

УДК 631.41

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ И УЧЕТА ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Л. В. Бойцова, Е. Я. Рижия

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

Поступила в редакцию 02 июля 2014 г., принята к печати 01 сентября 2014 г.

Определено содержание общего органического углерода почвы при помощи методов окисления (Сох) (метод Тюрина) и учета выделившегося углекислого газа. Были изучены дерново-подзолистые почвы различного сельскохозяйственного использования и необрабатываемые зональные почвы. Отбор образцов осуществлялся в ЛенНИИСХ (пос. Белогорка Ленинградской области) и в НИПТИСХ (пос. Борки Новгородской области). Было заложено 26 почвенных разрезов, характеризующих различные угодья (пашня, огород, теплица, залежь, сенокос), а также почвы леса. На основе полученных данных была рассчитана степень внутримолекулярной окисленности (СВО) органического вещества почвы. Установлено, что данные о содержании органического вещества в почвах, полученные при помощи двух методов, могут существенно отличаться. Такая разница объясняется различной степенью внутримолекулярной окисленности органического вещества исследованных почв, вследствие чего при оценке их гумусного состояния по величине Сох может происходить занижение или завышение степени гумусированности. Продемонстрировано, что вниз по профилю почв с увеличением СВО происходит уменьшение содержания общего органического углерода и, следовательно, и снижение гумусированности во всех изученных объектах. Установлено, что на величину СВО влияет механический и минералогический составы почв, состав растительного опада, а также климатические условия местности.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, органическое вещество почвы, метод окисления, метод учета выделения углекислого газа, степень внутримолекулярной окисленности органического вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы и процессы его трансформации имеют огромное влияние на формирование почвы, а также определяют кислотно-основные, буферные и сорбционные свойства почвы. Органическое вещество почвы принимает участие в питании растений и микроорганизмов (Бойцова, Пухальский, 2013; Бойцова, 2014), создании благоприятных водно-физических свойств почвы, миграции различных элементов в почвах и биосфере (Бойцова, Маглыш, 2009; Бойцова, Зинчук, 2014; Рижия и др., 2011; Balashov, Buchkina, 2011; Gaida et al., 2013).

В аналитической практике содержание органического вещества почвы (гумуса) рассчитывается на основании результатов определения углерода. Методы определения органического углерода основаны на разложе-

нии органического вещества почвы до углекислого газа и воды при помощи сухого или мокрого сжигания. Определение углерода методом сухого сжигания производится на автоматических анализаторах по теплопроводности газовой смеси (Крейер и др., 2005). При использовании методов мокрого сжигания содержание углерода органических соединений определяется либо по количеству выделившегося углекислого газа (метод Кноппа-Сабанина), либо по количеству окислителя, пошедшего на сжигание органического вещества (метод Тюрина; Аринушкина, 1961). В качестве окислителя используется раствор бихромата калия в серной кислоте. Метод определения содержания органического углерода по окисляемости (Сох) является достаточно быстрым, удобным и простым, дает воспроизводимые результаты; метод определения органического углерода

по учету выделившегося углекислого газа (C_{CO_2}), более трудоемок и требует специального оборудования. При определении содержания углерода методом Тюрина величины C_{Ox} часто не совпадают с величинами C_{CO_2} , полученными по привесу углекислоты. Расхождения между C_{Ox} и C_{CO_2} обусловлены различной степенью внутримолекулярной окисленности органического вещества почв, которая может быть нормальной, пониженной или повышенной в зависимости от соотношения водорода и кислорода (Н:О) в органическом веществе (Тюрин, 1937). Так, если $C_{CO_2} = C_{Ox}$, органическое вещество (ОВ) характеризуется нормальной степенью окисленности ($C_n:H_{2n}:O_n$), то есть соотношение водорода и кислорода составляет 2Н:О. В данном случае при окислении ОВ кислород окислителя расходуется только на окисление углерода и результаты определения содержания С по выделившемуся углекислому газу и окисляемости совпадают. При $C_{CO_2} > C_{Ox}$ ОВ характеризуется повышенной степенью окисленности ($C_n:H_{2n}:O_{n+y}$). В данном случае определение углерода по окисляемости дает более низкие результаты, чем определение по выделившемуся углекислому газу, т.к. часть углерода в ОВ уже является окисленной за счет избытка кислорода. При $C_{CO_2} < C_{Ox}$ органическое вещество характеризуется пониженной степенью окисленности ($C_n:H_{2n}:O_{n-y}$). В данном случае значения углерода по окисляемости будут завышены, т.к. на окисление водорода потребуется избыток хромовой смеси (Пономарева, Плотникова, 1967).

Цель исследования заключалась в определении общего органического углерода в дерново-подзолистой почве разного сельскохозяйственного использования при помощи методов окисления и учета выделившегося углекислого газа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В процессе исследования были изучены дерново-подзолистые почвы различного

сельскохозяйственного использования и необрабатываемые зональные почвы. Отбор образцов был осуществлен в ЛенНИИСХ (пос. Белогорка Ленинградской области) и в НИПТИСХ (пос. Борки Новгородской области). Было заложено 26 почвенных разрезов, характеризующих различные сельскохозяйственные угодья (пашня, огород, теплица, залежь, сенокос), а также почвы леса. По гранулометрическому составу почвы Новгородской области относятся к глине и тяжелой глине, а почвы Ленинградской области – к супеси и легкому суглинку (Моисеев и др., 2007). Содержание общего органического углерода в почвенных образцах было определено при помощи метода Тюрина (Аринушкина, 1961) и метода учета выделившегося углекислого газа с использованием прибора Абакумова, Попова (2005). По полученным данным была рассчитана степень внутримолекулярной окисленности органического вещества почвы (СВО) по формуле: $СВО = (C_{CO_2} - C_{Ox} / C_{CO_2}) \cdot 100$, %, где C_{CO_2} – содержание углерода, определенное методом учета выделившегося углекислого газа; C_{Ox} – содержание общего органического углерода, определенное методом окисления. Статистическая обработка полученных результатов была проведена с использованием программы MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальное содержание общего органического углерода, определенное при помощи двух вышеописанных методов, наблюдалось в верхнем гумусированном горизонте всех исследованных почв. Почвы Новгородской области по содержанию C_{Ox} в верхнем горизонте (табл. 1) образуют следующий убывающий ряд: лес > огород > пашня > сенокос > залежь, тогда как по содержанию C_{CO_2} он несколько отличается: огород > пашня > сенокос > залежь > лес.

Таблица 1. Содержание общего органического углерода в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Новгородской области, определенное методами окисления (Сох) и учета выделившегося CO_2 (Ссо₂)

Угодье	Горизонт	Глубина, см	Сох, г кг ⁻¹ почвы	Ссо ₂ , г кг ⁻¹ почвы	СВО, %	Сох, г кг ⁻¹		Ссо ₂ , г кг ⁻¹	
						min	max	min	max
Пашня	Апах	0–38	31,1±0,1	38,2±0,7	18,6	21,1	31,1	22,2	38,2
	А ₂ Вg	38–60	6,8±0,3	13,5±0,4	49,6	6,5	6,8	12,9	13,5
	ВСg	60–140	4,5±0,3	8,1±0,0	44,4	2,7	4,5	3,7	8,1
Огород	Апах	0–34	34,1±0,8	29,0±2,0	-17,6	28,0	71,8	21,7	38,6
	А ₂	34–49	26,0±1,0	20,3±0,3	-28,1	24,9	27,8	19,5	26,5
	А ₂ Вg	49–74	8,8±0,6	8,1±0,1	-8,6	8,8	8,8	8,1	8,1
	ВСg	74–110	0,8±0,1	2,0±0,1	60,0	0,6	0,8	2,0	2,0
Залежь	Апах	0–19	26,4±0,1	30,3±0,6	12,8	26,4	26,4	30,3	30,3
	А ₂ В	19–30	6,9±0,1	26,5±0,3	73,9	6,9	6,9	26,5	26,5
	Сg	30–110	2,0±0,4	9,0±0,1	77,7	2,0	2,0	9,0	9,0
Сенокос	Апах	0–22	26,4±0,6	22,0±0,2	-20,0	21,6	30,0	22,0	37,0
	А ₂ g	22–45	6,6±0,1	13,9±0,7	52,5	6,6	6,6	13,9	13,9
	ВСg	45–110	3,2±0,1	11,8±1,0	72,8	3,2	4,7	2,8	11,3
Лес	А ₁	2–18	46,3±6,0	30,1±3,0	-54,0	46,3	46,4	23,7	30,1
	А ₂ Вg	18–45	8,0±0,3	8,7±0,2	8,0	6,3	8,0	5,8	8,7
	ВСg	45–90	0,3±0,0	4,8±0,2	93,8	0,3	0,3	1,0	4,8

Сох – содержание органического углерода, определенное методом окисления; Ссо₂ – содержание органического углерода, определенное методом учета выделившегося углекислого газа; СВО – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества почвы.

В горизонтах А₂В и А₂ всех исследованных почв происходит резкое снижение содержания Сох и Ссо₂. Так, Сох в большинстве исследованных почв уменьшается в 3,8–4,6 раза, в почвах огородов – в 8 раз, в почве леса – в 5,8 раз. В лесной почве основная масса органического вещества сосредоточена в 16-ти см толщ. Максимальной мощностью гумусированного слоя (до 50 см) характеризуются почвы разрезов, заложенных на огороде. В органогенных горизонтах данных почв сосредоточено от 12,8 до 28,6 кг С·м⁻² при плотности сложения почвы 1 г·см⁻³. По значениям Ссо₂ органогенные горизонты почв леса и залежи находятся приблизительно на одном уровне. Ряды содержания Сох и Ссо₂ в верхнем горизонте для сельскохозяй-

ственных угодий одинаковы. Различия между содержанием Сох и Ссо₂ зависят от СВО почвенного органического вещества, на которую в свою очередь влияет вид выращиваемой культуры, а именно состав и количество органических остатков, поступающих в почву, температурные и влажностные условия разложения растительного опада. Так, в работе Петровой с соавторами (2007а) было продемонстрировано различия между содержанием Сох и Ссо₂ в почвах Владимирского Ополя, серой лесной остаточнокarbonатной и темно-серой лесной со вторым гумусовым горизонтом, при выращивании овса и картофеля. Также относительно данных почв была прослежена сезонная динамика указанных параметров и их измене-

ние по почвенному профилю (Петрова и др., 2007б).

Минимальными значениями углерода, определенного методом учета выделившегося углекислого газа, характеризовалась почва леса Новгородской области, что связано с большей внутримолекулярной восстановленностью в ней ОВ. Степень внутримолекулярной окисленности органического вещества возрастает в ряду: лес < сенокос < огород < пашня < залежь, что связано со степенью гумификации органического вещества почв. Процесс гумификации характеризуется нарастанием степени окисления органического вещества и повышением содержания в нем кислородсодержащих карбоксильных групп (Орлов, 1985), что приводит к увеличению СВО.

По содержанию Сох в верхнем горизонте почвы Ленинградской области (табл. 2)

образуют следующий убывающий ряд: теплица > лес > залежь > пашня, а по содержанию S_{CO_2} – другой убывающий ряд: теплица > пашня > залежь > лес. Как и в почвах Новгородской области, нижележащие горизонты характеризуются резким снижением содержания ОВ почвы, определенного как методом окисления, так и методом учета выделившегося углекислого газа. Самыми низкими значениями содержания ОВ почвы характеризуются горизонты ВС. Максимальная мощность гумусированного горизонта характерна для почв разрезов, заложенных в теплице (около 60 см). В указанном горизонте сосредоточено от 27,9 до 31,8 кг $C \cdot m^{-2}$ при плотности сложения почвы $1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Степень внутримолекулярной окисленности возрастает в ряду: теплица < лес < залежь < пашня.

Таблица 2. Содержание общего органического углерода в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Ленинградской области, определенное методами окисления (Сох) и учета выделившегося CO_2 (S_{CO_2}).

Угодье	Горизонт	Глубина, см	Сох, г kg^{-1} почвы	S_{CO_2} , г kg^{-1} почвы	СВО, %	Сох, г kg^{-1}		S_{CO_2} , г kg^{-1}	
						min	max	min	max
Пашня	Апах	0–28	12,7±0,1	34,2±1	62,9	11,1	33,3	8,8	34,0
	А ₂	28–43	3,2±0,1	9,3±0,2	65,6	1,3	4,4	3,9	15,7
	В	43–90	0,6±0,1	2,3±0,1	73,9	0,5	1,4	4,6	5,9
Теплица	Апах	0–27	108,2±3	50,4±1	–114,7	101,5	108,6	30,0	50,4
	А _{1g}	23–58	19,6±0,5	13,2±0,3	–48,5	13,1	19,6	10,8	27,0
	А _{2Bg}	58–70	3,30±0,2	2,7±0,0	–22,2	3,3	4,3	2,7	5,7
	ВС	70–120	0,8±0,1	1,8±0,2	55,6	0,8	0,8	1,8	1,8
Залежь	А ₁	0–28	13,9±0,4	32,1±2	56,7	13,9	36,9	20,7	32,1
	А ₂	28–40	7,6±0,3	23,4±0,8	67,5	7,6	7,6	23,4	23,4
	ВС	40–80	3,1±0,2	5,6±0,1	44,6	0,8	3,1	1,8	5,6
Лес	А ₁	4–16	16,8±0,1	26,2±0,6	35,9	16,8	16,8	26,2	26,2
	А _{2g}	16–43	2,0±0,0	4,1±0,1	51,2	2,0	2,0	4,1	4,1
	В _{1g}	43–76	0,3±0,1	1,8±0,0	83,3	0,3	0,3	1,8	1,8
	В _{2C}	76–100	0,2±0,0	0	0	0,2	0,2	0	0

Сох – содержание органического углерода, определенное методом окисления; S_{CO_2} – содержание органического углерода, определенное методом учета выделившегося углекислого газа; СВО – степень внутримолекулярной окисленности органического вещества почвы.

Почва теплицы характеризуется самыми низкими значениями СВО по сравнению с другими исследованными почвами. Объяснить данный факт можно следующим образом: на первом этапе гумификации происходит увеличение кислородсодержащих функциональных групп (карбоксильных $-COOH$, карбонильных $C=O$, спиртовых и фенолгидроксильных $-OH$) в почвенном ОВ, а на втором – уменьшение карбоксильных групп, например, за счет декарбоксилирования. То есть окисление сопровождается двумя, на первый взгляд, разнонаправленными процессами. В силу указанных выше причин происходит восстановление органического вещества почв, интенсивно используемых в сельском хозяйстве, по сравнению с необрабатываемыми аналогами. Данная закономерность была выявлена Луневой (2005) для дерново-карбонатной типичной почвы, где в верхнем горизонте СВО составляло 2,6%, а в ее целинном аналоге равнялось 18,9%.

При сравнении почв одинаковых угодий очевидно, что почвы Новгородской области в среднем характеризуется большим содержанием общего органического углерода, чем почвы Ленинградской области (вне зависимости от метода определения). Это объясняется более тяжелым механическим составом почв Новгородской области. По данным К. Г. Моисеева с соавторами (2007), почвы Новгородской области являются глинистыми и тяжелоглинистыми и, в зависимости от генетического горизонта, содержат от 30,2% до 87,7% частиц $< 0,005$ мм, в то время как в почвах Ленинградской области содержание данных частиц изменяется в диапазоне от 3,4% до 11,2%. Как известно, низкое содержание тонкопылеватой и илистой фракций является лимитирующим фактором для накопления почвенного органического вещества (Harter and Stotzky, 1971; Marshman and Marshall, 1981), т.к. указанные частицы защищают органическое вещество от микробного разложения (Hassink, 1997, Van Veen and Kuikman, 1990).

Не только гранулометрический состав почвы, но и тип ила может оказывать влия-

ние на способность почв к физической защите органического углерода от микробиологического разложения. Защитный эффект зависит от вида минералов на поверхности или в межслоевых промежутках, где сорбировано органическое вещество почвы. Именно в частицах $< 0,005$ мм сосредоточена основная масса глинистых минералов (Титова и др., 1989). В тяжелых почвах, к которым относятся почвы Новгородской области, тонкодисперсная часть представлена, главным образом, данными минералами, которые легко образуют ассоциации с органическими соединениями почвы. К наиболее распространенным глинистым минералам относятся минералы группы монтмориллонита, каолинита, гидрослюды, хлоритов, смешаннослоистых минералов (Кауричев, 1989). Наиболее активными сорбентами являются минералы монтмориллонит группы и мусковит (Хан, 1969). Специфичная поверхность глины меняется от 6 до $39 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ для каолинита (Dixon, 1977) и до $800 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ для смектита и вермикулита (Robert; Chenu, 1992). Почвы, в которых преобладают глины с высокой специфической поверхностью, имеют более высокую сорбцию гумусовых веществ, чем почвы, в которых преобладают глины с низкой специфичной поверхностью (Tate and Theng, 1980). В легких почвах, к которым относятся почвы Ленинградской области, минералогический состав представлен, в основном, такими минералами, как кварц и полевые шпаты, которые достаточно инертны и не способны надолго закреплять большие количества ОВ почвы, поскольку обладают низкой специфической поверхностью (от 2 до $4 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$; Leinweber; Reuter, 1992).

Для всех изученных почв окисленность органического вещества возрастает с глубиной. При сравнении почв пашни Ленинградской и Новгородской области можно отметить, что почвы Ленинградской области характеризуются большими значениями СВО, что связано с их более легким механическим составом. По данным Пономаревой В. В. и Плотниковой Т. А. (1967), тонкодисперсная часть глинистых почв представлена, главным образом, глинистыми минералами, несущими отрицательный заряд, а песчаных подзолистых почв – полуторными окислами, не-

сущими в кислой среде положительный заряд. Глинистые минералы должны связывать положительно заряженные фракции ОВ, богатые аминными и амидными группировками, а с полуторными окислами должны связываться фракции ОВ, богатые карбоксильными и бедные аминными и амидными группировками, то есть заряженные отрицательно и имеющие кислородные группировки (Пономарева, 1964). Все это приводит к более высоким значениям СВО в лёгких почвах. Такая же закономерность наблюдается и относительно верхнего гумусированного горизонта почв залежи. СВО для почв теплиц существенно ниже, чем для почв огорода. Это, вероятно, связано с тем, что в почву теплиц вносилось большое количество органических удобрений на основе торфа. Как известно, торф отличается низкой степенью внутримолекулярной окисленности (Пономарева, Плотникова, 1967).

Большая разница между значениями СВО органического вещества в почвах лесов Новгородской и Ленинградской областей связана не только с их различным механическим и минералогическим составом, но и с характером лесного опада. В Новгородской области лес являлся смешанным, а в Ленинградской – хвойным. Лесная подстилка смешанного леса разлагается быстрее, чем хвойного, ее органическое вещество обладает большей внутримолекулярной восстановленностью, вероятно, вследствие наличия большего количества положительно заряженных аминных и амидных групп органического вещества, которые притягиваются отрицательно заряженными глинистыми частицами.

С увеличением СВО вниз по профилю происходит уменьшение содержания общего органического углерода, а, следовательно, и снижение гумусированности во всех изученных объектах.

Для всего массива данных выявлена обратная корреляционная зависимость между величиной СВО и содержанием Сох, что

совпадает с результатами, представленными в работе А. С. Луновой (2005), в которой исследовались почвы, развитые на карбонатных породах в Европейской части СНГ. Почвы сельскохозяйственного использования Новгородской области характеризует высокая корреляционная зависимость ($r = -0,93 \dots -0,99$) между данными показателями, почвы Ленинградской области – существенная и высокая ($r = -0,84 \dots -0,99$). Существенная корреляционная связь между СВО и Сох ($r = -0,89$) отличает почву смешанного леса Новгородской области, для почвы хвойного леса (елового) Ленинградской области отмечена низкая корреляционная зависимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При определении содержания общего органического углерода было установлено, что данные, полученные при помощи методов окисления и учета выделившегося углекислого газа, отличаются, и порой значительно. Такая разница объясняется тем, что почвы обладают различной степенью внутримолекулярной окисленности органического вещества, вследствие чего при оценке гумусного состояния по Сох может происходить занижение или завышение степени гумусированности почв.

Полученные данные свидетельствуют о том, что исследованные почвы Ленинградской и Новгородской области отличаются друг от друга по степени внутримолекулярной окисленности органического вещества. Величина СВО варьируется по почвенному профилю. На её значения оказывают влияние механический и минералогический составы почвы, состав растительного опада, а также климатические условия местности.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность академику В. А. Семенову, под руководством которого были произведены описания почвенных профилей и отбор образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов Е. В., Попов А. И. 2005. Определение в одной пробе почвы углерода, азота и окисляемости органического вещества и углерода карбонатов. Почвоведение. 2:186-194.
- Аринушкина Е. В. 1961. Руководство по химическому анализу почв. М., Изд. МГУ. 491 с.
- Бойцова Л. В. 2014. Биологические свойства, общее и лабильное органическое вещество дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении минеральной системы удобрения. Агрофизика. 2(14):8-15.
- Бойцова Л. В., Зинчук Е. Г. 2014. Динамика содержания и профильное распределение водорастворимого органического вещества в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности. Агрофизика 1(13): 26-32.
- Бойцова Л. В., Маглыш Е. Г. 2009. Динамика физико-химических и биологических свойств почвы при различных способах внесения удобрений. Плодородие. 5(50):10-11.
- Бойцова Л. В., Пухальский Я. В. 2013. Динамика содержания органического вещества, его лабильной и инертной частей в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности. Агрофизика 3(11):14-22.
- Кауричев И. С. 1989. Почвоведение. М.: Агропромиздат. 719 с.
- Крейер К. Г. (ред.). 2005. Практикум по агрохимическому анализу почв. СПб.: Изд. СПбГУ. 88 с.
- Лунева А. С. 2005. Гумусное состояние и коллоидно-химические свойства гуминовых веществ почв Европейской части СНГ, развитых на карбонатных породах. Диссертация на соискание степени кандидата сельскохозяйственных наук. СПбГАУ, Санкт-Петербург – Пушкин. 133 с.
- Моисеев К. Г., Гришко Ю. В., Романов О. В. 2007. Некоторые физические свойства дерново-подзолистых почв Северо-Запада России // Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей / под ред. А. М. Глобуса. СПб.: ПИЯФ РАН. С. 181–191.
- Петрова З. М., Бойцова Л. В., Рижия Е. Я., Зуев В. С., Бодров В. А. 2007а. Исследование динамики физического состояния серых лесных почв Владимирского Ополья в процессе окультуривания // Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей / под ред. А. М. Глобуса. СПб.: ПИЯФ РАН. С. 198–203.
- Петрова З. М., Бойцова Л. В., Рижия Е. Я., Бодров В. А., Маглыш Е. Г. 2007б. Влияние реликтового криогенного микрорельефа на физическое состояние почв // Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей / под ред. А. М. Глобуса. СПб.: ПИЯФ РАН. С. 204–209.
- Орлов Д. С. 1985. Химия почв. Изд. МГУ. 376 с.
- Пономарева В. В. 1964. Теория подзолообразовательного процесса. М.: Наука. 382 с.
- Пономарева В. В., Плотникова Т. А. 1967. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус). Почвоведение 7:85-95.
- 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.
- Титова Н. А., Травникова Л. С., Куваева Ю. В., Володарская И. В. 1989. Состав компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы. Почвоведение. 6:89-97.
- Тюрин И. В. 1937. Органическое вещество почв. М.: Сельхозгиз. 327 с.
- Хан Д. В. 1969. Органо-минеральные взаимодействия и структура почвы. М.: Наука. 142 с.
- Balashov E. V., Buchkina N. P. 2011. Impact of short- and longterm agricultural use of chernozem on its quality indicators. *Int. Agrophys.*, 25:1-5.
- Dixon J. B. 1977. Kaolinite and serpentine group minerals. In: *Minerals in Soil Environments*. Ed. R. C. Dinauer, pp. 357–403. SSSA, Madison, WI.
- Gajda A. M., Przewloka B., Gawryjolek K. 2013. Changes in soil quality associated with tillage system applied. *Int. Agrophys.*, 27:133-141.
- Harter R. D. and Stotzky G. 1971. Formation of clay-protein complexes. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 35: 383-389.
- Hassink J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and soil*, 191: 77-87.
- Leinweber P., Reuter G. 1992. The influence of different fertilization practices on concentrations of organic carbon and total nitrogen in particle-size fractions during 34 years of soil formation experiment in loamy marl. *Biol. Fert. Soils*, 13:119-124.
- Marshman N. A. and Marshall K. C. 1981. Bacterial growth on proteins in the presence of clay minerals. *Soil. Biol. Biochem.*, 13: 127-134.
- Robert M. and Chenu C. 1992. Interactions between soil minerals and microorganisms. In: *Soil Biochemistry*, Vol. 7. Eds. G. Stotzky, J.M. Bollag, pp. 307–404. Marcel Dekker Inc., New York.
- Tate K. R. and Theng B. K. 1980. Organic matter and its interaction with inorganic soil constituents. In. *Soil with a variable Charge*. Ed. G. K. G. Theng, pp. 225–249. New Zealand Soc. Soil Sci., Lower Hutt.
- Van Veen J., Kukman P. J. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. *Biogeochem.*, 11:213-223.