождения независимо от источника и стадии разложения, за исключением наземной части растущих растений, образуют органический континуум [11, 27]. Неживая составляющая органического континуума представляет собой почвенное органическое вещество (ПОВ) – гетерогенную, но целостную субстанцию, имеющую характерные признаки и свойства, выполняющую определенный спектр функций и экосистемных сервисов, содержание и качество которой может быть охарактеризовано одними и теми же для всех почвенных условий показателями [7]. По современной номенклатуре ПОВ включает в себя: 1) растительные остатки размером 10–2 мм; 2) твердые дискретные частицы полуразложившегося органического материала размером от 2 до 0.053 мм; 3) растворимые вещества размером <0.45 мкм; 4) гумус в виде негу-

миновых биомолекул и гуминовых веществ (хорошо разложившийся органический материал размером <53 мкм, связанный, как правило, с почвенными минералами); 5) угли и обугленные материалы [11, 33, 36].

Твердые дискретные частицы остатков биоты, отделяемые от почвенных агрегатов диспергированием почвы в растворе гексаметафосфата натрия вместе с гранулометрической фракцией песка, составляют фракцию дисперсного органического вещества (particulate organic matter, РОМ) [13]. Этот способ физического фракционирования обладает минимальным деструктурирующим эффектом на выделенную фракцию ПОВ. В составе РОМ присутствуют остатки растений, животных и микроорганизмов разных стадий разложения, включая семена, пыльцу, споры, грибные гифы, а также фитолиты и обугленные вещества [21]. В образцах РОМ двух почв было идентифицировано 200 пиролитических соединений, включая алкилбензол, нафталины, лигнин, пирролы, инден, *n*-алканы, *n*-алкены, кетоны, фенолы,

спирты, жирные кислоты и др. [40]. Органические частицы, относящиеся к РОМ, локализуются как на внешней стороне агрегатов (свободное РОМ), так и внутри агрегатов (окклюдированное РОМ) и подразделяются в свою очередь на крупную (2–0.25 мм) и тонкую (0.25–0.053 мм) субфракции [35]. Среднее время существования углерода РОМ оценивается от 6 до 38 лет в зависимости от вида растительности, а время оборачиваемости свободного и окклюдированного РОМ составляет 1–27 и 24–83 лет соответственно, что дает основания относить эту фракцию преимущественно к медленному пулу ПОВ [22, 37]. С другой стороны, РОМ рассматривается как быстроменяющийся пул ПОВ, поскольку его компоненты легко разлагаются почвенными микроорганизмами [40]. Считается, что РОМ обогащено лигнином и восками растительных остатков, а также аминокислотами и соединениями грибов происхождения [4, 25]. Многие компоненты РОМ являются высокоэнергетическим субстратом для почвенных организмов, поэтому в местах локализации РОМ образуются наиболее заселенные микробной биомассой микрозоны с высокой биологической активностью и повышенным содержанием ферментов [10, 35, 38]. Существует тесная взаимосвязь между химией РОМ и составом микробного сообщества почвы [40]. По данным этих авторов, относительно лабильные компоненты РОМ, например, жирные кислоты и *n*-алкены, объясняли 61% вариаций состава микробного сообщества. В свою очередь, состав микробного сообщества почвы объяснял 94% изменений химического состава РОМ.

По плотности часть фракции РОМ сходна с легкой фракцией (LF) органического вещества, получаемой денситометрическим фракционированием компонентов почв в тяжелых жидкостях с заданным значением плотности (от 1.2–1.6 до 2.0–2.2 г/см³), а по размеру частиц – с гранулометрической фракцией песка. Как следствие, нередко случаются ошибочного отождествления РОМ с этими двумя физическими фракциями [3, 17, 19, 24], либо обозначения выделенных с помощью поливольфрамата натрия свободной и окклюдированной легкой фракции ПОВ субфракциями РОМ [26, 29]. В действительности, РОМ, LF и гранулометрическая фракция песка отличаются друг от друга способами выделения, массой, составом, функциями и являются самостоятельными фракциями ПОВ [21]. Среднее время существования LF, как правило, меньше, чем РОМ, а тяжелой денситометрической фракции продолжительнее по сравнению с окклюдированным РОМ [22, 37]. Точно также нельзя, по-видимому, отнести к РОМ фракции детрита и мортмассы, выделяемые, соответственно, с помощью тяжелых жидкостей и путем отмывки водой на сите с диаметром ячейки 0.25 мм [9]. В этой связи, полученные денситометрическим и гранулометрическим

фракционированием показатели ПОВ, имеющиеся в литературе [1–3, 6], не дают полного представления о содержании и качестве РОМ в почвах, залегающих в европейской части России.

Цель работы – определить содержание РОМ в гумусовых горизонтах разных типов почв, выявить влияние характера землепользования на обеспеченность почвы РОМ, оценить потенциальную способность РОМ к минерализации при постоянных условиях температуры и влажности, а также установить соотношение между пулами дисперсного и биологически активного (потенциально-минерализуемого) органического вещества в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвы природных и сельскохозяйственных экосистем. Определение содержания РОМ в разных типах почв проводили в образцах верхнего гумусового горизонта, отобранных под естественной растительностью лиственно-лесной, лесостепной, степной и сухостепной биоклиматических областей европейской части России. Названия почв, сведения о месте отбора образцов, угодьях, содержании органического углерода ($C_{орг}$) и азота ($N_{общ}$) в почвах представлены в табл. 1. На следующем этапе исследований определяли влияние характера землепользования на содержание РОМ в почвах. Использовали смешанные образцы необрабатываемых почв естественных угодий и пахотных почв, занятых сельскохозяйственными культурами (табл. 2). Участки естественных угодий и пашни располагались в пределах одного и того же ландшафта.

Анализируя образцы типичного чернозема, отобранные из слоя 0–20 см в многолетнем полевом опыте Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии (Курская область), оценивали чувствительность фракции РОМ к комплексу агротехнических приемов, направленных на повышение плодородия почвы. Подробное описание условий проведения и схемы опыта с применением побочной продукции, сидератов и минеральных удобрений на двух фонах последствий навоза приведено в работе [5]. Все свежесобранные образцы высушивали на открытом воздухе до воздушно-сухого состояния, пропускали через сито с диаметром отверстий 3 мм и удаляли видимые остатки растений и мезофауны.

Выделение дисперсного органического вещества. Фракцию РОМ выделяли по методу [13]. Воздушно-сухую почву размельчали до частиц меньше 2 мм. Навеску почвы массой 10 г диспергировали в 30 мл 0.5% раствора гексаметафосфата натрия ($Na_6P_6O_{18}$) на шейкере в течение 15 ч при скорости 180 об./мин. Полученную суспензию пропускали через сито с диаметром отверстий

Таблица 1. Районы отбора образцов зональных и интразональных почв

№	Почва, угодье, место отбора	Слой, см	$C_{орг}$	$N_{общ}$
1	Серая лесная (Eutric Retisol (Cutanic, Humic)), мелколист- венный лес (Тульская обл., Щекинский район) 53°9740' N 37°1801' E	0–15	2.295 ± 0.057	0.202 ± 0.001
2	Темно-серая лесная (Luvic Retic Greyzem Phaeosem), широколиственный лес (Тульская обл., Щекинский район) 53°9746' N 37°1543' E	0–10	3.066 ± 0.049	0.279 ± 0.002
3	Чернозем обыкновенный (Haplic Chernozem (Pachic)), луго- вая степь (Воронежская обл., Таловский район) 51°0491' N 40°7234' E	0–16	4.720 ± 0.243	0.394 ± 0.011
4	Луговая слитизированная почва (Vertic Gleyic Phaeozem), пойменный луг (Волгоградская обл., Новоаннинский район) 50°5048' N 42°5614' E	0–3	4.156 ± 0.135	0.326 ± 0.018
5		3–30	2.950 ± 0.049	0.282 ± 0.011
6	Луговой солонец солончаковый мелкий (Gleyic Solonetz), пойменный луг (Волгоградская обл., Новоаннинский район) 50°4972' N 42°5699' E	0–8	1.947 ± 0.034	0.157 ± 0.009
7		8–17	1.768 ± 0.043	0.158 ± 0.006
8	Лугово-каштановая (Gleyic Kastanozems (Chromic)), пой- менный луг (Волгоградская обл., Новоаннинский район) 50°5029' N 42°5820' E	0–5	2.680 ± 0.107	0.213 ± 0.011
9	Солонец степной мелкий на микроплакоре (Haplic Solonetz (Albic)), степь (Волгоградская обл., Иловлинский район) 49°0994' N 44°0397' E	0–4	2.818 ± 0.066	0.233 ± 0.019
10		4–26	1.040 ± 0.062	0.102 ± 0.006
11	Каштановая солонцеватая (Endosalic Kastanozems (Proto- sodic)), степь (Волгоградская обл., Иловлинский район) 49°0978' N 44°0413' E	0–8	2.377 ± 0.083	0.203 ± 0.014
12	Лугово-болотная глеевая (Eutric Gleysol (Humic)), поймен- ный луг (Волгоградская обл., Староахтубинский район) 48°6892' N 44°9124' E	0–5	2.852 ± 0.037	0.230 ± 0.010
13		5–30	1.034 ± 0.011	0.109 ± 0.006
14	Пойменная луговая (Eutric Fluvisol (Humic)), пойменная дубрава (Волгоградская обл., Староахтубинский район) 48°6910' N 44°9068' E	0–3	2.825 ± 0.063	0.229 ± 0.012
15		3–20	2.342 ± 0.087	0.187 ± 0.005

0.05 мм. Остаток на сите несколько раз промывали дистиллированной водой, до получения прозрачной промывной жидкости, далее сушили в течение часа при 40°C, после чего количественно переносили в емкость для высушивания при 65°C в течение суток. В каждом анализируемом образце почвы измеряли массу фракции в трех повторностях, содержание углерода во фракции РОМ ($C_{РОМ}$) в процентах от массы фракции и массы почвы.

Определение минерализационной способности органического вещества и содержания $C_{орг}$. Потенциально-минерализуемое органическое вещество определяли путем инкубации образцов РОМ и цельных почв при постоянных условиях температуры (22°C) и влажности (25 вес. %) с количественным учетом $C-CO_2$ в течение 160–170 сут, как это описано в предыдущей работе [8]. Для предотвращения слеживания увлажненных образцов РОМ за время продолжительной инкуба-

ции навеску фракции массой 1.5 г смешивали с вермикулитом. Использовали образцы РОМ, выделенные из серой лесной почвы (лес, луг, пашня) и типичного чернозема (дубрава, пашня). Масса инкубируемой почвы составляла 10 г. Инкубацию образцов проводили в стеклянных флаконах емкостью 100 мл. Повторность – трехкратная. Первое измерение концентрации $C-CO_2$ в газовой фазе инкубируемых образцов проводили через 3–4 ч, а последующие – ежедневно в течение первой недели, затем три раза в неделю, в течение второго месяца инкубации – два раза в неделю, начиная с третьего месяца инкубации – один раз в неделю. После каждого измерения флаконы проветривали. Концентрацию $C-CO_2$ определяли на газовом хроматографе (Кристалл Люкс 4000 М). Получали скорость потока (мг/(100 г сут)), кумулятивную величину (мг/100 г) продуцирования $C-CO_2$, содержание углерода активного (потенциально-минерализуемого) органического веще-

Таблица 2. Почвы разных угодий и места их отбора

№	Почва, угодье, место отбора	Слой, см	C _{орг}	N _{общ}
1	Серая лесная, мелколиственный лес (Московская обл., Серпуховский район), 54°8340' N 37°5719' E	0–17	1.880 ± 0.023	0.179 ± 0.002
2	Там же, некосимый луг, 54°8337' N 37°5755' E	0–18	1.571 ± 0.006	0.154 ± 0.004
3	Там же, пашня (ячмень), 54°8240' N 37°5641' E	0–20	1.435 ± 0.100	0.142 ± 0.007
4	Серая лесная, мелколиственный лес (Тульская обл., Щекинский район) 53°9740' N 37°1801' E	0–15	2.295 ± 0.057	0.202 ± 0.001
5	Там же, пашня (пшеница) 53°9720' N 37°1782' N	0–30	1.807 ± 0.024	0.169 ± 0.008
6	Чернозем типичный, дубрава (Белгородская обл., Старооскольский район) 51°1770' N 38°4309' E	0–20	5.669 ± 0.103	0.498 ± 0.022
7	Там же, пашня (пшеница) 51°1802' N 38°4298' E	0–20	3.735 ± 0.056	0.319 ± 0.002
8	Чернозем обыкновенный, луговая степь (Воронежская обл., Таловский район) 51°0491' N 40°7234' E	0–16	4.720 ± 0.243	0.394 ± 0.011
9	Там же, пашня (пшеница) 51°0476' N 40°7223' E	0–23	3.564 ± 0.140	0.346 ± 0.008

ства в почве (фракции РОМ) на момент начала инкубации, используя однокомпонентное уравнение кинетики первого порядка:

$$C_t = C_0(1 - \exp(-kt)),$$

где C_t – кумулятивное количество C–CO₂ (мг/100 г почвы) за время t , сут; C_0 – содержание активно- (потенциально-минерализуемого) углерода, мг/100 г; k – константа скорости минерализации, сут⁻¹.

В образцах почв и фракций РОМ с помощью CNHS-анализатора (Leco 932, USA) определяли общий углерод, содержание которого в гумусовых горизонтах исследуемых почв эквивалентно C_{орг}. Рассчитывали долю C_{РОМ} и C₀ в составе ПОВ (% от C_{орг}).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание дисперсного органического вещества в ряду зональных и интразональных почв. В гумусовом горизонте разных типов почв на долю дисперсного органического вещества вместе с гранулометрической фракцией песка приходилось от 12 до 36% от массы почвы (табл. 3). В верхнем слое гумусового горизонта доля фракции была больше, чем в нижней его части. Среди зональных почв масса фракции РОМ увеличивалась по направлению от серой лесной почвы к чернозему обыкновенному, а южнее зоны черноземных почв, в каштановой солонцеватой почве – уменьшалась. Масса фракции РОМ в интразональных почвах зависела от их местоположения и флористического состава угодий: больше всего содержалось в солонце степном, а меньше всего – в лугово-болотной глеевой почве.

Содержание органического углерода во фракции РОМ менялось от 1.66 до 6.75% от массы

фракции. Больше всего C_{РОМ} обнаружено в черноземе обыкновенном. В других типах зональных почв (темно-серая лесная, серая лесная и каштановая солонцеватая) содержалось меньше C_{РОМ}. В интразональных почвах отчетливо проявлялась дифференциация гумусового горизонта по содержанию C_{РОМ}. Концентрация C_{РОМ} в поверхностных слоях гумусового горизонта была примерно в 2 раза больше, чем в нижней его части. Фракция РОМ была обогащена органическим углеродом в 1.2–2.0 раза по сравнению с цельным образцом почвы, что объясняется присутствием в ее составе полуразложившихся растительных остатков. Можно заметить, что полученные нами концентрации органического углерода во фракции РОМ в несколько раз меньше, чем в легкой фракции ПОВ, выделенной при денситометрическом фракционировании [1, 3]. Определяемое по размеру частиц РОМ, представляет собой пул ПОВ, который состоит из собственно легкой фракции (1.4–1.9 г/см³) и некоторого количества органического вещества, большей плотности, чем фракция LF [18]. Следовательно, РОМ и LF являются двумя самостоятельными фракциями.

Отношение C : N является классическим показателем минерализационной способности органического субстрата. Поступление в почву свежего органического материала, как правило, приводит к более сильному обогащению ПОВ углеродом, чем азотом, расширяя тем самым отношение C : N. Это хорошо видно на примере фракции РОМ, содержащей преимущественно полуразложившиеся растительные остатки. Если в цельном образце исследуемого ряда почв отношение C : N составляло в среднем 11.6 ± 1.0, то во фракции РОМ – 14.3 ± 1.2. Для всего массива почв естественных угодий содержание C_{РОМ} достаточно тесно коррелировало с C_{орг} ($r = 0.917$, $P < 10^{-3}$),

Таблица 3. Содержание дисперсного органического вещества (РОМ) в гумусовом горизонте почв естественных угодий

№ образца	Масса РОМ, % от массы почвы	$C_{РОМ}$, % от массы фракции	$\frac{C_{РОМ}}{N_{РОМ}}$	$\frac{C_{РОМ}}{C_{орг} \text{ почвы}}$	$C_{РОМ}$, г/100 г почвы	$C_{РОМ}$, % от $C_{орг}$ почвы
1	18.3 ± 2.5	4.50 ± 0.23	14.1	2.0	0.82	35.8
2	20.5 ± 0.9	5.17 ± 0.15	14.9	1.7	1.06	34.6
3	27.8 ± 1.6	6.75 ± 0.30	15.0	1.4	1.87	39.7
4	26.0 ± 1.8	5.40 ± 0.16	15.4	1.3	1.41	33.9
5	18.4 ± 1.0	3.64 ± 0.19	15.5	1.2	0.67	22.7
6	23.1 ± 1.1	2.98 ± 0.31	13.2	1.5	0.69	35.3
7	15.9 ± 0.6	2.62 ± 0.43	12.1	1.5	0.42	23.6
8	27.3 ± 0.5	3.29 ± 0.12	13.3	1.2	0.90	33.5
9	35.5 ± 2.0	3.58 ± 0.27	14.9	1.3	1.27	45.1
10	30.2 ± 1.9	1.66 ± 0.15	17.6	1.6	0.50	48.2
11	24.9 ± 1.8	3.34 ± 0.02	13.7	1.4	0.83	35.0
12	17.4 ± 1.4	3.97 ± 0.06	13.9	1.4	0.69	24.2
13	12.2 ± 2.6	1.74 ± 0.06	13.6	1.7	0.21	20.5
14	25.7 ± 3.7	5.02 ± 0.33	14.1	1.8	1.29	45.7
15	21.6 ± 4.0	2.80 ± 0.28	13.5	1.2	0.61	25.9

Примечание. Номера образцов см. в табл. 1.

тогда как соотношение $C : N$ в цельном образце не коррелировало с $C_{РОМ} : N_{РОМ}$ фракции. Это свидетельствует о разном качественном составе азотсодержащих компонентов во фракции РОМ и в цельной почве.

Средневзвешенная концентрация $C_{РОМ}$ в ряду исследуемых почв под естественными угодьями, рассчитанная с учетом массы фракции РОМ и содержания в ней органического углерода, составляла от 0.21 до 1.87% от массы почвы. На долю $C_{РОМ}$ в ПОВ приходилось от 20 до 48%. В других исследованиях в почвах 14 экотопов, представленных посевами и пастбищами, в виде $C_{РОМ}$ содержалось от 18 до 39% от всего $C_{орг}$, при этом общее содержание $C_{РОМ}$ в почве не зависело ни от гранулометрического, ни от минералогического состава почв [32]. Позднее было замечено, что влияние текстуры почвы проявляется только на субфракцию окклюдированного РОМ, но не на свободного РОМ [20]. Таким образом, твердые дискретные частицы органических остатков являются количественно значимой частью ПОВ.

Влияние системы землепользования на формирование в почве пула дисперсного органического вещества. Во многих исследованиях экспериментально доказано, что фракция РОМ чувствительна к изменениям агротехники, хорошо отражает изменения качества ПОВ, вызванные сменой систем землепользования [14, 16, 18, 30]. Из результатов наших исследований также следует, что система землепользования оказывает суще-

ственное влияние на массу фракции размером 2–0.05 мм. В серой лесной почве и типичном черноземе под лесом масса фракции РОМ была в 1.1–2.7 раза больше, чем в пахотных их разновидностях (табл. 4). Если под лесом и лугом свежий органический материал поступает в почву практически круглогодично, то в агроценозах периодически и в меньших объемах. Кроме того, разрушение почвенных макроагрегатов при обработке пахотных почв ведет к утрате физической защищенности фракции РОМ, что препятствует ее сохранению и накоплению.

Еще одно отличие между необрабатываемыми и пахотными почвами – более низкое содержание органического углерода и некоторое сужение отношения $C : N$ во фракции РОМ пахотных почв, особенно в черноземе. В других исследованиях в необрабатываемой почве соотношение $C_{РОМ} : N_{РОМ}$ равнялось 20.8, тогда как в почве со вспашкой – 16 [39]. Поскольку отношение $C_{РОМ} : C_{орг}$ почвы не имело отчетливой зависимости от землепользования, следовательно, наблюдаемое в пахотных почвах уменьшение массы фракции РОМ и содержания углерода в ее составе обусловлено теми же причинами, что и убыль общего $C_{орг}$. Из табл. 4 видно, что серая лесная почва и типичный чернозем, находящиеся в сельскохозяйственном использовании, обеднены углеродом фракции РОМ соответственно в 3–3.2 и 2–2.8 раз по сравнению с необрабатываемыми аналогами. Если в почве естественных угодий на долю $C_{РОМ}$ приходилось

Таблица 4. Влияние землепользования на содержание дисперсного органического вещества (РОМ) в почвах

№ образца	Масса РОМ, % от массы почвы	$C_{РОМ}$, % от массы фракции	$\frac{C_{РОМ}}{N_{РОМ}}$	$\frac{C_{РОМ}}{C_{орг} \text{ почвы}}$	$C_{РОМ}$, г/100 г почвы	$C_{РОМ}$, % от $C_{орг}$ почвы
1	15.6 ± 0.4	4.33 ± 0.10	13.6	2.3	0.68	36.0
2	11.3 ± 1.2	3.80 ± 0.14	13.6	2.4	0.43	27.3
3	6.0 ± 0.6	3.79 ± 0.28	13.2	2.6	0.23	15.9
4	18.3 ± 2.5	4.50 ± 0.23	14.1	2.0	0.82	35.8
5	6.8 ± 1.0	3.79 ± 0.61	13.0	2.1	0.26	14.2
6	25.4 ± 1.2	8.03 ± 0.08	14.4	1.4	2.04	36.0
7	22.3 ± 1.2	4.63 ± 0.11	13.6	1.2	1.03	27.7
8	27.8 ± 1.6	6.75 ± 0.30	15.0	1.4	1.87	39.7
9	13.8 ± 1.6	4.96 ± 0.01	13.3	1.4	0.68	19.2

Примечание. Номера образцов см. в табл. 2.

Таблица 5. Статистика изменчивости содержания дисперсного органического вещества (РОМ) в пахотном типичном черноземе (Курская область) при длительном использовании разных систем удобрения

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее	Коэффициент вариации, %
Масса РОМ, % от массы почвы	6.6	9.6	8.2	9.4
$C_{РОМ}$, % от массы фракции	5.26	6.97	5.86	7.3
$\frac{C_{РОМ}}{N_{РОМ}}$	13.0	14.7	13.7	2.8
$C_{РОМ}$, г/100 г почвы	0.35	0.59	0.48	12.7
$C_{РОМ}$, % от $C_{орг}$ почвы	10.0	14.7	13.0	10.0

Примечание. По данным 16-и вариантов полевого многофакторного опыта.

36–40% от ПОВ, то в пахотных почвах – 14–28%. Подобная закономерность отмечена и в других исследованиях: в почве под лесом во фракции $C_{РОМ}$ содержалось 44% от $C_{орг}$, а в пахотной почве после 86 лет возделывания культур – 25% [28]. Таким образом, фракция $C_{РОМ}$ является индикатором количественных и качественных изменений в ПОВ, вызываемых сменой землепользования.

Влияние системы удобрения на содержание дисперсного органического вещества в почве. Структура севооборота, техника обработки почвы, система применения удобрений и другие элементы агротехнологий относятся к числу основных агротехнических факторов, влияющих на содержание дисперсного органического вещества в пахотных почвах. Выращивание культур с большим количеством растительных остатков, преимущественно в виде биомассы корней, включение в севооборот покровных, промежуточных культур и сидератов, заделка побочной продукции в почву, использование органической или органо-минеральной системы удобрения, применение нулевой или минимальной обработки почвы – основные приемы, способствующие обогащению почвы дисперсным органическим веществом [13–15, 28–30, 39].

В полевом опыте на типичном черноземе, залегающем в Курской области, систематическое использование биологизированных агроприемов привело к небольшим изменениям содержания валового $C_{орг}$ в почве [5]. Из полученных результатов следовало, что органической системе типичного чернозема свойственна высокая консервативность и в целом слабая чувствительность к комплексу агроприемов, традиционно используемых для повышения плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур. Эффективность приемов регулирования гумусного состояния черноземов было предложено оценивать не по валовому содержанию $C_{орг}$, а по качественным характеристикам ПОВ, например, по содержанию фракции РОМ. Масса фракции РОМ в пахотном типичном черноземе варьировала от 6.6 до 9.6% от массы почвы (табл. 5).

Наибольшее количество фракции было найдено в почве при совместном внесении минеральных удобрений, побочной продукции и сидератов на фоне последействия навоза в дозе 12 т/га, а самое низкое – в почве с последействием одного навоза в дозе 6 т/га без других удобрительных материалов. Влияние отдельных приемов на массу

фракции РОМ уменьшалось в следующей последовательности: побочная продукция > минеральные удобрения > доза навоза в последствии > сидераты. Фракция РОМ в типичном черноземе опыта, как и при исследовании других почв разного землепользования, была обогащена органическим углеродом по сравнению со всей массой почвы. Действие органических материалов на содержание углерода во фракции РОМ было положительным, а минеральных удобрений, наоборот, отрицательным. Поэтому содержание в типичном черноземе $C_{РОМ}$ в отличие от массы фракции РОМ зависело только от поступления побочной продукции, сидератов и навоза, вклад которых составлял 30, 16 и 10% соответственно. В целом по опыту в типичном черноземе на долю фракции дисперсного органического вещества приходилось от 10 до 15% от общего $C_{орг}$. Более значительная изменчивость содержания $C_{РОМ}$ в $C_{орг}$ создавалась при использовании разных типов севооборотов – от 17.5 до 35.8% [34]. В других исследованиях с внесением компостов и растительных остатков в почву в виде $C_{РОМ}$ содержалось около 20% от всего $C_{орг}$, при этом положительное влияние внесения растительных остатков на $C_{РОМ}$ проявлялось не сразу, а по мере разложения внесенного органического материала [39]. Доказано, что в пахотной почве основная роль в обновлении фракции РОМ принадлежит подземной биомассе полевых культур, на долю которой приходится от 60 до 80% от общего количества нового $C_{РОМ}$ [31]. По данным этих авторов эффективность преобразования подземных растительных остатков кукурузы и сои в РОМ составляла 10 и 24% соответственно, тогда как надземных растительных остатков – 1.0 и 0.5%.

Таким образом, использование в земледелии агротехнологий, обеспечивающих рост урожая культур и, соответственно, количество растительных остатков, а также добавление в почву нового органического материала в виде побочной продукции и сидератов, позволяет увеличить долю фракции РОМ в составе ПОВ.

Минерализационная способность дисперсного органического вещества. Многие компоненты фракции РОМ являются высокоэнергетическим субстратом для почвенных организмов, поэтому ее можно рассматривать как ближайший резерв потенциально-минерализуемого органического вещества [38]. Почвенные микроорганизмы оказывают быстрое прямое действие на образование, химию и стабилизацию РОМ, при этом в процессе освоения твердых органических частиц микроорганизмами фракция РОМ обогащается мертвой микробной биомассой [40]. Отмечено, что самая высокая активность ферментов, катализирующих разложение целлюлозы, хитина, протеина и органических фосфатов, была свойственна крупной

субфракции РОМ [10]. В тонкой субфракции РОМ активность этих ферментов была ниже, но превышала таковую в цельном образце почвы. В случае полифенолоксидазы наблюдалась обратная зависимость.

Биокинетические параметры фракции РОМ значительно отличались от таковых в цельном образце почв. Содержание потенциально-минерализуемого органического вещества во фракции РОМ ($C_{0-РОМ}$) было в 2.8–7.6 раз больше, чем в цельном образце почвы, а доля $C_{0-РОМ}$ от $C_{РОМ}$ – в 1.2–2.4 раза выше по сравнению с долей C_0 от $C_{орг}$ почвы (табл. 6). В других исследованиях размеры минерализации крупной фракции РОМ были в 4.4–5.4 раза больше, чем тонкой фракции РОМ и в 5.6–9.1 раз больше, чем цельной почвы [12]. Константа скорости минерализации РОМ была меньше, чем для ПОВ, составляя в среднем 0.016 ± 0.003 и 0.026 ± 0.005 сут⁻¹ соответственно. Этот факт согласуется с более широким отношением C : N во фракции РОМ по сравнению с цельной почвой, поскольку промывание фракции РОМ дистиллированной водой могло привести к вымыванию подвижных соединений азота. Можно заметить также, что скорость минерализации РОМ была приблизительно одного и того же порядка независимо от того, выделено ли оно было из серой лесной почвы или типичного чернозема. Если учитывать массу фракции РОМ в серой лесной почве и в типичном черноземе, то оказывается, что потенциально-минерализуемое РОМ в серой лесной почве составляет 36–45%, а в черноземе типичном – 71–86% от всего потенциально-минерализуемого пула ПОВ. Минерализационная способность РОМ суглинистой почвы была меньше, чем цельного ПОВ, а РОМ глинистой почвы, наоборот, в несколько раз больше [18]. В наших исследованиях размеры минерализации РОМ серой лесной почвы под лесом, лугом и пашней составляли 7.9–12.1% от $C_{РОМ}$, превышая в 2.8–7.6 раз минерализацию органического вещества цельных почвенных образцов. В других исследованиях скорость разложения меченой по ¹³C_{РОМ} в почве под кукурузой и соей за два года была примерно одинаковой, составляя под кукурузой 5.4–12.1% от $C_{РОМ}$, а под соей 6.3–8.0% [31]. Более значительные размеры минерализации РОМ (12–46% от $C_{РОМ}$), полученные в других исследованиях, связаны, скорее всего, с особенностями состава этой фракции, которую получали диспергированием почвы не гексаметафосфатом натрия, а водой со стеклянными шариками [23].

Таким образом, органическое вещество фракции РОМ минерализуется медленнее, чем ряд других компонентов ПОВ, но благодаря присутствию в составе РОМ довольно значительной массы органического вещества и хорошей его

Таблица 6. Содержание потенциально-минерализуемого углерода в дисперсном органическом веществе почвы

Угодье	$C_{0-РОМ}$, мг/100 г фракции	$k_{РОМ}$, сут ⁻¹	% от $C_{РОМ}$	$\frac{C_{0-РОМ}}{C_0}$ почвы	$C_{0-РОМ}$, % от массы почвы
Серая лесная почва					
Лес	341 ± 44	0.015	7.9	2.8	0.05
Луг	362 ± 15	0.018	9.5	3.4	0.04
Пашня	556 ± 6	0.019	12.1	7.6	0.03
Чернозем типичный					
Лес	662 ± 10	0.011	8.2	3.4	0.17
Пашня	332 ± 13	0.015	7.2	3.2	0.07

Примечание. $C_{0-РОМ}$ – содержание углерода потенциально-минерализуемого дисперсного органического вещества (РОМ); $k_{РОМ}$ – константа скорости минерализации РОМ; $C_{РОМ}$ – содержание органического углерода РОМ; C_0 – содержание углерода потенциально-минерализуемого органического вещества целинной почвы.

освоенности микроорганизмами вклад твердых дискретных частиц органических остатков в минерализационный потенциал ПОВ может быть значительным.

Дисперсное органическое вещество как индикатор гумусного состояния почвы. Преобразование остатков биоты в твердые дискретные частицы, которые находятся в почве в свободном или в окклюдированном виде, является одним из первых этапов формирования “нового” ПОВ. Фактически, РОМ является промежуточным пулом между растительными остатками и гумифицированным ПОВ. Климат, поступление органических остатков в почву и продолжительность использования пара в севооборотах оказались наиболее существенными факторами, влияющими одновременно на содержание ПОВ ($C_{орг}$), дисперсного органического вещества (РОМ) и легкой фракции ПОВ (LF), как это следовало из метаанализа большого числа экспериментальных данных [20]. Климат больше влиял на $C_{орг}$, чем на РОМ или LF, в то время как РОМ и LF сильнее зависели от поступления органических материалов и наличия в севооборотах пара. Обработка почвы, как и применение азотных удобрений не были значимыми переменными для $C_{орг}$, РОМ и LF, а текстура почвы была существенным фактором только для общего $C_{орг}$. В итоге, в некоторых случаях, изменения ПОВ лучше всего диагностируются фракцией LF, тогда как в других случаях, наоборот, более точным предиктором ПОВ была фракция РОМ [20].

В исследуемом нами массиве образцов почв ($n = 40$) разных типов, землепользований и способов удобрения содержание $C_{РОМ}$ в среднем составляло 0.72% от массы почвы, что было эквивалентно 24.1% от $C_{орг}$. Простой расчет показывает, что увеличение содержания $C_{РОМ}$ на 0.5% от массы почвы приведет к росту содержания $C_{орг}$ на 0.6% от массы почвы (рис. 1).

В свою очередь, среднее содержание потенциально-минерализуемого органического вещества

(C_0) в ряду почв было 0.10% от массы почвы (3.5% от $C_{орг}$). Парное сопоставление значений C_0 и $C_{РОМ}$ для каждой почвы показывает, что доля C_0 в $C_{РОМ}$ составляет в среднем $15.9 \pm 5.1\%$. За счет прироста $C_{РОМ}$ на 0.5% от массы почвы содержание углерода потенциально-минерализуемого ПОВ возрастает на 0.03% от массы почвы.

Значительная доля РОМ в составе ПОВ и наличие достоверной линейной связи общего $C_{орг}$

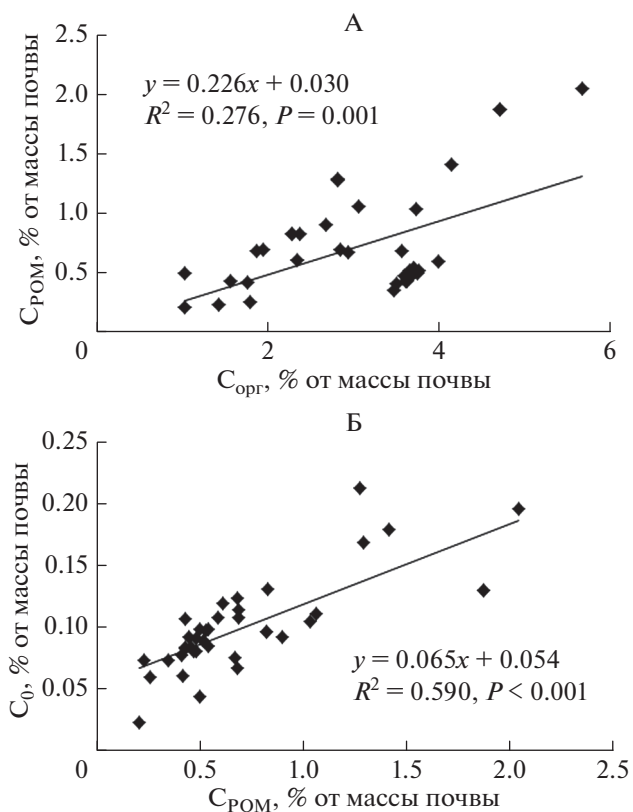


Рис. 1. Обеспеченность почвы углеродом дисперсного органического вещества ($C_{РОМ}$) в зависимости от содержания валового органического углерода (А) и вклад $C_{РОМ}$ в формирование минерализуемого пула (C_0) почвы (Б).

почвы с $C_{РОМ}$ дает основание предположить, что количественные изменения в содержании дисперсного органического вещества — одна из причин сезонной или многолетней динамики ПОВ. В более ранних исследованиях фракция РОМ, как правило, относилась к медленному (промежуточному) пулу ПОВ. Судя по нашим данным, фракция РОМ содержит в себе органические компоненты, относящиеся как к активному (7–32%), так и к медленному пулу (68–93%) ПОВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисперсное органическое вещество, представленное твердыми частицами остатков биоты и обугленных материалов в составе гранулометрической фракции песка, является количественно значимой частью ПОВ, а апробированный способ измерения РОМ путем диспергирования почвы в растворе гексаметафосфата натрия — информативным способом физического фракционирования ПОВ. Масса фракции РОМ в гумусовом горизонте разных почв естественных угодий варьирует от 12 до 36%, содержание углерода во фракции ($C_{РОМ}$) — от 1.66 до 8.03%, доля $C_{РОМ}$ в общем $C_{орг}$ — от 20 до 48%. Фракция РОМ, как правило, более обогащена органическим углеродом по сравнению с ПОВ. В пахотных почвах масса фракции РОМ, содержание $C_{РОМ}$ и доля $C_{РОМ}$ в общем $C_{орг}$ меньше по сравнению с почвами естественных угодий в 1.1–2.7, 1.1–1.7 и 1.3–2.5 раза соответственно. Агротехнические приемы, предусматривающие поступление в почву нового органического вещества или ведущие к росту продуктивности растений, способствуют увеличению содержания $C_{РОМ}$ в пахотной почве.

Содержание $C_{РОМ}$ в почвах достоверно коррелирует как с общим $C_{орг}$, так и с потенциально-минерализуемым углеродом. Во фракции РОМ содержится в 2.8–7.6 раз больше потенциально-минерализуемого углерода, чем в цельном образце почвы, а степень минерализации РОМ выше, чем ПОВ в 1.2–2.4 раза. Потенциально-минерализуемое РОМ в серой лесной почве и типичном черноземе составляет соответственно 36–45 и 71–86% от всего потенциально-минерализуемого пула органического вещества в этих почвах. Предполагается, что от 7 до 32% $C_{РОМ}$ относится к активному пулу ПОВ, а 68–93% — к медленному. Фракция РОМ является чувствительным индикатором динамики $C_{орг}$ в почве и хорошим предиктором изменений содержания и качества ПОВ в почве природных и сельскохозяйственных экосистем.

Благодарность. Экспериментальные данные по содержанию дисперсного органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем получены при поддержке

Российского научного фонда, проект № 17-14-01120. Оценка минерализационной способности дисперсного органического вещества проведена при поддержке РФФИ (№ 17-04-00707-а). Вопросы индикации гумусного состояния почвы по дисперсному органическому веществу рассмотрены в рамках темы Государственного задания № АААА-А18-118013190177-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
2. *Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф.* Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071–1078.
3. *Дымов А.А., Милановский Е.Ю., Холодов В.А.* Состав и гидрофобные свойства органического вещества денсиметрических фракций почв Приполярного Урала // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1335–1345. doi 10.7868/S0032180X15110052
4. *Ковалева Н.О., Ковалев И.В.* Биотрансформация лигнина в дневных и погребенных почвах горных ландшафтов // Почвоведение. 2009. № 11. С. 1362–1373.
5. *Лебедева Т.Н., Масютенко Н.П., Семенов В.М., Когут Б.М., Зинякова Н.Б., Акименко А.С.* Действие биологических способов оптимизации плодородия типичного чернозема на качество почвенного органического вещества // Агрохимия. 2018. № 7. С. 10–19. doi 10.1134/S0002188118070086
6. *Моргун Е.Г., Макаров М.И.* Использование поливольфрамата натрия при грануло-денсиметрическом фракционировании почвенного материала // Почвоведение. 2011. № 4. С. 433–438.
7. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
8. *Семенов В.М., Кравченко И.К., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Гисперт М., Пардини Дж.* Экспериментальное определение активного органического вещества почвы природных и сельскохозяйственных экосистем // Почвоведение. 2006. № 3. С. 282–292.
9. *Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шепелев А.Г.* Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2014. № 4. С. 473–479. doi 10.7868/S0032180X1404008X
10. *Allison S.D., Jastrow J.D.* Activities of extracellular enzymes in physically isolated fractions of restored grassland soils // Soil Biol. Biochem. 2006. V. 38. № 11. P. 3245–3256. doi 10.1016/j.soilbio.2006.04.011
11. *Baldock J.A., Broos K.* Soil Organic Matter // Handbook of soil sciences. Properties and processes. Second edition / Eds. P.M. Huang, Y. Li, M.E. Sumner. Tay-

- lor & Francis Group, BocaRaton et al., 2011. P. 11.1–11.52.
12. *Benbi D.K., Boparai A.K., Kiranvir B.* Decomposition of particulate organic matter is more sensitive to temperature than the mineral associated organic matter // *Soil Biol. Biochem.* 2014. V. 70. P. 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.032>.
 13. *Cambardella C.A., Elliott E.T.* Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1992. V. 56. № 3. P. 777–783. doi 10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x
 14. *Carter M.R.* Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions // *Agron. J.* 2002. V. 94. № 1. P. 38–47. doi 10.2134/agronj2002.3800
 15. *Cates A.M., Ruark M.D., Hedtcke J.L., Posner J.L.* Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate // *Soil and Tillage Res.* 2016. V. 155. P. 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.008>.
 16. *Chan K.Y.* Soil particulate organic carbon under different land use and management // *Soil Use and Management.* 2001. V. 17. № 4. P. 217–221. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00030.x>.
 17. *Christensen B.T.* Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover // *European J. Soil Sci.* 2001. V. 52. № 3. P. 345–353. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00417.x>.
 18. *Franzluebbers A.J., Arshad M.A.* Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997. V. 61. № 5. P. 1382–1386. doi 10.2136/sssaj1997.03615995006100050014x
 19. *Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P.* Study of free and occluded particulate organic-matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR-spectroscopy and scanning electron microscopy // *Australian J. Soil Res.* 1994. V. 32. № 2. P. 285–309. <https://doi.org/10.1071/SR9940285>.
 20. *Gosling P., Parsons N., Bending G.D.* What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils? // *Biol. Fertil. Soils.* 2013. V. 49. № 8. P. 1001–1014. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0791-9>.
 21. *Gregorich E.G., Beare M.H., McKim U.F., Skjemstad J.O.* Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 975–985. doi 10.2136/sssaj2005.0116
 22. *Haile-Mariam S., Collins H.P., Wright S., Paul E.A.* Fractionation and Long-Term Laboratory Incubation to Measure Soil Organic Matter Dynamics // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2008. V. 72. № 2. P. 370–378. doi 10.2136/sssaj2007.0126
 23. *Jagadamma S., Steinweg J.M., Mayes M.A., Wang G., Post W.M.* Decomposition of added and native organic carbon from physically separated fractions of diverse soils // *Biol. Fertil. Soils.* 2014. V. 50. № 4. P. 613–621. doi 10.1007/s00374-013-0879-2
 24. *John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H.* Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use // *Geoderma.* 2005. V. 128. № 1–2. P. 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>.
 25. *Kögel-Knabner I.* The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter // *Soil Biol. Biochem.* 2002. V. 34. № 2. P. 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4).
 26. *Kölbl A., Leifeld J., Kögel-Knabner I.* A comparison of two methods for the isolation of free and occluded particulate organic matter // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2005. V. 168. P. 660–667. doi 10.1002/jpln.200521805
 27. *Lehmann J., Kleber M.* The contentious nature of soil organic matter // *Nature.* 2015. V. 528. P. 60–68. doi 10.1038/nature16069
 28. *Li J., Ramirez G.H., Kiani M., Quideau S., Smith E., Janzen H., Larney F., Puurveen D.* Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects // *Can. J. Soil Sci.* 2018. V. 98. P. 1–14. <http://dx.doi.org/10.1139/cjss-2017-0127>.
 29. *Marriott E.E., Wander M.* Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. № 7. P. 1527–1536. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.009>.
 30. *Marriott E.E., Wander M.M.* Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 950–959. doi 10.2136/sssaj2005.0241
 31. *Mazzilli S.R., Kemanian A.R., Ernst O.R., Jackson R.B., Piñeiro G.* Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V. 85. P. 22–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.014>.
 32. *Nciizah A.D., Wakindiki I.I.C.* Particulate organic matter, soil texture and mineralogy relations in some Eastern Cape ecotopes in South Africa // *South African J. Plant and Soil.* 2012. V. 29. № 1. P. 39–46. <https://doi.org/10.1080/02571862.2012.688882>.
 33. *Paul E.A.* The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization // *Soil Biol. Biochem.* 2016. V. 98. P. 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.001>.
 34. *Sainju U.M., Lenssen A., Caesar-Tonthat T., Waddell J.* Tillage and Crop Rotation Effects on Dryland Soil and Residue Carbon and Nitrogen // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 2. P. 668–678. doi 10.2136/sssaj2005.0089
 35. *Six J., Paustian K.* Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool // *Soil Biol. Biochem.* 2014. V. 68. P. A4–A9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>.
 36. *Stockmann U., Adams M.A., Crawford J.W., Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M. et al.* The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // *Agriculture, Ecosystems and Environ.* 2013. V. 164. № 1. P. 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>.

37. von Lütow M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Flessa H., Guggenberger G., Matzner E., Marschner B. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. № 9. P. 2183–2207. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.007>.
38. Wander M. Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function // *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Eds. F. Magdoff, R.R. Weil. Boca Raton etc: CRC Press, 2004. P. 67–102.
39. Willson T.C., Paul E.A., Harwood R.R. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems // *Appl. Soil Ecology*. 2001. V. 16. № 1. P. 63–76. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00077-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00077-9).
40. Xiao W., Feng S., Liu Z., Su Y., Zhang Y., He X. Interactions of soil particulate organic matter chemistry and microbial community composition mediating carbon mineralization in karst soils // *Soil Biol. Biochem.* 2017. V. 107. P. 85–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.025>.

Particulate Organic Matter in the Noncultivated and Arable Soils

V. M. Semenov^{a,*}, T. N. Lebedeva^a, and N. B. Pautova^a

^a*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, ul. Institutskaya 2, Pushchino, Moscow oblast, 142290 Russia*

*e-mail: v.m.semenov@mail.ru

Data on the contents of particulate organic matter (POM) in the humus horizons of different soil types were obtained. The influence of the land use system and fertilizers on the carbon of particulate organic matter (C-POM) in gray forest soil and typical chernozem was shown. The mineralization rate of POM under constant conditions of temperature and moisture was estimated, and the ratios between the pools of POM and biologically active organic matter in the soils were calculated. In the soils of natural cenoses, the percentage of POM together with the sand particle-size fraction varied within 12–36% of the soil mass, and the C-POM content varied from 1.66 to 8.03% of the fraction mass. The portion of C-POM in the total C_{org} ranged from 20 to 48%. Cultivated gray forest soil and typical chernozem were depleted of C-POM by 3.0–3.2 and 2.0–2.8 times, respectively, in comparison with the samples of noncultivated soils. The mineralization rate of POM in the gray forest soil and typical chernozem was about the same (7.9–12.1 and 7.2–8.2% of C-POM, respectively), which was about 1.2–2.4 times higher than the mineralization rate of the total soil organic matter. It was noted that POM could be a sensitive indicator of the C_{org} dynamics in the soil, a good predictor of changes in the content and quality of soil organic matter, and a significant source of potentially mineralizable organic matter in the soil.

Keywords: organic carbon, physical fractionation, biologically active pool of soil organic matter, mineralization