

## ВНЕСЕНИЕ БИОУГЛЯ НЕОДНОЗНАЧНО ВЛИЯЕТ НА ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ПОЧВЫ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МИСКАНТУСА САХАРНОГО

Накарякова Д. Г.<sup>1</sup>, Малахеева А. В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – инженер Департамента наук о Земле и космосе  
Малахеева А. В.

<sup>1</sup>УрФУ им. Б. Н. Ельцина  
[nakaryakova.dasha@mail.ru](mailto:nakaryakova.dasha@mail.ru)

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема FEUZ-2024-0011).

### Введение

В настоящее время технология получения и внесения биоугля в почву рассматривается как один из перспективных подходов к регуляции концентрации парниковых газов в атмосфере [1]. В зависимости от природы исходного сырья и параметров пиролиза формируются биоугли, обладающие различными физико-химическими свойствами и, соответственно, разным потенциалом применения.

Так, биоугли, полученные из биомассы *Cannabis sativa* и *Amaranthus cruentus*, характеризуются высоким содержанием макроэлементов, повышенной зольностью и щелочной реакцией, что позволяет отнести их к категории биоуглей с мелиоративными свойствами. Напротив, биоугли из *Betula sp.* и *Miscanthus sacchariflorus* отличаются высокой долей устойчивых форм углерода и низким соотношением О/С (<0,2), поэтому они классифицированы как биоугли с секвестрационными свойствами, пригодные для долгосрочного связывания углерода в почве [2].

Особый интерес в контексте развития карбоновых ферм представляют высокотравные растения, такие как *M. sacchariflorus*, поскольку их биомасса может быть переведена в устойчивые к разложению формы, в частности – в биоуголь.

Целью работы являлась сравнительная оценка влияния биоуглей разного происхождения на эмиссию CO<sub>2</sub> из почвы, а также на накопление углерода в биомассе растений и в почве. Исследование включало два типа экспериментов: лабораторный (контролируемые условия) и полевой (естественные условия произрастания).

### Основная часть

Лабораторный эксперимент проводился в период с декабря 2023 по апрель 2024 года. Было заложено четыре варианта опыта: контроль (почва без добавок), почва с внесением биоугля из *Betula pendula*, почва с биоуглем из *M. sacchariflorus* и почва с биоуглем из *Amaranthus cruentus*. Биоуголь вносили в дозе 2% от массы субстрата. В половину экспериментальных сосудов с каждым вариантом субстрата высаживали корневища *M. sacchariflorus* для оценки влияния растений на эмиссионные процессы.

Полевой эксперимент был выполнен в период с июня по октябрь 2025 года на базе ботанического сада УрФУ. На площадке 50 м<sup>2</sup>, разделенной на делянки 1×1 м с трехкратной повторностью, были реализованы четыре варианта опыта с посадкой *M. sacchariflorus*: контроль (почва без биоугля), VI(Bet) – внесение биоугля из *Betula sp.*, VI(Mis) – внесение биоугля из *M. sacchariflorus* и VI(Can) – внесение биоугля из *Cannabis sativa*. Доза внесения биоугля составила 0,5% по массе (0,7 кг на делянку). Измерение эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности почвы проводили еженедельно с использованием газоанализатора Li-cog 7810 (всего 15 туров измерений).

Дополнительно в начале и в конце эксперимента определяли физико-химические свойства почвы и биоуглей.

Результаты лабораторного эксперимента показали, что внесение биоугля приводило к значимому снижению потока  $\text{CO}_2$  в среднем на 20% по сравнению с контролем. При анализе почвенного дыхания (в вариантах без растений) достоверных различий между разными типами биоуглей выявлено не было, однако каждый из вариантов с биоуглем значимо отличался от контроля. В то же время экосистемное дыхание (в присутствии растений) обнаружило четкую зависимость от свойств внесенного биоугля. Минимальные значения наблюдались в варианте с биоуглем из *Betula sp.* (секвестрационный тип) –  $0,309 \pm 0,018$  мкг С / (г\*час), промежуточные – с биоуглем из *M. sacchariflorus* ( $0,347 \pm 0,020$  мкг С / (г\*час)), а максимальные – с биоуглем из *A. cruentus* (мелиоративный тип), достигавшие  $0,395 \pm 0,022$  мкг С / (г\*час). Полученные различия, вероятно, связаны с тем, что мелиоративный биоуголь содержит больше питательных веществ, улучшает физико-химические свойства почвы и тем самым стимулирует рост растений и активность ризосферной микрофлоры, усиливая общую эмиссию  $\text{CO}_2$  [2].

В полевом эксперименте был получен противоположный эффект: почвенное дыхание во всех вариантах с внесением биоугля оказалось выше ( $4,49 \pm 0,18$  мкрМ  $\text{CO}_2$   $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ), чем в контроле ( $3,57 \pm 0,24$  мкрМ  $\text{CO}_2$   $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ). Средние значения эмиссии за весь период наблюдений составили: в варианте VI(Bet) –  $4,36 \pm 0,28$ ; VI(Can) –  $4,38 \pm 0,40$ ; VI(Mis) –  $4,47 \pm 0,77$  мкрМ  $\text{CO}_2$   $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Статистически значимые различия по критерию Тьюки были выявлены только между контролем и вариантом с внесением биоугля из мискантуса VI(Mis). Увеличение эмиссии в полевых условиях может объясняться присутствием в биоуглях легкоокисляемых форм углерода, которые активно разлагаются почвенной микрофлорой при попадании в почву. Анализ содержания органического углерода в почве полевого эксперимента показал, что в начале вегетационного периода значимо более высокие значения наблюдались только в варианте VI(Bet) по сравнению с контролем. К концу эксперимента эти различия нивелировались, а содержание углерода либо не изменялось.

Что касается влияния биоуглей на продукционные процессы, достоверных различий в накоплении биомассы *M. sacchariflorus* между вариантами не установлено ни в лабораторном, ни в полевом экспериментах. Вместе с тем, в полевом опыте была выявлена значимая отрицательная корреляция ( $r = -0,58$ ;  $p < 0,05$ ) между надземной массой растений и содержанием органического углерода в почве в конце сезона.

### Выводы

Таким образом, направленность и выраженность эффектов внесения биоугля зависят как от типа экспериментальных условий (лабораторные или полевые), так и от присутствия растений. Разнонаправленные результаты, полученные в лабораторном и полевом экспериментах, указывают на необходимость учета комплекса факторов при оценке потенциала биоуглей разного происхождения для целей секвестрации углерода и мелиорации почв.

### Литература

1. Lehmann J., Gaunt J., Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems // A Review. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 2006. V. 11. P. 395–419.
2. Малахеева А. В., Сморгалов И. А., Валдайских В. В., Веселкин Д. В., Бетехтина А. А. В лабораторном эксперименте с выращиванием *miscanthus sacchariflorus* внесение биоугля снижает поток  $\text{CO}_2$  из почвы // Экология. – 2025. – №3. – С. 173–182.