

---

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ГОРОДСКИХ ГАЗОНОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ\*

М.М. Визирская<sup>2</sup>, А.С. Епихина<sup>1,2</sup>, В.И. Васенев<sup>1,2</sup>,  
И.М. Мазиров<sup>2</sup>, А.И. Эльвира<sup>2</sup>, Д. Гусев<sup>2</sup>,  
М.В. Тихонова<sup>2</sup>, И.И. Васенев<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Лаборатория агроэкологического мониторинга,  
моделирования и прогнозирования экосистем  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Россия, 127550

Глобальное изменение климата, вызванное эмиссией парниковых газов, является одной из актуальных проблем современности. При обилии информации об эмиссии углекислого газа информация о других парниковых газах представлена не так широко. В статье описывается влияние эксплуатационной и рекреационных нагрузок на потоки метана и закиси азота городскими экосистемами, представленными различными видами газонов.

**Ключевые слова:** метан, углекислый газ, закись азота, парниковые газы, урбоэкосистемы, функциональное зонирование, урбанизация, глобальное изменение климата, городские газоны.

**Введение.** Согласно прогнозам ФАО (ФАО, 2013) население планеты может увеличиться на одну треть к 2050 г. К этому периоду около 80% населения будут проживать в городах, насколько можно судить по настоящей динамике уменьшения доли сельского населения. Доля городского населения России уже в 2010 г. составляла 73,7%.

Урбанизация становится глобальной тенденцией изменения современного землепользования [1]. Одним из следствий урбанизации является изменение климата на региональном и локальном уровне вследствие теплового загрязнения воздуха, появления и затем роста так называемых «тепловых островов» [2].

Климатические условия на территории России в настоящее время претерпевают существенные изменения. В соответствии с данными наблюдений за температурой приземного воздуха потепление климата становится очевидным в большинстве регионов Российской Федерации в последнюю треть XX в. [3]. В частности, многолетняя динамика среднесуточной температурой воздуха на территории Москвы свидетельствует о повышении среднегодовой температуры на 3,5 °С за период с 1912 по 2012 г. При этом общепланетарный рост среднегодовой температуры за вторую половину XX в. составил 0,74 °С [4].

Очевидно, что в условиях глобальных климатических изменений урбанизированные территории являются наиболее уязвимыми не только в результате негативной экологической обстановки, вызванной интенсивным развитием промышленности и автотранспортной сети, но и вследствие формирования в городе искусственной среды, в которой биогенные потоки вещества и энергии сильно изменяются

---

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

под воздействием антропогенного фактора [5]. Все это повышает подверженность городов аномальным погодным явлениям.

Изменения температурного режима приводят к росту интенсивности осадков, а также увеличению повторяемости различных опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений. За последнее десятилетие на территории Центральной России был отмечен ряд крупных климатических аномалий, имеющих большой пространственный охват. В январе 2006 г. в Москве отмечались самые низкие значения температуры воздуха за 30 лет наблюдений. В мае 2007 г. — самые высокие температуры за период наблюдений начиная с 1891 г. [3].

К главным причинам глобальных климатических изменений относят возникновение парникового эффекта, существование которого обусловлено эмиссией парниковых газов [4].

Основными парниковыми газами являются  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  [9]. При значительном количестве исследований основных потоков и пулов парниковых газов естественных и агроэкосистем роль городских экосистем и их компоненты в эмиссии парниковых газов остается малоизученной.

К одной из важнейших функций газонных урбоэкосистем относят способность регулировать состав атмосферы, поглощать или выделять парниковые газы. Метан формируется преимущественно в переувлажненных и переуплотненных почвах, с выраженными анаэробными условиями, а также на полигонах захоронения твердых бытовых отходов (мусорных свалках) в процессе анаэробной деструкции органических веществ в загрязненных почвах [12]. Парниковый эффект от этого газа в 21 раз сильнее, чем у молекул  $\text{CO}_2$ , и без него температура поверхности Земли была бы на  $1,3^\circ\text{C}$  холоднее [4]. При этом свыше 70% продукции метана представлено биогенными источниками [13]. Однако срок жизни метана в атмосфере всего 12 лет [13]. В тоже время метан активно поглощается почвами в результате действия метанотрофных бактерий. Причем в одних и тех же почвах в разное время могут складываться условия как для поглощения, так и для выделения метана.

Среди газообразных продуктов азотного цикла с экологической точки зрения наибольшую опасность представляет *закись азота* ( $\text{N}_2\text{O}$ ), потенциальный вклад которой в парниковый эффект в 298 раз выше, чем у молекул  $\text{CO}_2$ , а средняя продолжительность существования в атмосфере составляет 150—170 лет [12]. Как следствие, даже при малом содержании в атмосфере из-за высокой активности и продолжительности существования суммарное влияние этого газа на глобальное потепление оценивается в 4—6%.

Основным антропогенным источником этого газа в атмосфере принято считать сельскохозяйственные экосистемы с интенсивным использованием азотных удобрений [3]. Однако урбоэкосистемы также могут служить источником закиси азота из-за наличия в своем фонде значительного количества газонов, многие из которых так же активно удобряются [5; 12], в связи с чем в последнее время интерес к исследованию поведения этого газа в урбоэкосистемах неуклонно возрастает [5].

Зеленые насаждения являются ключевым компонентом городской среды и выполняют целый ряд принципиальных функций. Независимо от природной

зоны значительную часть растительного покрова городов (до 40% открытых площадей) составляют газонные покрытия [7; 8]. Городские газоны, в зависимости от функционального использования, подразделяются на:

— декоративные газоны, которые включают в себя луговые, мавританские, партерные и обыкновенные садово-парковые дерновые покрытия, которые занимают значительные части рекреационных, селитебных и санитарно-защитных зон (парки, лесопарки, дендропарки, ботанические сады, скверы, бульвары и др.); такие виды травостоев характеризуются стандартной эксплуатационной нагрузкой и разными видами (в зависимости от функциональной зоны) рекреационной нагрузки;

— спортивные газоны — покрытия футбольных полей, гольф-полей, теннисных кортов, ипподромов, стадионов и спортивных площадок, характеризующиеся повышенной рекреационной и эксплуатационной нагрузкой;

— газоны специального назначения предназначены для укрепления откосов шоссе и железных дорог, защиты почв от ветровой и водной эрозии, задержанию пыли и различных выбросов промышленных зон и санитарно-защитной зоны, такие покрытия характеризуются стандартной эксплуатационными и сильной рекреационной нагрузкой.

Роль городских газонов в качестве «источника»/«стока» парниковых газов остается дискуссионной. Так, интенсивный прирост биомассы и высокая чистая первичная продуктивность газонных экосистем, а также высокое содержание органического углерода в городских почвах свидетельствуют о высокой способности депонировать парниковые газы. С другой стороны, мероприятия по уходу (полив, стрижка) приводят к интенсификации эмиссии  $\text{CO}_2$ , внесение удобрений способствует выделению закиси азота по объему, сопоставимому с эмиссией от сельскохозяйственных земель [5; 10]. К тому же городские почвы под газонами часто характеризуются значительной степенью переуплотнения и переувлажнения и, как следствие, происходит формирование анаэробных условий, приводящих к выделению метана [11].

**Цель** настоящего исследования состоит в изучении особенностей пространственно-временной изменчивости потоков парниковых газов, в частности  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , газонов московского мегаполиса с учетом функционального зонирования территории и оценке потенциала газонов урболандшафтов с точки зрения экологического сервиса «регуляция состава атмосферы».

**Объекты и методы.** Москва — один из крупнейших мегаполисов Европы, она располагается в зоне смешанных и широколиственных лесов, и лишь северную ее часть относят к подзоне южной тайги. Климат города — умеренно континентальный. Его площадь составляет  $2511 \text{ км}^2$ , а численность населения — более 11,9 млн чел. при плотности населения  $4770 \text{ чел./км}^2$ . Общая площадь ООПТ на территории города Москвы — около 17 тыс. га. Площадь газонов превышает 19 тыс. га и с каждым годом увеличивается, что является одним из приоритетных направлений озеленения [3; 6].

В качестве ключевых участков для изучения городских газонов выбраны газоны с разной степенью эксплуатационной (рис. 2) и рекреационной нагрузки (рис. 1).

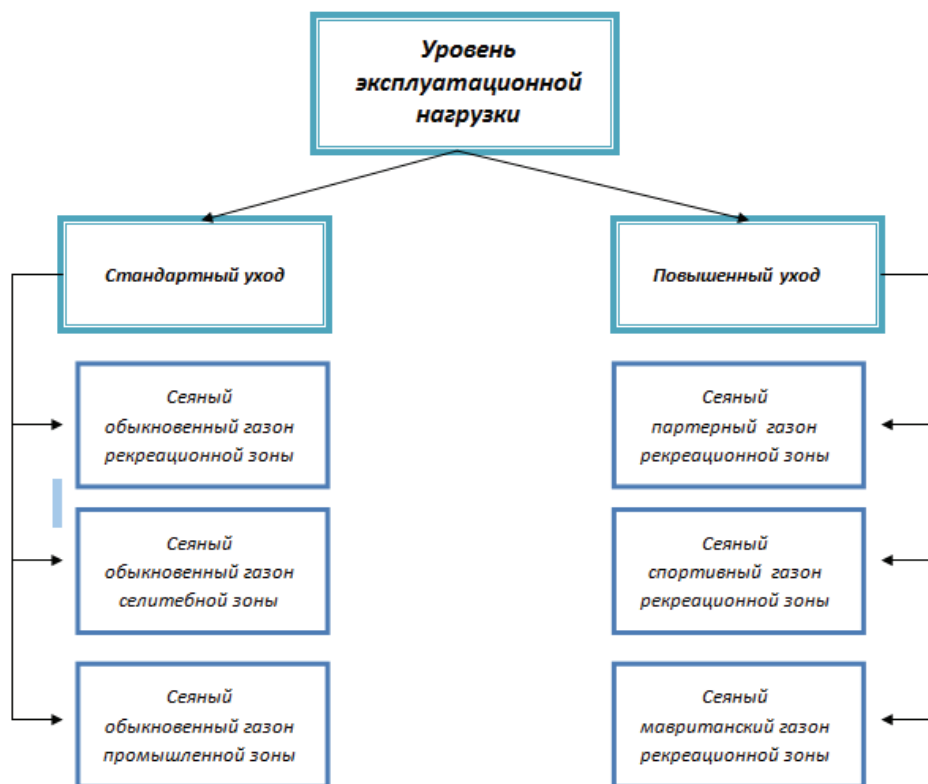


Рис. 1. Объекты исследования влияния мероприятий по уходу за газонами на эмиссию закиси азота и метана

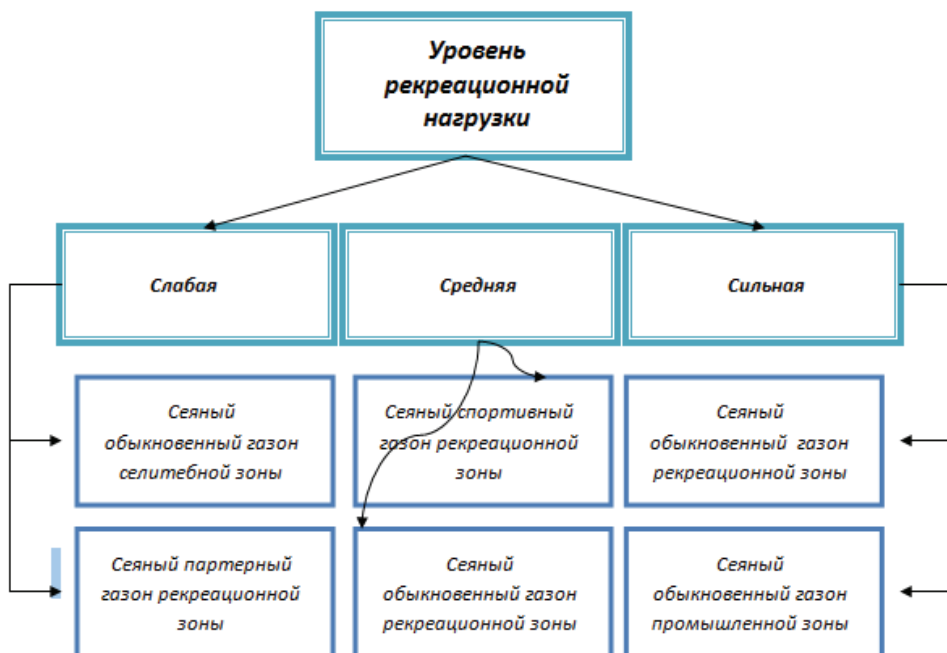


Рис. 2. Объекты исследования влияния разного уровня рекреационной нагрузки на эмиссию закиси азота и метана

Участки выбраны с учетом функционально-экологического зонирования территории (селитебная, рекреационная и промышленная зоны) и уровня рекреационной нагрузки: (средняя и сильная), также представлены два типа эксплуатационной нагрузки: стандартная и повышенная. Селитебная зона представлена газонами жилой зоны (сильная нагрузка) и закрытой территории метеостанции (стандартная), рекреационная зона представлена спортивным газоном гольф-поля (сильная нагрузка) и декоративным газоном парка (стандартная), в качестве промышленной зоны выбран участок газона вдоль проезжей части с активным движением в непосредственной близости от автозаправки.

Сезонная динамика потоков парниковых газов изучалась на примере групп газонов со стандартным и повышенным уходом, остальные факторы (функциональное зонирование и уровень рекреационной нагрузки) рассматривались для выявления факторов пространственного разнообразия потоков.

Исследование потоков метана и закиси азота проводилось с помощью метода экспозиционных камер. В начале измерительного периода на всех участках наблюдения на поверхность почвы устанавливались основания, которые оставались там на протяжении всего сезона. Во время измерения на основание герметично устанавливалась камера. Принцип работы заключается в измерении прироста концентрации газа в течение определенного времени в закрытом объеме камеры с известной площади почвы. По полученным данным производится расчет скорости потока газа.

Образцы воздуха отбирались через 0, 30 и 60 минут с момента начала экспозиции шприцами в герметизированные стеклянные флаконы с последующим определением содержания газа на хроматографе КРИСТАЛЛ-5000.2 с детекторами пламенно-ионизационным (ПИД) и электронного захвата (ЭЗД). Поток рассчитывается по трем полученным значениям на основании уравнения идеального газа.

Одновременно с отбором проб воздуха измерялась температура и влажность почвы, так как эти показатели являются важными факторами пространственно-временной изменчивости почвенных потоков парниковых газов. Измерения выполнялись подекадно (раз в десять дней) с начала июня по начало сентября.

**Результаты и обсуждения.** Многие исследования называют климатический фактор одним из основных факторов, определяющих динамику потоков парниковых газов. Поэтому основные климатические характеристики, такие как температура и влажность почвы и воздуха, обязательно должны быть учтены в подобных изменениях. Результаты наблюдений за климатическими параметрами отражены на рис. 3.

Полученные данные показывают, что в течение измерительного периода наименьшая температура почвы отмечалась в августе 19,8 °С (воздух 24,1 °С), максимальная температура была характерна для июля — 20,9 °С (воздух 24,5 °С). В июне отмечалась наименьшая за сезон влажность — 19,9%. Максимальная влажность отмечалась в июле — 26,8%.

Результаты наблюдения за сезонной динамикой потоков закиси азота и метана приведены на рис. 4 (А и В).

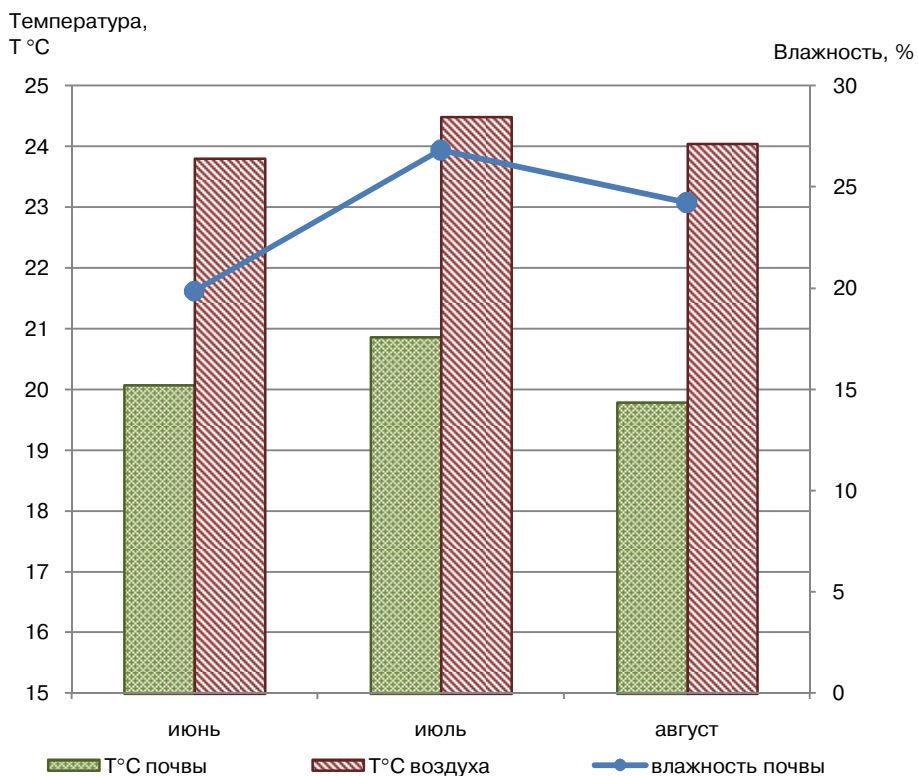


Рис. 3. Сезонная динамика основных климатических характеристик (температура почвы и воздуха, влажность почвы)

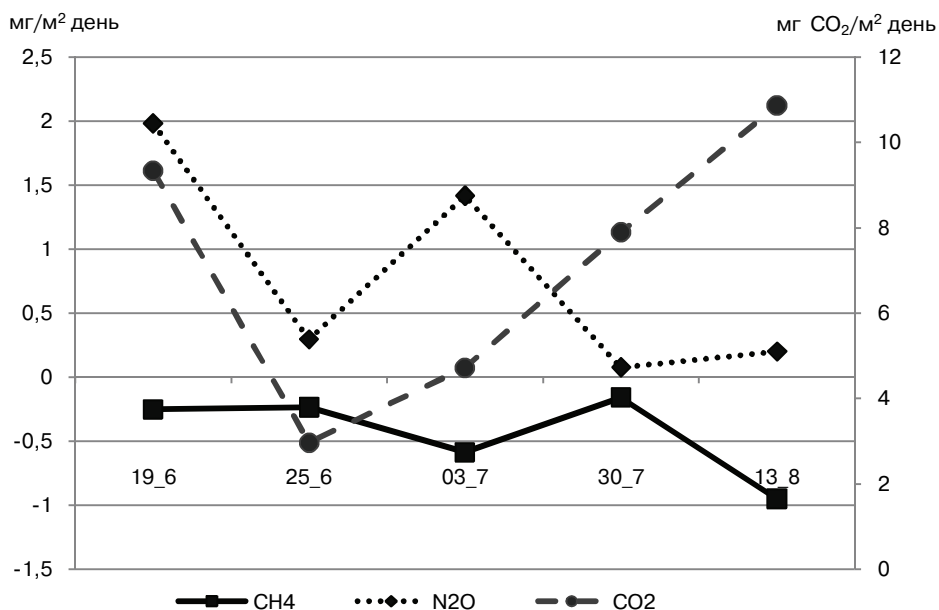


Рис. 4. Сезонная динамика потоков метана и закиси азота городских газонов

Данные показывают, что почвы газонов в целом являются источником закиси азота, при этом максимальный поток характерен для начала лета, затем величина эмиссии постепенно снижается, что согласуется с результатами многих других исследований [5; 12]. Значение эмиссии  $N_2O$  в июне в среднем составило  $1,12 \text{ мг/м}^2$  в день, в июле и августе —  $0,43$  и  $0,12 \text{ мг/м}^2$  в день соответственно.

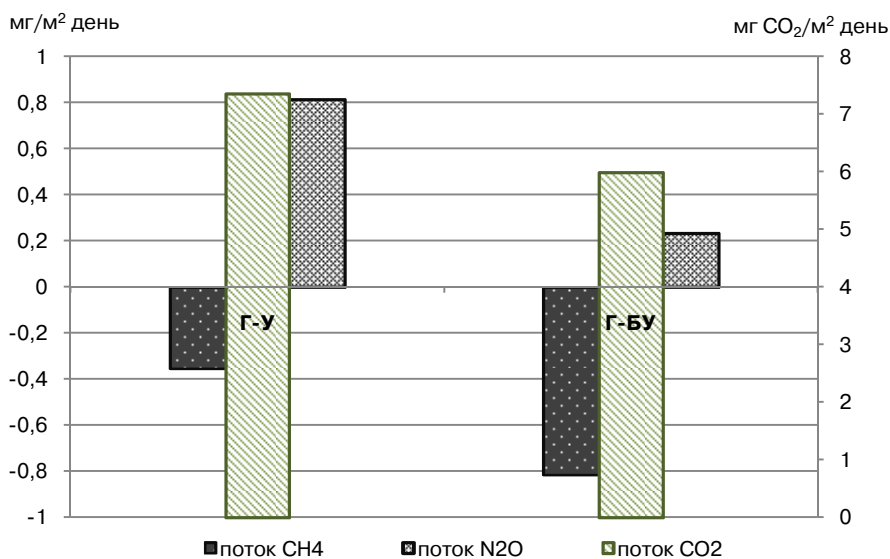
Исследуемые почвы газонных экосистем на протяжении всего сезона являлись стоком для метана. Максимальная величина поглощения отмечалась в августе  $0,95 \text{ мг/м}^2$  в день, минимальная в июне —  $0,25 \text{ мг/м}^2$  в день.

Эмиссия  $CO_2$  снижается к концу июня до минимального сезонного значения  $2,96 \text{ мг/м}^2$  в день и далее до конца сезона постепенно повышается до максимума в середине августа —  $10,8 \text{ мг/м}^2$  в день.

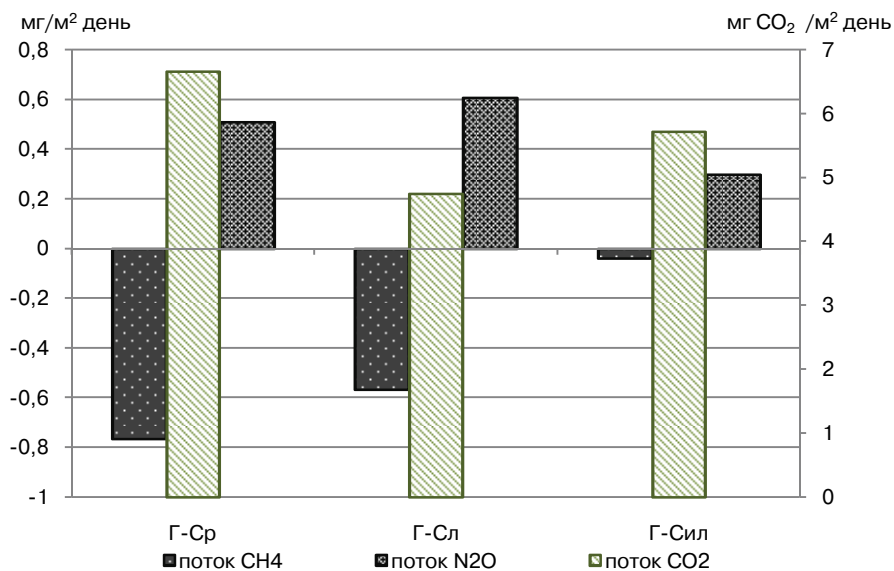
Для изучения пространственной неоднородности потоков и факторов, обуславливающих эту неоднородность, изучались две группы газонов с разным уровнем рекреационной и эксплуатационной нагрузок. В качестве сильной антропогенной нагрузки принимались мероприятия по уходу, рекреационная нагрузка и наличие вблизи предприятий и автотранспорта.

Для первых двух групп газонов, разделенных по принципу интенсивности эксплуатационной нагрузки: стандартный уход и повышенный (см. рис. 1).

Отмечено, что газоны с повышенным уходом выделяют значительно больше  $N_2O$  ( $0,81$  и  $0,23 \text{ мг/м}^2$  в день) и поглощают меньше  $CH_4$  ( $-0,35$  и  $-0,81 \text{ мг/м}^2$  в день) (рис. 5 и рис. 6), что может являться следствием внесения удобрений, переуплотнения почвы в результате использования.



**Рис. 5.** Оценка влияния мероприятий по уходу за газонами на эмиссию углекислого газа, закиси азота и метана



**Рис. 6.** Оценка влияния разного уровня рекреационной и эксплуатационной нагрузки на эмиссию углекислого газа, закиси азота и метана

Также для газонов с уходом характерен более высокий уровень эмиссии CO<sub>2</sub> 7,34 мг/м<sup>2</sup> день, для газонов со стандартным уходом эмиссия составила в среднем 5,4 мг/м<sup>2</sup> день, и обнаружена взаимосвязь с влажностью  $r = 0,39$ . Для газонов с повышенным уходом выявлена взаимосвязь эмиссии меньше CH<sub>4</sub> и влажности почвы  $r = 0,4$ , что может быть обусловлено наличием автоматизированного полива и периодическим переувлажнением почв.

В результате изучения воздействия рекреационной нагрузки разной степени интенсивности (слабая, средняя и сильная по рис. 2) на потоки CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O и CH<sub>4</sub> было выявлено, что с повышением антропогенного воздействия происходит некоторое увеличение эмиссии N<sub>2</sub>O с 0,5 до 0,58 мг/м<sup>2</sup> день, что опять же может быть вызвано антропогенным привнесением азотных соединений в почву в виде удобрений и загрязняющих веществ. В отношении потоков CO<sub>2</sub> было замечено, что максимальная интенсивность эмиссии характерна для газонов со средним уровнем нагрузки — 6,65 мг/м<sup>2</sup> день и минимальная для слабой — 4,75 мг/м<sup>2</sup> день.

При оценке воздействия антропогенной нагрузки на эмиссию метана такой четкой зависимости не выявлено, наибольшая величина поглощения CH<sub>4</sub> отмечалась для газонов со средним уровнем нагрузки — 0,87 мг/м<sup>2</sup> день, наименьший сток отмечался для газонов с сильным уровнем нагрузки — 0,4 мг/м<sup>2</sup> день, что может быть следствием того, что в балансе потока большую часть начинают составлять процессы образования CH<sub>4</sub> с увеличением степени уплотнения почвы.

При оценке влияния климатических факторов на потоки парниковых газов для газонов с разным уровнем нагрузки было выявлено наличие положительной взаимосвязи между влажностью почвы и потоком CH<sub>4</sub> для газонов со слабым уровнем нагрузки  $r = 0,5$ . Для газонов с интенсивной нагрузкой получен отрица-



тельный коэффициент корреляции потоков и влажности для  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $r = -0,4$  и  $r = -0,42$  соответственно; и температуры  $r = -0,35$  и  $r = -0,43$ .

**Выводы.** Проведенные исследования позволили выявить значительную пространственно-временную изменчивость потоков  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_4$  городских ландшафтов представленных газонами.

1. Было установлено, что городские газоны являются в целом стоком для метана и источником для закиси азота.

2. Установлено, что городские газоны, на которых проводятся мероприятия по уходу, выделяют в 3 раза больше  $\text{N}_2\text{O}$  и поглощают в 2,5 раза меньше  $\text{CH}_4$ .

3. Выявлено, что с увеличением антропогенной нагрузки эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  увеличивается на 15%, влияние средней и слабой нагрузки на поток  $\text{CH}_4$  не так однозначно, однако высокая степень нагрузки приводит к снижению стока  $\text{CH}_4$ .

Таким образом, исследование позволило выявить, что городские газоны являются не только декоративным элементом городской архитектуры, но и несут важную экологическую функцию регуляции состава атмосферного воздуха, являясь стоком для такого парникового газа, как  $\text{CH}_4$ , источниками которого в черте города могут быть полигоны ТБО, погребенные под насыпным слоем грунта отходы, переувлажненные в результате отсутствия стока воды почвы. Однако мероприятия по уходу и высокая антропогенная нагрузка могут приводить к снижению связывания  $\text{CH}_4$  и интенсификации выделения другого парникового газа —  $\text{N}_2\text{O}$ .

С одной стороны, эти важные факторы должны быть учтены в городском планировании, а городские газоны должны быть учтены при оценке основных потоков парниковых газов на региональном и локальном уровне. С другой стороны, в настоящее время одной из модных тенденций современного озеленения является создание «диких» или луговых газонов, которые требуют минимального ухода и как следствие более экологичны с точки зрения эмиссии парниковых газов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Етихина А.С. и др.* Инновационные методы мониторинга парниковых газов представительных ландшафтов мегаполиса // Вестник РУДН. Серия «Агрономия и животноводство». — 2012. — № 5. — С. 43—55.
- [2] *Lorenz K., Lal R.* Biogeochemical C and N cycles in urban soils // *Environment International*. — 2009. — V. 35. — P. 1—8.
- [3] Доклад о состоянии окружающей среды в Москве в 2012 году / Под общей ред. А.О. Кульбачевского. — М., 2013.
- [4] *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001d: Climate Change 2001: The Scientific Basis, J.T. Houghton et al. (editors), Cambridge University Press, Cambridge UK.*
- [5] *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.
- [6] *Лихачёва Э.А.* Экологические хроники Москвы / Отв. ред. д-р геогр. наук Д.А. Тимофеев, канд. геогр. наук И.И. Спасская. Институт географии РАН. — М.: Медиа-Пресс, 2007.

- [7] *Milesi C. and Running S.W.* Mapping and modeling the biogeochemical cycling of turf grasses in the United States // *Environmental Management*. — 2005. — V. 36. — P. 426—438.
- [8] *Svirejeva-Hopkins A. and Schellnhuber H.J.* Modelling carbon dynamics from urban land conversion: fundamental model of city in relation to a local carbon cycle // *Carbon Balance and Management*. — 2006. — P. 1—9.
- [9] *Firestone M.K., Davidson E.A.* Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Pages 7—21 in M. Andreae and D. Schimel, editors. *Ecosystems and the atmosphere*. JohnWiley and Sons. — New York, 1989.
- [10] *Horgan B.P., Branham B.E., Mulvaney R.L.* Direct measurement of denitrification using <sup>15</sup>N-labeled fertilizer applied to turfgrass // *Crop Science*. — 2002. 42:1602—1610.
- [11] *Кудяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Молодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г.* Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. — М.: Наука, 2007.
- [12] *Смагин А.В.* Газовая фаза почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005.
- [13] *Букварева Е.Н.* Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в постклиотском процессе. Товарищество научных изданий КМК. — 2010.
- [14] *Bridges E.M., Batjes N.H.* Soil gaseous emissions and global climate change // *Geography*. — 1996. — V. 81(2). — P. 155—169.

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE ROLE IN THE FORMATION OF URBAN LAWNS GHG

**M.M. Vizirskaya<sup>2</sup>, A.S. Epikhina<sup>1,2</sup>, V.I. Vasenev<sup>1,2</sup>,  
I.M. Mazirov<sup>2</sup>, A.I. Elvira<sup>2</sup>, D. Gusev<sup>2</sup>,  
M.V. Tihoknova<sup>2</sup>, I.I. Vasenev<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Laboratory of agroecological monitoring,  
modeling and prediction of ecosystems  
*Timiryazevskaya str., 49, Moscow, Russia, 127550*

Global climate change caused by greenhouse gas emissions is one of the most pressing problems of our time. With an abundance of information on carbon dioxide emissions, information on other greenhouse gases are not as widely presented. This article describes the impact of operational and recreational pressure on the flow of methane and nitrous oxide urban ecosystem represented different kinds of lawns.

**Key words:** methane, carbon dioxide, nitrous oxide, greenhouse gases, urban ecosystems, functional zoning, urbanization, global climate change, urban lawns.

## REFERENCES

- [1] *Epikhina A.S., Vizirskaja M.M. i dr.* Innovacionnye metody monitoringa parnikovyh gazov predstavitel'nyh landshaftov megapolisa // *Vestnik RUDN. Serija «Agronomija i zhivotnovodstvo»*. — 2012. — № 5. — S. 43—55.

- [2] *Lorenz K., Lal R.* Biogeochemical C and N cycles in urban soils // *Environment International*. — 2009. — V. 35. — P. 1—8
- [3] Доклад о состоянии окружающей среды в Москве в 2012 году / Под общей ред. А.О. Кул'бачевского. — М., 2013.
- [4] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001d: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton et al. (editors), Cambridge University Press, Cambridge UK.
- [5] *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.
- [6] *Lihachjova Je.A.* *Jekologicheskie hroniki Moskvy / Otv. red. d-r geogr. nauk D.A. Timofeev, kand. geogr. nauk I.I. Spasskaja.* Institut geografii RAN. — М.: Media-Press, 2007.
- [7] *Milesi C., Running S.W.* Mapping and modeling the biogeochemical cycling of turf grasses in the United States // *Environmental Management*. — 2005. — V. 36. — P. 426—438.
- [8] *Svirejeva-Hopkins A., Schellnhuber H.J.* Modelling carbon dynamics from urban land conversion: fundamental model of city in relation to a local carbon cycle // *Carbon Balance and Management*. — 2006. — P. 1—9.
- [9] *Firestone M.K., Davidson E.A.* Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Pages 7—21 in M. Andreae and D. Schimel, editors. *Ecosystems and the atmosphere*. JohnWiley and Sons. New York, 1989.
- [10] *Horgan B.P., Branham B.E., Mulvaney R.L.* Direct measurement of denitrification using <sup>15</sup>N-labeled fertilizer applied to turfgrass // *Crop Science*. — 2002. — 42:1602—1610.
- [11] *Kudejarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatskij S.A., Borisov A.V., Voronin P. Ju., Demkin V.A., Demkina T.S., Evdokimov I.V., Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Komarov A.S., Kurganova I.N., Larionova A.A., Lopes de Gerenju V.O., Utkin A.I., Chertov O.G.* *Puly i potoki ugljeroda v nazemnyh jekosistemah Rossii*. — М.: Nauka, 2007.
- [12] *Smagin A.V.* *Gazovaja faza pochv*. — М.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2005.
- [13] *Bukvareva E.N.* *Rol' nazemnyh jekosistem v reguljacii klimata i mesto Rossii v postkiotskom processe*. *Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK*. — 2010.
- [14] *Bridges E.M., Batjes N.H.* Soil gaseous emissions and global climate change // *Geography*. — 1996. — V. 81(2). — P. 155—169.