
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ МЕГАПОЛИСА*

А.С. Елихина^{1, 2}, М.М. Визирская², В.И. Васенев^{1, 2},
И.М. Мазиров², И.И. Васенев², Валентини Риккардо^{2, 3}

¹Кафедра ландшафтной архитектуры и дизайна
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8/2, Москва, Россия, 117198

²Лаборатория агроэкологического мониторинга,
моделирования и прогнозирования экосистем
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Россия, 127550

³Университет Гусшия
Виа Дель Парадис, 47, Витербо, Италия, 73100

В статье приведен инновационный подход к организации мониторинговых исследований основных компонентов потоков парниковых газов представительных ландшафтов Московского мегаполиса и первоначальные результаты апробации данной методики.

Ключевые слова: экологический мониторинг, потоки парниковых газов, мегаполис, автоτροφное и гетеротрофное дыхание почвы.

Введение. Глобальное потепление климата и сопутствующие ему планетарные изменения — одна из принципиальных экологических проблем, непосредственно связанная с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере [1—3].

Наиболее важным фактором антропогенного воздействия на эмиссию парниковых газов является изменение землепользования [4]. На данный момент основное внимание в этой области уделяется увеличению потоков парниковых газов в результате обезлесения и интенсификации сельского хозяйства [5—8], в то время как воздействие урбанизации на изменение климата остается мало изученным [9].

Урбанизация — одна из основных и наиболее стремительно прогрессирующих тенденций изменения современного землепользования [10]. К началу XXI в. доля городского населения превысила таковую сельского; урбанизированные территории занимают более 3% всей суши Земли, а в отдельных регионах их доля превышает 10% [11]. Влияние промышленности и городской транспорта на глобальное потепление активно изучается, однако вклад городских ландшафтов в общую эмиссию парниковых газов остается мало изученным.

В то же время отдельные исследования показывают, что городские почвы, принципиально отличающиеся от естественных по характеру функционирования, профильному распределению элементов и пространственному разнообразию, обладают высоким потенциалом эмиссии CO₂, CH₄ и N₂O в атмосферу [12—14].

Одной из основных причин дефицита информации о потоках парниковых газов в урбоэкосистемах является несовершенная методическая и инструментальная база для их мониторинга. Так, к основным показателям, наблюдаемым ГПУ «Мос-

* Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ № 11.G34.31.0079.

экомониторинг», относятся статичные параметры, такие, как содержание органического углерода, тяжелых металлов, кислотность [15]. Более интегральные показатели, в том числе связанные с потоками парниковых газов, фактически не учитываются.

Среди современных методов определения парниковых газов можно выделить две принципиально отличающиеся группы: полевые и лабораторные. Исследование потоков в поле (например, с помощью камер) дает более объективные результаты, которые, однако, сильно зависят от таких внешних условий, как влажность и температура [12; 16].

В связи с этим сопоставление результатов, полученных для различных объектов в разное время, затруднено. Лабораторные методы позволяют нивелировать исходные различия внешних условий за счет предварительной подготовки в стандартизированных условиях [17; 18]: результатом является потенциальный поток, отражающий продукцию CO₂ микроорганизмами в оптимальных условиях.

Полевой метод анализа более объективно отражает сезонную динамику потоков парниковых газов, однако для его применения чрезвычайно важно выбрать представительные точки мониторинга, т.к. трудоемкость метода ограничивает их общее количество.

На данный момент объекты мониторинга часто выбираются по признаку административного деления на муниципалитеты, районы и округа. Такой подход практически не отражает факторы, реально влияющие на потоки парниковых газов, такие, как биоклиматические условия и типы землепользования, что усложняет интерпретацию результатов мониторинга.

Целью данного исследования являлась разработка базового информационно-методического обеспечения для проведения регионального мониторинга парниковых газов и его апробация на представительных ландшафтах урбанизированных территорий центральной части европейской территории России (на примере мегаполиса Москвы).

К основным решаемым задачам относились:

- разработка и проведение мониторинговых наблюдений за потоками парниковых газов различных урбоэкосистем;
- анализ пространственно-временных факторов, воздействующих на потоки парниковых газов, с учетом функционально-экологических особенностей изучаемых площадок;
- исследования влияния различных факторов антропогенной нагрузки на разнообразие потоков парниковых газов.

Объекты и методы исследования. *Объекты исследования.* Москва — крупнейший город России по количеству жителей и самый населенный из городов Европы [19]. Ее агломерация с численностью постоянного населения около 15 миллионов человек также является крупнейшей в России и Европе [19].

По версии консалтинговой компании Mercer Human Resource Consulting, Москва признается одной из самых загрязненных столиц Европы, занимая 14-е место [15; 19].

В то же время, наряду с высоким общим уровнем загрязнения и плотной застройкой, территория города характеризуется развитым природоохранным карка-

сом. Список Особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Москвы по состоянию на 2012 г. насчитывает 119 объектов. Зеленые насаждения занимают около 30% общей площади города, что является значительным показателем для крупного мегаполиса [19]. Все это делает территорию Москвы интересным объектом для проведения разноплановых экологических исследований.

В рамках организации мониторинговых исследований основных потоков парниковых газов на территории Москвы были выбраны площадки, представляющие основные типы ландшафтов мегаполиса: лесопарковые насаждения, газоны различных функциональных зон города и агроландшафты, которые могут быть представлены садами, цветниками и приусадебными участками. В качестве лесных естественных экосистем в черте города изучался природный комплексный заказник — Лесная опытная дача РГАУ-МСХА (ЛОД).

Ключевые участки газонных урбоэкосистем были выбраны с учетом функционально-экологического зонирования территории (селитебная, рекреационная и промышленная зоны) и уровня антропогенной нагрузки: (средняя и сильная).

В качестве представительных агроэкосистем рассматривались ключевые участки на полевой опытной станции РГАУ-МСХА на пропашных культурах (картофель) и культурах сплошного сева (пшеница) в вариантах с обычной вспашкой и безотвальной обработкой.

Такой подход к выбору объектов исследования позволяет изучить основные факторы, воздействующие на формирование потоков парниковых газов.

Методы исследования. Разработка методики мониторинга потоков парниковых газов невозможна без общего представления о биогеохимических циклах. Система биогеохимических циклов на нашей планете определяется циклом органического углерода, который полностью преобразовал состояние поверхностных оболочек Земли [20].

Наземные экосистемы могут быть как углеродным стоком, так и выступать в качестве источника углерода [21]. Экосистемные потоки углерода подразделяют на входящие (из атмосферы), составляющие продукционную часть углеродного цикла, и исходящие (в атмосферу), составляющие деструкционную часть углеродного цикла (рис. 1).

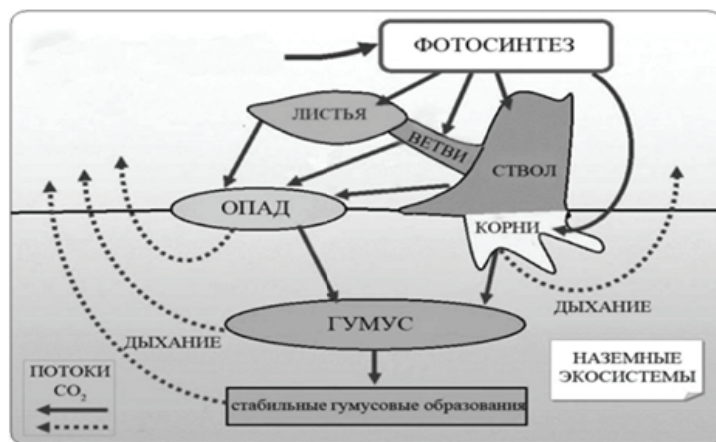


Рис. 1. Схема перемещения CO_2 в наземных экосистемах

Всю совокупность биохимических и физических процессов, приводящих к выделению углекислого газа, воды и энергии, запасенной в органических соединениях, характеризует «дыхание» почвы, которое является одной из ее важнейших характеристик [22; 23].

Термином «дыхание почвы» обозначают процессы воздухообмена между почвой и атмосферой, суммарного выделения (эмиссии) углекислого газа с поверхности почвы, скорость минерализации органического вещества и показатель ее биологической активности [12]. Считается, что на долю собственно почвенного дыхания приходится от $\frac{2}{3}$ до $\frac{1}{2}$ общего потока CO_2 из почв [24—26].

Общее дыхание почвы можно условно разделить на два основных компонента: дыхание корней и связанной с ними ризосферной микрофлоры и дыхание собственно почвенных микроорганизмов [27; 22]. Почвенное дыхание зависит от ряда биотических (содержания углерода и элементов питания) [28—30] и абиотических (температура, влажность) факторов [31—33], следствием чего является его высокая динамичность как по сезону, так и в течение суток. Высокое пространственно-временное разнообразие потоков углерода делает особо актуальным вопрос о выборе адекватных методик их анализа и сопоставления.

В данном исследовании реализована схема мониторинга, подразумевающая исследования различных компонентов потоков парниковых газов из почвы (в том числе CO_2), проводимые как более традиционными, так и самыми современными методами. Мониторинговые наблюдения включают измерение эмиссии CO_2 , режимных почвенных параметров (температура и влажность) и исследование биопродуктивности. Измерение эмиссии CO_2 из почв проводится как полевыми (с использованием приборов для проведения прямых измерений (рис. 2, А; Б), так и лабораторным методом (пробоотбор воздуха с помощью экспозиционных камер (см. рис. 4, А) с дальнейшим анализом на газовом хроматографе).

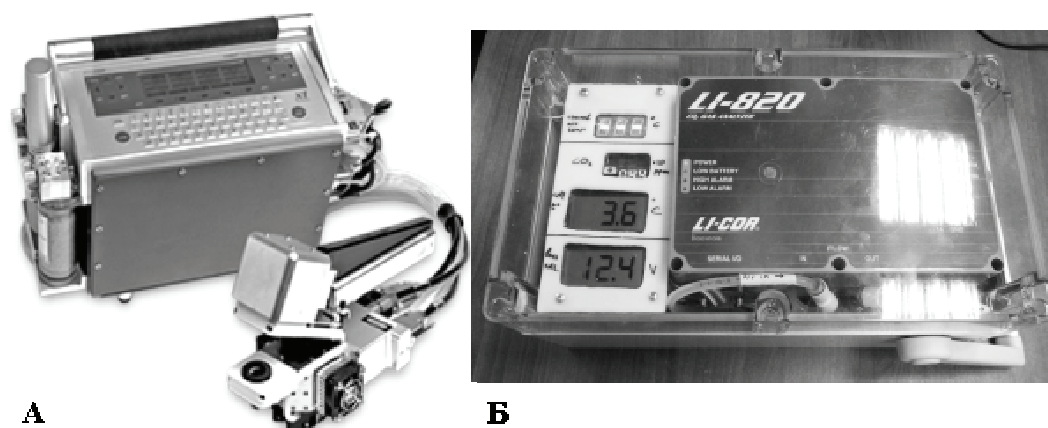


Рис. 2. Приборная база исследования:

Li-6400 — система для измерения фотосинтеза, оснащенная камерой для измерения почвенного дыхания (А); Li-820 — комплекс для измерения почвенного дыхания (Б)

Динамика потока CO_2 измеряется *in situ* в еженедельном режиме с помощью фотосинтетического измерительного комплекса, оснащенного камерой для определения эмиссии CO_2 , газоанализатора Li-6400 (рис. 3, А). Альтернативный вариант — измерение с помощью комплекса Li-820 (рис. 3, Б) и камеры с диаметром 20 см. На каждом представительном участке основания под камеры устанавливаются в 3-кратной повторности для автотрофного, гетеротрофного дыхания и контроля (рис. 3).

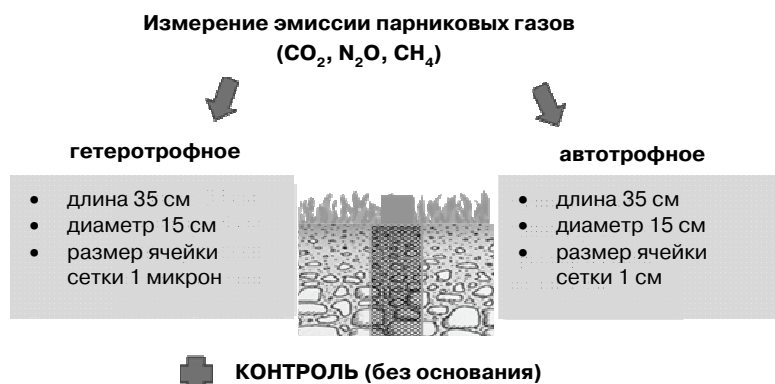


Рис. 3. Варианты подготовки оснований для измерения эмиссии парниковых газов

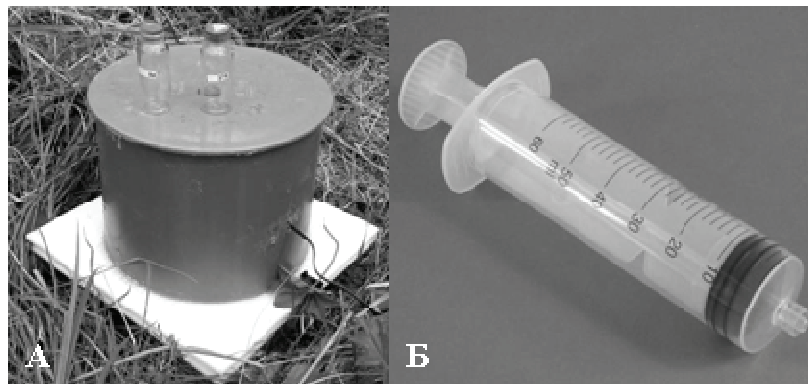


Рис. 4. Инструментальная база для измерений динамики потока CO_2 методом экспозиционных камер: измерительная камера (А), шприцы для отбора проб газа (Б)

1. *Измерение динамики потока CO_2 с помощью Li-Cor.* Разделение почвенного дыхания на составляющие компоненты является важным моментом для данного исследования и осуществляется следующим образом.

1.1. Контроль — R_s (основание под камеру устанавливается на почву, с которой была удалена растительность). Используется для измерения полного дыхания (дыхания корней и микроорганизмов — $R_a + R_h$) и при расчете микробного (гетеротрофного) дыхания.

1.2. Гетеротрофное дыхание — R_h — определяется в основаниях, установленных на специально подготовленную почву: из нее удаляют корни, просеивают через сито с диаметром отверстий 2 мм и засыпают послойно в мешок из материала, препятствующего прорастанию корней внутрь. В качестве такого материала может быть использована сетка с диаметром ячейки 1 мм либо геотекстиль. Реальное микробное дыхание рассчитывается как разница между контролем и гетеротрофным дыханием ($R_s - R_h$).

1.3. Автотрофное дыхание — R_a (почву подготавливают тем же способом, что и в предыдущем случае, но засыпают в мешок из сетки диаметром 1 см, в конце сезона в этих мешках определяют прирост корней за вегетационный сезон). Используется для вычисления дыхания корней растений как разница.

Итог.

Контроль = общее дыхание почвы в естественном сложении (R_s).

Контроль – R_a = микробное дыхание (R_h), исключая эффект просеивания почвы.

2. *Измерение динамики потока CO_2 методом экспозиционных камер.* Дополнительно определяется эмиссия CO_2 с помощью метода экспозиционных камер (см. рис. 4, А), которые устанавливаются на врезанные в почву основания. Образцы воздуха отбираются через 0, 5 и 15 минут с момента начала экспозиции шприцами (см. рис. 4, Б) в вials, где могут храниться до 3 месяцев для определения содержания газа на хроматографе. Поток рассчитывается по трем полученным значениям. Данный способ определения эмиссии CO_2 применяют для сравнительной характеристики различных участков; для получения абсолютных значений потоков предпочтителен первый метод — с использованием специализированных точных приборов для осуществления прямых измерений.

3. *Определение динамика N_2O и CH_4 .* В дополнение к измерениям потоков CO_2 велся отбор образцов для определения динамики эмиссии N_2O и CH_4 из почвы. Измерения в этом случае проводятся камерным методом в еженедельном режиме из тех же камер, что и в п. 2. Отбор проб осуществляется сразу после установки камер, а затем через 20 и 40 минут после начала экспозиции. Пробы воздуха отбираются в стеклянные герметично закупоренные вials и впоследствии анализируются на газовом хроматографе.

Описанная методика разделения корневого дыхания и дыхания микроорганизмов дает широкие возможности для исследования этих двух составляющих почвенного дыхания. Различные методы организации исследования позволяют изучать почвенное дыхание, например, в разных почвенных горизонтах во временной динамике, для чего из мешков удаляют отдельные горизонты, проводят измерения описанным выше способом, а затем пересчитывают данные.

Результаты и обсуждение. Апробационные исследования проводились в течение трех месяцев, с июля по август, посредством прямого измерения потоков на приборе Li-COR 6400. Полученные данные по эмиссии CO_2 почвами исследуемых объектов выявили значительные сезонные изменения потоков CO_2 из почв (рис. 5).

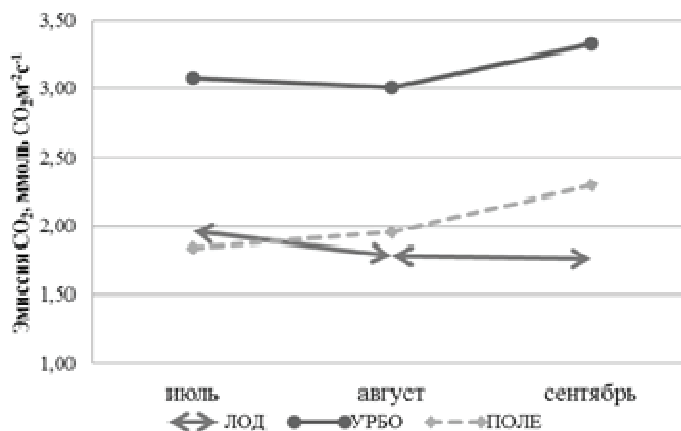


Рис. 5. Сезонная динамика эмиссии CO₂ почвами основных объектов, ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹

С июля по сентябрь происходит некоторое увеличение эмиссии на всех исследуемых площадках. Наиболее интенсивно эмиссия CO₂ была показана на площадках, представляющих урбандшафты (УРБО), величина потока CO₂ достигала 3,3 ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹, что в 2,5—3 раза превышало таковой поток для лесных (ЛОД) и полевых (ПОЛЕ) ландшафтов. В течение сезона наблюдения параллельно с потоком CO₂ измерялась температура почвы — она уменьшалась на протяжении всего периода измерений (рис. 6). Сильнее всего почва прогревалась на полевых участках (до 22,5 °С), вызывая понижение содержания влаги в верхнем почвенном горизонте.

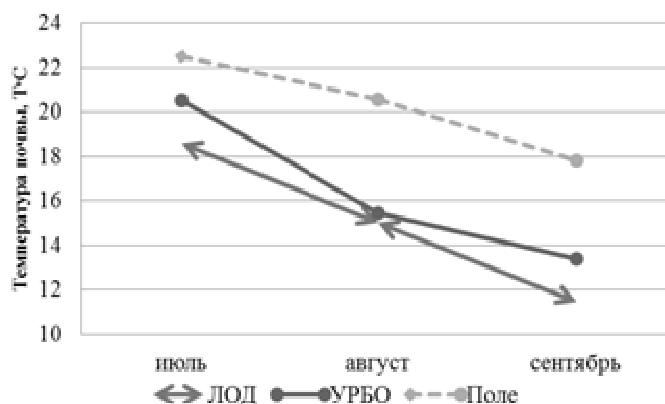


Рис. 6. Сезонные изменения температуры почв исследуемых площадок, t °С

Такие условия могут приводить к угнетению почвенной биоты и, как следствие, к уменьшению потока CO₂, что подтверждается значимой корреляцией показателей. В условиях поля значение коэффициента корреляции (r) между температурой и эмиссией CO₂ составило -0,29, что свидетельствует о негативном воздействии повышения температуры на эмиссию. На других исследуемых участках значения r составило 0,17 для лесных и 0,21 для урбандшафтов.

При анализе общее почвенное дыхание складывалось из автотрофного (или дыхания корней растений) и гетеротрофного (дыхания микроорганизмов). Одним из ключевых моментов исследования было разделение почвенного дыхания на эти составляющие в целях изучения обуславливающих их факторов и закономерностей. Исследования показали, что доля корневой составляющей варьировала в среднем от 10 до 29% (рис. 7). Наименьший вклад корней в почвенное дыхание характерен для полевых экосистем (10%) и урбоэкосистемы (12,7%), наибольший — для лесных экосистем (28,7%).

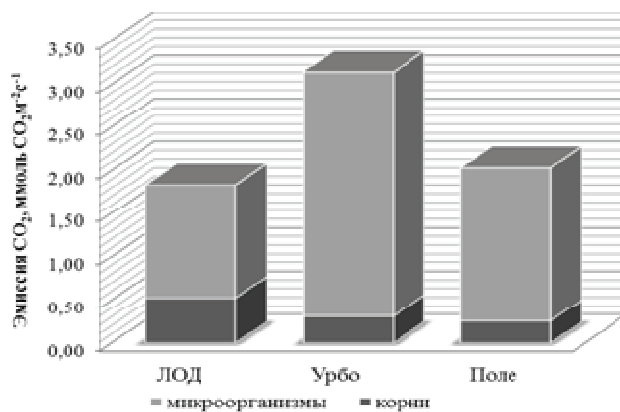


Рис. 7. Вклад дыхания корней и микроорганизмов в общее дыхание почвы на основных исследуемых площадках, ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹

Кроме того, проведенные исследования выявили различия в сезонной динамике дыхания микроорганизмов и корней для разных типов городских ландшафтов (рис. 8).

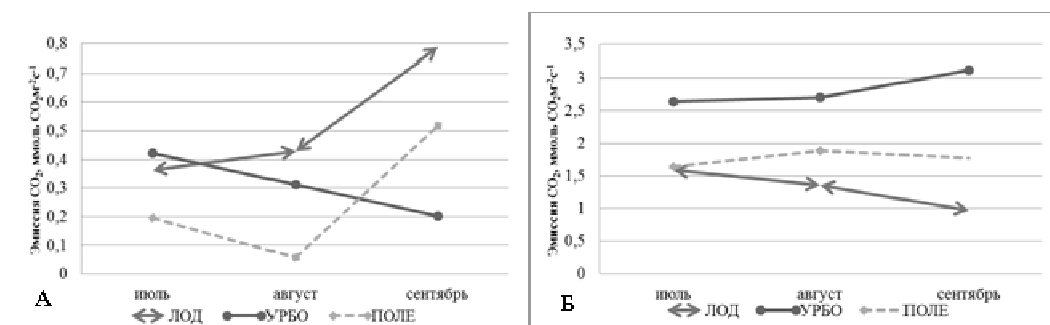


Рис. 8. Сезонная динамика эмиссии CO₂ почв исследуемых участков с разделением на автотрофную (А) и гетеротрофную (Б) составляющие, ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹

Для корневого дыхания характерно постепенное снижение эмиссии для урбо-ландшафтов (с 0,42 до 0,2 ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹) и повышение такового для лесных (0,36—0,79 ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹) и аграрных (0,2—0,52 ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹) ландшафтов с июля до сентября (см. рис. 8, А).

Дыхание микроорганизмов постепенно снижалось для лесных ландшафтов (1,6—0,98 ммоль CO₂ м⁻² с⁻¹) и, наоборот, повышалось для урбоэкосистем (2,65—

3,12 ммоль $\text{CO}_2\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$) (см. рис. 8, Б). Для агроландшафтов эмиссия CO_2 микроорганизмами незначительно повышается к августу — с 1,65 до 1,9 ммоль $\text{CO}_2\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ — и снижается к сентябрю до 1,78 ммоль $\text{CO}_2\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Выявленные особенности являются проявлением специфики функционирования изучаемых ландшафтов. Так, на полях, составляющих агроэкосистемы в период с конца июля и до середины августа (в зависимости от вида возделываемой культуры), осуществлялась уборка урожая, что отразилось в виде снижения эмиссии CO_2 корнями растений, однако, как результат обработки почвы, повысилась эмиссия CO_2 микроорганизмами.

Для лесных ландшафтов конец летнего периода характеризуется наибольшим развитием напочвенного растительного покрова, а следовательно, и корней, в связи с чем вплоть до сентября дыхание корней растений растет. В то же время в лесных экосистемах быстрее снижаются среднесуточные температуры (см. рис. б), что может негативно сказываться на активности почвенных микроорганизмов, дыхание которых постепенно уменьшается.

Урбоэкосистемы, представленные в исследовании газонами, характеризуются постепенным отмиранием растительности во время основных наблюдений, связанных с прохождением фаз жизненного цикла растений, которое приводит к снижению корневого дыхания.

Данные по потокам N_2O и CH_4 к моменту написания настоящей статьи находятся в обработке. Получены первичные данные по эмиссии CH_4 за первые две недели июня. Эти данные характеризуют потоки CH_4 как крайне нестабильные, в ряде случаев на одних участках процессы эмиссии идут параллельно с процессами поглощения, тем не менее можно проследить закономерную связь характера потока метана с видом землепользования.

Для почв агроэкосистем была показана эмиссия метана (рис. 9) — это может быть связано с переуплотнением почв в результате прохождения сельскохозяйственной техники и переувлажнением, что в сумме приводит к развитию анаэробного процесса и интенсификации образования метана.

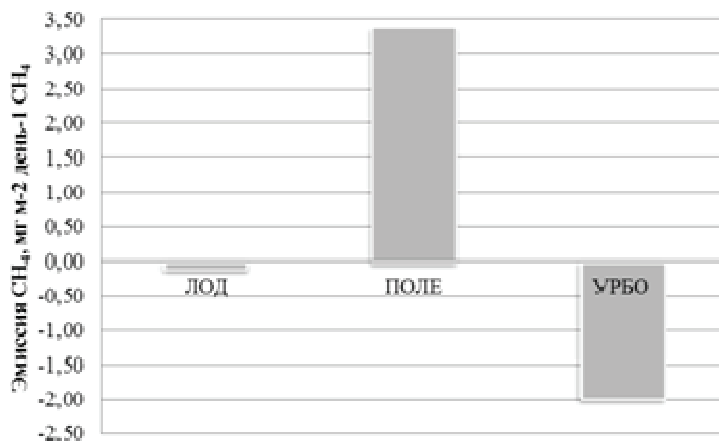


Рис. 9. График средних значений эмиссии CH_4 почвами представительных ключевых участков по результатам за июнь 2012 г., мг CH_4 м^{-2} день $^{-1}$

Для урбо- и лесных экосистем было отмечено поглощение метана различной степени интенсивности.

Для лесных экосистем, изучаемых на примере пяти представительных ключевых участков, располагающихся в разных элементах рельефа, в среднем характерно поглощение метана, однако в понижениях рельефа отмечается его эмиссия до 1,1—1,86 мг м²/день. Для урбоэкосистем характерен наибольший разброс данных, однако в среднем почвы этих территорий также поглощают метан.

Заключение. Проведенные исследования показали наличие взаимосвязи потоков углерода и:

— температуры почв ($r = -0,29$ для полевых ландшафтов и $0,17—0,21$ для лесных и урболандшафтов);

— степени антропогенной нагрузки (городские газоны, или урбоэкосистемы, выделяют наибольшее количество CO₂ — в среднем в 2,5—3 раза больше, чем лесные и агроэкосистемы);

— функционально-экологических особенностей изучаемых ландшафтов (эмиссия CO₂ напрямую зависит от фаз жизненного цикла доминирующего напочвенного растительного покрова).

Полученные данные по потокам метана показали, что источником метана могут быть почвы агроландшафтов в случае сочетания условий переувлажнения и уплотнения почвы. Урболандшафты в основном поглощают метан, что может являться их важной функциональной особенностью. Почвы лесных экосистем практически находятся в состоянии равновесия относительно потоков метана. Однако потоки метана и обуславливающие их факторы нуждаются в более полном изучении.

Благодаря тому, что основным акцентом настоящей работы является детальная характеристика представительных ландшафтов мегаполиса, полученные данные представляют особую ценность для территориального планирования городской застройки и планирования территории с учетом экологических требований, а также для прогнозирования.

Данные, получаемые в результате исследования потоков парниковых газов из почв, обладают широкой сферой потенциального применения и могут быть использованы для:

— территориального планирования городской застройки,
— планирования территории с учетом экологических требований,
— прогнозирования изменений и анализа состояния экосистем (в том числе агроэкосистем),

— сертификации технологий производства сельскохозяйственной продукции с точки зрения экологической безопасности.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам лаборатории Агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем, участвовавшим в подготовке и проведении исследований, сотрудникам кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и кафедры ландшафтной архитектуры и дизайна РУДН за информационную поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] UNFCCC — United Nations Framework Convention on Climate Change. — Convention text, UNEP/WMO Information Unit of Climate Change (IUCC) on behalf of the Interim Secretariat of the Convention. — IUCC, Geneva, 1992.
- [2] UNFCCC — United Nations Framework Convention on Climate Change). — Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/L7/Add.1. — UN, New York, NY, 1997.
- [3] IPCC — Special Report on Emissions Scenarios. — Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 2000. URL: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>
- [4] IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change). — Climate Change: The Scientific Basis. — J. T. Houghton et al. (editors). — Cambridge University Press, Cambridge UK, 2001.
- [5] *Schroeder P.* Carbon storage benefits of agroforestry systems // *Agroforestry Systems*. — 1994. — V. 27. — P. 89—97.
- [6] *Post W.M., Kwon K.C.* Soil carbon sequestration and land-use changes: processes and potential // *Global Change Biology*. — 2000. — 6. — P. 317—327.
- [7] *Guo L.B., Gifford R.M.* Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis // *Global Change Biology*. — 2002. — 8. — P. 345—360.
- [8] *Zhou X.B., Li Q.Q., Yu S.Z., Wu W., Chen Y.H.* Row spacing and irrigation effects on water consumption of winter wheat in Taian, China // *Can. J. Plant Sci.* — 2007. — 87. — P. 471—477.
- [9] *Svirejeva-Hopkins A., Schellnhuber H.J., Pomaz V.L.* Urbanised territories as a specific component of the global carbon cycle // *Ecological Modelling*. — 2004. — 173. — P. 295—312.
- [10] *Pickett T.A., Cadenasso M.L., Grove J.M. et al.* Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress? // *J. of Environmental Management*. — 2011. — 92. — P. 331—362.
- [11] *Seto K.C., Fragkias M., Güneralp B., Reilly M.K.* A Meta-analysis of global urban land expansion // *PLoS ONE*. — 2011. — 6: e23777.
- [12] *Смагин А.В.* Газовая фаза почв. — М: Изд-во МГУ, 2005.
- [13] *Kaye J.P., McCulley R.L., Burkez I.C.* Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems // *Global Change Biology*. — 2005. — V. 11. — P. 575—587.
- [14] *Васнев В.И., Аманьева Н.Д., Макаров О.А.* Особенности экологического функционирования конструкторземов на территории Москвы и Московской области // *Почвоведение*. — 2012. — № 2. — С. 1—12.
- [15] Доклад о состоянии окружающей среды в г. Москве в 2007 г. — М.: Мосэкомониторинг, 2008.
- [16] *Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Кузяков Я.В.* Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов // *Агрохимия*. — 2009. — № 5. — С. 5—12.
- [17] *Anderson J.P.E., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol Biochem*. — 1978. — V. 10. — № 3. — P. 215—221.
- [18] *Ananyeva N.D., Susyan E.A., Chernova O.V., Wirth S.* Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // *European Journal of Soil Biology*. — 2008. — V. 44. — P. 147—157.
- [19] *Лихачева Э.А.* Экологические хроники Москвы / Под ред. Д.А. Тимофеева, И.И. Пасковой. — М.: Медиа-Пресс, 2007.
- [20] *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой микробиологии. — М.: Наука, 2004.
- [21] *Ouimet R., Tremblay S., Perie C., Pregent G.* Ecosystem carbon accumulation following fallow farmland afforestation with red pine in southern Quebec // *Canadian Journal on Forest Resources*. — 2007. — 37. — P. 1118—1133.
- [22] *Кудяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В.* Эмиссия углекислого газа почвенным покровом России // *Почвоведение*. — 1995. — № 1. — С. 33—43.

- [23] Кудеяров В.Н. Азотно-углеродный баланс в почве // Почвоведение. — 1999. — № 1. — С. 73—82.
- [24] Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. — Л.: Гидрометеоиздат, 1988.
- [252] Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Розанова Л.Н. Кинетика и стратегии роста микроорганизмов в черноземной почве после длительного применения различных систем удобрений // Микробиология. — 1994. — V. 63. — № 2. — P. 298—307.
- [26] Кудеяров В.Н. Биогенная эмиссия углекислоты и методология ее оценки. — Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии. — Пущино, 2003. — С. 61—63.
- [27] Ларионова А.А., Розанова Л.Н., Самойлов Т.И. Динамика газообмена в профиле серой лесной почвы // Почвоведение. — 1988. — № 11. — С. 68—74.
- [28] Kuzyakov Y., Friedel J.K., Stahr K. Review of mechanisms and quantification of priming effects // Soil Biology and Biochemistry. — 2000. — 32 (11—12). — P. 1485—1498.
- [29] Fontaine S., Barot S., Barre P., Bdioui N., Mary B., Rumpel C. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply // Nature. — 2007. — 450. — P. 277—281.
- [30] Cheng W. Rhizosphere priming effect: Its functional relationships with microbial turnover, evapotranspiration, and C-N budgets // Soil Biology & Biochemistry. — 2009—41. — P. 1795—1801.
- [31] Kirschbaum M.U.F. The temperature-dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage // Soil Biology & Biochemistry. — 1995. — 27. — P. 753—760.
- [32] Katterer T., Reichstein M., Andren O., Lomander A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models // Biology and Fertility of Soils. — 1998. — 27. — P. 258—262.
- [33] Davidson E.A., Verchot L.V., Cattanio J.H., Ackerman I.L., Carvalho J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia // Biogeochemistry. — 2000. — 48. — P. 53—69.

THE INNOVATION IN GREENHOUSES GASES' MONITORING METHODS IN REPRESENTATIVE LANDSCAPES OF THE MEGAPOLIS

A.S. Epikhina^{1,2}, M.M. Vizirskaya², V.I. Vasenev^{1,2},
I.M. Mazirov², I.I. Vasenev², Valentini Ricardo^{2,3}

¹Department of landscape architecture and design
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 8/2, Moscow, Russia, 117198

²Laboratory of agroecological monitoring,
modeling and prediction of ecosystems
Timiryazevskaya str., 49, Moscow, Russia, 127550

³Tuscia University
47, Via del Paradise, Viterbo, Italy, 73100

This article presents the innovative approach to the organization of monitoring researches of the greenhouses gases' fluxes main components in the case of representative landscapes of the Moscow megalopolis as well as initial results of this technique approbation.

Key words: ecological monitoring, greenhouses gases fluxes, megalopolis, autotrophic and heterotrophic soil respiration.