

УДК 631.41

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА, ЕГО ЛАБИЛЬНОЙ И ИНЕРТНОЙ ЧАСТЕЙ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

Л. В. Бойцова, Я. В. Пухальский

ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии,
Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, 195220
E-mail: larisa30.05@mail.ru

Поступила в редакцию 22 апреля 2013 г., принята к печати 16 августа 2013 г.

Прослежена сезонная динамика содержания общего органического вещества, а также его лабильной и инертной частей в дерново-подзолистой супесчаной почве слабой и хорошей степени окультуренности. Лабильная часть представлена легкой фракцией углерода, инертная – углеродом, связанным с илистой фракцией почвы. Размер частиц выделенного ила составляет < 1 мкм. Средние значения Сор. за весь период наблюдений были достоверно ($p < 0.05$) меньше в почве со слабой степенью окультуренности по сравнению с почвой с хорошей степенью окультуренности. Для оценки процесса накопления углерода в илистой фракции почвы использован фактор (коэффициент) обогащения (E_{soc}). Во всех изученных вариантах $E_{soc} > 1$, что свидетельствует о накоплении инертной части гумуса. Установлено, что максимальное накопление углерода в илистой фракции к окончанию периода наблюдений происходит в вариантах с внесением азотных удобрений.

Ключевые слова: легкая фракция органического вещества, илистая фракция почвы, органическое вещество почвы.

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы (ОВП) с одной стороны – основной природный источник углеродсодержащих газов (прежде всего углекислого), с другой стороны – резервуар органических веществ, поступающих в почву через биомассу растений (Ершов, 2004; Семенов и др., 2010; Цыбулько и др., 2010). В почвах России сосредоточена почти пятая часть мировых запасов органического углерода, которая, согласно оценкам Д. С. Орлова и О. Н. Бирюковой (1995), составляет 296 Гт углерода в метровом слое. Из данного количества на долю пахотных почв приходится 27.3 Гт углерода, или 9.2% (Орлов, 1998).

Почвенный гумус в свою очередь подразделяется на две основные части: лабильную (трансформируемую, или активную) и устойчивую (инертную, пассивную). Активная часть образует химически и физически незащищенное ОВП, способное к химическим и биохимическим преобразованиям, пассивная часть слагает недоступное микроорганизмам по биохимическим, химическим характеристикам и (или) связанное минеральной частью ОВП (Семенов и др., 2009).

Ряд авторов (Семенов и др., 2010; Christensen, 2001; Six et al., 2002; Gregorich et

al., 2006) относит к незащищенному ОВП водорастворимое органическое вещество, легкую фракцию, взвешенное органическое вещество.

Защищенное (пассивное, инертное) включает в себя органическое вещество гранулометрических фракций глины и пыли. Роль различных частей органического вещества в почвенном плодородии неодинакова. Так, лабильная часть гумуса служит наиболее доступным источником питания растений, определяет биологическую активность и заметно изменяется под влиянием различных агротехнических приемов. Активная часть участвует в круговороте углерода и других элементов, формирует основные функции ОВП и определяет эффективное плодородие почвы (Завьялова, 2007). Инертный гумус является органическим скелетом почвы. Данная часть гумуса термодинамически и биологически наиболее устойчива и отражает генетические особенности почв (Зонн, 1954). Выявлено влияние гранулометрического состава, в частности илистой фракции, на содержание инертного гумуса. Инертный гумус ряд ученых (Кершенс, 1992; Когут, 2003) отождествляет с величиной минимального содержания гумуса. Установлено, что органические вещества (ОВ), входящие в состав легких фракций (постмор-

тальные остатки растительного, животного, микробного происхождения и комплексно-гетерополярные соли высокомолекулярных гуминовых кислот) и ила (органно-глинистые комплексы более низкомолекулярных гумусовых кислот) являются основными слагаемыми уровня ОВ в любой почве. Специфика гумусовых веществ, связанных с илом, и уровень их накопления оказывают определяющее влияние на физико-химические параметры многих почв. Они связывают в 2.5–3.0 раза больше железа и алюминия и в 2 раза больше кальция и магния по сравнению с гумусовыми веществами, входящими в состав легких фракций (Травникова и др., 1992; Семенов и др., 2009). По мере снижения степени удобренности почв масса легких фракций уменьшается в 1.5–2.0 раза, варьирование массы ила незначительно и не подчиняется определенной закономерности. В условиях длительного сельскохозяйственного использования почв (как с применением удобрений, так и без него) потеря, сохранение или накопление ОВП сопряжены с преимущественной потерей, сохранением или накоплением вещества легких фракций. При длительном экстенсивном использовании почвы лабильная часть гумуса может пополняться за счет инертной, что вызывает деградацию почв.

В настоящее время для оценки почвенного депонирования углерода в различных почвенных фракциях и пулах используют: определение общего содержания органического углерода, распределение ОВ по фракциям, связанным с минеральными компонентами почвы и не связанным с ними (Титова и др., 1989; 1995; Семенов и др., 2008). Существуют методы, позволяющие в пределах одного типа почв разной степени окультуренности выделить наиболее агрономически ценные составляющие гумуса, которые меняются при использовании различной агротехнологии и оказывают влияние на продуктивность пашни.

Цель исследования заключается в изучении динамики содержания ОВ и его лабильной и инертной частей дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись участки агрофизического стационара Меньковского филиала ГНУ Агрофизический НИИ Россельхозакадемии (Гатчинский район Ленинградской области) (Оленченко и др., 2012). Почва – дерново-слабоподзолистая супесчаная на красноцветных моренных отложениях, распространены мелкие контуры с разной степенью глееватости, обусловленные особенностью микрорельефа и залеганием водоупорного горизонта на различной глубине (Моисеев и др., 2013). Глубина пахотного слоя составляет 22–23 см. Участки различаются по степени окультуренности почв, а именно – по количеству внесенного органического удобрения. Были выделены следующие степени окультуренности: слабая (участок 1) – органические удобрения не вносились – и хорошая (участок 2) – внесено за три года $520 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ навоза (160; 320; 40 в 2003, 2004 и 2005 годах соответственно). Каждый из участков в 2006 году был разбит на три варианта: контроль – без минеральных удобрений (К), вариант N50K70 и вариант N70K90 (удобренные варианты). На исследуемом участке заложен овощной севооборот, где в 2011 году выращивались многолетние травы 2-го года пользования: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) с тимофеевкой луговой (*Timothy-grass* L.).

В течение вегетационного сезона с мая по август (раз в месяц) производился отбор смешанных образцов почвы из слоя 0–10 см вдоль изучаемых вариантов. В почвенных образцах были определены следующие параметры: общий органический углерод ($C_{\text{орг}}$) по методу Тюрина (Аринушкина, 1961), водорастворимый углерод ($C_{\text{вод}}$) по методу Э. Шульц, М. Кершенса (Шульц, Кершенс, 1998), углерод легкой фракции ($C_{\text{лф}}$) и углерод илистой фракции почвы ($C_{\text{ил}}$) по методам Ц. Камбардела, Е. Эллиотт (Cambardella, Elliott, 1992). Все определения выполнены в 3-х кратной повторности.

Выделение легкой фракции (ЛФ, particulate organic matter) органического вещества из почвы проводилось с помощью 15-часового диспергирования образцов в 0.5% растворе гексаметафосфата натрия с последующим их просеиванием через сито с диа-

метром отверстий 53 мкм. Далее ЛФ на сите отделялась от частиц песка струей воды и высушивалась при 50°C. Для выделения илистой фракции почвы применялось ультразвуковое диспергирование (Моисеев и др., 2012). После осаждения крупных частиц суспензия илстых частиц (ил < 0.001 мм) отбирается для последующего центрифугирования. После отделения илистой фракции от воды она высушивается при температуре 35–40°C, и в дальнейшем определяется содержание в ней углерода.

Проведена статистическая обработка результатов с использованием программы MS Excel. Вычислены значения средних, стандартных отклонений, коэффициентов линейной корреляции, оценена достоверность различий средних с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при $p < 0.05$. Кроме того, рассчитаны коэффициенты (фактор) обогащения илистой фракции почвы органическим углеродом по формуле: $E_{\text{soc}} = C_{\text{фракции}}/C_{\text{ор}}$, где $C_{\text{фракции}}$ – содержание углерода фракции выраженное в % от массы фракции; $C_{\text{ор}}$ – содержание общего органического углерода, выраженное в % от массы почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определений содержания $C_{\text{ор}}$ в почве показывают, что его изменения обусловлены как способом землепользования, так и погодными условиями (Балашов, 2007). Гидротермические условия, обработка почвы, внесение удобрений, выращивание различных культур могут благоприятно или неблагоприятно влиять на почвенные микроорганизмы, минерализующие растительные остатки и разлагающие органическое вещество почвы.

Ранее (2003–2007 гг.) при изучении сезонной динамики $C_{\text{ор}}$ в серой лесной почве и серой лесной почве со вторым гумусовым горизонтом (Петрова и др., 2007) было установлено накопление $C_{\text{ор}}$ в июле месяце для участков с картофелем и овсом, причем для обеих почв содержание $C_{\text{ор}}$ было большим при выращивании картофеля (сезон 2003 года). Аналогичная закономерность для

данных почв была установлена на участках с многолетними травами и ячменем в 2004 году (Рижия, Бойцова, 2004), однако в 2006 году наблюдалась уменьшение содержания $C_{\text{ор}}$ в течение всего вегетационного периода на участках под ячменем и пшеницей (Бойцова, 2008). Это свидетельствует как о влиянии метеорологических условий на деятельность различных групп почвенных микроорганизмов, так и о влиянии вида выращиваемой культуры на накопление ОВ, так как основными регуляторами накопления органического углерода в системе «почва – растение» является микробиологическая активность и биохимические процессы, проходящие с участием микроорганизмов.

Для рассматриваемого в данной работе объекта в 2004–2005 гг. было установлено уменьшение содержания $C_{\text{ор}}$, $C_{\text{лф}}$, а также углерода микробной массы и биологической активности с сентября 2004 г. по май 2005 г. в почвах всех вариантов опыта. С мая по сентябрь 2005 г. было обнаружено увеличение содержания $C_{\text{ор}}$, $C_{\text{лф}}$ в почве с хорошей окультуренностью (Балашов и др., 2010). В работе Н. П. Бучкиной с соавторами (Buchkina et al., 2013) для данного объекта установлено возрастание содержания $C_{\text{ор}}$ в почве участка с хорошей окультуренностью к началу вегетационного сезона 2005 г. с 17 до 21 г кг^{-1} почвы. Также внесение навоза привело к увеличению в почве содержания углерода легкой фракции ОВ с 14 до 28.8 г \cdot кг^{-1} почвы.

Исследования 2011 г. показали, что средние значения содержания $C_{\text{ор}}$ за весь период наблюдений были достоверно ($p < 0.05$) меньше в почве участка 1 по сравнению с почвой участка 2. Все исследованные варианты слабо окультуренной почвы характеризуется максимальными значениями $C_{\text{ор}}$ в августе (19.3–22.7 г \cdot кг^{-1} почвы), удобренные варианты хорошо окультуренной почвы – в начале вегетационного периода в мае (26.7–29.7 г \cdot кг^{-1}). В варианте К участка 2 максимальное значение $C_{\text{ор}}$ обнаружено в июле и составляет 33.0 г \cdot кг^{-1} почвы (рис. 1).

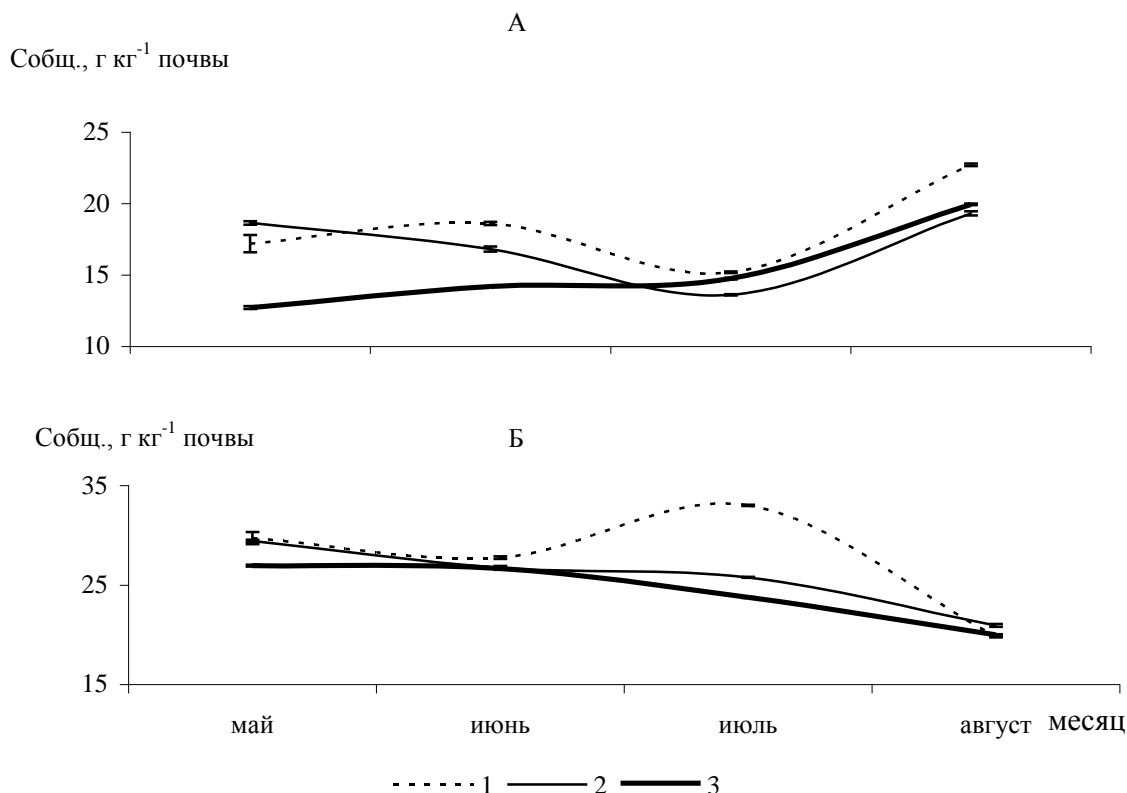


Рис. 1. Динамика содержания общего углерода в дерново-подзолистой супесчаной почве со слабой (А) и хорошей (Б) степенью окультуренности в вариантах опыта (здесь и далее): 1 – контроль; 2 – доза азота 50 кг га⁻¹ (N50); 3 – доза азота 70 кг га⁻¹ (N70).

В целом для хорошо окультуренного участка прослеживается тенденция уменьшения углерода гумуса от весны к осени. Такая же тенденция была обнаружена для дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при выращивании клевера (Солодова, 1985). В пахотных горизонтах подзолистых почв Средней тайги установлено уменьшение содержания общего органического углерода и его лабильных форм к окончанию вегетационного периода (Паладич, 2004).

По сравнению с началом наблюдений на участке 1 происходит накопление $S_{ор}$. Содержание углерода гумуса на обоих участках к окончанию периода наблюдений достигает приблизительно одного уровня значений во всех вариантах.

В работе (Солодова, 1985) установлено, что сезонная динамика всех групп микроорганизмов в основном определялась изменением температуры и влажности и динамикой поступления свежих органических веществ. Максимальная численность микрофлоры совпадала с максимумом температуры при оптимальной влажности. Численность цел-

люлозоразлагающих микроорганизмов и плесневелых грибов в большей степени соответствовала количеству поступивших в почву свежих органических материалов. В работе Е. Я. Рижии и др. (2011) в почвенных образцах, отобранных на тех же участках, которые рассматриваются в данной работе, изучена численность микроорганизмов различных таксономических и физиологических групп, по которым можно косвенно судить о направленности микробиологических процессов трансформации органических и минеральных соединений в почве. Установлено преобладание основных групп почвенных микроорганизмов в почве с хорошей степенью окультуренности. Так, содержание целлюлозоразрушающих бактерий, актиномицет, мицелиальных грибов в почве с хорошей степенью окультуренности было соответственно в 2.3; 1.7; 1.4 раза больше, чем в почве со слабой степенью окультуренности. Актиномицеты в дерново-подзолистых почвах по численности находятся на втором месте после бактерий. Основная их роль состоит в разложении таких

сложных полимеров, как лигнин, хинин, целлюлоза, гумусовые соединения (Благовещенская, Духанина, 2004).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что на участке 2 к окончанию вегетационного периода имеется достаточное количество свежих и отмерших растительных остатков, а также складываются оптимальные температурные и влажностные условия для деятельности гетеротрофных микроорганизмов, являющихся деструкторами органического вещества. По данным метеостанции п. Меньково, сумма месячных осадков за июль и август составила соответственно 210 и 156 мм, а среднесуточная температура воздуха – 21.9°C и 16.9°C, что явилось благоприятными условиями для деятельности почвенных микроорганизмов. Следствием этого является преобладание процессов минерализации ОВП над процессами его накопления, о чем свидетельствуют данные по содержанию C_{op} . Обнаружено достоверное уменьшение ($p < 0.05$) содержания общего органического углерода с увеличением дозы минерального азота в почве участка 2 в июле. В мае и июне отмеченное уменьшение не было достоверным ($p > 0.1$).

Легкая фракция ОВ, которая является одной из форм лабильного органического вещества, представляет собой фрагменты неразложившихся остатков, а также продукты разложения с размером частиц > 53 мкм и плотностью твердой фазы не более $1.8 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ (Шаймухаметов и др., 1984). Благодаря преобладанию легкоразлагаемого органического материала в ЛФ содержание углерода данной фракции, а также его доля в составе $C_{общ}$ подвержены сезонным и пространственным изменениям. Было установлено, что накоплению ЛФ способствует холодный и сухой климат, низкие значения рН и постоянный растительный покров (леса и пастбища), который обеспечивает непрерывное возоб-

новление свежего растительного материала (Christensen, 1992).

В целом результаты изучения распределения органического углерода ЛФ и илистой фракции в почвах зонального ряда позволили прийти к выводу, что накопление органического вещества ЛФ контролируется, в основном, биогидротермическими условиями, а органического вещества илистой фракции – литологическими условиями формирования почвы (Травникова и др., 1992; Ванюшина, 2001).

В описываемом опыте наибольшее содержание $C_{лф}$ в почве наблюдалось на участке 2 с максимальными значениями в июле $9.13\text{--}10.43 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы (рис. 2). Минимальные значения $C_{лф}$ составили $2.6\text{--}2.96 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы для участка 1. Достоверные различия обнаружены между содержанием $C_{лф}$ в почве в мае и августе ($p < 0.05$) на изучаемых участках, между удобренными вариантами и контролем в течение всего периода наблюдений ($p < 0.05$). Почва со слабой окультуренностью характеризуется средними за сезон значениями $C_{лф}$ $3.0\text{--}3.7 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы, хорошо окультуренный участок – $6.6\text{--}7.15 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы. В почве слабо окультуренного участка происходит возрастание $C_{лф}$ от весны к осени с незначительным снижением содержания $C_{лф}$ в середине вегетационного периода. В почве хорошо окультуренного участка наблюдается увеличение данного показателя к середине вегетационного периода, а затем уменьшение к его окончанию.

В работе Л. С. Травниковой с соавторами (1992) были предложены критерии достаточной обеспеченности гумусом ряда почв. Для дерново-подзолистой почвы критерий обеспеченности составляет 30% $C_{лф}$ от общего содержания углерода в почве. В опыте значения, близкие к данному показателю, характерны для почвы с хорошей степенью окультуренности (табл. 1).

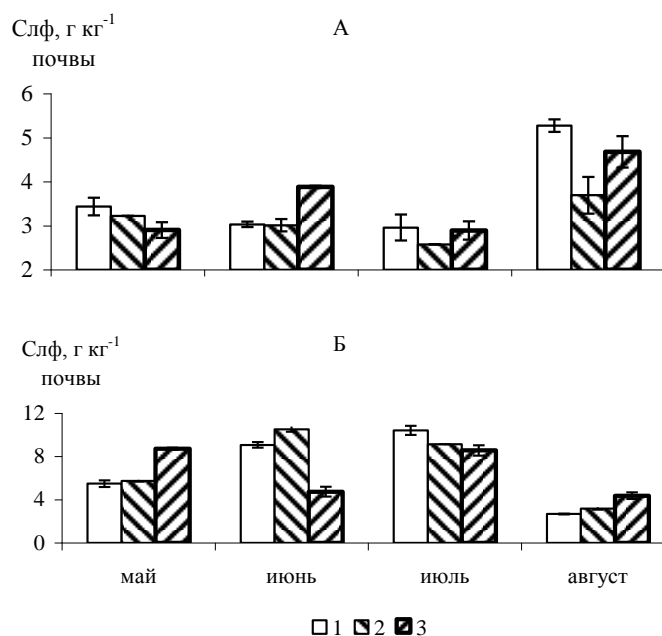


Рис. 2. Динамика содержания углерода легкой фракции в дерново-подзолистой супесчаной почве со слабой (А) и хорошей (Б) степенью окультуренности

Таблица 1. Содержание углерода легкой фракции (% от общего органического углерода) в дерново-подзолистой супесчаной почве (средние значения за сезон)

Вариант	Степень окультуренности	
	слабая	хорошая
контроль	19.74	24.07
N ₅₀	18.31	27.41
N ₇₀	22.08	27.01

Наибольшая насыщенность легкой фракции органического вещества углеродом обнаружена в мае в варианте № 50 участка 2 и составляет около 20% от массы фракции. Средние значения данного показателя за сезон наблюдений выше в почве хорошо окультуренного участка во всех вариантах, чем в почве участка со слабой степенью окультуренности: 14–15% и 12–13% соответственно. Установлено уменьшение насыщенности легкой фракции углеродом с увеличением дозы минеральных удобрений в почве на слабо окультуренном участке.

Общее содержание легкой фракции в почве на слабо окультуренном участке составляет в среднем за сезон 2.4–3.3% от массы почвы, а на хорошо окультуренном участке – 4.7–6.3%. Максимальный выход легкой фракции от массы почвы в среднем за сезон наблюдается в удобренных вариантах хорошо окультуренной почвы.

E_{сoc} легкой фракции в почве на участке 1 несколько выше, чем в почве на участке 2, и составляет в среднем за сезон соответственно 7–8 и около 6 единиц.

Для начала периода наблюдений характерно минимальное содержание C_{ил} в почвах

удобренных вариантов (рис. 3), что связано с деятельностью микроорганизмов, которые имеют избыток доступного азота и испытывают недостаток углерода в данный период. Указанный недостаток они пополняют за счет углерода илистой фракции. В почвах участка 1 во всех вариантах наблюдается увеличение содержания C_{ил} на 25–55%. В почвах участка 2 в удобренных вариантах установлено увеличение C_{ил} в течение всего периода наблюдений на 20–30%. Для удобренных вариантов хорошо окультуренной почвы прослеживается обратная зависимость динамики содержания углерода илистой фракции по сравнению с таковой для общего органического углерода. Это, вероятно, можно объяснить тем, что лабильная часть органического углерода в данных вариантах интенсивно расходуется к окончанию вегетационного периода, что способствует уменьшению C_{ор}. Убывание содержания углерода илистой фракции на 15% отмечено лишь в варианте К участка 2. К окончанию периода наблюдений установлено максимальное накопление C_{ил} в удобренных вариантах.

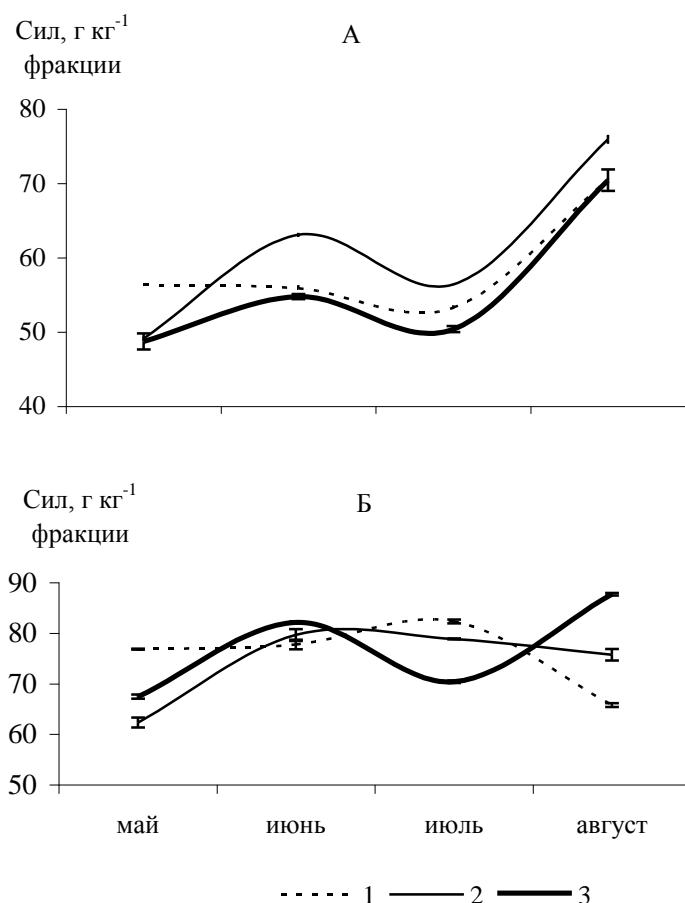


Рис. 3. Динамика содержания углерода илистой фракции дерново-подзолистой супесчаной почвы со слабой (А) и хорошей (Б) степенью окультуренности

Для оценки процесса накопления углерода в почве Б. Т. Христенсенем предложен фактор (коэффициент) обогащения углеродом илистой фракции почвы (Christensen, 1992). Если коэффициент обогащения (E_{soc}) > 1 , происходит обогащение ОВ, если $E_{soc} < 1$, наблюдается истощение ОВ.

В почвах всех изученных вариантов $E_{soc} > 1$, что свидетельствует о накоплении инертной части гумуса. В целом за сезон

максимальные значения E_{soc} обнаружены в почве на участке 1 (табл. 2), что свидетельствует о большей скорости накопления углерода в илистой фракции и более стабильном состоянии почвы на данном участке. При сравнении по данному показателю удобренных и контрольных вариантов наибольшие значения E_{soc} соответствуют удобренным вариантам.

Таблица 2. Коэффициенты обогащения (E_{soc}) углеродом илистой фракции в дерново-подзолистой супесчаной почве (средние значения за сезон).

Вариант	Степень окультуренности	
	слабая	хорошая
контроль	3.22	2.80
N ₅₀	3.62	2.94
N ₇₀	3.66	3.23

Отношение $C_{\text{лф}}/C_{\text{ил}}$ предложено (Травникова и др., 1992; Когут и др., 2010) как показатель, характеризующий влияние удобрений, и может быть использовано в качестве индикатора качества органического вещества пахотных почв. В мае наблюдаются наибольшие величины данного показателя в удобренных вариантах по сравнению с контролем. В указанный период сильно последствие азотных удобрений, которые были внесены в почву в конце апреля, поэтому сказывается недостаток доступного углерода для питания микроорганизмов, что было отмечено выше. Это приводит к уменьшению содержания углерода в илстой фракции, что, в свою очередь, приводит к увеличению показателя $C_{\text{лф}}/C_{\text{ил}}$. В течение всего периода наблюдений значения данного показателя в среднем в почве участка 1 составляют 2.17–2.24. В почве участка 2 наблюдается уменьшение значений $C_{\text{лф}}/C_{\text{ил}}$ до 1.84–2.06. Диапазон значений на участке 1 составляет 1.47–3.69, на участке 2 – 1.03–3.20.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Варианты почвы участка со слабой степенью окультуренности, а именно кон-

троль, N50K70 и N70K90, характеризуются депонированием углерода в илстой фракции почвы. Такая же тенденция наблюдается и в вариантах N50K70 и N70K90 участка почвы с хорошей степенью окультуренности. В почве данных вариантов происходит пополнение инертной части гумуса к окончанию вегетационного периода, что свидетельствует о хорошем уровне агротехники исследованных участков. Исключение составляет почва варианта контроль хорошо окультуренного участка, где обнаружена убыль органического углерода в илстой фракции почвы.

Максимальное накопление углерода в илстой фракции обнаружено в почвах вариантов с внесением азотных удобрений. Однако накопление углерода в илстой фракции почв на участке со слабой степенью окультуренности несколько выше, чем на участке с хорошей степенью окультуренности. На участке со слабой степенью окультуренности установлено увеличение содержания $C_{\text{ор}}$, $C_{\text{лф}}$ к окончанию вегетационного периода. На участке с хорошей степенью окультуренности, напротив, наблюдается уменьшение данных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е. В. 1961. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ М.
- Балашов Е. В. 2007. Биофизический подход к оценке устойчивости почв / Глобус А. М. (ред.) 2007. Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. СПб.: ПИЯФ РАН. С. 144–162.
- Балашов Е. В., Бурова А. В., Банкина Т. А. 2010. Сезонная динамика водопрочных агрегатов в зависимости от содержания соединений углерода и биологической активности. Вестник С.-Петерб. ун-та Сер.3. Вып 3: С. 125–133.
- Благовещенская Г. Г., Духанина Т. М. 2004. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации // Агрохимия. 2:80-88.
- Бойцова Л. В. 2008. Изменение физико-химических и биологических показателей серых лесных почв при выращивании ячменя / Ашихмина Т. Я., Аляликина Н. М. (ред.). 2008. Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития. 6-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, Киров, 25–27 ноября 2008. Ч. 1. Киров: О-Краткое. С. 290–293.
- Ванюшина А. Я. 2001. Некоторые географические закономерности изменения состава и свойств органического вещества слитых почв и особенности реакций обмена в них Ca-Na. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук. М. 26 с.
- Ершов Ю. И. 2004. Органическое вещество биосферы и почвы. Новосибирск: Наука.
- Завьялова Н. Е. 2007. Гумусное состояние дерново-подзолистых почв Предуралья при различном землепользовании и длительном применении удобрений и извести. Автореферат диссертации на соискание степени доктора биологических наук. М. 35 с.
- Зонн С. В. 1954. Водорастворимые соединения черноземов. Науч. тр. Института леса. Т. 15. С. 101–135.
- Кершенс М. 1992. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // Почвоведение. 10:122-131.
- Когут Б. М., Шульц Э., Титова Н. А., Холодов В. А. 2010. Органическое вещество гранулоденсимметрических фракций целинного и пахотного типичного чернозема // Агрохимия. 8:3-9.
- Когут Б. М. 2003. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах // Почвоведение. 3:308-316.

- Моисеев К. Г., Бойцова Л. В., Гончаров В. Д. 2012. Способы выделения илстой фракции почв // Агрофизика. 1(5):35-39.
- Моисеев К. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Зинчук Е. Г., Гончаров В. Д. 2013. Корректировочные работы по крупномасштабному почвенному картографированию Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. 1(9):30-36.
- Оленченко Е. А., Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Балашов Е. В. 2012. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее физические свойства и урожайность сельскохозяйственных культур в агрофизическом стационаре // Агрофизика. 4(8):8-18.
- Орлов Д. С., Бирюкова О. Н. 1995. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. 1:21-32.
- Орлов Д. С. 1998. Органическое вещество почв России // Почвоведение. 9:1049-1057.
- Паладич О. А. 2004. Сезонная динамика некоторых факторов плодородия подзолистых целинных и пахотных почв Средней тайги. Автореферат диссертации на соискание кандидата сельскохозяйственных наук. Киров. 21 с.
- Петрова З. М., Зуев В. С., Бойцова Л. В., Рижия Е. Я., Бодров В. А. 2007. Исследование динамики физического состояния серых лесных почв Владимирского Ополя в процессе окультуривания / Глобус А. М. (ред.) 2007. Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. СПб.: ПИЯФ РАН. С. 198–203.
- Рижия Е. Я., Бойцова Л. В. 2008. Биологические и физико-химические свойства пахотных почв Владимирского Ополя / Апарин Б. Ф. (ред.) Международная научно-практическая конференция «Плодородие почв - уникальный природный ресурс в нем будущее России» 26 февраля – 1 марта 2008, СПбГУ, Санкт-Петербург. С. 101–102.
- Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Бучкина Н. П., Панова Г. Г. 2011. Влияние пожнивных остатков с различным отношением C/N на эмиссию закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение. 10:1251-1259.
- Рижия Е. Я., Бойцова Л. В. 2004. Сезонные изменения биологических и физико-химических показателей серых лесных почв Владимирского Ополя. Материалы 4 съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск, 9–14 августа 2004. Новосибирск: Наука-Центр. 648 с.
- Семенов В. М., Иванникова Л. В., Семенова Н. А., Ходжаева А. К., Удальцов С. Н. 2010. Минерализация органического вещества в разных по размеру агрегатных фракциях почвы // Почвоведение. 2:157-65.
- Семенов В. М., Иванникова Л. В., Кузнецова Т. В., Семенова Н. А. 2008. Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестирующая емкость почв зонального ряда. Почвоведение. 7:819-832.
- Семенов В. М., Иванникова Л. В., Тулина А. С. 2009. Стабилизация органического вещества в почве // Агрохимия. 10:77-96.
- Солодова Т. А. 1985. Сезонная динамика органических веществ в дерново-подзолистых почвах. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук. М. 17 с.
- Титова Н. А., Травникова Л. С., Шаймухаметов М. Ш. 1995. Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почв // Почвоведение. 5:639-646.
- Титова Н. А., Травникова Л. С., Куваева Ю. В. 1989. Состав компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 6:89-97.
- Травникова Л. С., Титова Н. А., Шаймухаметов М. Ш. 1992. Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющих в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 10:81-96.
- Цыбулько Н. Н., Семенов В. М., Тулина А. С., Шапшеева Т. П., Жукова И. И. 2010. Структура и минерализуемость органического вещества дерново-подзолистых супесчаных и торфяных почв // Экологический вестник. 2(12):17-25.
- Шаймухаметов М. Ш., Титова Н. А., Травникова Л. С., Лабанец Е. М. 1984. Применение физических методов фракционирования для характеристики органического вещества почв // Почвоведение. 8:131-141.
- Шульц Э., Кершенс М. 1998. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. 7:890-894.
- Buchkina N. P., Rizhiya E. Y., Pavlik S. V. and Balashov E. V. 2013. Soil Physical Properties and Nitrous Oxide Emission from Agricultural Soils. In: S. Grundas (Ed.). Advances in Agrophysical Research. InTech.
- Cambardella C. A., Elliott E. T. 1992. Particulate soil organic matter across a grassland cultivation sequence. Soil. Sci. Soc. Am. J. 56(3):777-783.
- Christensen B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. Advances in Soil Science 20:1-90.
- Christensen B. T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. European J. Soil Science. 52(3):345-353.
- Gregorich E. G., Beare M. H., McKim U. F., Skjemstad J. O. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 70(3):975-985.
- Six J., Gonant R. T., Paul E. A., Paustian K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant and Soil. 241(2):155-176.