

Научная статья

УДК 630*114(470.57-25)

DOI 10.48012/1817-5457_2025_1_72-81

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЕННОГО ГАЗООБМЕНА В ПАРКОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ И ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЕ Г. УФЫ

Байтурина Регина Рафаиловна[✉], Салимьянова Лена Рушановна

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Уфа, Россия

aspirant_bsau@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день роль почвенного покрова по парниковым газам изучена недостаточно и данные по ним противоречивы. Для полного понимания изучаемых процессов необходимо уделить большее внимание факторам, влияющим на содержание парниковых газов. Цель исследований: рекогносцировочное установление потоков углерода на поверхности почв в насаждении зеленой зоны г. Уфы. Исследования проводились в городских парковых насаждениях, за образцы взяты хвойные и лиственные древостои, ландшафтные поляны. Мониторинг выбросов парниковых газов проводился с использованием метода экспозиционных камер при помощи газоанализатора Li-Cor 7810. Замеры на выбранных объектах проводились в дневное время в начале вегетационного периода (апрель) и во время вегетации (август). Эмиссия потока углерода на поверхности почв в широколиственном лесу до начала вегетационного периода (март) достигает $493,2 \text{ г С/м}^2\text{сут}^{-1}$. На непокрытом лесом участке (поляна) поток углерода на поверхности почв не превышает $471,8 \text{ г С/м}^2\text{сут}^{-1}$. Несмотря на период измерений до вегетации древесно-кустарниковых и травянистых растений, потоки углерода по абсолютным показателям на лесных почвах превышают непокрытые лесом участки, поскольку древесно-кустарниковые и травянистые виды растений различаются по глубине залегания корней и пространственному распределению. В конце вегетационного периода (август) эмиссия потока углерода на поверхности почв уменьшается до $636,9 \text{ г С/м}^2\text{сут}^{-1}$. Полученные результаты могут применяться для оценки показателей факторов, влияющих на качество и состояние почвы. Несомненно, что измерения почвенного газообмена являются важным методом изучения процессов, происходящих в почве и влияющих на ее состояние.

Ключевые слова: почва, климат, парниковые газы, газообмен, эмиссии углекислого газа и метана, газоанализатор LI-COR 7810.

Для цитирования: Байтурина Р. Р., Салимьянова Л. Р. Показатели почвенного газообмена в парковых насаждениях и зеленой зоне г. Уфы // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (81). С. 72-81. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_72-81.

Актуальность. Увеличения выбросов парниковых газов (ПГ) с преобладанием углекислого газа (CO_2) привело к изменению климата, которое негативно сказывается на естественных экосистемах [19]. Значительную функцию по поглощению атмосферного CO_2 и аккумулярованию его в биомассе древесных растений выполняют лесные насаждения [24]. Эту роль лесов называют секвестрацией углерода [14]. По подсчетам глобальной оценки лесных ресурсов [9], мировые леса в своей биомассе содержат 296 Гт углерода (С). При этом лесные экосистемы поглощают углерод и выделяют его обратно в атмосферу при обезлесении [6]. Около 13 % мировых выбросов CO_2 приходится на обезлесение территорий [5].

Примерно 337 Гт С представляют собой суммарные запасы органического и минерального углерода в почвах России. Почвы таежных лесов и тундр содержат 87 % органического углерода, примерно треть от всей площади. В почвах сред-

нетаежной зоны сконцентрирована примерно треть запасов этого элемента (111 Гт С). На уровне одного метра сосредоточено примерно 28 Гт С запасов органического углерода на почвах сельскохозяйственных угодий. Влияние изменения климата наблюдается в почвах: повышение среднегодовой температуры воздуха указывает на возможность негативного воздействия органических веществ и их деградации, в то время как увеличение среднегодового количества осадков в почве приводит к положительному балансу углерода. Ожидается, что в почвах будет наблюдаться положительный баланс накопления углерода из-за всеобщих тенденций изменения климата. С увеличением количества опасных и нежелательных гидрометеорологических явлений процессы деградации почв усиливаются экзогенной водной и ветровой эрозией, дефляцией и другими факторами [8].

Основными ПГ в естественных лесных экосистемах являются циклы углерода (С) и азо-

та (N), углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и оксида азота (N_2O), они являются основными газами и циркулируют между лесами и атмосферой, в основном влияя на глобальное потепление. Влияние лесной почвы на выбросы ПГ остается критически важным вопросом в отношении циклов углерода и азота. Различные элементы природной среды влияют на физические, химические и биологические характеристики лесной почвы. К ним относятся подходы к управлению лесным хозяйством, такие, как естественные экосистемы лесов и плантаций, лесные свойства, например, формы рельефа (ямы-насыпи и катены), виды деревьев, валежник и просветы в кронах деревьев. Все это в конечном итоге влияет на выбросы ПГ из почвы в атмосферу. Кроме того, такие факторы, как температура почвы, пористость, влажность, pH, плодородие и содержание органических веществ, влияют на выбросы ПГ посредством микробной активности. Структура почвы (текстура и дренаж) напрямую влияет на выбросы, поскольку они влияют на вышеуказанные свойства. Исследование также установило, что живые организмы, например, дождевые черви, создают почвенную экосистему и структуру путем рытья нор и забрасывания. Благодаря этому создается баланс в почвах ПГ. Таким образом происходит секвестрация N и C почвенными экосистемами. Тем не менее, продолжаются споры о том, воздействуют ли леса преимущественно на почвы, выступая в качестве основного источника ПГ.

Анализ показал, что экосистемы мира сильно отличаются эмиссией CH_4 . К примеру, полупустыни и болотные экосистемы вместе выделяют 12,9 % от его общего потока. Основную роль играют тропические влажные леса, которые составляют 34,8 % от общей эмиссии. Водно-болотные угодья имеют высокие значения CO_2 , CH_4 и N_2O , что приводит к большим значениям CO_2 -эквивалента. Пахотные земли характеризуются высоким CO_2 , по сравнению с лугами, а лесные угодья выделяют больше N_2O [10].

Опираясь на длительные исследования, становится очевидным, что почвы Российской Федерации богаты углеродом в шесть раз больше, чем растительные покровы. Это подтверждает целесообразность использования почв для улучшения углеродного баланса страны. Общее количество выбросов парниковых газов, включая CO_2 , в России составляет около 2500 млн т, это примерно 681 млн т C. Резерв секвестрации C в почвах РФ составляет около 3,67 или более 13 млрд т CO_2 -экв., что превы-

шает уровень годовых выбросов ПГ в 19 раз. Почвенный фонд страны составляет примерно 12 % от общего земельного фонда, а верхние горизонты почвы накапливают не менее 23 % мировых запасов органической материи. Уровень органического вещества в почвах России различается в зависимости от типа почвы. На органогенных почвах концентрация углерода достигает $20,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$, в то время как на низких гумусовых почвах она составляет $1,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ [10].

В настоящее время ведутся активные дискуссии о влиянии различных факторов на содержание CO_2 и CH_4 в почве. Микробная активность, корневое дыхание, биохимический распад и дыхание почвенной фауны и грибов приводят к образованию парниковых газов в почвах. Однако леса также служат поглотителями CO_2 , так как деревья фотосинтезируют и поглощают углекислый газ в процессе роста. Это может снижать общий уровень эмиссии CO_2 из почвы леса в атмосферу.

Работы исследователей показывают [3,4,7], что общая эмиссия CO_2 из почвы лесов может быть существенной, особенно в лесных экосистемах с высоким уровнем органического материала и микробиологической активностью. Кроме того, изменения в использовании земли, такие, как сельское хозяйство или лесозаготовка, могут приводить к увеличению эмиссии CO_2 из почвы леса. Это связано с разрушением почвенной структуры и ускоренным распадом органического материала.

Цель исследований: рекогносцировочное установление потоков углерода на поверхности почв в насаждении зеленой зоны г. Уфы.

Задачи: 1) описание общего породного состава и возрастной структуры на выбранных участках;

2) произвести мониторинг выбросов парниковых газов.

Материал и методы исследований. Исследования проводились в парковых насаждениях г. Уфы, за образцы взяты хвойные и лиственные древостои, ландшафтные поляны. Распределение деревьев по возрастным группам в городских насаждениях далеко не равномерно. Доля деревьев возрастом до 30 лет составляет всего лишь 3-29 % от общего числа находящихся в парках деревьев, в то время как доля деревьев в возрасте от 31 до 50 лет составляет от 6 до 65 %. Незначительная часть (3-16 %) представлена деревьями старше 50 лет.

Парковые насаждения города представлены преобладающими средневозрастными

видами *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Álnus glutinósa* L., представители рода *Ulmus*, из хвойных – *Pinus sylvestris* L. На обследуемых территориях города выделены урбаноэмы – городские почвы.

На лесном участке доминирует *Tilia cordata* Mill. десятого класса возраста, с небольшим участием в составе *Ulmus laevis* Pall., *Betula pendula* Roth., *Ácer platanóides* L., *Quercus robur* L. Тип почвы – серо-лесная.

Мониторинг выбросов парниковых газов проводился с использованием метода экспозиционных камер [10]. Принцип этого метода очень простой: на поверхность почвы устанавливается герметичная камера с отсутствующим нижним основанием. Открытая часть камеры устанавливается в почву и выделяющиеся газы поступают внутрь камеры, накапливаясь в свободном пространстве. Такой подход позволяет исследователям самостоятельно определять местоположение камер и длительность экспозиции. Камерный метод является наиболее широко используемым для количественной оценки прямых эмиссий ПГ из почв [4].

Газоанализатор Li-Cor 7810 предназначен для измерения показателей почвенного газообмена, применялся на территории парковых насаждений и лесных участков. Прибор состоит из камеры с датчиками газового состава, подключенный к электронному устройству для считывания и записи данных. За определенный период времени газоанализатор снимает данные о содержании газов (например, уровень углекислого газа) внутри камеры, а также факторах, влияющих на газообмен (температура, влажность и давление почвы). Замеры проводились в дневное время в начале вегетационного периода (апреле) и во время вегетации (августе 2023 г.) на выбранных объектах исследования.

Полученные данные используются для анализа состояния почвы, оценки ее продуктивности, определения влияния различных факторов на газообмен и для принятия решений по улучшению условий.

Результаты исследований. Измерение деструкционной части углеродного цикла с помощью портативной камеры LI-COR 7810 показало (табл. 1), что покрытые и непокрытые лесом категории земель отличаются величиной связывания углерода почвой, которая в лесу достигает 465,1 г·С·м²сут⁻¹, на поляне – не превышает 471,8 г·С·м²сут⁻¹, в городских насаждениях – 636,9 г·С·м²сут⁻¹. Средние показатели содержа-

ния водяного пара – 11501 г·С·м²сут⁻¹ на лесном участке значительно превосходят показатели в городских парках – 5550 г·С·м²сут⁻¹. При этом концентрация метана в городских насаждениях выше в среднем на 171 ед., чем на лесных участках (рис. 1). Зависимость эмиссии ПГ от температуры может быть сложной и зависит от конкретного газа. Однако общая тенденция состоит в том, что с увеличением температуры происходит усиление эмиссии ПГ. В конце вегетационного периода (август) эмиссия потока углерода на поверхности почв уменьшается до 636,9 г·С·м²сут⁻¹.

Мониторинговые замеры концентрации СН₄ и режимных почвенных параметров показали прямую корреляционную связь потока с температурой почвы ($r_{TS} = 0,6$). Наблюдается обратная корреляция между температурой почв и атмосферным воздухом ($r_{TA} = -0,3$).

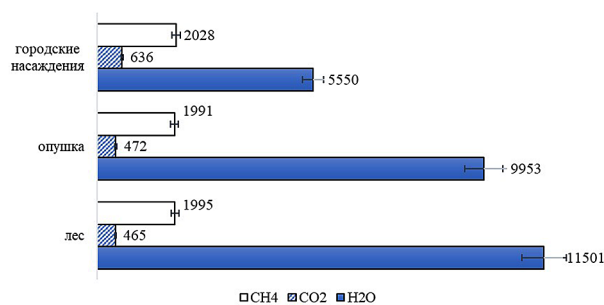


Рисунок 1 – Среднее содержание ПГ метана (СН₄), углекислого газа (СО₂) и водяного пара (Н₂О) в верхнем слое почвы на исследуемых участках различного типа

Результатами исследований установлено, что продуцирование соединений углерода и количество потока водяного пара на участках зависит от степени покрытия почвы растениями. В этом плане важным моментом должно быть связывание биомассы живых организмов и углерода в составе органического вещества почвы (табл. 1).

В результате проведенных измерений на исследуемых участках выявлено, что коэффициент корреляции между температурой почвы и содержанием углекислого газа слабый и положительный ($r = 0,20$), а между концентрацией метана и изменением почвенной температуры связь тесная ($r = 0,82$). При этом корреляционная связь между потоком водорода (Н₂О) и температурой почвы отрицательная, а между температурой атмосферы – слабая ($r = 0,10$).

Зависимость концентрации ПГ от температуры почвы в лесу может быть сложной и, по мнению авторов, зависит от нескольких факторов:

Таблица 1 – Средние показатели измерений ПГ на объектах исследования, С·м²сут⁻¹

Пробная площадь (координаты)	Сроки проведения измерений (2023 г.)	Парниковые газы	
		СО ₂	СН ₄
Парк КиО «Демский»			
У дороги (54.702515, 55.830069)	Апрель (до вегетации)	613,15	2036,44
Лиственное (54.702627, 55.830106)		640,78	2030,02
Хвойное (54.702584, 55.830059)		599,36	2031,68
У дороги (54.702515, 55.830069)	Август (период вегетации)	560,13	2169,53
Лиственное (54.702627, 55.830106)		593,53	2169,01
Хвойное (54.702584, 55.830059)		678,70	2300,18
Сквер «50-летие Октября»			
У дороги (54.738341, 55.977911)	Апрель	488,59	2003,76
Лиственное (54.738420, 55.977862)		1023,35	2013,51
Хвойное (54.738426, 55.977671)		483,94	2006,9
У дороги (54.738341, 55.977911)	Август	482,80	1991,61
Лиственное (54.738420, 55.977862)		465,27	1992,49
Хвойное (54.738426, 55.977671)		473,03	2000,84
Парк КиО им. М. Гафури			
У дороги (54.772884, 56.025246)	Апрель	713,69	2038,19
Лиственное (54.772283, 56.024413)		760,80	2181,85
Хвойное (54.772898, 56.024987)		681,59	2108,56
У дороги (54.772884, 56.025246)	Август	527,07	2004,21
Лиственное (54.772283, 56.024413)		465,76	2004,34
Хвойное (54.772898, 56.024987)		584,86	2189,95
Лесопарк им. Лесоводов Башкортостана			
У дороги (54.729343, 56.023605)	Апрель	735,38	2050,45
Лиственное (54.72954, 56.023222)		676,86	2011,62
Хвойное (54.729453, 56.023167)		644,25	2047,46
У дороги (54.729343, 56.023605)	Август	478,96	2008,38
Лиственное (54.72954, 56.023222)		617,45	2200,66
Хвойное (54.729453, 56.023167)		560,13	2169,53
Парк КиО «Первомайский»			
У дороги (54.807710, 56.117917)	Апрель	866,84	2069,82
Лиственное (54.807404, 56.117760)		620,57	2043,34
Хвойное (54.807520, 56.117882)		820,71	2053,54
У дороги (54.807710, 56.117917)	Август	644,73	2319,7
Лиственное (54.807404, 56.117760)		529,95	2140,67
Хвойное (54.807520, 56.117882)		618,69	2182,97
Дмитриевское лесничество			
Лиственное (54.762, 55.712)	Апрель	493,20	1996,60
	Август	636,90	2028,40

– во-первых, температура почвы влияет на микробную активность, которая является основным источником эмиссии ПГ из почвы. Во время более теплых периодов микробная

активность возрастает, что приводит к увеличению выделения ПГ;

– во-вторых, температура почвы оказывает влияние на процессы преобразования ПГ,

к примеру, преобразование нитратов в атмосферный оксид азота бактериями.

Также температура почвы влияет на скорость распада органического вещества в почве. При повышении температуры увеличивается скорость разложения органического вещества, что приводит к выделению ПГ, которые были связаны с этими органическими веществами. Однако следует отметить, что эти зависимости могут быть сложными и могут различаться от типа почвы, типа леса и других факторов.

На основании данных наблюдений был проведен регрессионный анализ зависимости почвенных потоков CO_2 в фоновой лесной почве в вегетационный период [6]:

Регрессионная зависимость почвенных потоков CH_4 в фоновой лесной почве представлена формулой:

от температуры воздуха: $y = 0,033x - 39,757$ при $R^2 = 0,68$;

от температуры почвы: $y = 0,0008x + 32,377$ при $R^2 = 0,94$.

Результаты регрессионного анализа показали, что весенний период характеризуется наиболее значимыми экологическими факторами, такими, как температура воздуха и почвы относительно потоков CH_4 . С использованием данных факторов удалось спрогнозировать 93 % варьирования почвенного потока CH_4 и температуры почвы ($R^2 = 0,93$; $p < 0,01$).

Однако прогноз почвенного потока CO_2 для весеннего периода, основанный на уравнении, оценивающим температурную зависимость, демонстрировал низкую степень влияния температуры воздуха – 4 % и температуры почвы – 14 %.

Средняя температура воздуха в апреле составила 21 °С, а в августе 25 °С.

Также, перейдя к осеннему периоду, регрессионный анализ показал, что при учете экологических факторов, таких, как температура воздуха и влажность почвы, можно получить уравнения регрессии, способные объяснить до 1 % варьирования почвенного потока CO_2 и CH_4 как для лесных почв, так и для урбано-земов.

Эмиссия ПГ в почве – это показатель, который сильно меняется как в пространстве, так и со временем. Образование ПГ наблюдается вследствие активности микроорганизмов, дыхания корней растений, биохимических процессов разложения, а также активности почвенной микробиоты и грибов. Немало факторов сказывается на объеме эмиссии газов, в том числе влажность и температура почвы,

присутствие растительного покрова, кислотность почвы, использование удобрений, способ использования земли и другие. Однако наиболее важным фактором для выделения газов из почвы является влажность. Образование метана (CH_4) возможно только в строго аэробных условиях и позитивно коррелирует с влажностью почвы. Эмиссия метана в почвах происходит только при наличии аэробных условий. Продолжительные засухи могут значительно снизить эмиссию газов. В том случае, если почва становится аэробной, она может стать источником N_2O . Почвы с высоким содержанием крупных пор способствуют выделению газов в аэробных условиях. Эмиссия NO наиболее высока в почвах с грубой структурой. Почвы с преобладанием мелких пор способствуют образованию CH_4 и N_2O в анаэробных условиях. Присутствие стабильных агрегатов в почве, таких, как конкременты и корки, приводит к снижению содержания органических веществ [10]. Кроме того, температура почвы играет важную роль в изменении выброса парниковых газов из почвы [22]. Повышение температуры до определенных значений увеличивает выбросы парниковых газов и способствует их поглощению, что является положительной реакцией на активность микроорганизмов. Выбросы метана и N_2O также вызваны увеличением дыхательной активности почвы с повышением ее температуры, что приводит к снижению концентрации кислорода в почве. Положительное влияние температуры может быть связано с недостатком влаги в почве, поскольку вода является важным средством для питательных веществ, необходимых для микробов. Выбросы оксида азота и CO_2 увеличиваются экспоненциально с повышением температуры [10].

По мнению авторов, температура окажет положительное влияние на выработку метана в почве. Ежегодно выброс CO_2 зависит от различных факторов, включая тип почвы, тип растительного покрова и погодные условия. В этом контексте особое влияние на количество выбрасываемого CO_2 оказывают температура почвы и ее влажность. Высокая влажность способствует повышению пространственной изменчивости дыхания, однако, насыщение почвы влагой приводит к снижению выраженности этого процесса за счет уменьшения пористости и нарушения газообмена с атмосферой. Наибольшее значение дыхания почвы наблюдается, когда влажная и теплая почва содержит легко разлагающиеся органические

вещества, такие, как подстилка, корневые выделения или компост [1].

Дыхание почвы также зависит от растительного покрова, а именно от возраста и типа деревьев (лиственные или хвойные). Наивысшие показатели дыхания почвы зафиксированы у молодых елей при сравнении деревьев в возрасте 10, 15, 31 и 47 лет [18]. Однако с возрастом посадки дыхание почвы снижается из-за уменьшения биомассы тонких корней. Это снижение в значительной степени компенсируется с увеличением возраста деревьев, поскольку более низкое дыхание корней в старых лесах частично компенсируется более высоким микробным дыханием благодаря более высокому поглощению органических веществ.

Аналогичные результаты были получены для сосен возрастом 45 и 250 лет, а также сосен возрастом 20 и 40 лет [10], а также для 5-летних и 15-летних деревьев. Растительность влияет на выбросы CH_4 . Таким образом, условия выбросов N_2O и CH_4 улучшаются и приводят к денитрификации. Активность микроорганизмов в почве напрямую зависит от ее рН. Поэтому землепользование и практики, связанные с обработкой почвы, оказывают влияние на выбросы в атмосферу и количество дополнительного углерода, выделяющегося в форме CO_2 . Кислые условия почвы способствуют снижению выбросов. Оптимальное значение рН для образования метана составляет от 4 до 7. Наблюдается, что при нейтральных значениях рН выбросы CO_2 выше.

Изменение режима землепользования может существенно повлиять на процессы выброса и поглощения CO_2 и других парниковых газов. В течение первых 30 лет после превращения леса в сельскохозяйственные земли теряется около 30-35 % углерода, ранее хранившегося в верхнем слое почвы. Значительные изменения наблюдаются ниже глубины обработки почвы. Глобальный потенциал почвенной секвестрации углерода в сельскохозяйственных почвах составляет от 0,73 до 0,87 т углерода в год.

Хозяйственная деятельность также приводит к сокращению площади лесных массивов и нарушению естественного почвенного покрова. Это в свою очередь ослабляет роль естественных выбросов парниковых газов, которые ранее частично нейтрализовали дополнительные эмиссии ПГ в атмосферу [10]. После пожара наблюдаются более низкие потоки CO_2 и N_2O на участках в связи со снижением корневого

дыхания и изменением рН, вызванным отсутствием растительного покрова.

Накопление органического углерода в почве зависит от растительного покрова. Любое изменение в области землепользования может значительно изменить характеристики источника или поглотителя атмосферного CO_2 и других парниковых газов. Различные виды растений могут иметь разную глубину корней и пространственное распределение. Поэтому данные о почвенных потоках, полученные в результате исследований с участием различных видов землепользования, растительного покрова и климатических регионов, требуют отдельной оценки для правильного определения дегазации почвы.

Также необходимо учитывать методы обработки почвы и внесения удобрений. Сельскохозяйственное производство от выращивания растений до утилизации биомассы является одним из основных источников антропогенных выбросов парниковых газов, составляющих от 19 до 29 % от общего объема выбросов. Большая часть этих выбросов, около 80-86 %, связана с сельским хозяйством, включая косвенные выбросы, связанные с изменением растительного покрова. Однако доли выбросов могут значительно отличаться в различных регионах [23].

Невозможно недооценить существенную роль углерода в балансе глобального биогеохимического цикла и ПГ, который обуславливается стабильностью почвенного покрова. Увеличение накопления углерода и уменьшение выбросов ПГ возможно при самоочищении и самовосстановлении. Как отмечают многие исследователи, одним из методов в решении вопросов углеродной компенсации и углеродной экономии становятся организуемые в российских регионах углеродные полигоны (табл. 2).

Реакция почвенного раствора, определенная в солевой вытяжке (рН КС), в верхнем гумусовом горизонте: слабокислые (рН 4,6-4,8) – в урбаноземах – близкие к нейтральным (рН 5,8-5,9), нейтральные (рН 6,5-6,6).

Гидролитическая кислотность и содержание поглощенных оснований варьирует в широких пределах, поэтому степень насыщенности основаниями в верхнем слое почв колеблется от 86,0-97,0 %.

Содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте в исследованных городских почвах различается в весьма значительных значениях: от 4,5 до 9,2 %. По степени обеспеченности: средняя, повышенная, высокая.

Таблица 2 – Физико-химические показатели почв различного пользования в городских условиях

№	Глубина взятия проб, см	рН сол.	ГК	Ca	Mg	Степень насы- щенно- сти, %	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	N- NH ₄
			мг-экв/100 г почвы								
Лесопарк им. Лесоводов Башкортостана											
1	0-20	6,8	0,85	23,0	4,8	97,0	5,1	43	86	8,30	2,5
2	3-20	5,8	3,8	19,5	4,5	86,4	4,5	199	205	2,80	8,5
3	3-20	5,9	2,41	17,5	3,5	89,7	4,7	490	480	7,20	11,3
Парк КиО им. М. Гафури											
4	0-20	5,9	1,94	20,5	6,3	93,2	5,2	110	250	8,90	6,5
5	3-20	6,6	0,83	20,5	3,3	96,6	7,0	810	860	5,40	15,0
6	3-20	6,6	0,99	20,5	3,8	96,1	8,0	700	990	6,50	8,5
Парк КиО «Первомайский».											
7	0-20	7,0	0,53	10,3	1,8	95,8	7,8	138	240	7,10	8,5
8	3-20	5,6	3,63	18,8	3,5	86,0	8,1	250	300	5,50	6,0
9	3-20	6,2	1,67	21,3	4,3	93,9	8,6	122	190	6,50	12,5
Сквер «50-летие Победы»											
10	0-20	7,0	0,55	19,0	3,5	97,6	8,3	88	185	14,8	8,0
11	3-20	6,3	1,90	27,0	5,8	94,5	9,2	68	560	6,30	11,5
12	3-20	6,4	1,34	21,3	4,3	95,0	7,8	960	790	4,70	7,5
Парк КиО «Демский»											
13	0-20	6,5	1,06	24,3	5,0	96,5	8,6	71	150	11,8	3,0
14	3-20	5,4	3,96	22,8	5,0	87,5	8,1	25	90	8,50	8,5
15	3-20	6,3	1,34	26,5	7,0	96,2	8,0	58	110	12,3	9,5

Выводы. Эмиссия потока углерода на поверхности почв в широколиственном лесу до начала вегетационного периода (март) достигает 493,2 г·С·м²сут⁻¹. На непокрытом лесом участке (поляна) поток углерода на поверхности почв не превышает 471,8 г·С·м²сут⁻¹.

Несмотря на период измерений до вегетации древесно-кустарниковых и травянистых растений, потоки углерода по абсолютным показателям на лесных почвах превышают непокрытые лесом участки. В конце вегетационного периода (август) эмиссия потока углерода на поверхности почв уменьшается до 636,9 г·С·м²сут⁻¹. Обнаружена тесная связь между концентрацией метана и изменением почвенной температуры. Выявлена зависимость степени покрытия почв растениями на продуцирование соединений углерода и количество потока водяного пара на участках.

Почвы являются важным компонентом биосферы, в том числе в круговороте углерода и метана. Они являются одновременно источником и поглотителем этих газов, что зависит от множества факторов, включая тип почвы, ее физико-химические свойства, температуру и влажность, а также антропогенное воздействие. Несмотря на значительные достижения в исследовании эмиссии CO₂ и CH₄ почвами, до сих пор существует ряд нерешенных проблем.

К ним относятся:

1. Неполное понимание всех факторов, влияющих на эмиссию и потребление почвой парниковых газов.

В настоящее время известно, что на эти процессы влияют как природные (тип почвы, ее физико-химические свойства, температура и влажность, а также содержание органического вещества), так и антропогенные факторы (сельскохозяйственная деятельность, вырубка лесов, загрязнение почвы и воды).

2. Недостаточное количество данных, особенно в отношении эмиссии почвами метана (данные об эмиссии метана почвами особенно ограничены для лесных экосистем).

3. Отсутствие общепринятой методической базы для определения эмиссии почвами ПГ (существующие сегодня методы определения эмиссии почвами парниковых газов отличаются своими преимуществами и недостатками).

Кроме того, в последнее время в исследовании эмиссии почвами ПГ появились такие новые направления, как:

– исследование роли почвенных микроорганизмов в процессах эмиссии и потребления ПГ. Микроорганизмы играют ключевую роль в этих процессах, поэтому их изучение необходимо для более полного понимания механизмов эмиссии и потребления почвой ПГ;

– исследование влияния изменения климата на эмиссию почвами ПГ.

Изменение климата может привести к трансформации параметров, влияющих на эмиссию почвами ПГ, в том числе увеличению или снижению их эмиссии.

Изучение эмиссии почвами ПГ является важной задачей, поскольку оно позволяет оценить вклад почв в глобальный баланс этих газов. Несмотря на существующие проблемы, в последние годы в этой области достигнут значительный прогресс. Дальнейшее развитие исследований позволит улучшить понимание процессов эмиссии и потребления почвой ПГ, что будет способствовать разработке эффективных мер по их снижению.

Список источников

1. Атлас почв РФ. Электронный доступ: <https://soil-db.ru/soilatlas/> (дата обращения: 20.10.2023).
2. Вальков В. Ф. Почвоведение. Москва - Ростов-на-Дону, 2004. 494 с.
3. Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России / А. Л. Иванов, И. Ю. Савин, В. С. Столбовой [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 5-32.
4. Комарова Т. В. Экологическая оценка почвенной эмиссии CO₂ в сукцессионном ряду зарастания залежи на территории Центрально-Лесного заповедника: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Москва, 2019. 23 с.
5. МГЭИК. Резюме для политиков. «Изменение климата и земля: специальный доклад МГЭИК об изменении климата, опустынивании, деградации земель, устойчивом управлении земельными ресурсами, продовольственной безопасности и потоках ПГ в наземных экосистемах»; Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Женева, Швейцария, 2019.
6. Мухаметзянова Л. Р., Байтурина Р. Р., Асылбаев И. Г. Потоки углерода в городских почвах. Материалы конференции «Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXXIII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2023». 2023. С. 147-152.
7. Саржанов Д. А. Экологическая оценка эмиссии ПГ (CO₂, CH₄, N₂O) городскими почвами различных функциональных зон Курска: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Москва, 2016. 24 с.
8. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.
9. ФАО. Глобальная оценка лесных ресурсов, 2015. Страновой отчет, Малайзия; Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: Рим, Италия, 2015 г. (Global Forest Resources Assessment 2015. How Are the World's Forests Changing? Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).
10. Федоров Ю. А. Сухоруков В. В., Трубник Р. Г. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение ПГ почвами. Экологические проблемы // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 6–34.
11. Bahn M., Kutsch W. L., Heinemeyer A., Janssens I. A., Appendix: Towards a Standardized Protocol for the Measurement of Soil CO₂ Efflux. Soil Carbon Dynamics. *An Integrated Methodology*. Cambridge Univ. Press, 2012, pp. 272-281.
12. Bahn M., Reichstein M., Davidson E. A., Grünzweig J., Jung M. [et al.]. Soil respiration at mean annual temperature predicts annual total across vegetation types and biomes. *Biogeoscience*. 2010; 7(7): 2147-2157.
13. Baiturina R. R., Mustafin R. F., Sultanova R. R. [et al.] Assessment of Atmospheric air quality in urbanised areas of the southern Urals. *International Journal of Environmental Studies*. 2022, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2103986>.
14. Besar N. A., Suardi H., Phua M. H. [et al.]. Carbon stock and sequestration potential of an agroforestry system in Sabah Malaysia. *Forests*. 2020; 11(2).
15. Fedorov Y. A., Sukhorukov V. V., Trubnik R. G. Review: emission and absorption of greenhouse gases by soils. *Ecological problems. Anthropogenic Transformation of Nature*. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 6-34.
16. Fedorov, Yu. A., & Gar'kusha, D. N., & Shipkova G. V. (2015) Methane emission from peat deposits of raised bogs in Pskov oblast. *Geography and Natural Resources*. (36), 70-78.
17. Fedorov Yu. A., Garkusha D. N., Krukier, M. L. Influence of temperature on methane emission from water bodies (according to the results of experimental and mathematical modeling). *Izvestiya vuzov. Natural science*. 2012; 6: 98-100. (In Russ.).
18. Pattey E., Edwards G. C., Desjardins R. L., Pennock D. J., Smith W. [et al.]. Tools for quantifying N₂O emissions from agro ecosystems. *Agric For Meteorol*. 2007; 4: 103-119. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.05.013.
19. Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different landuse changes across Europe. *Geoderma*. 2013; 192: 189-201.
20. Raihan A., Said M.N.M. Cost–Benefit Analysis of Climate Change Mitigation Measures in the Forestry Sector of Peninsular Malaysia. *Earth Syst. Environ*. 2022; 6: 405-419. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00241-6>.
21. Sainju U. M., Jabro J. D., Stevens W. B. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual*. 2008; 37: 98-106.

22. Schaufler G., Kitzler B., Schindlbacher A. [et al.] Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *Eur. J. Soil Sci.* 2010; 61: 683-696. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2010.01277.x.

23. Vermeulen S. J., Campbell B. M., Ingram J. S. I. Climate change and food systems. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 2012; 37: 195-222.

24. Zhu Y., Feng Z., Lu J., Liu J. Estimation of Forest Biomass in Beijing (China) Using Multisource Remote Sensing and Forest Inventory Data. *Forests.* 2020; 11(2):163.

References

1. Atlas почв РФ. Электронный доступ: <https://soil-db.ru/soilatlas/> (дата обращения: 20.10.2023).

2. Вал'ков В. Ф. Почвоведение. Москва - Ростов-на-Дону, 2004. 494 с.

3. Global'nyj klimat i pochvennyj pokrov – posledstviya dlya zemlepol'zovaniya Rossii / A. L. Ivanov, I. Yu. Savin, V. S. Stolbovoj [i dr.] // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2021. Vy'p. 107. S. 5-32.

4. Komarova T. V. Экологическая оценка почвенной эмиссии SO₂ в сукцессионном ряду зарастания залежи на территории Central'no-Lesnogo zapovednika: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08. Москва, 2019. 23 с.

5. MGE'IK. Rezyume dlya politikov. «Izmenenie klimata i zemlya: special'nyj doklad MGE'IK ob izmenenii klimata, opusty'nivanii, degradacii zemel', ustojchivom upravlenii zemel'nyimi resursami, prodovol'stvennoj bezopasnosti i potokax PG v nazemnyx ekosistemax»; Mezhpriavitel'stvennaya gruppa ekspertov po izmeneniyu klimata. Zheneva, Shvejczariya, 2019.

6. Muxametzyanova L. R., Bajturina R. R., Asy'lbaev I. G. Potoki ugleroda v gorodskix pochvax. Materialy konferencii «Sovremennoe sostoyanie, tradicii i innovacionny'e tekhnologii v razvitii APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkax XXXIII Mezhdunarodnoj specializirovannoy vy'stavki «Agrokompleks-2023». 2023. S. 147-152.

7. Sarzhanov D. A. Экологическая оценка эмиссии PG (CO₂, CH₄, N₂O) городскими почвами различных функциональных зон Курска: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.08. Москва, 2016. 24 с.

8. Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyax klimata i ix posledstviyax na territorii Rossijskoj Federacii. Obshhee rezyume. Sankt-Peterburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 с.

9. FAO. Global'naya ocenka lesnyx resursov, 2015. Stranovoj otchet, Malajziya; Prodovol'stvennaya i sel'skoxozyajstvennaya organizaciya Ob`edinennyx Nacij: Rim, Italiya, 2015 g. (Global Forest Resources Assessment 2015. How Are the World's Forests Changing? Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

10. Fedorov Yu. A., Suxorukov V. V., Trubnik R. G. Analiticheskij obzor: emissiya i pogloshhenie PG pochvami. E'kologicheskie problemy' // Antropogennaya transformaciya prirodnoj sredy'. 2021. T. 7. № 1. S. 6–34.

11. Bahn M., Kutsch W. L., Heinemeyer A., Janssens I. A., Appendix: Towards a Standardized Protocol for the Measurement of Soil CO₂ Efflux. *Soil Carbon Dynamics. An Integrated Methodology.* Cambridge Univ. Press, 2012, pp. 272-281.

12. Bahn M., Reichstein M., Davidson E. A., Grünzweig J., Jung M. [et al.]. Soil respiration at mean annual temperature predicts annual total across vegetation types and biomes. *Biogeoscience.* 2010; 7(7): 2147-2157.

13. Baiturina R. R., Mustafin R. F., Sultanova R. R. [et al.] Assessment of Atmospheric air quality in urbanised areas of the southern Urals. *International Journal of Environmental Studies.* 2022, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2103986>.

14. Besar N. A., Suardi H., Phua M. H. [et al.]. Carbon stock and sequestration potential of an agroforestry system in Sabah Malaysia. *Forests.* 2020; 11(2).

15. Fedorov Y. A., Sukhorukov V. V., Trubnik R. G. Review: emission and absorption of greenhouse gases by soils. *Ecological problems. Anthropogenic Transformation of Nature.* 2021. Vol. 7. No. 1. R. 6-34.

16. Fedorov, Yu. A., & Gar'kusha, D. N., & Shipkova G. V. (2015) Methane emission from peat deposits of raised bogs in Pskov oblast. *Geography and Natural Resources.* (36), 70-78.

17. Fedorov Yu. A., Garkusha D. N., Krukier, M. L. Influence of temperature on methane emission from water bodies (according to the results of experimental and mathematical modeling). *Izvestiya vuzov. Natural science.* 2012; 6: 98-100. (in Russ.).

18. Pattey E., Edwards G. C., Desjardins R. L., Pennock D. J., Smith W. [et al.]. Tools for quantifying N₂O emissions from agro ecosystems. *Agric For Meteorol.* 2007; 4: 103-119. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.05.013.

19. Poeplau C., Don A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land use changes across Europe. *Geoderma.* 2013; 192: 189-201.

20. Raihan A., Said M.N.M. Cost-Benefit Analysis of Climate Change Mitigation Measures in the Forestry Sector of Peninsular Malaysia. *Earth Syst. Environ.* 2022; 6: 405-419. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00241-6>.

21. Sainju U. M., Jabro J. D., Stevens W. B. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 2008; 37: 98-106.

22. Schaufler G., Kitzler B., Schindlbacher A. [et al.] Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *Eur. J. Soil Sci.* 2010; 61: 683-696. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2010.01277.x.

23. Vermeulen S. J., Campbell B. M., Ingram J. S. I. Climate change and food systems. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 2012; 37: 195-222.

24. Zhu Y., Feng Z., Lu J., Liu J. Estimation of Forest Biomass in Beijing (China) Using Multisource Remote Sensing and Forest Inventory Data. *Forests.* 2020; 11(2):163.

Сведения об авторах:

Р. Р. Байтурина , кандидат биологических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-8156-2165>;

Л. Р. Салимьянова, аспирант, <https://orcid.org/0000-0003-4683-7060>

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, ул. 50-летия Октября, 34, Уфа, Россия, 450001

aspirant_bsau@mail.ru

Original article

INDICATORS OF SOIL GAS EXCHANGE IN PARKS AND GREEN ZONES OF UFA CITY

Regina R. Baiturina , **Lenara R. Salimyanova**

BashSAU, Ufa, Russia

aspirant_bsau@mail.ru

Abstract. *Currently the role of soil cover on greenhouse gases has not been sufficiently studied and the data on them are contradictory. To fully understand the processes being studied, it is necessary to pay more attention to the factors influencing greenhouse gases contents. The purpose of the research is the reconnaissance determination of carbon fluxes on the soil surface in the plantings of the green zone of Ufa. The research was carried out in urban park areas, coniferous and deciduous stands, and landscape clearings were taken as samples. Greenhouse gas emissions were monitored by applying the exposure camera method using a Li-Cor 7810 gas analyzer. The measurements at the selected sites were carried out during the daytime at the beginning of the growing season (April) and during the growing season (August). The emission of carbon flux on the soil surface in a broad-leaved forest before the beginning of the growing season (March) reaches 493.2 gC/m²day⁻¹. In an uncovered by forest area (clearing), the carbon flux on the soil surface does not exceed 471.8 gC/m²day⁻¹. Despite the measurement period before the growing season of trees, shrubs and herbaceous plants, carbon flows in absolute terms on forest soils exceed unforested areas, since tree, shrub and herbaceous plant species differ in root depth and spatial distribution. At the end of the growing season (August), the emission of carbon flux on the soil surface decreases to 636.9 gC/m²day⁻¹. The obtained results can be used to evaluate the indicators of factors affecting the quality and condition of soil. Undoubtedly, soil gas exchange measurements are an important method of studying the processes occurring in soil and affecting its condition.*

Key words: *ssoil, climate, greenhouse gases, gas exchange, carbon dioxide and methane emissions, gas analyzer LI-COR 781.*

For citation: *Baiturina R. R., Salimyanova L. R. Indicators of soil gas exchange in parks and green zones of Ufa city. The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025; 1 (81): 72-81. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_72-81.*

Authors:

R. R. Baiturina , Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8156-2165>;

L. R. Salimyanova, Postgraduate student, <https://orcid.org/0000-0003-4683-7060>

BashSAU, 34 50-letiya Oktyabrya St., Ufa, Russia, 450001

aspirant_bsau@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 03.09.2024; одобрена после рецензирования 20.01.2025;

принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 03.09.2024; approved after reviewing 20.01.2025; accepted for publication 03.03.2025.