

УДК 631.41

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ОБЩЕЕ И ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

Л. В. Бойцова

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

Поступила в редакцию 28 апреля 2014 г., принята к печати 02 июня 2014 г.

Исследования проводились в 2007–2009 годах на полигоне по изучению технологии точного земледелия Агрофизического НИИ Россельхозакадемии. В 2007–2008 гг. опытный полигон включал следующие экспериментальные участки: контроль (К), зональная система удобрений (ЗСУ), точная система удобрений (ТСУ). В 2009 году в существующую схему было добавлено разделение по ландшафтному признаку.

В работе были исследованы биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы, содержание общего органического вещества и органического вещества легкой фракции при использовании минеральной системы удобрения.

В 2008–2009 годах отмечалось достоверное ($p < 0,001$) накопление Собщ в почве практически всех вариантов. На распределение Собщ по фациям влияло расположение участка в мезорельефе. Биологическая активность в варианте К была несколько выше, чем в вариантах с удобрениями. При этом между вариантами ЗСУ и ТСУ отличия по этому показателю обнаружены не были. Достоверно большее содержание Слф в среднем за сезон обнаружено в почве ТСУ ($p < 0,02$). Почва этого варианта является наиболее обеспеченной легкой фракцией органического вещества. Это подтверждает положительную роль минеральных удобрений в образовании легкой фракции органического вещества почв. Однако, установлено, что скорость накопления углерода легкой фракции при использовании минеральной системы удобрения в несколько раз ниже, чем при использовании органо-минеральной системы.

Ключевые слова: эмиссия углекислоты, денитрификация, легкая фракция органического вещества, органическое вещество почвы, дерново-подзолистая супесчаная почва.

ВВЕДЕНИЕ

Системы точного земледелия получают все большее признание и распространение. Они основаны на новом взгляде на сельское хозяйство, при котором сельскохозяйственное поле, неоднородное по рельефу, почвенному покрову, агрохимическим и физическим свойствам почв требует применения различных, наиболее подходящих для каждого конкретного участка, агротехнологий. Для обоснованного выбора таких агротехнологий необходимы экспериментальные данные об агрофизическом, физико-химическом, химическом, биологическом состоянии почв различных почвенных разностей.

Цель работы: изучить изменение содержания общего и лабильного органического вещества, а также биологических показате-

телей дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении минеральной системы удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2007–2009 годах на полигоне по изучению технологии точного земледелия Агрофизического НИИ Россельхозакадемии. Полигон расположен в п. Меньково Гатчинского района Ленинградской обл. Почва представлена дерново-слабоподзолистой супесчаной на красноцветных моренных отложениях. Глубина пахотного слоя составляет 18–23 см (Моисеев и др., 2013). Полигон включал следующие экспериментальные участки: контроль (К), зональная система удобрений (ЗСУ), точная система удобрений (ТСУ) (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта на полигоне по изучению технологии точного земледелия Агрофизического НИИ Россельхозакадемии (К – контроль, ЗСУ – зональная система удобрений, ТСУ – точная система удобрений).\

Год	Культура	Вариант	Доза удобрений, (кг д.в. га ⁻¹)
2007	вико-овсяная смесь Vicia-avena mixture	К	0
		ЗСУ	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀
		ТСУ	N ₇₀₊₄₀ P ₇₀ K ₇₀₊₄₀
2008	картофель Solanum tuberosum	К	0
		ЗСУ	N ₁₀₀₊₂₀ P ₁₂₅ K ₁₂₅
		ТСУ	N ₁₀₀₊₂₀ P ₁₂₅ K ₁₂₅
2009	ячмень Hordeum sativa	К	0
		ЗСУ	N ₈₀₊₂₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀
		ТСУ	N ₇₇ P ₉₆ K ₉₆

В 2009 году в существующую схему было добавлено разделение по ландшафтному признаку таким образом, что схема опыта стала включать два фактора: систему удобрений и ландшафтное местоположение. Ландшафтная составляющая была представлена четырьмя ключевыми элементарными ареалами: 1 – равнинный элементарный ареал агроландшафта – элювиально-аккумулятивная фация, 2 – западинный элементарный ареал агроландшафта – аккумулятивная фация, 3 – водораздельный элементарный ареал агроландшафта – элювиальная фация и 4 – склоновый элементарный ареал агроландшафта – транзитно-аккумулятивная фация. В качестве минерального удобрения в эксперименте использовали комплексное удобрение аммофоску (Иванов и др., 2009).

В течение вегетационного периода в почвах всех участков определялось содержание общего углерода по методу Тюрина (Аринушкина, 1961). Для почв аккумулятивной фации определялись эмиссия углекислоты (биологическая активность) и закиси азота – газохроматографическим методом (Банкин и др., 2005), углерод микробной массы (субстрат–индуцированное дыхание) – с помощью газового хроматографа по методике J. P. E. Anderson и K. H. Domsch (1978), со-

держание легкой фракции органического вещества по методу С. А. Cambardella и Е. Т. Elliott (1992). На основании полученных данных рассчитывались следующие показатели: эмиссионное отношение C/N, метаболическое частное ($qCO_2 = BA/C_{мик}$) и отношение углерода микробной массы к содержанию общего углерода.

Кроме того, рассчитаны коэффициенты (фактор) обогащения легкой фракции почвы органическим углеродом по формуле: $E_{soc} = C_{фракции}/C_{ор.}$, где $C_{фракции}$ – содержание углерода фракции выраженное в % от массы фракции; $C_{ор.}$ – содержание общего органического углерода, выраженное в % от массы почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение содержания общего органического углерода в 2007–2009 годах для почв аккумулятивной фации позволило установить, что к окончанию периода наблюдения в почвах участков К и ЗСУ наблюдаются потери $C_{общ.}$ В почве варианта ТСУ содержание $C_{общ.}$ остается практически на том же уровне. В 2008–2009 годах отмечается достоверное накопление органического углерода в почве ($p < 0,001$) практически всех вариантов (табл. 2.).

Таблица 2. Содержание общего органического углерода (г·кг⁻¹) в дерново-подзолистой супесчаной почве при применении минеральной системы удобрений.

Данные приведены для аккумулятивной фации

Год	Вариант	Месяц				
		апрель	май	июнь	июль	август
2007	К	41,0±0,4	–	–	42,3±0,6	25,4±0,1
	ЗСУ	42,2±1,1	–	–	42,9±0,3	21,1±0,7
	ТСУ	25,3±0,0	–	–	20,2±0,0	25,6±0,2
2008	К	43,7±1,9	39,4±0,2	41,9±0,6	40,4±1,4	44,9±0,5
	ЗСУ	33,8±1,5	34,8±0,4	37,3±1,2	37,5±0,5	43,6±0,2
	ТСУ	25,5±0,7	23,9±0,0	29,3±1,0	27,2±0,6	27,9±1,4
2009	К	21,6±1,4	26,3±0,4	29,9±1,2	29,3±0,00	30,7±0,2
	ЗСУ	29,7±0,5	29,3±1,1	25,7±0,00	30,0±0,3	32,1±0,7
	ТСУ	27,6±0,1	30,6±0,5	27,4±0,6	31,3±0,6	30,0±1,2

Указанные различия в депонировании можно объяснить различными гидротермическими условиями, сложившимися в регионе исследования в 2007–2009 гг., а также видом выращиваемой культуры, разными дозами минеральных удобрений и технологическими приемами обработки почвы (Петрова и др., 2007). Совокупность данных факторов, а также каждый из них в отдельности могут благоприятно или неблагоприятно влиять на почвенные микроорганизмы, минерализующие растительные остатки и разлагающие органическое вещество почвы. Следствием чего может быть либо усиление процессов минерализации органического вещества, либо накопление органического вещества в почве.

На распределение содержания общего органического углерода по ландшафтным фациям влияет расположение элементарных ареалов агроландшафта в мезорельефе. В результате процессов эрозии происходит смыв органического вещества с господствующих

элементов рельефа (элементарные ареалы 1 и 4) и накопление его в подчиненных элементах рельефа (элементарные ареалы 2 и 3) (Бойцова, Маглыш, 2012). Средние значения Собщ за весь период наблюдений, были достоверно ($p < 0,01$) меньше на участке 1, чем на участках 2, 3, 4 (табл. 3).

Такие показатели как биологическая активность, эмиссия закиси азота и содержание углерода микробной массы характеризуют состояние микробного сообщества в почвах. Рассматривая сезонную динамику указанных параметров можно сказать, что максимальные потери CO_2 и N_2O наблюдались в июле (табл. 4), что было связано с почвенно-климатическими условиями, благоприятными для минерализации органического вещества (высокие температуры и достаточная влажность). При этом наибольшие потери углекислоты наблюдались в вариантах К и ЗСУ, а закиси азота – в варианте ТСУ.

Таблица 3. Содержание общего органического углерода ($\text{г}\cdot\text{кг}^{-1}$) в дерново-подзолистой супесчаной почве при применении минеральной системы удобрений, 2009 год

Участки (ЭАА)	Вариант	Месяц				
		апрель	май	июнь	июль	август
1	К	16,8±1,6	22,0±0,6	22,5±0,2	23,5±0,5	23,2±1,3
	ЗСУ	26,3±0,9	20,0±0,9	24,2±0,4	26,6±0,1	26,3±0,2
	ТСУ	20,7±0,4	18,0±0,5	20,0±0,7	23,8±0,0	22,8±0,9
3	К	23,1±0,5	26,9±0,7	28,7±1,1	29,1±0,2	29,20,1
	ЗСУ	26,8±2,0	33,1±1,9	30,1±1,3	38,7±1,2	39,0±0,0
	ТСУ	38,2±0,0	19,2±0,0	25,5±0,3	19,6±0,7	20,2±0,4
4	К	23,4±0,2	26,3±1,2	26,5±1,8	24,6±0,4	26,0±0,6
	ЗСУ	28,0±0,6	27,2±0,7	29,2±0,3	31,0±0,3	31,3±0,4
	ТСУ	28,0±2,5	23,9±0,3	24,0±0,4	30,2±0,3	28,8±1,0

Таблица 4. Базальное дыхание и углерод биомассы микроорганизмов в дерново-подзолистой супесчаной почве, 2009 год. Аккумулятивная фация

Вариант	Месяц				
	апрель	май	июнь	июль	август
Биологическая активность, $\text{мг С}\cdot\text{CO}_2, \text{кг}^{-1} \text{ час}^{-1}$					
К	13,96±5,2	11,89±3,03	1,29±0,21	22,08±6,63	8,67±1,07
ЗСУ	11,70±1,81	6,58±1,74	3,23±1,42	16,54±3,17	7,09±1,54
ТСУ	10,83±1,32	6,40±2,79	3,81±1,46	13,47±4,16	13,44±2,56
Денитрификация, $\text{мг N}\cdot\text{NO}_2, \text{кг}^{-1} \text{ час}^{-1}$					
К	0,63±0,07	0,44±0,04	0,22±0,01	1,83±0,16	1,04±0,05
ЗСУ	0,47±0,04	0,28±0,01	0,28±0,02	1,38±0,02	0,20±0,01
ТСУ	0,49±0,03	0,22±0,04	0,28±0,00	1,84±0,26	0,44±0,04
Углерод биомассы микроорганизмов, $\text{Смк.}, \text{г}\cdot\text{кг}^{-1} \text{ почвы}$					
К	132,27±42,09	455,16±35,01	756,15±75,55	247,45±33,81	70,98±15,85
ЗСУ	71,35±23,67	323,17±6,82	727,29±67,26	91,01±26,01	153,33±23,86
ТСУ	89,03±21,83	481,59±30,17	1261,32±92,86	170,10±39,85	175,41±24,45

К августу потери CO_2 и N_2O из почв уменьшаются, что связано с изменением почвенно-климатических условий – снижением температуры воздуха и почвы при достаточно высоком увлажнении. Происходит накопление органического вещества, что подтверждается данными по содержанию общего органического углерода в почвах. Такая же тенденция наблюдалась и в 2008 году (Бойцова, Маглыш, 2009). В 2009 г., по сравнению с 2008 годом, установлено увеличение биологической активности почв (в шесть раз) и уменьшение эмиссии закиси азота из почв (в 1,3 раза для варианта К и в три раза – для варианта ТСУ). Вегетационный сезон 2008 года, по сравнению с вегетационным сезоном 2009 г., отличался большим количеством осадков, выпавших за период апрель-август, (653 и 570 мм, соответственно). В то же время средняя температура воздуха как в 2008б так и в 2009 гг. была практически одинаковой – 12,3–12,5°C. Вегетационный сезон 2008 года характеризуется гидротермическим коэффициентом 3,37, а 2009 год – 2,62 (Месяц, 1989), что также свидетельствует о большем увлажнении в 2008 году. Следствием этого является усиление процессов денитрификации. Если рассматривать средние значения биологической активности за вегетационный период, то можно отметить, что минерализационные процессы в контрольном варианте протекают несколько сильнее, чем в вариантах с использованием удобрений. При этом между вариантами ЗСУ и ТСУ практически не существует различий по данному показателю.

Углерод биомассы микроорганизмов ($\text{C}_{\text{мик}}$) является частью лабильного пула органического вещества почв, способствует обеспечению растений питательными элементами. В начале вегетационного периода максимальное содержание биомассы микроорганизмов было обнаружено в почве варианта К, а к окончанию периода наблюдений максимальным количеством углерода микробной массы характеризовались почвы вариантов с внесением минеральных удобрений. Это согласуется с данными, полученными для данного объекта в 2008 году (Бойцова, Маглыш, 2009). В течение вегетационного сезона наибольшее накопление $\text{C}_{\text{мик}}$ происходит в почвах для всех вариантов в

июне, особенно в варианте ТСУ. Это свидетельствует о более благоприятных условиях развития микробного сообщества в данный период, оптимальной температуре и влажности, а также достаточном количеством органических остатков в почве, так как сезонная динамика всех групп микроорганизмов определяется изменением температуры и влажности почв, а также динамикой поступления в почву свежих органических веществ (Солодова, 1985). По сравнению с сезоном 2008 года наблюдается увеличение содержания микробной биомассы в 7–10 раз.

Судя по показателю $\text{C}_{\text{мик}}/\text{C}_{\text{орг}}$, микробное сообщество почвы всего экспериментального участка находится в неблагоприятных условиях в течение большей части периода вегетации, за исключением июня, когда этот показатель превышает 2%. В нашей почвенно-климатической зоне, в соответствии с данными J. P. E. Anderson и K. H. Domsch (1989), величина этого показателя, превышающая 2%, свидетельствует о равновесном состоянии органического вещества. На исследуемом экспериментальном участке такое состояние органического вещества не достигается. Однако по сравнению с 2008 годом значение этого показателя возросло в 5 раз и более, что, вероятно, связано с видом выращиваемой культуры. Известно, что вид выращиваемой культуры, ее биохимические особенности, влияют на величину биологической активности (Рижия, Бойцова, 2005, Бойцова, Рижия, 2007). В 2009 году на экспериментальном участке возделывали ячмень, который дает много корневых и надземных растительных остатков, что благотворно влияет на почвенную микрофлору. В 2008 году выращивали картофель, после которого было отмечено самое низкое содержание органики в почве. Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов, отмечающих снижение содержания органического вещества в почвах при выращивании, например, кукурузы и подсолнечника (Лошаков и др., 1997). По данным Е. Я. Рижией (2002а) в зерно-травяно-пропашном севообороте на дерново-подзолистой супесчаной почве картофель оставил после себя $6 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ растительных остатков, а ячмень – $10,5 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$. К тому же растительные остатки этих культур облада-

ют разной скоростью минерализации. Так, минерализация гумуса под пропашными культурами на дерново-подзолистой почве составляют около $1,92 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ в год, под зерновыми – на 47–56% меньше, а под многолетними травами $0,53\text{--}0,76 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (Цыбулька, 2006). Кроме того, при выращивании пропашных культур применяется большее количество обработок почвы, чем при выращивании зерновых, а минимизация агротехнических обработок способствует увеличению количества почвенных микроорганизмов.

Для круговорота азота характерен длительный минерализационно-иммобилизационный цикл. Часть круговорота, в процессе которого разлагается органическое вещество и высвобождаются неорганические ионы, называется минерализацией. Обратный процесс, при котором неорганические ионы превращаются в органические формы, называется иммобилизацией (Томпсон, Троу, 1982). Высшие растения и микроорганизмы поглощают нитрат ионы и ионы аммония и используют их для образования белка своих клеток, происходит иммобилизация азота. В результате часть азота аккумулируется в микробной плазме, другая, претерпевая биохимические превращения, входит в состав гумусовых веществ. Основным фактором, определяющим какие процессы будут преобладать в почве является отношение C/N в субстрате. Для органических материалов отношение 32:1 представляет точку равновесия (Томпсон, Троу, 1982). Более широкие отношения вызывают иммобилизацию некоторого количества азота почвы, а более узкие допускают минерализацию. Косвенно эмиссионное отношение C/N можно использовать для характеристики процессов минерализации и иммобилизации, постоянно протекающих в почве, судить о доступности почвенного азота растениям и микроорганизмам (Рижия, 2002б). Это отношение рассчитывают на основании данных по почвенному дыханию, эмиссии углекислоты и закиси азота, которые являются продуктами жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Для дерново-подзолистой почвы достижение эмиссионным отношением величины 25–30 и выше свидетельствует, что в ней преобладают процессы иммобили-

зации. При C/N < 25–30 в почве преобладает минерализация (Банкин и др., 1992).

В начале периода наблюдений, в апреле, для почв всего экспериментального участка было характерно преобладание процессов минерализации органического вещества, эмиссионное отношение C/N составляло 22–24. В мае происходило усиление иммобилизационных процессов (значения C/N увеличивались до 23–27). В июне в вариантах с внесением азотных минеральных удобрений этот показатель составлял 40–50, что свидетельствует о преобладании процессов иммобилизации над процессами минерализации. Минеральный азот, неостребованный растениями, полностью иммобилизуется в органическую форму (Бойцова, Маглыш, 2010). В июле-августе значение этого показателя снижается до 25, что свидетельствует о преобладании процессов минерализации над иммобилизацией. Следствием этого является увеличение поступления в почву минеральных форм азота, необходимых для удовлетворения потребностей интенсивно развивающихся в данный период растений.

Окислительно-восстановительное (или нитрификационно-денитрификационное) звено превращений азота включает процессы окисления микроорганизмами аммония до нитратов (нитрификация) и восстановление нитратов до молекулярного азота (денитрификация) (Банкин и др., 2005). Для оценки интенсивности процессов нитрификации и денитрификации, протекающих в почве используют отношение $\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$, если это отношение меньше единицы, то протекает сильная денитрификация. На изучаемом участке во всех вариантах этот показатель существенно выше единицы. Это свидетельствует о преобладании окислительных процессов в почве и о преобладании процессов нитрификации над денитрификацией.

В качестве показателя, характеризующего эффективность использования доступного углерода микробным сообществом для формирования биомассы, применяют метаболическое частное. Метаболическое частное представляет собой количество выделившегося C-CO₂ (мг) в пересчете на 1 грамм микробной биомассы в час (Балашов, 2007). Судя по этому показателю, наиболее эффективно использование доступного углерода

микроорганизмами происходило в июле для вариантов К и ЗСУ, и в августе - для варианта ТСУ (рис. 1). В целом за сезон почва варианта с ТСУ обнаруживает меньшую эффективность использования доступного углерода микроорганизмами (рис. 1).

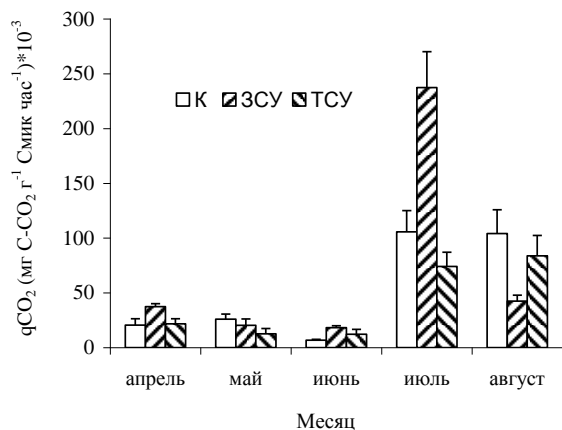


Рис. 1. Динамика метаболического частного в дерново-подзолистой супесчаной почве, где К – контроль, ЗСУ – зональная система удобрения, ТСУ – точная система удобрения

Легкая фракция органического вещества, 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 легко разлагаемого органического материала в легкой фракции органического вещества, содержание углерода этой фракции, а также его доля в составе Сообщ подвержены сезонным и пространственным изменениям. Холодный и сухой климат, низкие значения рН и постоянный растительный покров (леса и пастбища) способствует накоплению ЛФ (Christensen, 1992). Биогидротермические условия формирования почвы контролируют, в основном, накопление органического вещества легкой фракции (Травникова и др., 1992; Ванюшина, 2001). В описываемом опыте наибольшее содержание $S_{\text{лф}}$ в почве наблюдалось в варианте ТСУ, с максимальными значениями в мае – $13,09 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы (рис. 2). Минимальные значения $S_{\text{лф}}$ в мае составили $3,28 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы для варианта К.

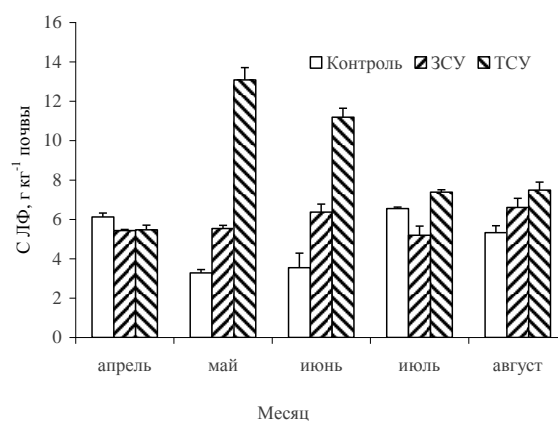


Рис. 2. Содержание углерода легкой фракции в дерново-подзолистой супесчаной почве, К – вариант контроль, ЗСУ – зональная система удобрений, ТСУ – точная система удобрения.

Достоверные различия в содержании Слф в течение всего периода наблюдений обнаружены между в почвой удобренных вариантов опыта (ЗСУ и ТСУ) и почвой контроля ($p < 0,02$). Почва варианта К характеризуется средними за сезон значениями $S_{\text{лф}}$ ($4,26 \text{ кг}^{-1}$ почвы), ЗСУ – $5,82 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, а ТСУ – $8,92 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ почвы. В почве варианта К происходит уменьшение $S_{\text{лф}}$ от весны к осени, с незначительным увеличением содержания Слф в середине вегетационного периода. В почве вариантов ЗСУ и ТСУ прослеживается тенденция увеличения этого показателя к окончанию вегетационного периода. Это связано с лучшей обеспеченностью растений минеральным азотом в данных вариантах опыта, наибольшим развитием корневой и надземной массы растений и, как следствие этого, максимальным количеством растительных остатков, поступающих в почву. Л. С. Травниковой с соавторами (1992) был предложен критерий для определения достаточной обеспеченности гумусом ряда почв – доля углерода легкой фракции в общем органическом углероде почв. Для дерново-подзолистой почвы критерий обеспеченности составляет 30% $S_{\text{лф}}$ от общего содержания углерода в почве. В опыте обеспеченной $S_{\text{лф}}$ можно считать только почву варианта ТСУ, где доля Слф от общего органического углерода составляет в среднем за сезон – 30,38%, с максимальными значениями в мае-июне – 40–42,8%. Можно предположить, что это связано с оптимизацией питания ячменя при дифференцированном внесении минеральных удобрений. Вследствие чего в поч-

вах этого варианта опыта образуется значительно большее количество растительных остатков, чем в других вариантах опыта.

Наибольшая насыщенность легкой фракции органического вещества углеродом обнаружена в июле в варианте К и составляет около 10% от массы фракции. Средние значения этого показателя за сезон наблюдений находятся, приблизительно, на одном уровне для всех вариантов опыта, и составляют 6,4–6,8% углерода от массы легкой фракции.

Общее содержание легкой фракции в почве варианта К составляет в среднем за сезон 6,3–9,9% от массы почвы, в варианте ЗСУ 6,9 – 13,4%, ТСУ – 10–18%. Максимальный выход легкой фракции от массы почвы в среднем за сезон наблюдается в варианте ТСУ.

Средние значения E_{soc} легкой фракции в почве всех вариантов опыта находятся на одном уровне, около двух единиц. Это говорит о практически одинаковой скорости накопления углерода легкой фракции в почвах всех вариантов опыта. Показатель E_{soc} , рассчитанный для минеральной системы удобрений в данном эксперименте, значительно ниже, чем аналогичный показатель, рассчитанный нами ранее (Бойцова, Пухальский, 2013) для органоминеральной системы удобрений (6–8 единиц). Можно предположить, что такие различия в величине E_{soc} связаны с метеорологическими особенностями года, а также с применяемой системой удобрения и видом выращиваемой культуры. В 2011 году на агрофизическом стационаре, где использовалась органоминеральная система удобрений, возделывали тимофеевку луговую с подсевом клевера лугового (Оленченко и др., 2012). Как известно, послеуборочные остатки злаков отличаются большим содержанием трудно разлагаемых веществ, в тоже время клевер луговой поставляет в почву легко доступный для микроорганизмов материал, который является источником

для пополнения легких фракций почвенного органического вещества (Collins, 1990; Palm, 2001). Поскольку значения ГТК за период апрель-май в 2009 и 2011 гг. были приблизительно одинаковы (2,62 и 2,55, соответственно), то на основании выше изложенного, можно предположить, что разница в скорости накопления углерода легкой фракции в большей степени зависела от применяемой системы удобрения и вида выращиваемой культуры, чем от метеоусловий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всех изученных вариантов опыта почвы варианта с дифференцированным внесением удобрений характеризуется максимальным содержанием биомассы микроорганизмов, а также средней аэробной и анаэробной активностью микроорганизмов за сезон.

Начало и окончание вегетационного периода характеризуются преобладанием в почве минерализационных процессов, тогда как в середине вегетационного периода в почве преобладают иммобилизационные процессы.

Почвы с минеральной системой удобрения, по сравнению с контрольным вариантом, отличаются как большим общим содержанием легкой фракции органического вещества почвы, так и более высоким содержанием $S_{\text{лф}}$. Это свидетельствует о положительной роли минеральных удобрений в образовании легкой фракции органического вещества. Однако, скорость накопления углерода легкой фракции при данной системе удобрения в несколько раз ниже, чем при использовании органоминеральной системы.

Для улучшения физических свойств почвы, поддержания микробной биомассы на более высоком уровне и доведения органического вещества почв до равновесного состояния необходимо, наряду с минеральными удобрениями, вносить в почву органические удобрения или растительные остатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е.В. 1961. Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ, Москва, 492 с.
- Банкин М.П., Банкина Т.П., Коробейникова Л.П. 2005. Физико-химические методы в агрохимии. Изд. СПбГУ. С-Петербург, 177 с.
- Банкин М.П., Банкина Т.А., Земесзиргс Н.Э. 1992. Сопряженность процессов трансформации соединений углерода и азота и их влияние на плодородие почв. Труды Биологического НИИ. Изд. СПбГУ, Вып. 43, с. 56–63.
- Балашов Е.В. 2007. Биофизический подход к оценке устойчивости почв. В: Глобус А.М. (ред.) Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. Изд. ПИЯФ РАН, Санкт-Петербург, с. 144–162.

- Бойцова Л.В., Рижия Е.Я. 2007. Исследования органического вещества и биологических показателей серых лесных почв Владимирского Ополя. В: Глобус А.М. (ред.) Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. Изд. ПИЯФ РАН, Санкт-Петербург, с. 210–215.
- 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., Маглыш Е.Г. 2010. Биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении минеральных удобрений. В: Биосферные функции почвенного покрова. Материалы Всероссийской научной конференции посвященной 40-летию юбилею Института физико-химических и биологических проблем РАН, Пушкино, 8–12 ноября 2010, Пушкино, с. 46–47.
- Бойцова Л.В., Маглыш Е.Г. 2012. Точная система удобрения в различных ландшафтно-экологических условиях. Плодородие. 5(68): 4-5.
- 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.
- 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. Москва. 26 с.
- Иванов А.И., Цыганова Н.А., Лекомцев П.В. 2009. Эффективность точных систем удобрения в различных ландшафтно-экологических условиях. Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института. С-Петербург, 24–26 марта 2009, С.-Петербург, с. 84–88.
- Лошаков В.Г., Элмер Ф., Иванова С.Ф., Синих Ю.Н. 1997. Продуктивность зерновых севооборотов при использовании пожнивного зеленого удобрения. М.: Известия ТСХА, Вып. 3. С. 3–10.
- Месяц В.К. (ред.) Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. 1989. М.: Советская энциклопедия.
- 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.
- Петрова З.М., Бойцова Л.В., Рижия Е.Я., Зуев В.С., Бодров В.А. 2007. Исследование динамики физического состояния серых лесных почв Владимирского Ополя в процессе окультуривания. В: Глобус А.М. (ред.) Физические, химические и климатические факторы продуктивности полей. Изд. ПИЯФ РАН, Санкт-Петербург, с. 198–203.
- Рижия Е.Я. 2002 а. Влияние минеральных удобрений и сидератов на агрофизические, агрохимические и биологические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Диссертация на соискание степени кандидата биологических наук. ГНУ АФИ, С.-Петербург.
- Рижия Е.Я. 2002 б. Влияние минеральных удобрений и сидератов на агрофизические, агрохимические и биологические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук. ГНУ АФИ, С.-Петербург. 20 с.
- Рижия Е.Я., Бойцова Л.В. 2005. Исследования органического вещества и биологических показателей серых лесных почв Владимирского Ополя. В: Роль почв в сохранении устойчивости ландшафтов и ресурсосберегающее земледелие. Материалы международной научно-практической конференции, Пенза 5–10 сентября 2005, Пенза: РИО ПГСХА, с. 245–247.
- Солодова Т.А. 1985. Сезонная динамика органических веществ в дерново-подзолистых почвах. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата биологических наук. Москва, 17 с.
- Томпсон Л.М., Трой Ф.Р. 1982. Почвы и их плодородие. М.: Колос.
- 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.
- Цыбулька Н.Н. 2006. Баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур. Агрохимия. 11: 10-17.
- 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.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem. 10: 215-221.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils// Soil Biol. Biochem. 21: 471-479.
- 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.
- Collins H.P., Elliot L.F., Rickman R.W., Bezdicke D.F., Papendick R.I. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. Soil. Sci. Soc. Am. J. 54: 780-781.
- Christensen B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. Advances in Soil Scienc. 20:1 – 90.
- Palm C. A., Giller K. E., Mafongoya P. L., Swift M. J. 2001. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 61: 63-75.

