

Научная статья

Original article

УДК 504.3.054

doi: 10.55186/2413046X_2023_9_1_33

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПОТОКОВ УГЛЕ-
КИСЛОГО ГАЗА В БЕЛГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ
MEASUREMENT RESULTS OF CARBON DIOXIDE CONCENTRA-
TIONS AND FLUXES IN THE BELGOROD AGGLOMERATION**



Голеусов Павел Вячеславович, д.г.н., профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», E-mail: goleusov@bsu.edu.ru

Goleusov Pavel Vyacheslavovich, Doctor of Geography, Professor of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Belgorod National Research University, E-mail: goleusov@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты измерений концентрации и потоков углекислого газа в воздухе Белгородской агломерации, проведённые методом турбулентных пульсаций на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ» в 2023 г. Измерения были произведены на вышке высотой 48,6 м, на двух уровнях: 10 м и 48 м с помощью станций LI-COR, на основе инфракрасного газоанализатора закрытого типа (модель LI-7200RSF). Первый уровень характеризует углеродный баланс атмосферного воздуха на территории ботанического сада НИУ «БелГУ», второй уровень – воздух всего города. Данные представлены как среднемесячные значения, с оценкой варьирования. Максимальные концентрации и потоки зарегистрированы в осенний период. Поглощение углекислого газа было максимальным в мае и июне, однако оно

компенсировало эмиссию только на уровне крон древесных растений. В остальные месяцы преобладала эмиссия. В зелёных зонах города эмиссия достигает $2,7 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$, а поглощение $1,4 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$. В целом для города выделение углекислого газа может достигать $6,1 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$, в среднем за год $3,5 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$. Зелёные насаждения города не способны полностью компенсировать эмиссию CO_2 , но способны её снизить более чем в 2 раза в природоподобных экосистемах – таких, как ботанический сад НИУ «БелГУ».

Abstract. The article presents the measurements results of the concentration and fluxes of carbon dioxide in the air of the Belgorod agglomeration, carried out by the eddy covariance method at the carbon polygon of the Belgorod National Research University in 2023. The measurements were made on a tower 48.6 m high, at two levels: 10 m and 48 m using LI-COR stations, based on a closed-type infrared gas analyzer (model LI-7200RSF). The first level characterizes the carbon balance of atmospheric air on the territory of the botanical garden of the Belgorod National Research University, the second level – the air of the entire city. Data are presented as monthly averages, with variation assessed. Maximum concentrations and fluxes were recorded in the autumn. Carbon dioxide absorption was maximum in May and June, but it compensated for emissions only at the level of tree crowns. In the remaining months, emissions prevailed. In the green areas of the city, emission reaches $2.7 \text{ } \mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$, and absorption $1.4 \text{ } \mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$. In general, for the city, the emission of carbon dioxide can reach $6.1 \text{ } \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$, on average for the year $3.5 \text{ } \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$. Green spaces in the city are not able to completely compensate for CO_2 emissions, but they can reduce them by more than 2 times in nature-like ecosystems, such as the botanical garden of the Belgorod National Research University.

Ключевые слова: концентрация CO_2 , CO_2 -поток, метод турбулентных пульсаций, углеродный баланс, мониторинг, карбоновые полигоны

Keywords: CO_2 concentration, CO_2 fluxes, eddy covariance method, carbon balance, monitoring, carbon polygons

Введение

Города являются эпицентрами загрязнения атмосферы вследствие концентрации производства и коммунального хозяйства. Они также являются местами сосредоточенного на небольшом пространстве выброса парниковых газов, среди которых доминирует углекислый газ. В этой связи актуально ведение мониторинга концентрации и потоков углекислого газа в городских агломерациях [1], примером которой является город Белгород. В городе действуют крупные источники эмиссии углекислого газа, такие как Белгородская ТЭЦ, котельные Южная и Западная, цементный завод. При этом город уделяет значительное внимание озеленению городских территорий. В настоящее время на одного жителя Белгорода приходится не менее 35 м² зелёных насаждений [2], но они распределены неравномерно. Практически в центре городской агломерации расположен ботанический сад НИУ «БелГУ», где в 2022 г. в рамках реализации программы «Приоритет 2030» был создан карбоновый полигон. Его площадка является первой в рамках формируемой региональной сети мониторинга углеродного баланса [3], всего площадок планируется три, все – в антропогенно-преобразованных ландшафтах. В декабре 2023 г. на карбоновом полигоне НИУ «БелГУ» был завершён годичный цикл измерений потоков углекислого газа в урбогеосистеме Белгорода, результаты которых обсуждаются в данной статье.

Объекты и методы

Для расчёта баланса углерода экосистем наиболее адекватным экспериментальным методом является метод турбулентных пульсаций [4] (микрометеорологический метод, в зарубежной литературе eddy covariance, метод вихревых ковариаций), в котором производятся режимные синхронные измерения метеопараметров и концентрации углекислого газа. На карбоновом полигоне НИУ «БелГУ» данный метод реализован двумя станциями eddy covariance производства Li-COR на основе инфракрасного газоанализатора закрытого типа (LI-7200RSF), установленными на вышке на высотах 10 и 48 м. Вышка расположена в западной части ботанического сада на возвышенности

с абс. отметкой 186 м. Высота и расположение вышки позволяют контролировать значительную часть центра Белгородской агломерации (рис. 1).

Станция 10 м охватывает измерениями площадку полигона около 2 га, покрытую травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, проводит измерения на уровне крон фоновой древесной растительности. Основным антропогенным фактором, влияющим на эмиссию CO_2 на учётной площади полигона, является автомагистраль ул. Белгородской сирени, находящаяся на расстоянии 167 м от измерительной вышки.

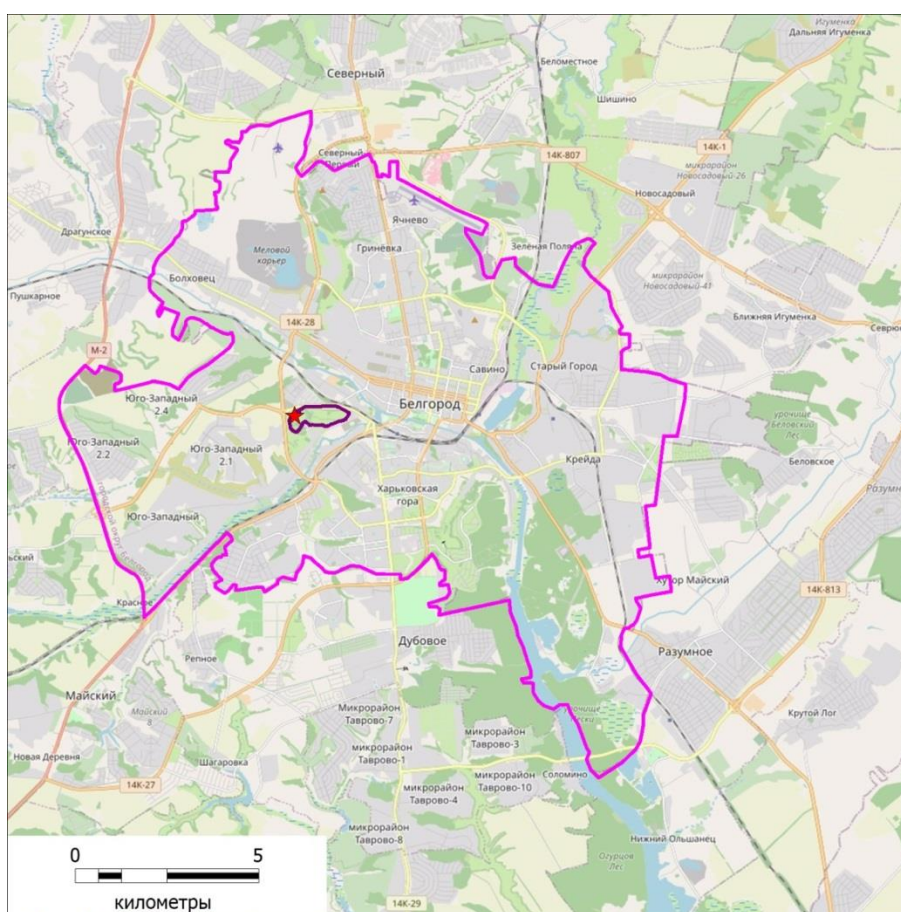


Рис. 1. Расположение ботанического сада НИУ «БелГУ» и вышки мониторинга потоков CO_2 в границах города

Станция на высоте 48 м обеспечивает мониторинг атмосферы Белгорода и в большей степени подвержена фоновым факторам эмиссии CO_2 , характерным для городской агломерации. К наиболее существенным из них следу-

ет отнести выбросы Южной котельной и цементного завода. Их влияние фиксируется в виде резких скачков концентрации CO_2 , существенно (иногда многократно) превышающей фоновые значения.

Исходные данные мониторинга обрабатывали с помощью приложения EddyPro 7.0.9 для 30-минутных хроноинтервалов, а затем – в программах MS Excel (первичный анализ полноты рядов и их ручная коррекция согласно рекомендациям [4]) и Statistica (статистическая обработка).

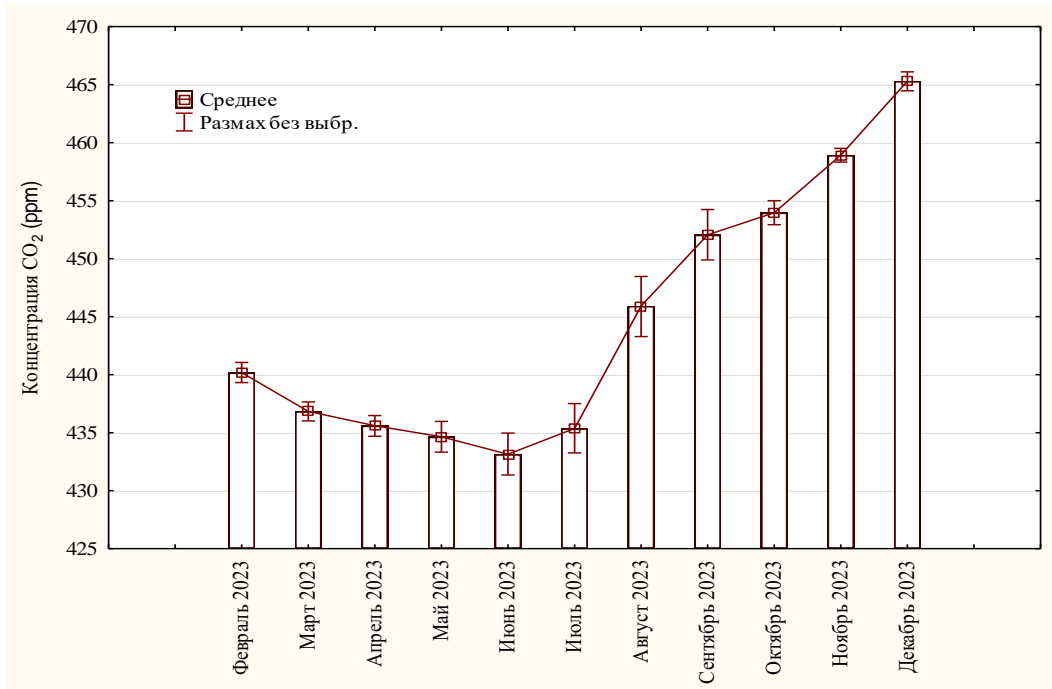
Результаты и обсуждение

Особенности измерения потоков углекислого газа в городах методом турбулентных пульсаций связаны с сильной неоднородностью поверхности, большим количеством источников выбросов, специфическими проблемами размещения датчиков и др. [5, 6]. Потоки CO_2 в городах почти всегда положительные, достигают $20 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ и выше [5]. Но они представляют значительный интерес в отношении возможности их компенсации в период фотосинтеза городской растительности. Нашей рабочей гипотезой была способность зелёных насаждений города компенсировать эмиссию CO_2 по крайней мере в период их активной вегетации. При этом следует учесть, что целевую растительность карбонового полигона (насаждения клёна остролистного, тополя Симона) в 2023 году только начали формировать. Фактически в фотосинтезе участвовали насаждения ботанического сада, расположенные вблизи площадки полигона.

На рис. 2. представлены результаты измерения концентрации CO_2 за годичный цикл мониторинга (на станции 10 м измерения по техническим причинам в 2023 г. были начаты с февраля). В качестве статистической характеристики использовано среднее значение и интерквартильный размах варьирования (без экстремальных значений). Заметно снижение концентрации с января, минимум в июне и дальнейший рост с достижением максимума в декабре – на высоте 10 м и в октябре – на высоте 48 м. Минимальная концен-

трация CO₂ совпадает с пиком вегетационного периода (433,14±17,27 ppm на высоте 10 м и 424,80±10,98 ppm на высоте 48 м).

А



Б

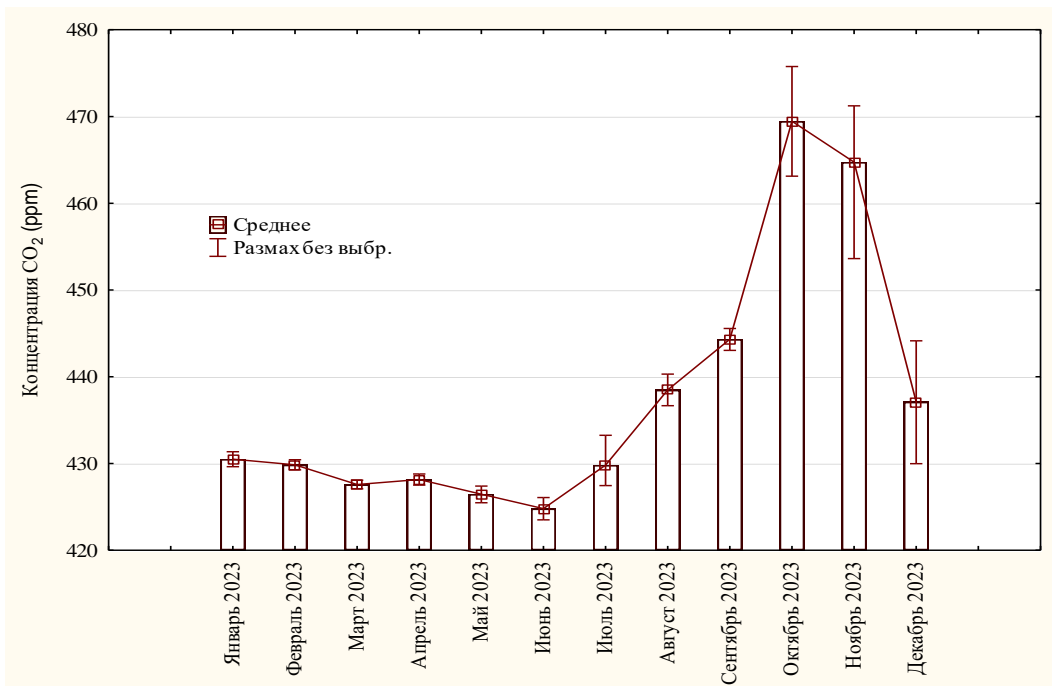
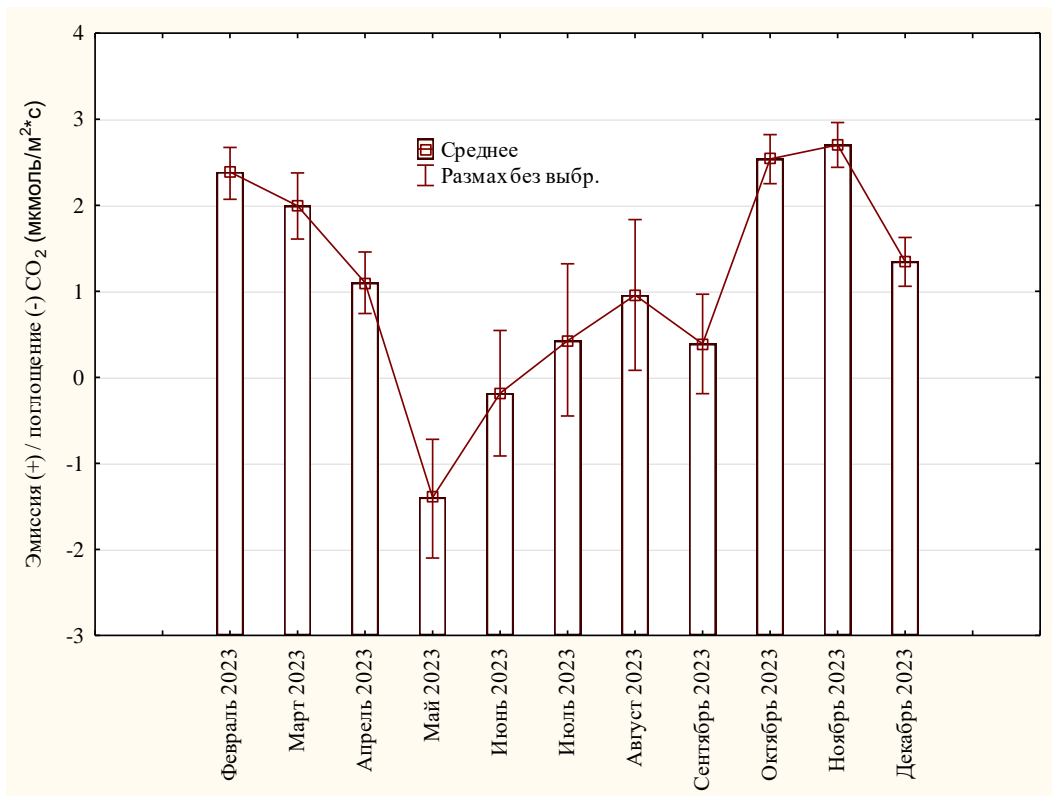


Рис. 2. Средняя концентрация углекислого газа по месяцам:

А – на высоте 10 м, Б – на высоте 48 м

А



Б

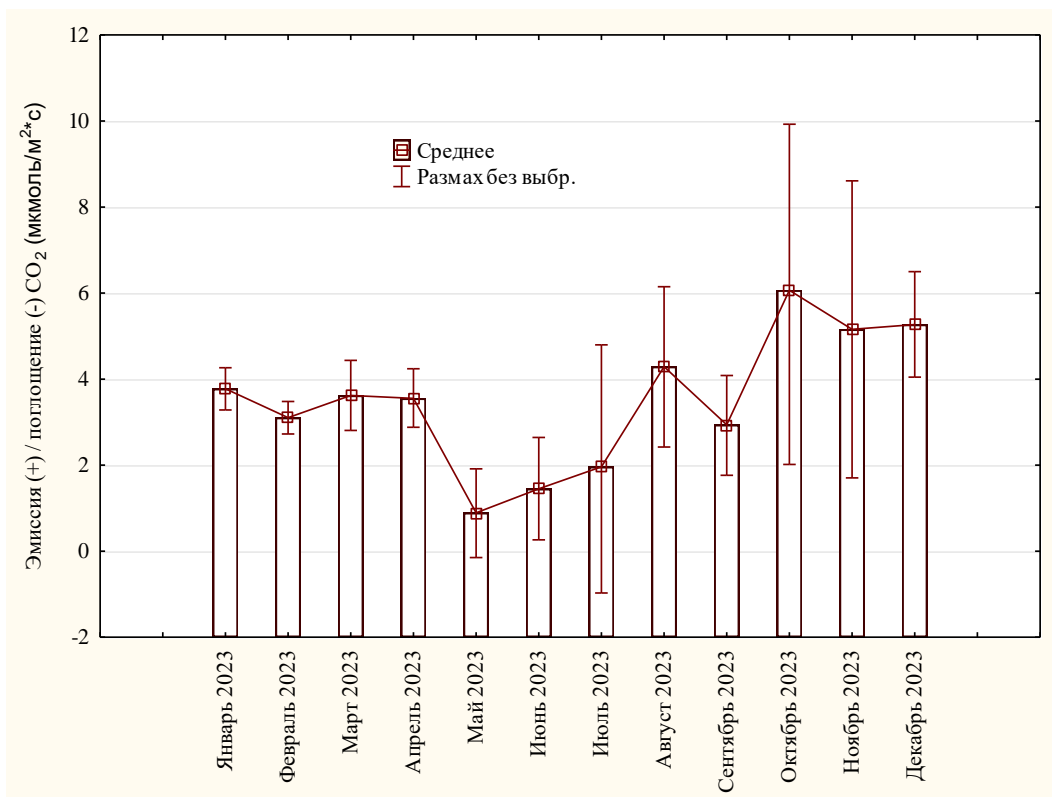


Рис. 3. Потoki углекислого газа (среднее арифметическое по месяцам):

А – на высоте 10 м, Б – на высоте 48 м

Максимальная концентрация соответствует осеннему периоду, когда происходит активная эмиссия из почв и добавляются мощные источники антропогенных выбросов (работа котельных). Размах варьирования концентрации на высоте 10 м достигает наибольших значений в вегетационный период: растительность активно снижает концентрацию CO_2 в процессе фотосинтеза. На высоте 48 м максимальный размах варьирования наблюдается осенью.

Более информативными в отношении баланса углерода являются измерения потоков CO_2 за годичный цикл мониторинга, результаты которых представлены на рис. 3. Активное поглощение углекислого газа происходило в мае и июне, в остальные месяцы преобладала эмиссия. В ботаническом саду (станция 10 м) среднемесячная эмиссия достигла максимума в октябре $2,70 \pm 0,13$ мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$, поглощение было максимальным в мае $1,4 \pm 0,36$ мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$. В целом для городской агломерации (станция 48 м) среднемесячное выделение углекислого газа также достигло максимума в октябре $6,07 \pm 1,99$ мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$. Минимальной среднемесячная эмиссия была в мае $0,89 \pm 0,51$ мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$. Отрицательные значения потоков CO_2 (поглощение) на высоте 48 м наблюдались эпизодически и среднемесячный уровень сменить в область поглощения не смогли. Сравнивая среднегодовые потоки на высотах 10 м и 48 м, следует отметить, что они положительные (1,11 и 3,35 мкмоль/ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$, соответственно). Таким образом, за счёт поглощения в период активной вегетации парковые древесные насаждения способны существенно уменьшить уровень эмиссии углекислого газа в геосистеме города.

Выводы

1. Максимальная концентрация и максимальный уровень эмиссии углекислого газа достигаются в Белгородской агломерации в середине осеннего периода, ещё до начала отопительного сезона.

2. Зелёные насаждения Белгорода не способны полностью компенсировать эмиссию CO_2 , но способны её снизить более чем в 2 раза в период ак-

тивной вегетации в природоподобных экосистемах – таких, как ботанический сад НИУ «БелГУ».

Список источников

1. Инновационные методы мониторинга парниковых газов представительных ландшафтов мегаполиса / А.С. Епихина, М.М. Визирская, В.И. Васенев, И.М. Мазиров, И.И. Васенев, Р. Валентини // Вестник РУДН. Агротомия и животноводство. 2012. № 5. С. 43-54.
2. Паспорт города Белгорода – 2022: статистический сборник / Составители: Н.О. Бодякова, Ю.А. Склярора, А.В. Костыря, А.И. Савина. Белгород: ООО «КОНСТАНТА», 2023. 88 с.
3. Голеусов П.В., Нетреба А.А. Перспективы ведения мониторинга углеродного баланса антропогенно преобразованных ландшафтов // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции, Воронеж, 17 – 21 мая, 2023 года: в 2 т. / отв. ред.: А.С. Горбунов, А.В. Хорошев, О.П. Быковская. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. Т. 2. С. 194-196.
4. Метод турбулентных пульсаций. Краткое практическое руководство / Г.Г. Бурба, Ю.А. Курбатова, О.А. Куричева, В.К. Авилов, В.В. Мамкин. М.: ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, 2016. 230 с.
5. Burnett V.F. Exploratory Eddy Covariance Measurements of Surface Heat and CO₂ Fluxes in the Roughness Sublayer of an Urban Environment" (2010). Dissertations and Theses. Paper 401. <https://doi.org/10.15760/etd.401> URL: https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1400&context=open_access_etds (27.12.2023)
6. Eddy Covariance Measurements in Urban Environments: White paper prepared by the AmeriFlux Urban Fluxes ad hoc committee / S. Biraud, J. Chen, A. Christen, K. Davis, J. Lin, J. McFadden, C. Miller, E. Nemitz, G. Schade, S. Stagakis, J. Turnbull, R. Vogt. URL: <https://ameriflux.lbl.gov/wp->

(27.12.2023)

References

1. Innovacionny`e metody` monitoringa parnikovyx gazov predstavitel`ny`x landshaftov megapolisa / A.S. Epixina, M.M. Vizirskaya, V.I. Vasenev, I.M. Mazirov, I.I. Vasenev, R. Valentini // Vestnik RUDN. Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2012. № 5. S. 43-54.
2. Pasport goroda Belgoroda – 2022: statisticheskij sbornik / Sostaviteli: N.O. Bodyakova, Yu.A. Sklyarova, A.V. Kosty`rya, A.I. Savina. Belgorod: OOO «KONSTANTA», 2023. 88 s.
3. Goleusov P.V., Natreba A.A. Perspektivy` vedeniya monitoringa uglerodnogo balansa antropogenno preobrazovanny`x landshaftov // Teoreticheskie i prikladny`e problemy` landshaftnoj geografii. VII Mil`kovskie chteniya: materialy` XIV Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii, Voronezh, 17 – 21 maya, 2023 goda: v 2 t. / otv. red.: A.S. Gorbunov, A.V. Xoroshev, O.P. By`kovskaya. Voronezh: Izdatel`skij dom VGU, 2023. T. 2. S. 194-196.
4. Metod turbulentny`x pul`sacij. Kratkoe prakticheskoe rukovodstvo / G.G. Burba, Yu.A. Kurbatova, O.A. Kuricheva, V.K. Avilov, V.V. Mamkin. M.: IPE`E` im. A.N. Severczova RAN, 2016. 230 s.
5. Burnett B.F. Exploratory Eddy Covariance Measurements of Surface Heat and CO2 Fluxes in the Roughness Sublayer of an Urban Environment" (2010). Dissertations and Theses. Paper 401. <https://doi.org/10.15760/etd.401> URL: https://pdxscholar.library.pdx.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1400&context=open_access_etds (27.12.2023)
6. Eddy Covariance Measurements in Urban Environments: White paper prepared by the AmeriFlux Urban Fluxes ad hoc committee / S. Biraud, J. Chen, A. Christen, K. Davis, J. Lin, J. McFadden, C. Miller, E. Nemitz, G. Schade, S. Stagakis, J. Turnbull, R. Vogt. URL: <https://ameriflux.lbl.gov/wp->

Московский экономический журнал. № 1. 2024

Moscow economic journal. № 1. 2024

content/uploads/2021/09/EC-in-Urban-Environment-2021-07-31-Final.pdf

(27.12.2023)

Для цитирования: Голеусов П.В. Результаты измерения концентрации и потоков углекислого газа в Белгородской агломерации // Московский экономический журнал. 2024. № 1. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-1-2024-33/>

© Голеусов П.В., 2024. *Московский экономический журнал, 2024, № 1.*