

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59>**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ГАЗООБМЕНА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (CO₂) ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗКАХ**

Научная статья

Кенжин Ж.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-9655-8049;¹ Российский Университет Дружбы Народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kenzhin_zh[at]pfur.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы оценки газообмена потоков диоксида углерода (CO₂), в системе почва-атмосферный воздух. Представлены результаты газообмена (почвенного дыхания), при длительных периодах (циклах), автотранспортной нагрузки в условиях локальных участков урбанизированной территории. В качестве объекта исследования представлена территория кампуса Российского университета дружбы народов (РУДН). Проведённые исследования на локальных участках, выявили различную сезонную и суточную динамику почвенной эмиссии CO₂ исследуемой территории. Исследование циклов почвенной эмиссии CO₂ выявили разницу интенсивности почвенного дыхания в период активизации автотранспортных потоков. Оценка связи автотранспортной нагрузки с динамикой эмиссионных потоков CO₂ доказывает наличие транспорта в качестве основного источника генерации парниковых газов.

Ключевые слова: автотранспортная нагрузка, парниковые газы, почвенное дыхание, диоксид углерода (CO₂).**TO THE ISSUE OF EVALUATION OF CARBON DIOXIDE (CO₂) GAS EXCHANGE DYNAMICS DURING PROLONGED MOTOR TRANSPORT LOADS**

Research article

Kenzhin Z.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-9655-8049;¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (kenzhin_zh[at]pfur.ru)

Abstract

The article addresses the issues of evaluating the gas exchange of carbon dioxide (CO₂) fluxes in the soil-atmospheric air system. The results of gas exchange (soil respiration) under long periods (cycles) of motor transport load in the conditions of local sites of urbanized territory are presented. As an object of research, the territory of the campus of the Peoples' Friendship University of Russia (PFUR) is presented. The research conducted on local plots showed different seasonal and daily dynamics of soil CO₂ emission of the studied territory. The research of soil CO₂ emission cycles identified the difference of soil respiration intensity in the period of motor transport flows activation. Evaluation of the relationship between motor transport load and the dynamics of CO₂ emission fluxes proves the presence of transport as the main source of greenhouse gas generation.

Keywords: motor vehicle load, greenhouse gases, soil respiration, carbon dioxide (CO₂).**Введение**

Проблемы генерации парниковых газов, в результате длительной транспортной нагрузки, представляют наибольший интерес, в условиях роста парникового эффекта. Повсеместное увеличение транспортной нагрузки, формирует рост генерации парниковых газов, метана (CH₄), закиси азота (N₂O) включая увеличение концентрации диоксида углерода (CO₂). Диоксид углерода из-за значительных объемов эмиссии, высокой концентрации и широких пределов времени пребывания в атмосфере (от 5 до 200 лет), считается главным парниковым газом. По данным [1] доля CO₂ в суммарном радиационном воздействии долгоживущих парниковых газов составляет 63, метана – 18,5, а закиси азота – 6,2%. Проблемы роста эмиссий CO₂, антропогенного происхождения в городских условиях представляет интерес, ввиду угрозы изменения климата и деградации среды, городов и крупных населенных пунктов. На сегодняшний день имеется большой объем исследований оценки эмиссий CO₂, от автотранспортных потоков [2], [3], [4]. Ряд последних исследований [5], [6], [7], [8] затрагивает вопросы роста генерации CO₂, формирования углеродного следа в естественных и урбанизированных территориях. Где подробно рассматриваются аспекты эмиссий парниковых газов, экономические, социальные вопросы роста концентраций CO₂. При этом вопрос газового обмена CO₂ в системе почва – атмосферный воздух, при длительных автотранспортных нагрузках, остается открытым.

Как известно, эмиссия CO₂ городскими почвами значительно отличается от естественных и в ряде случаев превосходит их, являясь, в том числе, одним из основных источников эмиссий, в атмосферный воздух [9], [10]. Как показывают данные [11], для общего почвенного дыхания и отдельных его компонентов характерны высокая динамичность во времени и пространственное разнообразие. Вопросы почвенного дыхания в глобальном круговороте углерода изучены широко. Но остается малоизученной динамика газообмена, при автотранспортных нагрузках,

локальных территорий. Учитывая очень высокую неоднородность городских почв, можно ожидать еще большее увеличение пространственного и временного разнообразия эмиссии CO₂ по сравнению с фоновыми аналогами.

В отношении газообмена почвенного покрова и атмосферного воздуха, актуальным вопросом является взаимосвязь с транспортной нагрузкой. Транспорт стимулирует циклические процессы, эмиссий загрязнителей, что может быть определено оценкой поступления в условиях локальных участков. Целью имеющегося исследования является оценка генерации CO₂, в качестве источника газообмена почва – атмосферный воздух при длительных автотранспортных нагрузках.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования является территория университетского кампуса Российского Университета Дружбы Народов. Проект мониторинга за состоянием компонентов окружающей среды кампуса проводится с 2017 г. За этот период собран значительный аналитический материал, по данным эмиссий загрязнителей атмосферного воздуха, почвенного и растительного покрова [3], [12].

В качестве объектов исследований, выбран почвенный покров и приземный слой атмосферного воздуха. Методика исследования заключалась в оценке почвенного газообмена, на различных по степени загруженности автотранспортных участках территории кампуса РУДН. Территория кампуса, является по своей сути уникальным объектом, сочетающим различные по состоянию нагрузки площади. По результатам замеров основных загрязнителей, сформированы профили нагрузки исследуемой территории, отражающие пространственную миграцию загрязнителей. По данным пространственного анализа (рисунок 1), имеющийся профиль нагрузки отражает расстояние миграции загрязнителей от 5 автотранспортных участков. По результатам профильной оценки и специфики расположения автотранспортных участков, выделены условные зоны: автотранспортная, социально-административная, лесопарковая. Различия в особенностях деления исследуемой территории на условные зоны, объясняется необходимостью оценки геохимических условий по мере удаления от источника воздействия. На (рисунке 1), представлены схема исследуемой территории с указанием расположенных транспортных участков, профилей и зон.

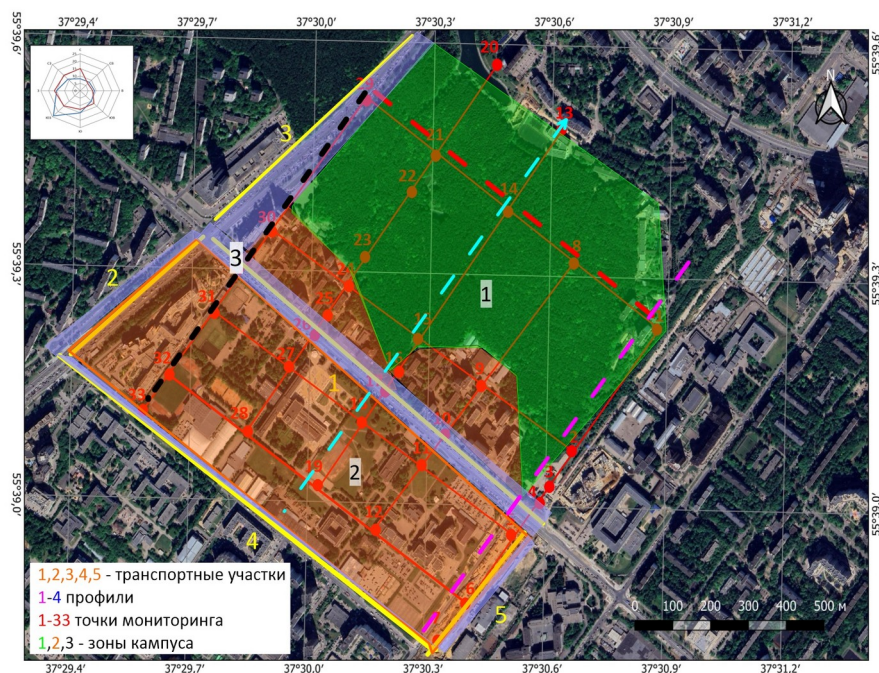


Рисунок 1 - Схема функционального зонирования исследуемой территории
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.1>

Использование данных пространственной миграции ПАУ от имеющихся автотранспортных участков, необходимы для выделения закономерности эмиссий CO₂ и почвенного газообмена при транспортной нагрузке. Для оценки эмиссий CO₂ от 5 автотранспортных участков на территории кампуса, проведен расчет генерации CO₂, от автотранспортных средств. Для установления закономерности газообмена в системе почва – атмосферный воздух, проведены инструментальные замеры концентраций CO₂ в поверхностном почвенном покрове и приземном слое атмосферного воздуха. Указанный подход позволяет оценить взаимосвязь генерации CO₂, в условиях постоянной транспортной нагрузки. В этом отношении необходимым критерием служит пространственная оценка выявления связи концентраций CO₂ с автотранспортными потоками.

Инструментальные замеры концентраций CO₂, проводились в период весенне-летнего и осеннего периодов. Оценка газообмена в зимний период была затруднена, ввиду наличия устойчивого снежного покрова. Дополнительно были проведены суточные замеры концентраций газообмена в точках профиля территории. Профильная оценка территории кампуса, была установлена по данным расстояния миграции CO₂, от автотранспортных участков. Замеры были, проведены в точках мониторинга кампуса РУДН, равномерной сети наблюдений, состоящих из 33 точек наблюдения, прилегающих к 5 транспортным участкам, с равномерным шагом в 100 метров.

Расчет эмиссий CO₂, с подсчетом количества единиц автотранспорта, был проведен с использованием аттестованных методик [13]. В качестве исходных данных, был произведен расчет количества единиц автотранспорта разных категорий на 5 автотранспортных участках.

Основные результаты

Полученные результаты исследования указали на неоднородность эмиссий CO₂ на пяти участках, исследуемой территории. Автотранспортные участки, прилегающие к территории кампуса РУДН, характеризуются различной интенсивностью транспортного движения. Наиболее нагружены участки Ленинского проспекта, имеющие круглосуточное транспортное движение. Участок ул.Миклухо-Маклая, проходящий через территорию автотранспортной зоны кампуса, имеет высокую интенсивность преимущественно в дневные часы. Участки с меньшим объемом транспортной нагрузки ул.Саморы Машела и ул.Опарина, имеют меньший объем транспортных потоков, с количеством от 1 до 5 млн.год.

В таблице 1, представлены данные результатов расчета эмиссий ПАУ, на 5 транспортных участках, с указанием их характеристик и параметров.

Таблица 1 - Данные расчетной нагрузки ТЧ и ПАУ с учетом структуры автотранспортных потоков, на 5 участках автодорог

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.2>

Характеристики и параметры, транспортных участков	Уасток1. ул.Миклухо-Маклая	Участок 2. Ленинский проспект. Южная сторона	Участок 3. Ленинский проспект. Северная сторона	Участок 4. ул.Саморы-Машелла	Участок 5. ул.Академика Опарина
Ширина дорожного полотна, м	14,5	35,1	35,1	8,5	8,5
Протяженность участков, м	1000	1000	1180	430	1100
Количество АТС, млн/год	7,9	28,5	27,1	1,6	5,1
Интенсивность потока АТС/час	910	3590	3115	192	613
Модуль нагрузки на автотрассу, АТС м2/год	495	787	559	335	390
Эмиссии CO ₂ , крупногабаритный транспорт, т/год	2,5	9,1	10,2	0,2	1,8
Сумма CO ₂ , от крупногабаритного транспорта, т/год	-	-	-	-	23,7
Эмиссии CO ₂ , легковой транспорт, т/год	6,6	24,1	27,6	0,57	4,79
Сумма CO ₂ , от легкового транспорта т/год	-	-	-	-	63,6
Вид АТС %	-	-	-	-	-
Легковой	85	90	90	95	81

транспорт					
Крупногабаритный включая, пассажирские автобусы до 3,5 т	15	10	10	5	11

Из результатов таблицы 1, отмечено увеличение эмиссий CO_2 , на наиболее нагруженных транспортных участках 1, 2 и 3 ул. Миклухо-Маклая и Ленинского проспекта от 0,57 до 6,6 т/год. По имеющимся результатам, выделен закономерный рост эмиссий диоксида углерода в зависимости от количества автотранспортных средств, 5 транспортных участков. По результатам расчета эмиссий CO_2 , участки с наиболее интенсивным транспортным движением, характеризуются повышенным объемом выбросов в годовом эквиваленте.

В исследовании [2] приведены сведения увеличения эмиссий CO_2 от профилей транспортной нагрузки. Для детализации оценки влияния выбросов автомобильного транспорта на прилегающие территории использовался метод профилирования, указывающий на возможности рассеивания выбросов в придорожной зоне. Выбор профилей производился с учетом интенсивности движения, расположения светофоров, остановок, а также структуры прилегающей территории.

По данным собственных результатов, рост потоков диоксида углерода, от основных транспортных участков, характеризовался увеличением профиля нагрузки, на расстоянии 100–200 м, (рисунок 2-3).

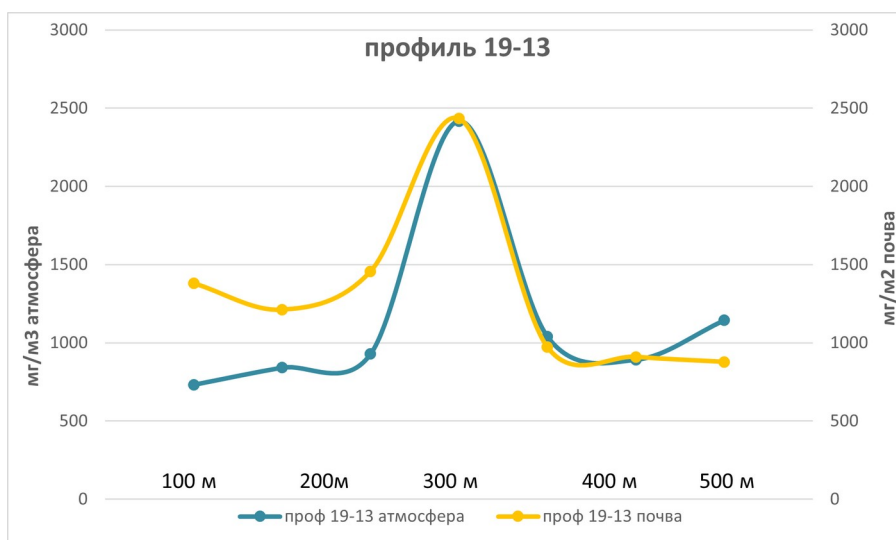


Рисунок 2 - Изменение концентрации диоксида углерода от ул. Миклухо-Маклая через административную зону
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.3>

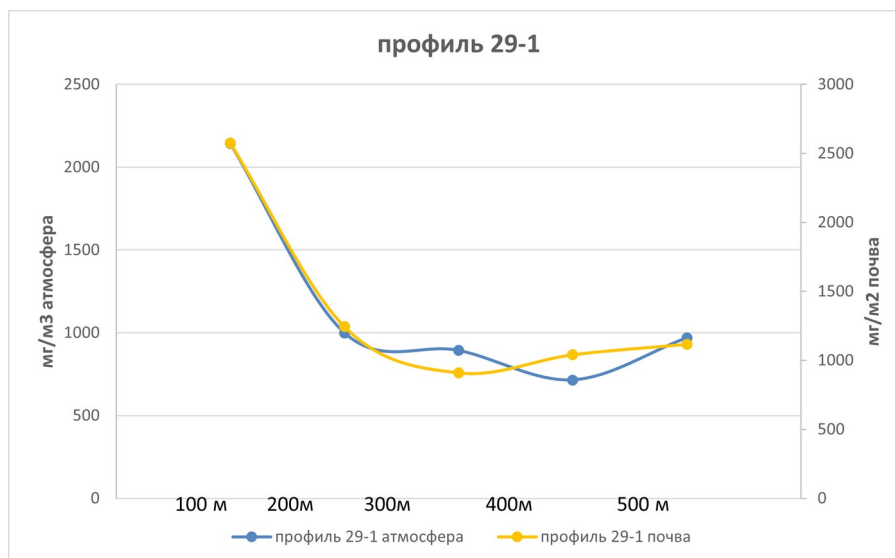


Рисунок 3 - Изменение концентрации диоксида углерода по профилю от Ленинского проспекта до Юго-Западного лесопарка

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.4>

Из полученных данных отмечен рост от участков с наиболее интенсивным транспортным движением на расстоянии 100-300 м. Из результатов профильной оценки, усиление газообмена, происходит ближе к автодороге ул. Миклухо-Маклая и ослабевает с переходом в зону лесопарка. Аналогичные данные наблюдаются по профилю 29-1, где выявлен наибольший рост потоков CO₂, на расстоянии 100 м от участка автомагистрали Ленинского проспекта, вдоль парковой зоны.

Усредненная оценка концентраций CO₂, в точках 3 условных зон характерна преимущественно для автотранспортной зоны. Сопоставление результатов, генерации CO₂ в почвенном покрове и атмосферном воздухе характеризуется ростом от 796 до 1935 мг/м³ в атмосферном воздухе от 1306 до 2387 мг/м² в почвенном покрове. При среднесуточной (ПДКсс) 3 мг/м³ и максимально разовой (ПДКмр) 5 мг/м³. Сопоставление данных генераций CO₂, в почве фоновой территории лесопарк и социально административной зоны, указывает на меньший объем эмиссий CO₂. Так, по данным [14], [15], [16] в условиях естественных систем, потоки диоксида углерода фоновых территорий не превышают значений от 756 до 1100 г/м². В исследованиях [18], [19]; приведены сведения о росте эмиссий CO₂, в селитебных и промышленных зонах.

В отношении исследования параметров газообмена при длительных транспортных нагрузках необходимо учитывать сопутствующие гидротермические условия эмиссий потоков CO₂. Известно, что процесс поглощения потоков CO₂ зависит от различных физико-химических и территориальных условий [17]. К ним следует отнести режим влажности, температуры, сезонную и суточную динамику. Следствием этому служит необходимость сопоставления связи эмиссий CO₂ и вышеуказанных факторов. На рисунках 4-7, приведены результаты концентраций потоков CO₂, в атмосферном воздухе и поверхностном почвенном покрове 3 условных зон исследуемой территории. Включая гидротермический режим при различных сезонных условиях.

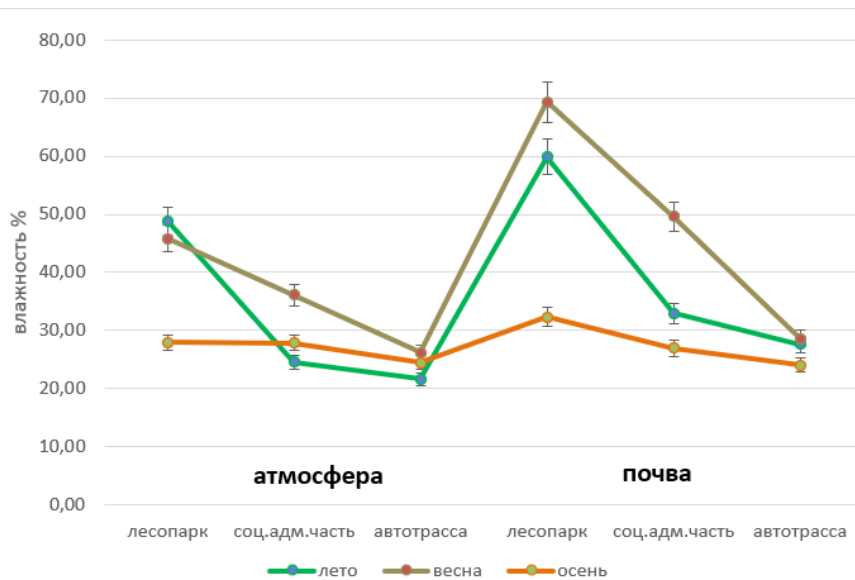


Рисунок 4 - Краткосрочная сезонная динамика почвенного дыхания и влажности почвы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.5>

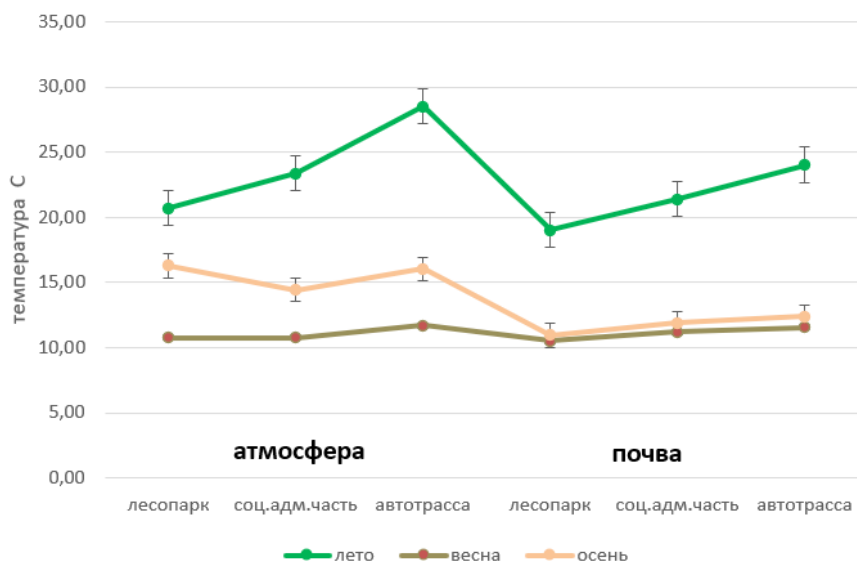


Рисунок 5 - Краткосрочная сезонная динамика почвенного дыхания и температуры почвы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.6>

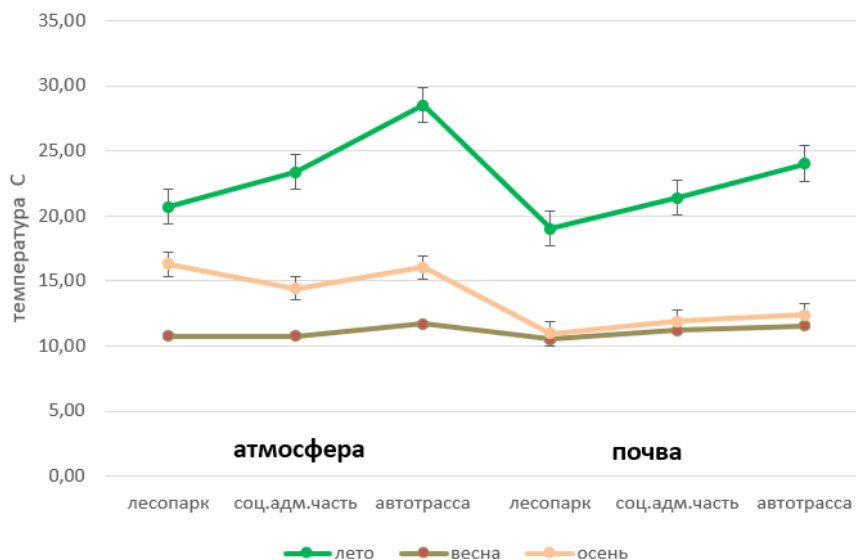


Рисунок 6 - Сезонная изменчивость потоков почвенной эмиссии CO₂ в фоновой и транспортных точках на участках наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.7>

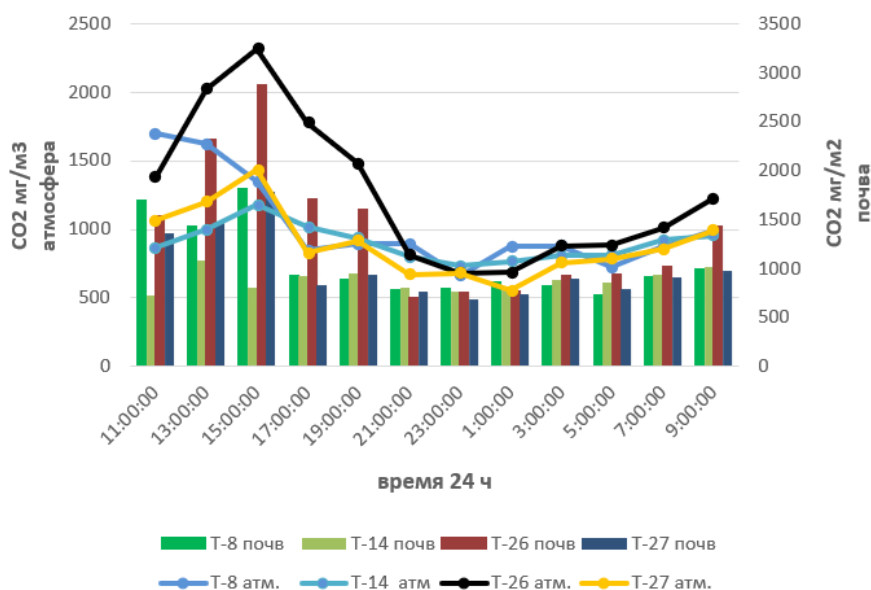


Рисунок 7 - Суточная изменчивость потоков почвенной эмиссии CO₂ в фоновой и транспортных точках на участках наблюдений
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.8>

Как показывают данные сезонной динамики, отмечены различия в эмиссии CO₂, при имеющихся гидротермических условиях. Уровень температуры и влажности в теплый период времени года, характеризовался различными значениями в 3 зонах исследуемой территории. Рост температуры до 30⁰С, был характерен для зоны автотрассы, где аналогично наблюдается рост концентраций CO₂ в атмосферном воздухе и почвенном покрове. Для административной и парковой зоны были отмечены рост значений температуры до 25 и 20⁰С, соответственно. Фоновая территория (лесопарк), имела значительное увеличение влажности в летний и весенний периоды, при этом уровень эмиссий CO₂ оставался на уровне 1100 г/м³ для атмосферного воздуха и 1500 г/м² для почвенного покрова.

В таблице 2 приведены сведения корреляционной связи потоков эмиссий диоксида углерода с гидротермическими значениями исследуемой территории.

Таблица 2 - Корреляционные связи в точках разной степени автотранспортной нагрузки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.147.59.9>

CO ₂ атмосфера				CO ₂ почва		
температура	лесопарк	соц. адм. часть	автотрасса	лесопарк	соц. адм. часть	автотрасса
лето	-0,27	-0,43	0,48	0,66	-0,51	0,38
весна	0,44	-0,02	0,40	-0,27	-0,05	0,50
осень	0,31	0,15	0,17	0,49	-0,29	0,31
влажность	CO ₂ атмосфера			CO ₂ почва		
лето	0,22	0,85	-0,05	-0,45	-0,13	-0,17
весна	0,60	-0,26	-0,07	0,60	0,43	-0,41
осень	-0,02	-0,07	0,06	-0,12	-0,08	-0,51

Результаты корреляции указывают на слабую положительную связь температуры и эмиссий CO₂ в теплые периоды времени года. Наиболее положительная связь отмечена с влажностью атмосферного воздуха для административных и парковых зон 0,85 и 0,60 соответственно. Связь с эмиссией с влажностью и температурой 3 зон территории, имела более достоверные значения в зоне автотрассы и лесопарковой зонах, в весенне-летний период. При росте температуры и влажности приземного атмосферного воздуха и почвенного покрова отмечен рост концентраций CO₂ в 3 зонах территории. В летний период времени отмечен увеличенный прирост CO₂ в почвенном покрове автотранспортной зоны. Весенний и осенний периоды указывают на уменьшение генерации CO₂ в почвенном покрове 3 зон исследуемой территории. Следует отметить изучение почвенного газообмена на рубеже 90-х годов прошлого века [20], [21], [22]. Проводимые исследования затрагивали генерацию CO₂ в почвенном покрове в условиях естественных и антропогенно-измененных экосистемах и биомах [23], [24], [25]. В исследованиях авторов [26], [27], [28] рассматриваются связи генерации и газообмена CO₂ в контексте с ростом парникового эффекта и изменениями климата. Указанные исследования позволяют выстроить подробную картину проблемы роста концентрации CO₂ в различных участках мира. При этом дальнейшее развитие связи с прямым техногенным источником, позволит определить опосредованные последствия транспортной нагрузки в контексте формирования парникового эффекта.

Дополнительным параметром оценки цикличности эмиссий CO₂ от автотранспортной нагрузки выступает оценка суточной динамики газообмена. Суточная динамика позволяет выделить наиболее вероятные изменения концентраций, связанные с периодами транспортной нагрузки. Для оценки влияния урбанизации на почвенную эмиссию CO₂ необходимо понимание отличий пространственного разнообразия и временной динамики общего дыхания корневого и микробного компонентов городских почв от таковых для ненарушенных фоновых аналогов.

Результаты концентрации диоксида углерода в почвенном покрове и атмосферном воздухе, в привязке к временному периоду нагрузки указывали на рост концентрации в точке 26, автодороги ул.Миклухо-Маклая. Увеличение концентрации CO₂ приходится на дневные часы, в период с 13:00 до 15:00, что соотносится с результатами расчета транспортной нагрузки, приведенной в работе [29]. Точки 8 и 14, удаленные от основных транспортных магистралей и расположенные в лесопарковой зоне, указывают на менее интенсивный прирост. В этом отношении можно говорить о наличии различий в условиях естественных и техногенных территорий. Корреляционный анализ связи газообмена в системе почва-атмосферный воздух, указывает на сходство прироста между точками, расположенными близко к автотранспортной зоне, 0,76 до 0,92. Благодаря применению оценки процессов газообмена в фоновых точках и точках с различной степенью автотранспортной нагрузки, удалось выделить закономерность влияния автотранспортных потоков. Наиболее нагруженные временные интервалы, с наибольшим приростом транспорта характеризовались одновременным ростом эмиссий CO₂.

В имеющемся случае увеличению роста концентрации, могут способствовать изменение структуры почв, расширение площади асфальт дорожного покрытия, приводящего к фактору запечатанности, почвенного покрова. Полученные данные пространственной и сезонной динамики, указывают на увеличение эмиссий CO₂, преимущественно в районе наибольших автотранспортных нагрузок. Все вышесказанное доказывает связь эмиссий диоксида углерода, при длительных циклах автотранспортных выбросов.

Заключение

Проведенный анализ оценки газообмена CO₂, между почвой и атмосферным воздухом, доказывает вклад транспортной нагрузки, в качестве основного источника парниковых газов, на примере генерации диоксида углерода. Использование инструментальных замеров, в соотношении с расчетно-методическим анализом данных эмиссий, подтверждает вклад генерации CO₂, от отработанных газов автотранспорта. Применение высококачественного топлива марок Euro5-6, не снижает уровня эмиссий диоксида углерода. Использование профильной оценки генерации CO₂, в привязке к транспортным участкам разной степени интенсивности движения, доказывает вклад источников автотранспортной нагрузки в потоковые эмиссии диоксида углерода. Сравнение суточных циклов генерации CO₂ со временем наибольшего прироста транспортных средств также подтверждает наличие основного вклада автотранспорта в загрязнение исследуемой территории. Имеющаяся тенденция роста эмиссий парниковых газов на примере диоксида углерода в условиях локальных участков делает необходимым последующую комплексную оценку в условиях урбанизированной среды.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Задорожний А.Н. Почвенные процессы продукции, потребления и эмиссии парниковых газов / А.Н. Задорожний, М.В. Семенов, А.К. Ходжаева [и др.] // *Агрохимия*. — 2010. — 10. — с. 75-92.
2. Боева Д.В. Оценка влияния автотранспорта на территорию кампуса Российского университета дружбы народов / Д.В. Боева, А.П. Хаустов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. — 2018. — 4. — с. 419-430.
3. Силаева П.Ю. Предварительная оценка выбросов автотранспорта на территории кампуса РУДН / П.Ю. Силаева, А.П. Хаустов, А.М. Алейникова [и др.] // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции*. — Москва : РУДН, 2017. — с. 211-218.
4. Кебалова Л. А. Экологическая оценка состояния атмосферного воздуха города Владикавказ / Л.А. Кебалова // *Географический вестник*. — 2017. — 3. — с. 71-77. — DOI: 10.17072/2079-7877-2017-3-71-77.
5. Gao M. Novel Fractional Grey Riccati Model for Carbon Emission Prediction / M. Gao, H. Yang, Q. Xiao [et al.] // *J. Clean. Prod.* — 2021. — 282. — P. 124471.
6. Zhang W. Calculation of Carbon Emissions and Study of the Emission Reduction Path of Conventional Public Transportation in Harbin City / W. Zhang, G. Zhou, Z. Song [et al.] // *Sustainability*. — 2023. — Vol. 15. — p.16025.
7. Gialos A. Calculation and Assessment of CO_{2e} Emissions in Road Freight Transportation: A Greek Case Study / A. Gialos, V. Zeimpekis, M. Madas [et al.] // *Sustainability*. — 2022. — Vol. 14. — p. 10724.
8. Ahmed Z. Transport CO₂ Emissions, Drivers, and Mitigation: An Empirical Investigation in India / Z. Ahmed, S. Ali, S. Saud [et al.] // *Air Qual. Atmos. Health*. — 2020. — 13. — P. 1367–1374.
9. Кудеяров В.Н. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В.Н. Кудеяров, В.А. Демкин, Д.А. Гиличинский [и др.] // *Почвоведение*. — 2009. — 9. — с. 1027–1042.
10. Курганова И.Н. Запасы органического углерода в почвах Российской Федерации: современные оценки в связи с изменением системы землепользования / И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню // *Докл. АН*. — 2009. — Т. 426. — № 1. — С. 132–134.
11. Vasenev V.I. Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region / V.I. Vasenev, J.J. Stoorvogel, I.I. Vasenev // *Catena*. — 2013. — Vol. 107. — P. 96–102.
12. Хаустов А.П. Проект экологического мониторинга кампуса Российского университета дружбы народов / А.П. Хаустов, М.М. Редина, А.М. Алейникова [и др.] // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. — 2017. — 4. — с. 562—584.
13. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. — Введ. 2019-04-14. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 10 с.
14. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Курганова И.Н. — М., 2010. — С. 8-50.
15. Сморгалов И.А. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов / И.А. Сморгалов, Е.Л. Воробейчик // *ЭКОЛОГИЯ*. — 2011. — 6. — с. 429-435.
16. Суховеева О.Э. Моделирование потоков углерода в агроэкосистемах / О.Э. Суховеева, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню [и др.] // *Материалы Пятой конференции «Математическое моделирование в экологии»*. — Пущино, 2017.
17. Карелин Д.В. Наблюдения за потоками CO₂ на архипелаге Шпицберген: использование территории человеком меняет газообмен Арктической тундры / Д.В. Карелин, Э.П. Зазовская, А.В. Долгих [и др.] // *Известия РАН. Серия Географическая*. — 2019. — 5. — с. 56–66.
18. Саржанов Д.А. Краткосрочная динамика и пространственная неоднородность эмиссии CO₂ почвами естественных и городских экосистем Центрально чернозёмного региона / Д.А. Саржанов, В.И. Васенев, Ю.Л. Сотникова [и др.] // *Soilscience*. — 2015. — 4. — с. 469–478.
19. Неведров Н.П. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из почв г.Курска различного генезиса и структуры землепользования / Н.П. Неведров, Д.А. Саржанов // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции*; — Вып. 1. — Москва : РУДН, 2019. — с. 295-299.
20. Metherell A.K. Century soil organic matter model environment. Technical documentation. Agroecosystem Version 4.0 / A.K. Metherell, L.A. Harding, C.V. Cole [et al.] // *Great Plains Syst. Res.* — 1993. — Unit Tech. Rep. 4.
21. Paul E.A. Radiocarbon dating for determination of soil organic matter pool sizes and dynamics / E.A. Paul, R.F. Follett, S.W. Leavitt [et al.] // *Soil Sci. Soc. Am.J.* — 1997. — 61. — P. 1058-1067.
22. Bruce J.P. Carbon sequestration in soils / J.P. Bruce, M. Frome, H. Haites [et al.] // *J. Soil Water Conserv.* — 1999. — 54. — P. 382-389.
23. Bandaranayake W. Estimation of Soil Organic Carbon Changes in Turfgrass Systems Using the CENTURY Model / W. Bandaranayake, Y.L. Qian, W.J. Parton [et al.] // *Agron. J.* — 2003. — 95. — P. 558-563.

24. Ren T. Dissolved organic carbon in cropland soils: A global meta-analysis of management effects / T. Ren, A. Ukalska-Jaruga, B. Smreczak [et al.] // *Agriculture Ecosystems and Environment*. — 2024. — Vol. 371. — P. 109080. — DOI: 10.1016/j.agee.2024.109080
25. Lorenz K. Soil Organic Carbon Sequestration / K. Lorenz, R. Lal // *Soil Organic Carbon Sequestration in Terrestrial Biomes of the United States*. — Springer, 2022. — P. 55–145. — DOI: 10.1007/978-3-030-95193-1_3
26. Sierra C.A. Carbon sequestration in the subsoil and the time required to stabilize carbon for climate change mitigation / C.A. Sierra, B. Ahrens, M.A. Bolinder [et al.] // *Global Change Biology*. — 2024. — Vol. 30. — Iss. 1. — DOI: 10.1111/gcb.17153
27. Colombi T. On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil / T. Colombi, F. Walder, L. Büchi [et al.] // *SOIL*. — 2019. — 5. — P. 91-105.
28. Pandao M.R. The Role of Soil in Carbon Sequestration: Mechanisms and Implications / M.R. Pandao, R.R. Sindhu, D.S. Dhananjay [et al.] // *Asian Journal of Environment & Ecology*. — 2024. — 23 (9). — P. 66-75. — DOI: 10.9734/ajee/2024/v23i9598.
29. Силаева П.Ю. О результатах расчёта полей концентраций загрязнителей от транспортных потоков вокруг кампуса РУДН / П.Ю. Силаева // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции*; — Вып. 1. — Москва : РУДН, 2019. — с. 474-478.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zadorozhnyj A.N. Pochvennye protsessy produktsii, potrebleniya i emissii parnikovyh gazov [Soil processes of production, consumption and emission of greenhouse gases] / A.N. Zadorozhnyj, M.V. Semenov, A.K. Hodzhaeva [et al.] // *Agrohimiya [Agrochemistry]*. — 2010. — 10. — p. 75-92. [in Russian]
2. Boeva D.V. Otsenka vliyanija avtotransporta na territoriju kampusa Rossijskogo universiteta družby narodov [Assessing the impact of motor transport on the campus of the Russian Peoples' Friendship University] / D.V. Boeva, A.P. Haustov // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety]*. — 2018. — 4. — p. 419-430. [in Russian]
3. Silaeva P.Ju. Predvaritel'naja otsenka vybrosov avtotransporta na territorii kampusa RUDN [Preliminary assessment of vehicle emissions on the PFUR campus] / P.Ju. Silaeva, A.P. Haustov, A.M. Alejnikova [et al.] // *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya [Current problems of ecology and environmental management]: collection of scientific papers of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference*. — Moscow : PFUR, 2017. — p. 211-218. [in Russian]
4. Kegalova L.A. Ekologicheskaja otsenka sostojanija atmosfernogo vozduha goroda Vladikavkaz [Ecological assessment of the state of atmospheric air in the city of Vladikavkaz] / L.A. Kegalova // *Geograficheskij vestnik [Geographical Bulletin]*. — 2017. — 3. — p. 71-77. — DOI: 10.17072/2079-7877-2017-3-71-77. [in Russian]
5. Gao M. Novel Fractional Grey Riccati Model for Carbon Emission Prediction / M. Gao, H. Yang, Q. Xiao [et al.] // *J. Clean. Prod.* — 2021. — 282. — P. 124471.
6. Zhang W. Calculation of Carbon Emissions and Study of the Emission Reduction Path of Conventional Public Transportation in Harbin City / W. Zhang, G. Zhou, Z. Song [et al.] // *Sustainability*. — 2023. — Vol. 15. — p.16025.
7. Gialos A. Calculation and Assessment of CO₂e Emissions in Road Freight Transportation: A Greek Case Study / A. Gialos, V. Zeimpekis, M. Madas [et al.] // *Sustainability*. — 2022. — Vol. 14. — p. 10724.
8. Ahmed Z. Transport CO₂ Emissions, Drivers, and Mitigation: An Empirical Investigation in India / Z. Ahmed, S. Ali, S. Saud [et al.] // *Air Qual. Atmos. Health*. — 2020. — 13. — P. 1367–1374.
9. Kudejarov V.N. Global'nye izmeneniya klimata i pochvennyj pokrov [Global climate change and soil cover] / V.N. Kudejarov, V.A. Demkin, D.A. Gilichinskij [et al.] // *Pochvovedenie [Soil Science]*. — 2009. — 9. — p. 1027–1042. [in Russian]
10. Kurganova I.N. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah Rossijskoj Federacii: sovremennye ocenki v svyazi s izmenenijem sistemy zemlepol'zovaniya [Organic carbon reserves in soils of the Russian Federation: modern estimates in connection with changes in the land use system] / I.N. Kurganova, V.O. Lopez de Gerenu // *Dokl. AN [AS reports]*. — 2009. — Vol. 426. — № 1. — P. 132–134. [in Russian]
11. Vasenev V.I. Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region / V.I. Vasenev, J.J. Stoorvogel, I.I. Vasenev // *Catena*. — 2013. — Vol. 107. — P. 96–102.
12. Haustov A.P. Proekt ekologicheskogo monitoringa kampusa Rossijskogo universiteta družby narodov [Project of environmental monitoring of the campus of the Russian Peoples' Friendship University] / A.P. Haustov, M.M. Redina, A.M. Alejnikova [et al.] // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety]*. — 2017. — 4. — p. 562–584. [in Russian]
13. Vybrosov zagrjaznjajuschih veschestv v atmosferu. Metod rascheta kolichestva vybrosov zagrjaznjajuschih veschestv v atmosferu potokami avtotransportnyh sredstv na avtomobil'nyh dorogah raznoj kategorii [GOST R 56162–2019. Emissions of polluting substances into the atmosphere. Method for calculating the amount of pollutant emissions generated by motor vehicle flows on roads of various categories]. — Introduced 2019-04-14. — Moscow : Standartinform, 2019. — 10 p. [in Russian]
14. Kurganova I.N. Emissiya i balans dioksida ugleroda v nazemnyh ekosistemah Rossii [Emission and balance of carbon dioxide in terrestrial ecosystems of Russia]: abstract dis. ... of PhD in Biological Sciences / Kurganova I.N. — M., 2010. — P. 8-50. [in Russian]
15. Smorkalov I.A. Pochvennoe dyhanie lesnyh ekosistem v gradientah zagrjaznenija sredy vybrosami medeplavil'nyh zavodov [Soil respiration of forest ecosystems in gradients of environmental pollution by emissions from copper smelters] / I.A. Smorkalov, E.L. Vorobejchik // *Ekologiya [Ecology]*. — 2011. — 6. — p. 429-435. [in Russian]

16. Sukhoveeva O.E., Kurganova I.N., Lopez de Gerenyu V.O., Sapronov D.V. Modelirovanie potokov ugleroda v agroekosistemah [Modeling carbon flows in agroecosystems] / O.E. Suhoveeva, I.N. Kurganova V.O. Lopez de Gerenyu [et al.] // Materialy Pyatoj konferencii «Matematicheskoe modelirovanie v ekologii» [Proceedings of the Fifth Conference “Mathematical Modeling in Ecology”]. — Pushchino, 2017. [in Russian]
17. Karelin D.V. Nabljudeniya za potokami SO₂ na arhipelage Shpitsbergen: ispol'zovanie territorii chelovekom menjaet gazoobmen Arkticheskoy tundry [Observations on CO₂ flows on the archipelago Spitsbergen: human use of the territory changes the gas exchange of the Arctic tundra] / D.V. Karelin, E.P. Zazovskaja, A.V. Dolgih [et al.] // Izvestiya Ran. Seriya Geograficheskaya [Proceedings of RAN. Geographical Series]. — 2019. — 5. — p. 56-66. [in Russian]
18. Sarzhanov D.A. Kratkosrochnaja dinamika i prostranstvennaja neodnorodnost' emissii CO₂ pochvami estestvennyh i gorodskih ekosistem Tsentral'no chernozemnogo regiona [Short-term dynamics and spatial heterogeneity of CO₂ emissions from soils of natural and urban ecosystems of the Central Chernozem region] / D.A. Sarzhanov, V.I. Vasenev, Ju.L. Sotnikova [et al.] // Pochvovedenie [Soilscience]. — 2015. — 4. — p. 469–478. [in Russian]
19. Nevedrov N.P. Sezonnaja dinamika emissii SO₂ iz pochv g.Kurska razlichnogo genezisa i struktury zemlepol'zovanija [Seasonal dynamics of CO₂ emission from soils of Kursk of various genesis and land use structure] / N.P. Nevedrov, D.A. Sarzhanov // Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sbornik nauchnyh trudov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii [Current problems of ecology and environmental management: collection of scientific papers of the XX International Scientific and Practical Conference]; — Issue 1. — Moscow : PFUR , 2019. — p. 295-299. [in Russian]
20. Metherell A.K. Century soil organic matter model environment. Technical documentation. Agroecosystem Version 4.0 / A.K. Metherell, L.A. Harding, C.V. Cole [et al.] // Great Plains Syst. Res. — 1993. — Unit Tech. Rep. 4.
21. Paul E.A. Radiocarbon dating for determination of soil organic matter pool sizes and dynamics / E.A. Paul, R.F. Follett, S.W. Leavitt [et al.] // Soil Sci. Soc. Am.J. — 1997. — 61. — P. 1058-1067.
22. Bruce J.P. Carbon sequestration in soils / J.P. Bruce, M. Frome, H. Haites [et al.] // J. Soil Water Conserv. — 1999. — 54. — P. 382-389.
23. Bandaranayake W. Estimation of Soil Organic Carbon Changes in Turfgrass Systems Using the CENTURY Model / W. Bandaranayake, Y.L. Qian, W.J. Parton [et al.] // Agron. J. — 2003. — 95. — P. 558-563.
24. Ren T. Dissolved organic carbon in cropland soils: A global meta-analysis of management effects / T. Ren, A. Ukalska-Jaruga, B. Smreczak [et al.] // Agriculture Ecosystems and Environment. — 2024. — Vol. 371. — P. 109080. — DOI: 10.1016/j.agee.2024.109080
25. Lorenz K. Soil Organic Carbon Sequestration / K. Lorenz, R. Lal // Soil Organic Carbon Sequestration in Terrestrial Biomes of the United States. — Springer, 2022. — P. 55–145. — DOI: 10.1007/978-3-030-95193-1_3
26. Sierra C.A. Carbon sequestration in the subsoil and the time required to stabilize carbon for climate change mitigation / C.A. Sierra, B. Ahrens, M.A. Bolinder [et al.] // Global change Biology. — 2024. — Vol. 30. — Iss. 1. — DOI: 10.1111/gcb.17153
27. Colombi T. On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil / T. Colombi, F. Walder, L. Büchi [et al.] // SOIL. — 2019. — 5. — P. 91-105.
28. Pandao M.R. The Role of Soil in Carbon Sequestration: Mechanisms and Implications / M.R. Pandao, R.R. Sindhu, D.S. Dhananjay [et al.] // Asian Journal of Environment & Ecology. — 2024. — 23 (9). — P. 66-75. — DOI: 10.9734/ajee/2024/v23i9598.
29. Silaeva P.Ju. O rezul'tatah rascheta polej konsentratsij zagrijaznitelej ot transportnyh potokov vokrug kampusa RUDN [On the results of calculating the fields of concentrations of pollutants from traffic flows around the PFUR campus] / P.Ju Silaeva // Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sbornik nauchnyh trudov XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii [Current problems of ecology and environmental management: collection of scientific papers of the XX International Scientific and Practical Conference]; — Iss. 1. — Moscow : PFUR , 2019. — p. 474-478. [in Russian]