

УДК 631.46:631.445.24:631.95

МИКРОБНАЯ БИОМАССА, ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И АЗОТФИКСАЦИЯ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРЕДУРАЛЬЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

© 2020 г. Н. Е. Завьялова^а, *, М. Т. Васбиева^а, Д. С. Фомин^а^аПермский НИИСХ ПФИЦ УрО РАН, ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, 614532 Россия

*e-mail: nezavyalova@gmail.com

Поступила в редакцию 09.04.2019 г.

После доработки 15.07.2019 г.

Принята к публикации 27.10.2019 г.

Изучены показатели микробиологической активности целинной (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) и пахотной (бессменный чистый пар, бессменный посев ячменя, полевой севооборот, многолетняя бобовая культура) дерново-подзолистой почвы (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) Пермского края. В зависимости от типа землепользования содержание органического углерода (метод бихроматного окисления) в почве варьировало от 0.78 до 1.57%, углерода микробной биомассы (метод субстрат индуцированного дыхания) от 366 до 1236 мкг/г, скорость базального дыхания от 1.62 до 3.13 мкг С–СО₂/(г ч) и азотфиксирующая способность (ацетиленовый метод) от 11.53 до 77.18 мкг С₂Н₄/к(г ч). Максимальные значения изученных показателей отмечены в почве под смешанным лесом, минимальные – в бессменном пару (42 года). В почве под лесом отмечено низкое удельное дыхание микробной биомассы 2.5 мкг С–СО₂/(мг С_{мик} ч), что свидетельствует об устойчивости и зрелости данной экосистемы. Более стабильное функционирование микробного сообщества среди рассматриваемых пахотных почв наблюдали при длительном возделывании многолетней бобовой культуры (30 лет) – козлятника восточного (*Galéga orientalis*). Содержание органического вещества, углерода микробной биомассы и удельное микробное дыхание под козлятником соответствовали почве лесной экосистемы. Установлена высокая и средняя корреляционная зависимость содержания углерода микробной биомассы и базального дыхания от общего содержания органического углерода и его лабильной фракцией.

Ключевые слова: органический углерод почвы, углерод микробной биомассы, базальное дыхание, микробиоценоз, нитрогеназная активность

DOI: 10.31857/S0032180X20030120

ВВЕДЕНИЕ

При окультуривании целинные дерново-подзолистые почвы утрачивают специфические черты естественных микробных сообществ. Смена естественной растительности культурной, обогащение почв минеральными элементами и доступными органическими соединениями резко изменяют условия обитания микроорганизмов. Состояние микробного сообщества почвы зависит от используемых агротехнических приемов (применения удобрения, возделывания почвозащитных культур, вида севооборота, техники заделки растительных остатков) [9, 11, 14]. Общую закономерность влияния агротехнологий на почвенные микроорганизмы отражает показатель продуцирования ими углекислого газа [15, 17, 22, 24]. По динамике и скорости продуцирования углекислоты можно судить о напряженности биологических процессов, а также оценить потери органического вещества вследствие развития про-

цессов минерализации [3]. Микробная биомасса считается наиболее лабильным компонентом органического вещества, в первую очередь реагирующим на изменения окружающей среды и отражающим тренд накопления или минерализации органического вещества почвы [1, 4, 13]. Почвы разных климатических зон различаются по содержанию микробной биомассы и ее чувствительности к природным и антропогенным воздействиям. В дерново-подзолистой почве изменения содержания микробной биомассы на 59% определялись влиянием антропогенных факторов и лишь на 14% – сезонными колебаниями, тогда как в выщелоченном черноземе вклад этих факторов равнялся 5 и 66% соответственно [1]. Микробная биомасса, ее активность и разнообразие микробного сообщества широко используются в международных мониторинговых исследованиях [30, 31, 33] в качестве индикаторов устойчивости почв к внешним воздействиям [35]. По данным [20, 21], в пахотных почвах содержание микробной биомассы значи-

Таблица 1. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы

| Вариант | Глубина, см | C _{орг} | C _{0.1M Na₄P₂O₇} | pH _{KCl} | S | Нг | Ca | Mg | V, % | N _{общ} | P ₂ O ₅ |
|-------------------------------------|----------------|------------------|--|-------------------|------|-----|------|-----------------------|------|------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | | | |
| Чистый пар (бессменно) | 0–20 | 0.78 | 0.17 | 4.7 | 21.3 | 2.7 | 15.4 | 2.2 | 89 | 980 | 163 |
| Ячмень (бессменно) | 0–20 | 1.09 | 0.21 | 4.8 | 22.3 | 3.1 | 15.0 | 3.0 | 88 | 1078 | 214 |
| Козлятник восточный (бессменно) | 0–20 | 1.44 | 0.28 | 4.9 | 18.3 | 2.8 | 12.9 | 3.8 | 87 | 1940 | 160 |
| Полевой восьмипольный севооборот | 0–20 | 1.04 | 0.26 | 5.2 | 21.4 | 2.4 | 12.0 | 1.8 | 90 | 1120 | 185 |
| Злаково-разнотравный луг | 0–20 | 1.25 | 0.20 | 4.8 | 21.2 | 2.2 | 13.9 | 2.5 | 91 | 1490 | 290 |
| Смешанный лес | 3–20 | 1.57 | 0.57 | 4.2 | 20.0 | 6.4 | 12.0 | 3.2 | 76 | 2660 | 168 |
| НСР ₀₅ | — | 0.09 | 0.04 | 0.2 | 1.3 | 0.2 | 0.4 | $F_{\phi} < F_{\tau}$ | | 120 | 36 |

Примечание. V – насыщенность основаниями.

тельно меньше, чем под лесом и залежью. Доля микробного углерода в общем углероде почвы варьирует от 1 до 15% [4, 24].

Важный процесс, характеризующий интенсивность протекающих биологических процессов в почве – азотфиксация. Азот – биогенный элемент, изменения и превращения которого в почве напрямую связаны с органическим веществом и микробиологической активностью почвы [16, 25, 28]. В агроэкосистемах биогеохимический цикл азота сильно нарушен из-за регулярных обработок почвы, внесения удобрений, применения севооборотов разных типов и выноса значительного количества азота с урожаем. Важнейшим источником поступления азота в почву служит биологический, фиксируемый микроорганизмами азот атмосферы, составляющий более половины общего количества этого элемента, поступающего в почву. Ацетиленовый метод показывает, что 70–80% культур бактерий, выделяемых из почвы на питательные среды, фиксируют азот. Способность азотфиксаторов активно размножаться в почве и проявлять свои многогранные качества весьма ограничена из-за дефицита легкодоступных органических веществ в почве и высокой требовательности микроорганизмов к условиям среды обитания [10, 12, 19].

Цель работы – оценить интенсивность продуцирования CO₂ почвенными микроорганизмами, содержание углерода микробной биомассы и экофизиологический статус микробного сообщества дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служила дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) естественных экосистем – под смешанным лесом, злаково-разнотравным лугом и агроэкосистем – под много-

летней бобовой культурой – козлятник восточный (*Galéga orientalis*) и длительных стационарных опытов. Лес смешанный хвойно-широколиственный с богатым травяным покровом. В древостое широко представлены береза, осина, режа клен, из хвойных – ель, пихта, сосна. Хорошо развит второй ярус и подлесок из рябины, липы, ольхи, черемухи и др. В напочвенном покрове преобладают кисличные, кислично-папоротниковые и разнотравно-злаково-папоротниковые растительные сообщества. Толщина лесной подстилки под пологом смешанного леса составляет около 3 см. Видовой состав травостоя естественного злаково-разнотравного луга: 62.0 – злаковые, 13.5 – бобовые, 24.5% – разнотравье. Травостой не отчуждается. Травостой козлятника 1988 г. посева используется для получения семян. После уборки семян солома отчуждается. В стационарных опытах, заложенных в 1977–1978 гг. на опытном поле Пермского НИИСХ ПФИЦ УрО РАН, для изучения выбраны варианты: чистый пар (бессменно), ячмень яровой (бессменно), восьмипольный полевой севооборот (чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница с подсевом клевера, клевер первого года пользования, клевер второго года пользования, ячмень, овес). Исследования проводили в вариантах без применения удобрений.

Дерново-подзолистая почва изучаемых естественных и агроэкосистем характеризуется очень низким и низким содержанием органического углерода (0.78–1.57%), сильно-, средне- и слабокислой реакцией среды (pH_{KCl} 4.2–5.2) высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора (160–290 мг/кг, по Кирсанову) (табл. 1). Сумма обменных оснований составила 18.3–22.3 смоль(экв)/кг, степень насыщенности основаниями – 76–91%. Варьирование свойств почвы зависело от степени окультуренности и характера растительного покрова.

Гранулометрический состав почвы (по Н.А. Качинскому) – тяжелосуглинистый. Содержание

Таблица 2. Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы, %

| Вариант | Пыль крупная 0.05–0.01 мм | Пыль средняя 0.01–0.005 мм | Пыль мелкая 0.005–0.001 мм | Ил <0.001 мм | Песок мелкий 0.25–0.05 мм | Песок средний 1.0–0.25 мм | Физическая глина <0.01 мм |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Чистый пар (бес-сменно) | 31.3 | 5.3 | 18.9 | 18.8 | 20.5 | 5.2 | 43.0 |
| Ячмень (бес-сменно) | 38.1 | 7.5 | 18.5 | 16.6 | 16.9 | 2.4 | 42.6 |
| Козлятник восточный (бес-сменно) | 28.8 | 9.6 | 16.9 | 17.1 | 23.1 | 4.6 | 43.6 |
| Полевой восьми-польный сево-оборот | 34.3 | 12.4 | 18.9 | 13.6 | 19.4 | 1.4 | 44.9 |
| Злаково-разно-травный луг | 25.7 | 10.7 | 15.7 | 19.0 | 22.3 | 6.6 | 45.4 |
| Смешанный лес | 15.3 | 9.6 | 17.5 | 16.6 | 32.3 | 8.6 | 43.7 |

физической глины – 42.6–45.4% (табл. 2). Частицы крупной пыли (0.01–0.05 мм) доминируют (кроме смешанного леса), на их долю приходится от 25.7 до 38.1% суммы всех фракций. Под смешанным лесом в составе гранулометрических фракций преобладает песок мелкий (0.25–0.05 мм) – 32.3%.

Почвенные образцы для исследования отбирали осенью ручным буром в слоях 0–20 см почвы в трех точках с каждой делянки. Содержание органического углерода в почве определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Лабильное органическое вещество исследовали методом Дьяконовой (извлечение углерода 0.1 М раствором $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при рН 7.0) [18].

Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) почвы оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы дополнительным источником углерода и энергии – глюкозой. Навеску почвы (1 г) помещали во флакон (объем 15 мл), добавляли раствор глюкозы (0.1 мл), результирующая концентрация которой составляла 10 мг/г, герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный глюкозой образец почвы инкубировали (3–5 ч при температуре 22°C), затем отбирали шприцем пробу газовой фазы из флакона и вводили в газовый хроматограф Chrom 5 (катарометр) для регистрации CO_2 . Время отбора газовой пробы также фиксировали. Скорость СИД выражали в мкл CO_2 /(г почвы ч). Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) почвы рассчитывали по формуле: $C_{\text{мик}}$ (мкг С/г почвы) = СИД (мкл CO_2 /(г почвы ч)) \times 40.04 + 0.37 [1, 3, 29].

Скорость базального (микробного) дыхания определяли в нативной (необогащенной) почве (24 ч, 22°C). Измерение базального дыхания (БД) выполняли как для СИД, а вместо раствора глю-

козы в почву вносили воду (0.1 мл/г). Скорость БД выражали в мкг С– CO_2 /(г ч) [1, 4].

Удельное дыхание микробной биомассы или микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$) рассчитывали как отношение БД/ $C_{\text{мик}}$ = $q\text{CO}_2$ (мкг CO_2 С/(мг $C_{\text{мик}}$ ч)) [29]. Также рассчитывали долю углерода микробной биомассы в составе органического углерода почвы, как отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ (%) [1].

Для определения потенциальной активности азотфиксации применяли ацетиленовый метод [28]. В почву добавляли глюкозу в количестве 1% от массы воздушно-сухого образца. Флаконы инкубировали 24 ч при температуре 28°C, после чего закрывали резиновыми пробками и внутрь каждого флакона вводили ацетилен. Через 2 ч инкубации с ацетиленом в пробах газовой смеси определяли количество этилена в ацетилене газовой хроматографическим методом. Количественные измерения проводили на хроматографе Chrom 5.

Измерения $C_{\text{орг}}$, СИД, БД, азотфиксации проводили в индивидуальных образцах в шестикратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные данные, полученные в условиях агроценозов и ненарушенных земель, дают возможность оценить характер изменений, вызываемых антропогенными воздействиями. Наиболее высокое содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$ 1.57%) в дерново-подзолистой почве отмечено под смешанным лесом (слой 3–20 см). Сравнение фитоценозов с бессменным чистым паром показывает наглядную зависимость обновления и воспроизводства $C_{\text{орг}}$ в почве от поступающего

Таблица 3. Экофизиологические показатели состояния микробного сообщества верхнего горизонта дерново-подзолистой почвы (среднее \pm стандартное отклонение)

| Вариант | БД | СИД | $C_{\text{мик}}$, мкг/г | $q\text{CO}_2$, мкг С–СО ₂ / (мг С _{мик} ч) | $\frac{C_{\text{мик}}}{C_{\text{орг}}}$, % | $\frac{C_{\text{мик}}}{C_{\text{лаб}}}$ Na ₂ P ₂ O ₇ , % | Азотфиксация, мкг С ₂ Н ₄ /(кг ч) |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|--|--|---|--|
| | мкг С–СО ₂ /(г ч) | | | | | | |
| Чистый пар (бес- сменно) | 1.62 \pm 0.56 | 9.1 \pm 2.2 | 366 \pm 88 | 4.4 | 4.7 | 21.5 | 11.53 \pm 2.38 |
| Ячмень (бессменно) | 2.02 \pm 0.36 | 10.3 \pm 1.03 | 413 \pm 42 | 4.9 | 3.8 | 19.7 | 15.54 \pm 1.74 |
| Козлятник восточ- ный (бессменно) | 2.75 \pm 0.34 | 29.5 \pm 5.57 | 1182 \pm 223 | 2.3 | 8.2 | 42.2 | 47.60 \pm 15.85 |
| Полевой восьми- польный севооборот | 2.86 \pm 0.28 | 13.8 \pm 2.54 | 554 \pm 102 | 5.2 | 5.3 | 21.3 | 32.1 \pm 3.87 |
| Злаково-разнотрав- ный луг | 2.77 \pm 0.35 | 14.3 \pm 1.47 | 571 \pm 59 | 4.8 | 4.6 | 28.6 | 62.14 \pm 11.38 |
| Смешанный лес | 3.13 \pm 0.30 | 30.9 \pm 3.42 | 1236 \pm 137 | 2.5 | 7.9 | 21.7 | 77.18 \pm 22.96 |

органического материала. Почва, находящаяся под чистым паром с 1977 г., характеризовалась минимальным для данной климатической зоны уровнем органического углерода, его содержание было в 1.3–2.0 раза меньше, чем в почвах естественных экосистем и в вариантах, с возделыванием культур. Среди пахотных почв по количеству органического вещества выделился вариант с многолетней бобовой культурой – козлятником восточным ($C_{\text{орг}}$ 1.44%).

В соответствии со сложившимися представлениями потенциальное плодородие определяется общими запасами органического вещества, а эффективное содержанием лабильного, в котором сосредоточен ближайший резерв необходимых растениям элементов питания [8, 24, 27]. Максимальное содержание лабильного органического вещества ($C_{0.1\text{M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$) также отмечено в почве под смешанным лесом – 0.57%. Доля от общего количества $C_{\text{орг}}$ составила 36%. Минимальное содержание $C_{0.1\text{M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$ в пахотных почвах характерно для бессменного чистого пара и при бессменном возделывании ячменя (42 года) 0.17–0.21%. При возделывании культур в севообороте и под козлятником восточным количество лабильного органического вещества было выше в 1.2–1.6 раза. Доля $C_{0.1\text{M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$ от общего содержания $C_{\text{орг}}$ в почвах агроэкосистем варьировала от 19 до 25%. В почве разнотравно-злакового луга отмечена наименьшая доля $C_{0.1\text{M Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$ – 16%.

В зависимости от типа землепользования количество $C_{\text{мик}}$ в почве варьировало от 366 до 1236 мкг/г (табл. 3). Максимальное содержание $C_{\text{мик}}$ отмечено в почве под смешанным лесом. Под злаково-разнотравным лугом количество $C_{\text{мик}}$ было в 2.2 раза меньше. Возделывание полевых культур в сево-

обороте позволило поддержать содержание микробной биомассы на уровне целинной почвы злаково-разнотравного луга. Многолетнее (42 года) парование дерново-подзолистой почвы (интенсивная механическая обработка и отсутствие поступления растительных остатков) обусловило минимальное содержание микробной биомассы (в 3.4 раза меньше, чем под лесом). При бессменном возделывании ячменя поступление в почву растительных остатков даже в незначительном количестве несколько замедлило скорость минерализации органического вещества и соответственно увеличило содержания $C_{\text{мик}}$. По сравнению с бессменным чистым паром количество микробной биомассы было выше на 12.7%. Возделывание козлятника восточного на одном месте более 30 лет позволило поддерживать содержание микробной биомассы на уровне почвы под лесом. Установлена очень высокая корреляционная зависимость $C_{\text{мик}}$ с $C_{\text{орг}}$ ($r = 0.90$), и высокая с его лабильной фракцией ($r = 0.79$).

Доля углерода микробной биомассы в составе органического углерода почвы – важный показатель качества органического вещества. Он характеризует состояние и разнообразие микробного сообщества, а также степень его зрелости [32]. Минимальная доля углерода микробной биомассы в составе органического вещества почвы отмечена под бессменным ячменем (3.8%), что свидетельствует об обеднении исследуемой почвы различными эколого-трофическими группами микроорганизмов из-за отсутствия легкодоступного органического вещества. Наиболее благоприятные условия для развития почвенных микробиоценозов выявлены в почве под многолетней бобовой культурой, где содержание микробной биомассы составило 8.2% от общего содержания $C_{\text{орг}}$ и 42.2%

от лабильного. Растительные остатки козлятника восточного имеют благоприятный химический состав и являются легкогидролизуемым субстратом для почвенных микроорганизмов. В почве под смешанным лесом содержание $C_{0.1M Na_4P_2O_7}$ в 2 раза больше, чем под козлятником, однако характеризуется меньшей доступностью для почвенных микроорганизмов, о чем свидетельствует более низкая доля $C_{мик}$ в его составе 21.7%.

В дерново-подзолистой почве скорость БД была максимальной в почве под смешанным лесом и составила 3.13 мкг С–СО₂/(г ч). Минимальные значения БД были получены в бессменном пару и при бессменном возделывании ячменя и соответствовали 1.62 и 2.02 мкг С–СО₂/(г ч). На одном уровне БД было определено в почве севооборота, под бобовой культурой и злаково-разнотравным лугом. Установлена высокая корреляционная зависимость БД с $C_{орг}$ ($r = 0.81$) и средняя с его лабильной фракцией ($r = 0.67$). Аналогичные результаты получены в исследованиях [22]. В работе [7] между показателями БД и $C_{орг}$ и $C_{мик}$ и $C_{орг}$ отмечена слабая корреляция ($r = 0.28–0.36$).

Микробный метаболический коэффициент, в котором одновременно отражены изменения базального дыхания и микробной биомассы почвы, можно отнести к интегральным показателям биологического состояния почв. Он количественно описывает экофизиологический статус микробного сообщества и чувствителен к нарушениям в почве, по его величине можно прогнозировать продолжительность и глубину нарушений в экосистемах [1, 2, 5, 6, 26]. Высокая величина qCO_2 характерна для молодых и сильнонарушенных экосистем, более низкая – для старых или стабильных экосистем. Высокое qCO_2 может быть также связано с большей скоростью отмирания микробной биомассы. Наиболее низкое удельное дыхание микробной биомассы зафиксировано в почве под смешанным лесом и бобовой многолетней культурой – 2.3 и 2.5 мкг С–СО₂/(мг $C_{мик}$ ч), что свидетельствует об устойчивости данных экосистем. Удельное дыхание микробной биомассы в почве под севооборотом, бессменным паром, бессменным ячменем и злаково-разнотравным лугом варьировало в пределах 4.4–5.2 мкг С–СО₂/(мг $C_{мик}$ ч). Полученные результаты подтверждаются данными [1], где показано, что микробный метаболический коэффициент на пашне был в 2–3 раза выше, чем на целинной почве. Между углеродом микробной биологической массы и интегральным показателем qCO_2 установлена очень сильная отрицательная корреляционная зависимость ($r = -0.92$), что говорит об увеличении qCO_2 для почв с низкой микробной биомассой. Такая закономерность была отмечена в работах [7, 34, 36].

Потенциальная азотфиксирующая активность микробных сообществ дерново-подзолистой почвы возрастала с повышением содержания органического углерода в почве и его лабильной составляющей и была максимальной в почве под лесом и лугом (77.18 и 62.14 мкг С₂Н₄/к(г ч)). Установлена высокая корреляционная зависимость с $C_{орг}$ ($r = 0.87$) и его лабильной фракцией ($r = 0.73$). Азотфиксация пахотных почв была 1.6–6.7 раза ниже. В работе [23] отмечено, что восстановление процессов азотфиксации дерново-подзолистой почвы в условиях залежи (по сравнению с лесной экосистемой) не происходило даже спустя 13 лет после прекращения внесения минеральных удобрений и известкования. В бессменном пару зафиксирован минимальный уровень фиксации молекулярного азота – 11.53 мкг С₂Н₄/к(г ч). Отмечено уменьшение в 2 раза азотфиксирующей активности микроорганизмов в почве под бессменным ячменем относительно почвы под севооборотом, что возможно связано с поступлением небольшого количества растительных остатков с высоким содержанием целлюлозы и обедненным азотом. Установлена высокая степень фиксации молекулярного азота атмосферы свободноживущими азотфиксаторами и клубеньковыми бактериями под козлятником восточным (47.60 мкг С₂Н₄/к(г ч)). Потенциальная азотфиксирующая способность почвы уменьшалась в ряду: смешанный лес–злаково-разнотравный луг–козлятник восточный–севооборот–бессменный ячмень–бессменный чистый пар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дерново-подзолистой почве под смешанным лесом установлено наибольшее содержание органического углерода (1.57%), его лабильной фракции (0.57%), углерода микробной биомассы (1236 мкг/г), максимальная скорость продуцирования СО₂ (3.13 мкг С–СО₂/(г ч)) и азотфиксация (77.18 мкг С₂Н₄/к(г ч)). Отмечено низкое удельное дыхание микробной биомассы в почве – 2.5 мкг С–СО₂/(мг $C_{мик}$ ч), что свидетельствует об устойчивости и стабильности данной экосистемы. Многолетнее (42 года) парование дерново-подзолистой почвы (интенсивная механическая обработка и отсутствие поступления растительных остатков) обусловило минимальное содержание органического вещества, микробной биомассы, базальное дыхание и азотфиксацию (в 1.9–6.7 раза меньше, чем под лесом). При бессменном возделывании ячменя и возделывании полевых культур в севообороте поступление в почву растительных остатков (даже в незначительном количестве) замедлило скорость минерализации органического вещества и соответственно увеличило содержания $C_{мик}$ и микробную дыхательную активность.

Количество общего органического углерода, микробная биомасса, скорость продуцирования CO_2 по сравнению с бессменным паром возросли в 1.1–1.7 раза. Лучшие условия функционирования и более слабую степень нарушения устойчивости микробного сообщества среди рассматриваемых пахотных почв наблюдали при длительном возделывании многолетней бобовой культуры – козлятника восточного. Содержание органического вещества, углерода микробной биомассы и метаболический микробный коэффициент под козлятником соответствовали почве лесной экосистемы. Показано, что количество и качество органического субстрата, поступающего в почву при ее различном землепользовании, определяет содержание микробной биомассы и базальное дыхание. Установлена высокая корреляционная зависимость углерода микробной биомассы и базального дыхания с общим содержанием органического углерода ($r = 0.81-0.90$) и высокая и средняя – с его лабильной фракцией ($r = 0.67-0.79$).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Н.Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
2. *Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С.* Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1233–1241.
3. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327–1333.
4. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольников Е.В.* Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биоценозов и коренных ельников Южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1109–1116.
5. *Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С.* Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. 2002. № 5. С. 580–587.
6. *Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякишина Т.Н.* Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // Почвоведение. 1995. № 2. С. 205–210.
7. *Гавриленко Е.Г., Сусьян Е.А., Ананьева Н.Д., Макаров О.А.* Пространственное варьирование содержания углерода микробной биомассы и микробного дыхания почв южного Подмосковья // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1231–1245.
8. *Ганжара Н.Ф.* Гумус, свойства почв и урожай // Почвоведение. 1998. № 7. С. 812–819.
9. *Гончарова О.В., Телеснина В.М.* Биологическая активность постагрогенных почв (на примере Московской области) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2010. № 4. С. 24–31.
10. *Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умарова М.М.* Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038>
11. *Дубенок Н.Н., Бородыхин В.В., Лытов М.Н. и др.* Формирование бездефицитного баланса азота в почве при возделывании бобовых культур // Агротехнический вестник. 2007. № 5. С. 10–13.
12. *Егоров В.С.* Последствие разных систем удобрения на процессы несимбиотической азотфиксации и денитрификации на дерново-подзолистой почве // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. №1. С. 13–16.
13. *Жукова А.Д., Хомяков Д.М.* Показатели микробного дыхания в почвенном покрове импактной зоны предприятия по производству минеральных удобрений // Почвоведение. 2015. № 8. С. 984–992.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15080122>
14. *Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н.* Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.
15. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 445 с.
16. *Кудеяров В.Н., Курганов И.Н.* Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1112–1121.
17. *Лыков А.М., Еськов А.Л., Новиков М.П.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М., 2004. 630 с.
18. Методы определения активных компонентов в составе гумуса. М.: ВНИИА, 2010. 34 с.
19. *Никитишен В.И., Личко В.И.* Баланс азота в агроэкосистемах на серых лесных почвах при длительном внесении удобрений // Почвоведение. 2008. № 4. С. 481–493.
20. *Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г.* Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706–714.
21. *Полянская Л.М., Лукин С.М., Звягинцев Д.Г.* Изменение состояния микробной биомассы при окультуривании // Почвоведение. 1997. № 2. С. 206–212.
22. *Приходько В.Е., Сиземская М.Л.* Базальное дыхание и состав микробной биомассы целинных, агролесомелиорированных полупустынных почв Северного Прикаспия // Почвоведение. 2015. № 8. С. 974–983.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15080043>
23. *Сазанов С.Н., Манучарова М.В., Горленко М.В., Умаров М.М.* Естественное восстановление микробиологических свойств дерново-подзолистой почвы в условиях залежи // Почвоведение. 2005. № 5. С. 575–580.

24. Семёнов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
25. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 136 с.
26. Фрунзе Н.И. Респираторная активность микробных сообществ пахотного чернозема Молдовы // Агрохимия. 2018. № 4. С. 59–64
<https://doi.org/10.7868/S0002188118040087>.
27. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21–27.
28. Эмер Н.Р., Семёнов А.М., Зелёнов В.В., Зинякова Н.Б., Костина Н.В., Голиченков М.В. Ежесуточная динамика численности и активности азотфиксирующих бактерий на участках залежной и интенсивно возделываемой почвы // Почвоведение. 2014. № 8. С. 963–970.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14080024>
29. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215–221.
30. Andrews S.S., Carroll C.R. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management // Ecological Applications. 2001. V. 11. P. 1573–1585. <https://doi.org/10.2307/3061079>
31. Doran J.W. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // Appl. Soil Ecol. 2000. V. 15. P. 3–15
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
32. Insam H., Domsch K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites // Microb. Ecol. 1988. № 15. P. 177–188.
33. Knoepp J.D., Coleman D.C., Crossley D.A., Clark J.S. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use // Forest Ecol. Managem. 2000. V. 138. P. 357–368.
34. Santruckova H., Sraskraba M. On the relationship between specific respiration activity and microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1991. V. 23. № 6. P. 525–532.
35. Seybold C.A., Herrick J.E., Brejda J.J. Soil Resilience: A Fundamental component of soil quality // Soil Science. 1999. V. 194. № 4. P. 224–234.
36. Winter K., Beese F. The spatial distribution of soil microbial biomass in a permanent row crop // Biol. Fertil. Soils. 1995. V. 19. № 4. P. 322–326.

Microbial Biomass, Respiratory Activity and Nitrogen Fixation in Soddy-Podzolic Soils of the Pre-Urals Area under Various Agricultural Uses

N. E. Zavyalova^{1, *}, M. T. Vashieva¹, and D. S. Fomin¹

¹Perm Agriculture Institute of Russian Academy of Sciences, Lobanovo, 614532 Russia

*e-mail: nezavyalova@gmail.com

Indicators of microbiological activity of virgin (mixed forest, grass and grass meadow) and arable (permanent black fallow, permanent barley crop, field crop rotation, perennial legume crops) soddy-podzolic soils (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Cutanic)) of Perm oblast were studied. Depending on the type of land use, the content of organic carbon (bichromate oxidation method) in the soil varied from 0.78 to 1.57%, carbon microbial biomass (substrate-induced respiration method) from 366 to 1236 µg/g, basal respiration rate – from 1.62 to 3.13 mcg C–CO₂/g h and nitrogen-fixing ability (acetylene method) – from 11.53 to 77.18 mcg C₂H₄/kg h. The maximum values of the studied parameters were noted in the soil under the mixed forest, the minimum ones – in a permanent fallow (42 years). In the soil under forest, a low specific respiration of microbial biomass – 2.5 µg C–CO₂/mg Cmic h, was recorded, which indicates the stability and maturity of this ecosystem. The most stable functioning of the microbial community among the arable soils under consideration was observed during the long-term cultivation of a perennial legume crop (30 years), namely, oriental goatling (*Galega orientalis*). The content of organic matter, carbon, microbial biomass and specific microbial respiration under vetch were close to those of the soil of the forest ecosystem. A high and medium correlation dependence of microbial biomass carbon and basal respiration with total content of organic carbon and its labile fraction was found.

Keywords: soil organic carbon, carbon microbial biomass, basal respiration, microbiocenosis, nitrogenase activity