

## ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В УРБОГЕОСИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ г. БЕЛГОРОДА)

П. В. Голеусов

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Белгород, Россия, goleusov@bsu.edu.ru*

Представлены результаты мониторинга углекислого газа в Белгороде, проводимого с ноября 2022 г. на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ». Установлено, что в урбогеосистеме преобладают эмиссионные потоки, в некоторой степени компенсируемые фотосинтезом зеленых насаждений в вегетационный период. На озелененных территориях в мае и июне возможны отрицательные потоки, связанные с поглощением  $\text{CO}_2$ . Метод турбулентных пульсаций достаточно чувствителен к изменению состояния почвенно-растительного покрова на участке мониторинга. Проведенные исследования подтверждают перспективность управления углеродным балансом урбогеосистем.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг; урбогеосистемы; углекислый газ; карбоновые полигоны; метод турбулентных пульсаций.

**Введение.** В России реализуется проект Министерства науки и высшего образования по созданию карбоновых полигонов, которые предназначены для разработки и испытания технологий контроля углеродного баланса территорий, а именно оценки уровня эмиссии и поглощения парниковых газов экосистемами и их отдельными компонентами [1]. Фактически проект направлен на создание национальной сети мониторинга углеродного баланса в основных типах природных экосистем. При этом особое внимание уделяется экосистемам, активно поглощающим углерод (леса, болота), но также и антропогенно-преобразованным ландшафтам (сельскохозяйственные и постагрогенные экосистемы). В регионах с интенсивным развитием сельского хозяйства и промышленности, примером которых является Белгородская область, природные экосистемы не могут компенсировать антропогенные выбросы  $\text{CO}_2$  [2]. Поэтому целесообразно изучить возможности поглощения атмосферного углерода управляемыми экосистемами непосредственно вблизи эпицентров эмиссии. На решение этой задачи было направлено создание в 2022 году на территории ботанического сада НИУ «БелГУ» карбонового полигона, в рамках программы Министерства науки и высшего образования «Приоритет 2030». В настоящее время он является единственной в России площадкой, где в условиях

городского ландшафта ведутся мониторинг потоков углекислого газа в атмосферном воздухе, а также исследования газообмена антропогенно преобразованных и природных почв (в отношении  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), поглощения  $\text{CO}_2$  городской растительностью, накопления углерода в почве. В данном сообщении представлены результаты мониторинга интегральных потоков  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе на территории ботанического сада в сравнении с фоновыми потоками городской агломерации.

**Материалы и методы исследований.** Измерения проводятся с ноября 2022 г. методом турбулентных пульсаций (вихревых ковариаций, eddy covariance) с помощью 2 станций на основе инфракрасных газоанализаторов закрытого типа (LI-7200RSF) производства LI-COR (США), установленных на вышке высотой 48,6 м (рис. 1). Одна станция установлена на отметке 10 м и проводит измерения на уровне древесного полога, другая – на высоте 48 м проводит фоновые измерения. Вспомогательные измерения метеопараметров проводят ультразвуковые анемометры uSonic-3 Cage MP (Metek, Германия) и система датчиков Biomet производства LI-COR (США). Обработка данных ведется с помощью программного обеспечения EddyPro-7.0.9 с усреднением для 30-минутных интервалов. Для статистической обработки данных используются программы MS Excel и Statistica.



Рис. 1. Общий вид вышки на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ»

**Результаты и их обсуждение.** Карбоновый полигон НИУ «БелГУ» находится на водораздельной возвышенности с максимальной абсолютной отметкой территории 186 м, превышением над центральной частью города – долинами рр. Везелка и Северский Донец 66-70 м. Такое распо-

ложение и высота вышки в целом позволяют проводить фоновые измерения. Однако наличие крупных источников выбросов  $\text{CO}_2$  – цементного завода (более 860 тыс. т  $\text{CO}_2$  в год, данные ресурса Climate Trace, 2022 г.), Белгородской ТЭЦ (более 220 тыс. т  $\text{CO}_2$  в год), ТЭЦ «Луч» (более 150 тыс. т  $\text{CO}_2$  в год), а также крупных котельных, приводит к искажениям фоновых потоков. Эти данные отфильтровывали ручной обработкой при расчете среднемесячных значений концентрации и потоков.

На потоки  $\text{CO}_2$  оказали влияние работы, которые проводились на участке карбонового полигона общей площадью около 1 га: в 2023 г. поверхность была подвергнута планировке, сопряженной с нарушением почвенно-растительного покрова, с последующим посевом трав и посадкой деревьев. Это, с одной стороны, усилило эмиссию  $\text{CO}_2$  почвами, но также способствовало повышению интенсивности фотосинтеза в вегетационный период 2024 г.

На рис. 2 представлен график динамики среднемесячных значений потоков  $\text{CO}_2$  на высоте 10 м.

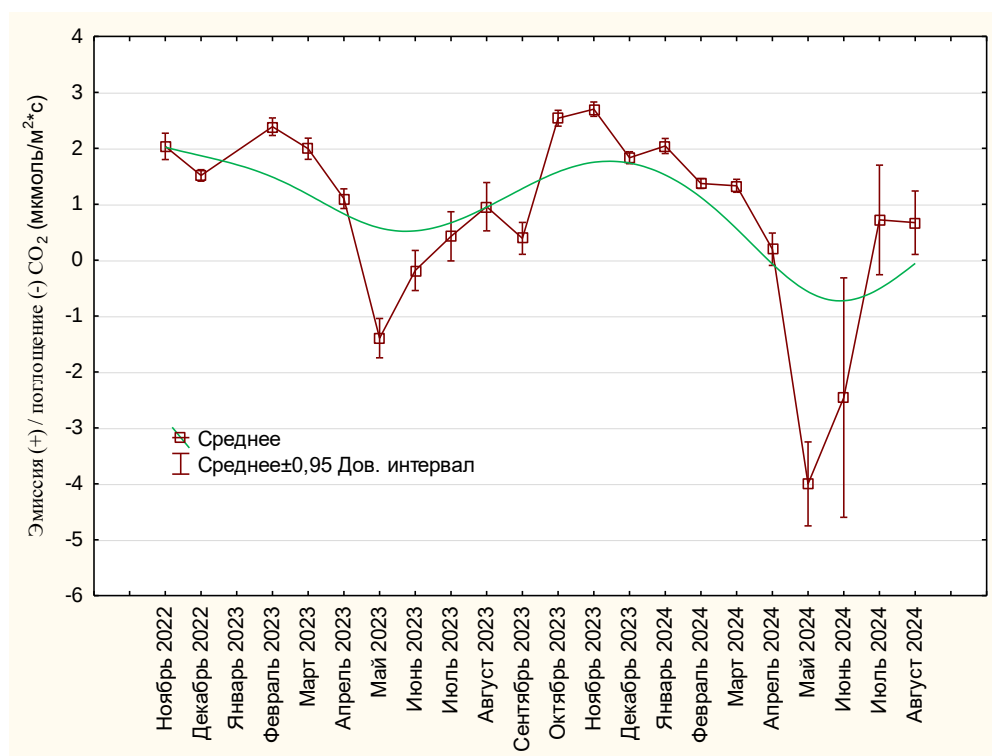


Рис. 2. Динамика потоков  $\text{CO}_2$  в приземном слое воздуха карбонового полигона на высоте 10 м

Как следует из рис. 2, в вегетационный период в мае и июне наблюдается преимущественное поглощение  $\text{CO}_2$  в результате фотосинтеза (в 2024 г. оно было более интенсивным, чем в 2023 г.), но в июле и августе

фотосинтез уже не перекрывает эмиссионных потоков. В остальные месяцы эмиссия превалирует и достигает максимумов в зимний период.

Обращает на себя внимание также и усиление variability потоков в вегетационный период, что связано с формированием явных суточных ритмов: рост поглощения  $\text{CO}_2$  днем и усиление эмиссии ночью. Особенно сильной изменчивостью характеризовались потоки  $\text{CO}_2$  в вегетационный период 2024 г. – по причине, указанной выше.

На рис. 3 представлена динамика потоков  $\text{CO}_2$  на высоте 48 м. Как и на высоте 10 м, заметно снижение эмиссии в вегетационный период, но в целом для города потоки остаются положительными весь период наблюдений, возрастая в отопительный сезон. Исключением стал май 2024 г., когда фоновые потоки  $\text{CO}_2$  свидетельствовали об углеродной нейтральности урбогеосистемы Белгорода.

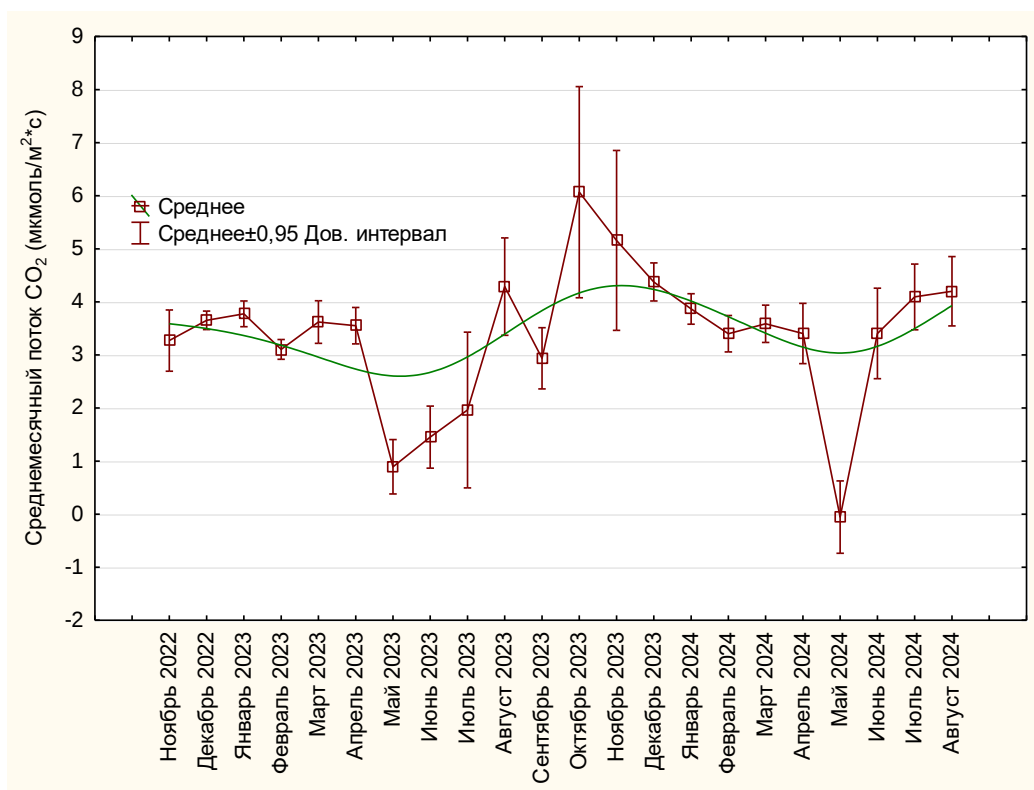


Рис. 3. Динамика потоков  $\text{CO}_2$  на высоте 48 м

**Заключение.** Мониторинговые исследования на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ» показывают перспективность ведения контроля углеродного баланса в урбогеосистемах. Для этого целесообразно проведение сопряженных измерений методом турбулентных пульсаций на опытных площадках и на высоте, на которой влияние геосистемных факторов интегрируется в фоновом состоянии углеродного баланса. Несмотря на преобладание эмиссионных потоков, в урбогеосистемах регистрируются также

и потоки поглощения CO<sub>2</sub> в вегетационный период. Это подчеркивает важность управления поглотительной способностью зеленых насаждений города, с использованием методов объективного контроля углеродного баланса.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00169 (<https://rscf.ru/project/23-17-00169/>)*

### **Библиографические ссылки**

1. Карбоновые полигоны [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/> (дата обращения 1.09.2024).
2. Голусов П. В. Предварительная оценка потенциала поглощения углекислого газа экосистемами Белгородской области [Электронный ресурс] // Успехи современного естествознания. 2023. № 12. С. 169-177. URL <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38188> (дата обращения 10.09.2024).