

**ПОЧВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ
С БИОУГЛЕМ**

Е. Я. Рижия, Ю. В. Хомяков, И. М. Мухина, М. А. Москвин, Т. А. Гурова
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14
E-mail: alenarizh@yahoo.com

Поступила в редакцию 30 мая 2019 г. принята к печати 28 августа 2019 г.

В 80-дневном лабораторном эксперименте оценивалось влияние древесного биоугля, внесенного в дерново-подзолистую супесчаную почву в дозе 1% от веса почвы как отдельно, так и совместно с азофоской, на динамику почвенно-биологических процессов азотно-углеродного цикла. Схема эксперимента включала четыре варианта в 9-кратной повторности: (1) контроль; (2) биоуголь в дозе 1% от веса почвы; (3) азофоска из расчета 90 кг азота на гектар; (4) смесь биоугля и азофоски. Инкубация проводилась в пластиковых сосудах объемом 1 л в условиях постоянной температуры ($\pm 28^\circ\text{C}$) и влажности почвы (23%). С использованием стандартных физиологических, хроматографических и химических методов изучены биологическая активность почвы, содержание углерода микробной биомассы (Смик), концентрация аммонийного и нитратного азота, а также эмиссия диоксида углерода (CO_2) и закиси азота (N_2O). Установлено, что внесение биоугля существенно ($P < 0,05$) увеличило количество Смик, а затраты энергии на формирование единицы микробной биомассы были достоверно ниже ($P < 0,05$), чем в почвах без мелиоранта. Биоуголь не оказал существенного влияния на динамику концентрации обменного аммония в почве, но увеличил содержание нитратов в 1,2–2 раза через месяц инкубирования, а также способствовал сокращению на 20–36% эмиссии N_2O из почвы. Применение биоугля в эксперименте позволило выявить его положительное влияние на почвенно-биологические процессы, приводящие к снижению эмиссии парниковых газов и потере элементов минерального питания, что дает возможность рекомендовать его в качестве мелиоранта для управления качеством почв.

Ключевые слова: древесный биоуголь, мелиорант, минеральный азот, углерод микробной биомассы, эмиссия парниковых газов.

SOIL BIOLOGICAL PROCESSES IN SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL WITH BIOCHAR

Е. Ya. Rizhiya, Yu. V. Khomyakov, I. M. Mukhina, M. A. Moskvina, T. A. Gurova
Agrophysical Research Institute,
14 Grazhdanskiy pr., Saint Petersburg, 195220
E-mail: alenarizh@yahoo.com

The effect of wooden biochar, introduced into sod-podzolic sandy loam soil at the rate of 1% of the soil weight, both separately and in combination with mineral fertilizer, on the dynamics of the soil biological processes of the nitrogen-carbon cycle was evaluated in an 80-day laboratory experiment. The experiment scheme included 4 treatments in 9 replicates: (1) control; (2) biochar at a rate of 1% by weight of the soil; (3) mineral fertilizer at the rate of 90 kg of nitrogen per hectare; (4) a mixture of biochar and mineral fertilizer. Incubation was carried out in 1-liter plastic containers under constant temperature ($\pm 28^\circ\text{C}$) and soil moisture (23%). The content of microbial biomass carbon (Cmic), the concentration of ammonium and nitrate nitrogen, as well as the emission of carbon dioxide (CO_2) and nitrous oxide (N_2O) were studied using standard physiological, chromatographic and chemical methods. It was established that the introduction of biochar significantly ($P < 0.05$) increased the amount of microbial biomass carbon, and the energy consumption for the formation of a microbial biomass unit was significantly lower ($P < 0.05$) than in soils without biochar. Biochar did not have a significant effect on the dynamics of the exchangeable ammonium concentration in the soil, but increased the nitrate content 1.2–2 times after one month of incubation, and also contributed to a 20–36% reduction in N_2O emissions from the soil. The use of biochar in the experiment had a positive effect on soil biological processes, leading to a decrease in greenhouse gas emissions and loss of mineral nutrients, which allows to recommend biochar as an ameliorant for soil quality management.

Keywords: wooden biochar, ameliorant, mineral nitrogen, microbial biomass carbon, greenhouse gas emissions.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно многочисленным литературным данным, все биоугли, полученные из возобновляемой биомассы путем высоко температурного бескислородного пиролиза, характеризуются высоким содержанием гетероциклических соединений углерода и обладают высоким потенциалом к секвестрации

атмосферного углерода в почвах (McCormack et al., 2013), но при этом по-разному влияют на физико-химические, физические и химические показатели почв. Так как биоуголь отличается высокой устойчивостью к трансформации и адсорбционной способностью, а основная масса химических элементов, входящих в его состав, недоступна

микроорганизмам и растениям, возникает необходимость выявления механизмов взаимодействия данного продукта с почвой и биотой (Van Zwieten et al., 2010; Lehmann et al., 2011).

К настоящему времени установлено, что внесенный в почву биоуголь изменяет абиотические факторы среды обитания почвенных микроорганизмов, например, снижает кислотность почвы, уменьшает число анаэробных участков и поддерживает оптимальную влажность почвы. Из-за высокой пористости биоуголь служит своеобразной матрицей для микроорганизмов, защищая их от пересыхания и антагонистических взаимоотношений, а также является источником лабильного органического вещества, макро- и микроэлементов, влияющих на состав микробного сообщества (Anderson et al., 2011; Darby et al., 2016).

Для обоснования эффективности использования карбонизированных мелиорантов в сельском хозяйстве необходимо располагать достоверными данными о трансформации соединений углерода (С) и азота (N), ассоциированных с почвенными микроорганизмами. Цель данного исследования – оценка трансформации соединений С и N в дерново-подзолистой супесчаной почве при внесении древесного биоугля. Полученные сведения о роли микробной биомассы, концентрации минерального азота и эмиссии CO₂ и N₂O почвой важны как интегральные показатели изменений, происходящих в агроэкосистеме, и могут использоваться для мониторинга почвенного плодородия и уменьшения потерь углерода и азота из почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась дерново-подзолистая супесчаная почва, отобранная из пахотного горизонта (0–22 см) на Агрофизическом стационаре Меньковского филиала ФГБНУ АФИ. Изучался биоуголь, полученный быстрым пиролизом древесины 2-го сорта (при температуре 550°C). Характеристика биоугля: C_{общ} – 874 г кг⁻¹; N_{общ} – 0,38 г кг⁻¹; водород – 0,028 г кг⁻¹; кислород – 42 г кг⁻¹; рН_{H₂O} – 7,6; зольность – 19%. В почву вносилась фракция биоугля с эффективным диаметром частиц менее 1 см. Закладка и проведение эксперимента проводились по ранее опубликованной методике (Рижия и др., 2017). Изучались следующие варианты: (1) биоуголь (Б) в дозе 0,43 г на сосуд, что соответствовало 10 т биоугля на один гектар; (2) нитроаммофоска (N90) в дозе 0,24 г на сосуд, что соответствовало 90 кг азота на га; (3) смесь биоугля и нитроаммофоски (N90 ± Б); (4) контроль (К) — почва без мелиоранта и удобрения. Опыт проводился в 9-кратной повторности. Сосуды располагались в случайном порядке в климатической камере (ТВЛ-К, 150, Инсофт, Россия), инкубация проводилась в

течение 90 дней при постоянной температуре воздуха (±28°C) и влажности почвы (23%).

Прямая эмиссия CO₂ и N₂O из почвы по вариантам эксперимента определялась методом закрытых камер. Интервал отбора смеси газов – через сутки на протяжении первых двух недель эксперимента, в последующие дни – 2–3 раза в неделю. Анализ концентрации CO₂ и N₂O проводился на хроматографе Carlo Erba Strumentazione 4130 (Италия). Образцы почвы из сосудов отбирались в динамике через каждые 10 дней эксперимента при помощи ручного микробура Эндельмана с режущим диаметром 1 см и высотой 10 см. Из каждого сосуда отбирались точечные пробы, которые затем смешивались в объединенную пробу. Все почвенные образцы высушивались при комнатной температуре для дальнейших анализов. В образцах определялось базальное (БД) и субстрат-индуцированное дыхание (СИД) (Anderson, Domsh, 1989). Углерод микробной биомассы (С_{мик}) почвы рассчитывался по формуле:

$$C_{\text{мик}}(\text{мкг С г}^{-1} \text{ почвы}) = \text{СИД}(\text{мкл CO}_2 \text{ г}^{-1} \text{ ч}^{-1}) \times 40,04 \pm 0,37.$$

Удельное дыхание микробной биомассы, или микробный метаболический коэффициент (qCO₂), определялось как отношение: qCO₂ = БД/С_{мик}, нитратный азот в почве — фотометрическим методом в вытяжке 1н KCl по ГОСТ 26488-85, аммонийный азот – фотометрическим индофенольным методом в вытяжке 1н KCl по ГОСТ 26489-86.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ «Microsoft Excel» и «Statistics 8.0», значения средних и стандартных отклонений вычислялись при уровне надежности – P ≤ 0,05. Достоверность различий средних значений оценивалась с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) и R-statistics при P ≤ 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характер динамики аммонийного азота (N-NH₄[±]) во всех вариантах эксперимента описывался классическим падением от начала инкубации почвы к ее окончанию (табл. 1), что свидетельствовало об ассимиляции его почвенной биотой, расходуемой аммиачный азот для формирования клеток. Концентрация N-NH₄[±] в почве с биоуглем существенно не отличалась от концентрации К (кроме первого дня инкубации и после 60-ти суток эксперимента). Внесение азофоски привело к ожидаемому достоверному (P < 0,05) увеличению концентрации азота аммония по сравнению с контролем (в среднем в 2,7 раза). Биоуголь, внесенный совместно с азофоской, не оказал влияния на концентрацию N-NH₄[±]. При этом до середины эксперимента в данном варианте опыта наблюдалась тенденция к снижению содержания аммония по сравнению с вариантом N90, а затем – к увеличению на 6–10% (табл.).

Таблица. Динамика аммонийного (N-NH₄⁺) и нитратного (N-NO₃⁻) азота в дерново-подзолистой супесчаной в вариантах опыта, мг/кг

Форма мин. азота	Вариант	Сутки инкубирования								
		1	10	20	30	39	49	59	69	80
		m±SD								
N-NH ₄ ⁺	К	27±3a	25±3a	20±3a	17±2a	14±2a	10±2a	8±1a	5±1a	4±1a
	Б	36±5b	27±3a	24±3a	20±2a	15±2a	14±1a	11±2a	8±1b	6±2b
	N90	94±6d	75±7b	60±7b	51±4b	33±4b	30±4b	23±2b	19±4c	17±2c
	N90±Б	81±4c	72±6b	58±5b	50±5b	37±3b	32±5b	25±3b	21±3c	19±3c
N-NO ₃ ⁻	К	5±2a	8±1a	12±2a	15±3a	18±4a	15±3a	13±2a	10±1a	8±3a
	Б	9±2b	13±2b	17±3b	21±4b	23±2b	24±4b	22±4b	19±4b	16±4b
	N90	33±3c	57±5c	68±7c	55±8c	47±6c	40±7c	34±6c	27±5c	22±4c
	N90±Б	34±2c	54±4c	69±5c	75±6d	69±5d	51±8d	48±5d	36±7d	28±5d

Примечание. К – контроль (почва без удобрений и биоугля); Б – почва с биоуглем из расчета 10 т га⁻¹; N90 – почва с нитроаммофоской из расчета 90 кг N га⁻¹; N90±Б – почва с совместным внесением биоугля и минерального удобрения; m±SD – средняя арифметическая величина азота ± стандартное отклонение; средние значения с разными буквенными обозначениями (a, b, c и d) существенно различаются при p < 0,05 (критерий Тьюки).

Отсутствие существенных различий в динамике N-NH₄⁺ между вариантами с биоуглем и без биоугля на протяжении большей части эксперимента объясняется изначально низким уровнем его содержания, поддерживаемым устоявшимся в почве соотношением микробиологических процессов, на которые не повлияло присутствие частиц биоугля. Подобные результаты были получены в исследованиях некоторых зарубежных ученых, изучавших влияние биоугля на концентрацию аммония в почве (Yao et al., 2012; DeLuca et al., 2009).

Во всех вариантах эксперимента концентрация нитратного азота (N-NO₃⁻) постепенно возрастала до середины эксперимента и снижалась к его концу (табл.). По абсолютному значению количество N-NO₃⁻ превосходило количество N-NH₄⁺, что свидетельствует о достаточно быстром его окислении в супесчаной почве в оптимальных условиях, и, кроме того, в эксперименте отсутствовали растения, которые могли бы активно использовать данную форму азота. В почве контрольного варианта содержание N-NO₃⁻ на протяжении всего периода наблюдений было существенно ниже (P < 0,05) – в 1,5–2 раза по сравнению с почвой с биоуглем, тогда как внесение минерального удобрения привело к ожидаемому увеличению его содержания в среднем в три раза по сравнению с контролем, а совместно с биоуглем – еще в 1,2 раза по сравнению с вариантом с минеральным удобрением. Подобная тенденция объясняется оптимизацией водно-воздушного режима и, соответственно, увеличением времени жизни нитрат-ионов в почве при внесении биоугля. Полученные

результаты согласуются с данными других исследователей (Yao et al., 2012; Рижия и др., 2015), изучавших влияние биоугля на содержание нитратного азота в различных почвах.

На рис. 1 представлена динамика углерода микробной биомассы (С_{мик}) по вариантам эксперимента. Содержание С_{мик} во всех вариантах опыта характеризовалось ниспадающей кривой. По изменению данного показателя в изучаемой почве варианты опыта можно расположить в следующий убывающий ряд: N90 ± Б > Б > N90 > К. В описываемом эксперименте внесение биоугля как отдельно, так и совместно с азотом привело к существенному повышению содержания С_{мик} (P < 0,05) – в среднем в 1,2 раза по сравнению с К и N90. Увеличение содержания С_{мик} в почве с биоуглем, по всей вероятности, связано с усилением минерализации почвенного лабильного вещества. Известно, что при внесении в почву органического вещества с широким соотношением C/N без минерального азота рост растений ингибируется, в то время как биомасса микроорганизмов возрастает, а внесение в почву только минерального азота снижает поток углерода через биомассу и доступность гумуса для микроорганизмов (Ананьева и др., 2002). В предшествующих исследованиях авторов по изучению совместного внесения биоугля с минеральными удобрениями было установлено, что бактерии интенсивно осуществляют процессы ассимиляции и увеличивают биомассу, которая в дальнейшем обеспечивает необходимым питанием последующих потребителей субстрата (Рижия и др., 2017).

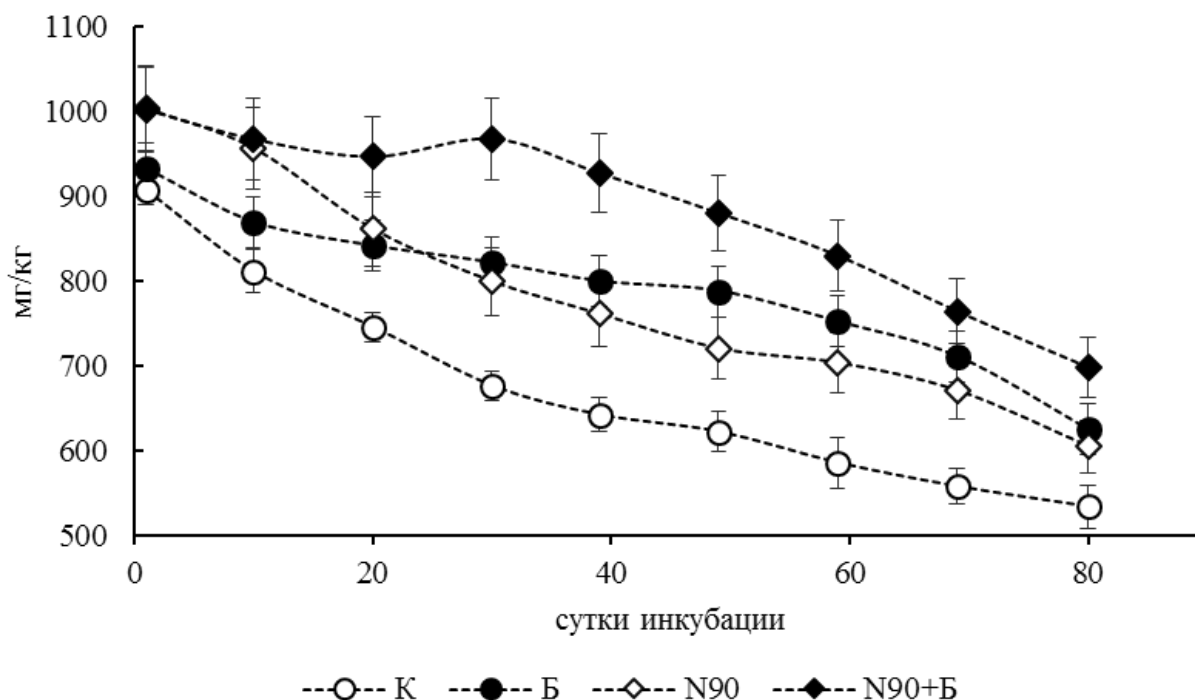


Рис. 1. Динамика углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) в вариантах опыта дерново-подзолистой супесчаной почвы. Расшифровка вариантов описана в примечании таблицы. Данные представлены в виде средних арифметических значений с доверительным интервалом при уровне значимости $P < 0,05$

Полученные данные согласуются с результатами расчетов эффективности использования доступного углерода микробным сообществом для формирования биомассы в почве, так называемого метаболического частного, или удельного микробного дыхания ($q\text{CO}_2$). Данный показатель характеризует степень устойчивости почвы к различным воздействиям и основной обмен (энергию поддержания) микробного сообщества почвы, поэтому он используется как индикатор его стресса. Чем меньше $q\text{CO}_2$, тем меньше затраты энергии микроорганизмов на содержание и формирование единицы биомассы и, соответственно, тем устойчивее микробное сообщество. Анализ средних данных за период эксперимента позволил выявить следующую тенденцию к снижению показателя по вариантам опыта:

$$K (5,4 \pm 0,2 \text{ мгCO}_2\text{-C мг}^{-1} \text{ час}^{-1}) > N90 (5,1 \pm 0,2) > B (4,8 \pm 0,1) > N90+B (4,6 \pm 0,1).$$

Таким образом, в вариантах без биоугля затраты энергии на формирование единицы биомассы были больше, и микробное сообщество почвы испытывало больший стресс по сравнению с вариантами с биоуглем, где складывались более комфортные условия для жизнедеятельности микроорганизмов.

Динамика среднесуточной эмиссии CO_2 из почвы по вариантам опыта в лабораторных условиях при постоянной температуре и влажности характеризовалась ниспадающей кривой после двукратного увеличения в первые сутки эксперимента

(рис. 2). Достоверных различий в эмиссии CO_2 из почвы между контрольным вариантом и вариантом с внесением биоугля не выявлено, так же, как и между вариантом с совместным внесением $N90 \pm B$ и вариантом с $N90$. Достоверные различия в эмиссии CO_2 из почвы наблюдались только между вариантами с минеральными удобрениями и без него. Результаты проведенных экспериментов согласуются с данными других исследователей, установивших, что эмиссия CO_2 из почвы зависит от особенностей органического материала, внесенного в почву, в частности от соотношения C/N , а биоуголь не оказывает на нее влияния (Van Zwieten et al., 2010). Гетероциклические соединения биоугля не подвергаются быстрой минерализации микроорганизмами, тогда как легкодоступный азот минерального удобрения усиливает микробиологическую активность и, как следствие, увеличивает эмиссию CO_2 из почвы.

На рис. 3 представлена динамика среднесуточной эмиссии N_2O из почвы по вариантам эксперимента. Как и в случае с эмиссией CO_2 , во всех вариантах происходило увеличение N_2O в первые сутки инкубирования и дальнейшее его снижение к концу эксперимента. При этом после 20-ти суток существенных различий между вариантами опыта практически не наблюдалось, а к 70–80-му дням эксперимента динамика N_2O свидетельствовала о начале пассивной фазы процесса, что послужило причиной окончания эксперимента.

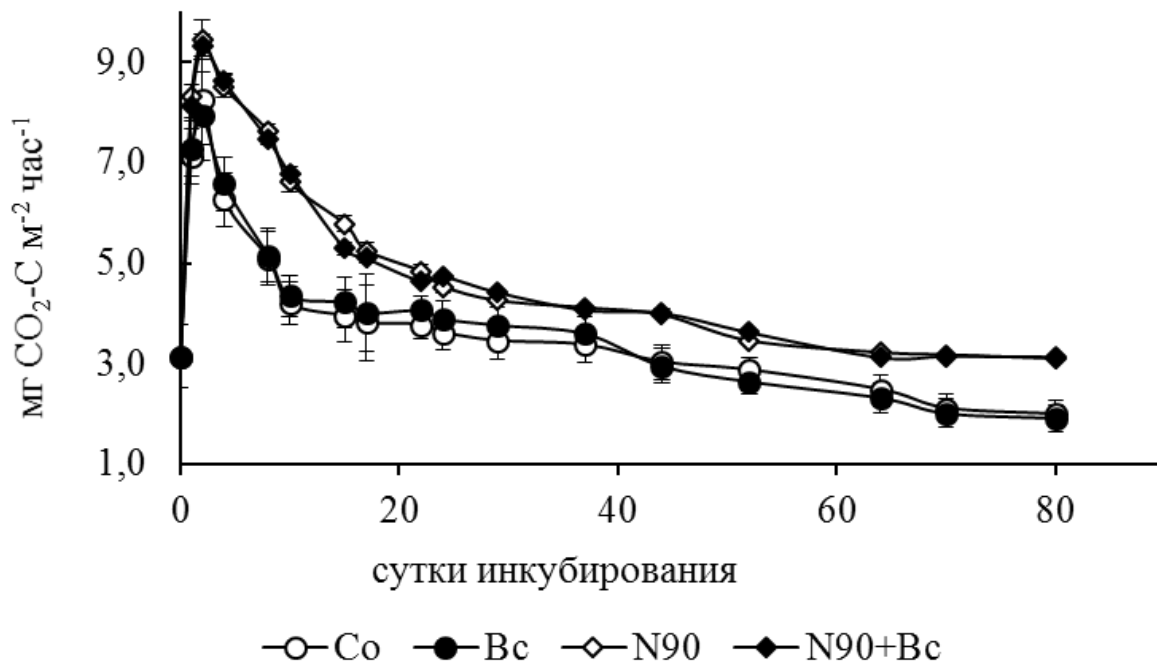


Рис. 2. Динамика среднесуточной эмиссии диоксида углерода из вариантов дерново-подзолистой супесчаной почвы (расшифровка вариантов описана в примечании таблицы). Данные представлены в виде средних арифметических значений с доверительным интервалом при уровне значимости $P < 0,05$

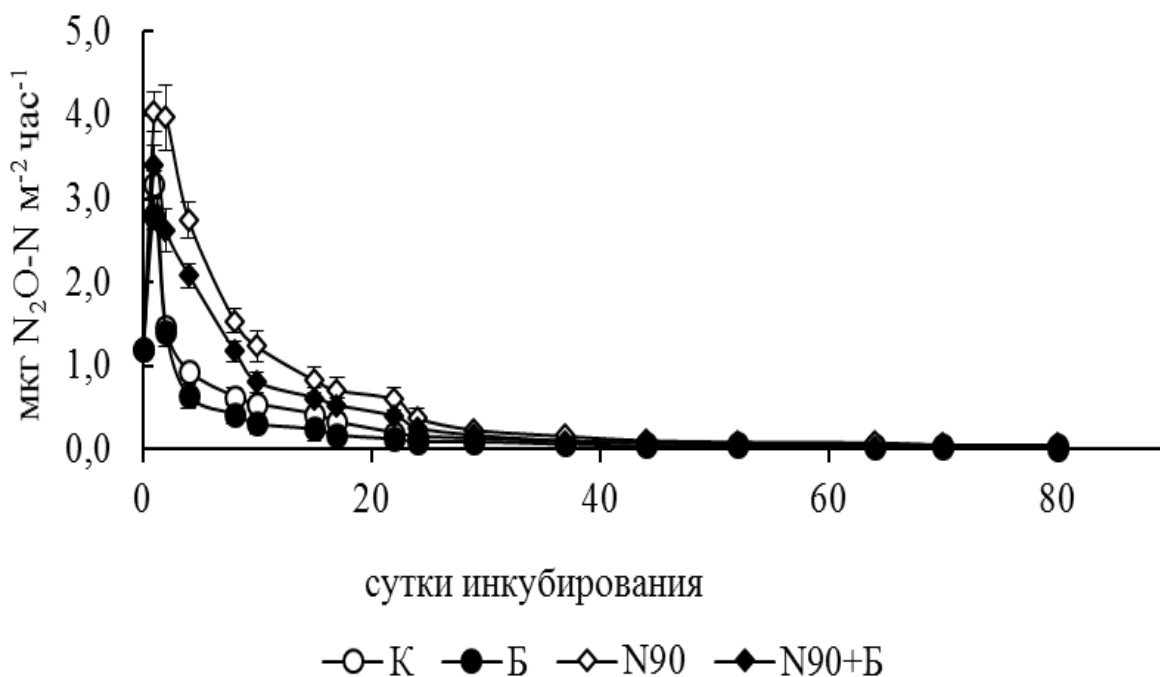


Рис. 3. Динамика среднесуточной эмиссии закиси азота (N_2O) из вариантов дерново-подзолистой супесчаной почвы (расшифровка вариантов описана в примечании таблицы). Данные представлены в виде средних арифметических значений с доверительным интервалом при уровне значимости $P < 0,05$

Максимальные значения эмиссии N_2O отмечались в варианте с минеральным удобрением, особенно в первые сутки эксперимента (4 мкг N_2O-N м⁻² час⁻¹). Совместное внесение $N90 \pm B$ привело к достоверному ($P < 0,05$) снижению эмиссии закиси азота в среднем на 20% по сравнению с вариантом с $N90$ и на 36% по сравнению с контролем. Результаты расчета кумулятивной эмиссии за период наблюдений

позволили расположить изучаемые варианты в следующий убывающий ряд: $N90 > N90 \pm B > K > B$ с существенными различиями между ними ($P < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение древесного биоугля в дерново-подзолистую супесчаную почву из расчета 1% от веса почвы привело к существенному ($P < 0,05$) снижению эмиссии закиси азота по сравнению с вариантами без

биоугля, но не повлияло на эмиссию диоксида углерода. Также биоуголь не оказал влияния на концентрацию аммонийного азота, однако способствовал увеличению содержания нитратов в почве и сохранению его высокого уровня к концу эксперимента, что имеет существенное значение для питания растений. Максимальное количество углерода микробной биомассы отмечено в вариантах с биоуглем, а расчет удельного микробного дыхания (qCO_2) показал, что затраты энергии на формирование единицы биомассы микроорганизмов в вариантах почвы без биоугля существенно выше, чем в вариантах

с биоуглем. Применение биоугля в эксперименте позволило выявить его положительное влияние на почвенно-биологические процессы, приводящие к снижению эмиссии парниковых газов и потерь элементов минерального питания, что дает возможность рекомендовать его в качестве мелиоранта для управления качеством почв.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, проект № 19-016-00038-А.

Список литературы

- 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.
- Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Мухина И.М., Белинец А.С., Балашов Е.В. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 211–220.
- Рижия Е.Я., Мухина И.М., Вертебный В.Е., Хорак Я., Конончук П.Ю., Хомяков Ю.В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 464–470.
- Anderson C.R., Condron L.M., Clough T.J., Fiers M., Stewart A., Hill R.A., Sherlock R.R. Biochar induced soil microbial community change: Implication for biochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus // *Pedobiologia*, 2011, no. 54(5–6), pp. 309–320.
- Anderson J.P.E., Domsh K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.*, 1989, no. 10, pp. 215–221.
- Blagodatsky S.A., Evdokimov I.V., Larionova A.A., Richter O. Microbial growth in soil and nitrogen turnover: a theoretical model considering the activity state of microorganisms // *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, no. 30(13), pp. 1743–1755.
- Darby I., Xu C.Y., Wallace H.M., Joseph S., Pace B., Bai S.H. Short-term dynamics of carbon and nitrogen using compost, compostbiochar mixture and organo-mineral biochar // *Environ Sci Pollut Res.*, 2016, v. 23, pp. 11267–11278.
- DeLuca T.H., MacKenzie M.D., Gundale M.J. Biochar effects on soil nutrient transformations // *Biochar for Environmental Management* / Eds. Lehmann J., Joseph S. Science and Technology. London: Earthscan, 2009, pp. 251–270.
- Grossman J.M., O'Neill B.E., Tsai S.M., Liang B., Neves E., Lehmann J., Thies J.E. Amazonian Anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy // *Microbial Ecology*, 2010, no. 60, pp. 192–205.
- McCormack S.A., Ostle N., Bargett R.D., Hopkins D.W., Vanbergen A.J. Biochar in bioenergy cropping systems: impacts of soil faunal communities and linked ecosystem processes // *Global Change Biology Bioenergy*, 2013, no. 5(2), pp. 81–95.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J. Biochar effects on soil biota – A review // *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, no. 43, pp. 1812–1836.
- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Downie A., Berger E., Rust J., Scheer C. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol // *Austr. J. Soil. Res.*, 2010, v. 48 (6-7), pp. 555–568.
- Yao Y., Gao B., Zhang M., Inyang M., Zimmerman A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil // *Chemosphere*, 2012, v. 89, pp. 1467–1471.

References

- Anan'eva N.D., Blagodatskaya E.V., Demkina T.S. Otsenka ustoichivosti mikrobynykh kompleksov pochv k prirodnyim i antropogennym vozdeistviyam [Estimating the resistance of soil microbial complexes to natural and anthropogenic impacts] // *Pochvovedenie*, 2002, no. 5, pp. 580–587.
- Rizhiya E.Ya., Buchkina N.P., Mukhina I.M., Belinets A.S., Balashov E.V. Vliianie biouglya na svoistva obraztsov dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy s raznoi stepen'iu okul'turennosti (laboratornyi eksperiment) [Effect of biochar on the properties of loamy sand spodosol soil samples with different fertility levels: a laboratory experiment] // *Pochvovedenie*, 2015, no. 2, pp. 211–220.
- Rizhiya E.Ya., Mukhina I.M., Verzebnyi V.E., Khorak Ya., Kononchuk P.Iu., Khomiakov Iu.V. Fermentativnaia aktivnost' i emissiia zakisi azota iz dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy s biouglem [Soil enzymatic activity and nitrous oxide emission from light-textured spodosol amended with biochar] // *Sel'skokhoziaistvennaya biologiya*, 2017, v. 52, no. 3, pp. 464–470.
- Anderson C.R., Condron L.M., Clough T.J., Fiers M., Stewart A., Hill R.A., Sherlock R.R. Biochar induced soil microbial community change: Implication for biochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus // *Pedobiologia*, 2011, no. 54 (5-6), pp. 309–320.

- Anderson J.P.E., Domsh K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.*, 1989, no. 10, pp. 215–221.
- Blagodatsky S.A., Evdokimov I.V., Larionova A.A., Richter O. Microbial growth in soil and nitrogen turnover: a theoretical model considering the activity state of microorganisms // *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, no. 30 (13), pp. 1743–1755.
- Darby I., Xu C.Y., Wallace H.M., Joseph S., Pace B., Bai S.H. Short-term dynamics of carbon and nitrogen using compost, compostbiochar mixture and organo-mineral biochar // *Environ Sci Pollut Res.*, 2016, v. 23, pp. 11267–11278.
- DeLuca T.H., MacKenzie M.D., Gundale M.J. Biochar effects on soil nutrient transformations // *Biochar for Environmental Management* / Eds. Lehmann J., Joseph S. Science and Technology. London: Earthscan, 2009, pp. 251–270.
- Grossman J.M., O'Neill B.E., Tsai S.M., Liang B., Neves E., Lehmann J., Thies J.E. Amazonian Anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy // *Microbial Ecology*, 2010, no. 60, pp. 192–205.
- McCormack S.A., Ostle N., Bargett R.D., Hopkins D.W., Vanbergen A.J. Biochar in bioenergy cropping systems: impacts of soil faunal communities and linked ecosystem processes // *Global Change Biology Bioenergy*, 2013, no. 5(2), pp. 81–95.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J. Biochar effects on soil biota – A review // *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, no. 43, pp. 1812–1836.
- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Downie A., Berger E., Rust J., Scheer C. Influence of biochars on flux of N₂O and CO₂ from Ferrosol // *Austr. J. Soil. Res.*, 2010, v. 48 (6-7), pp. 555–568.
- Yao Y., Gao B., Zhang M., Inyang M., Zimmerman A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil // *Chemosphere*, 2012, v. 89, pp. 1467–1471.

УДК 631.4
AGRP.2019.03.06

DOI: 10.25695/

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА

Н. А. Уланов

*ФГБУ «Кировская лугоболотная опытная станция»,
612097, Россия, Кировская обл., Оричевский р-н., п. Юбилейный, д. 33
E-mail: bolotoagro50@mail.ru*

Поступила в редакцию 22 мая 2019 г. принята к печати 28 августа 2019 г.

В работе представлены результаты исследований плодородия антропогенных почв, сформировавшихся в результате промышленной разработки торфомассива «Гадовское» с его последующим сельскохозяйственным освоением и использованием. Исследования проводились на нескольких полях одного из кормовых севооборотов выработанного торфомассива. Особенностью обследуемой территории является близкое расположение к поверхности почвы подстилающих минеральных пород, богатых кальцием. В результате комплексного обследования почвенных участков опытного поля установлено, что в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования земель в кормопроизводстве оставшиеся после выработки торфяные запасы истощились. На некоторой части опытного участка произошло обнажение минерального дна болота, тогда как в его складках мощность остаточного слоя торфа составляет более одного-двух метров. В процессе обследования участка выявлена и нанесена на карту горизонтально-пространственная почвенная пестрота, заключающаяся в неравномерном распределении по территории остаточных запасов торфа. Заложенные на опытном участке почвенные разрезы позволили наглядно продемонстрировать значительный разброс водно-физических, агрофизических и агрохимических показателей почвы в пределах как почвенного профиля, так и обследуемой территории. Среди особенностей исследуемого участка отмечены высокое содержание оснований в почвенном профиле, смещение обменной кислотности в щелочную сторону, а также низкое содержание подвижного алюминия. В работе также установлено негативное влияние остаточного торфа разной мощности на процесс формирования температурного режима приземного слоя воздуха и поверхности почвы. Отмеченные особенности опытного участка свидетельствуют о том, что он является наиболее подходящим объектом для практического применения технологий точного земледелия.

Ключевые слова: выработанные торфяники, кормопроизводство, почвенная пестрота, агрофизические свойства, агрохимические свойства.