

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

УДК: 631.445.2:631.44.06:631.417.2+502.171

**Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки**

*Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.*

*Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева*

**Аннотация**

В статье приводятся результаты мониторинговых исследований пространственно-временной изменчивости основных диагностических параметров гумусового состояния (содержание гумуса, почвенные потоки CO<sub>2</sub> и запас углерода) дерново-подзолистых почв в условиях типичного для северной части Москвы городского лесного массива Лесной Опытной Дачи Российского государственного аграрного университета - Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, сформированной 160 лет назад на основе природного участка леса, с внедрением в него монокультурных посадок различных пород деревьев, типичных для подзон южнотаежных и смешанных лесов Европейской части России и Западной Сибири. В качестве основных нерегулируемых и регулируемых факторов пространственно-временной изменчивости гумусового состояния исследуемых почв рассматриваются: (а) их положение в мезорельефе (вершина выположенного моренного холма → средняя часть склона → нижняя часть (подошва) склона); (б) состав древостоя; (в) уровень рекреационной нагрузки (оцениваемый по выраженности тропинойной сети); (г) состояние травостоя (оцениваемое по индексу проективного покрытия); (д) плотность сложения верхних горизонтов почвы; (е) влажность верхних горизонтов почвы; (ж) температура верхних горизонтов почвы. Рассматриваются три уровня рекреационной нагрузки: минимальный (фоновый), средний и сильный. Пробы почвы отбирались в течение трёх сезонов 2021 года: весной, летом и осенью – с глубины 0–5, 5–10 и 10–15 см. Интенсивность почвенного потока CO<sub>2</sub>, температура и влажность почвы определялись 2 раза в месяц. Содержание органического углерода в почве и плотность сложения почвы – раз в месяц. Для анализа потока CO<sub>2</sub> использовался мобильный инфракрасный газоанализатор (IRGA) Li-820. Для статистического анализа данных – программы Excel и SPSS. Проведенные исследования

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

выявили ярко выраженную сезонную динамику почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса (органического вещества почв) в верхних горизонтах исследованных почв – с четкой дифференциацией по формам склонового мезорельефа и уровню рекреационной нагрузки. Летние максимумы потоков CO<sub>2</sub> достигают 35–40 г/м<sup>2</sup> в сутки, а к концу октября падают в 3–5 раз. Содержание гумуса в верхних горизонтах (A1 – A1A2 – A2) анализируемой мощности в 15 см в большинстве случаев после апрельского максимума значительно снижается (на 0,5–0,7%) к сезонному минимуму в августе. В рамках пологой склоновой катены наблюдается постепенное увеличение содержания гумуса от вершины выположенного холма к подошве склона в 1,5 раза. При возрастании рекреационной нагрузки, наоборот, наблюдается поэтапное снижение содержания гумуса на 10–20 относительных процентов. Средняя интенсивность почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> увеличивается вниз по склону на 5–7 г/м<sup>2</sup> в сутки и снижается с возрастанием рекреационной нагрузки на 5–10 г/м<sup>2</sup> в сутки. Установленные закономерности существенно уточняют существующие представления о пространственно-временной изменчивости диагностических параметров гумусового состояния дерново-подзолистых почв в условиях городского лесопарка с выраженной рекреационной нагрузкой и позволяют более обоснованно выбирать фоновые объекты экологического мониторинга с анализом парниковых газов и углеродного баланса почв.

**Ключевые слова:** ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА, ПОЧВЕННЫЕ ПОТОКИ CO<sub>2</sub>, СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА, ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ, ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЧВ, ПОЧВЕННЫЕ ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА, КАТЕНА, ЛЕСОПАРК, МОСКВА, РЕКРЕАЦИОННАЯ НАГРУЗКА

### Введение

К приоритетным проблемам современной экологии относятся глобальные изменения климата, ускоренно развивающиеся в XXI веке на фоне быстро растущей концентрации парниковых газов в атмосфере [1]. Наиболее важным фактором секвестрации основного парникового газа CO<sub>2</sub> в наземных экосистемах являются леса [2]. Лесные экосистемы накапливают большое количество органического углерода в различных пулах [3, 4, 5]. Наиболее устойчивым из них является углеродный пул гумуса почвы – базового компонента лесных экосистем [6, 7]. Между тем, почвы как биокосные тела активно «дышат» [8], и от уровня почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>, в значительной мере, зависит итоговый баланс стока-эмиссии CO<sub>2</sub> лесных экосистем [2, 6, 9].

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

Гумус лесных почв чувствителен к любым изменениям в лесных экосистемах несмотря на то, что его основной пул, как правило, изменяется сравнительно медленно [10, 11, 12, 13, 14]. Количество, сезонная динамика гумуса и интенсивность почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>, в значительной мере, зависят от количества и качества поступающих растительных остатков и уровня микробиологической активности почв, на которую могут влиять температура и влажность почвы, состав почвенной биоты и проективное покрытие почвы, гранулометрический состав, структура и пористость почвы, уклон рельефа и количество доступных форм элементов питания в почве [11, 15, 16, 17, 18].

Гумус зональных дерново-подзолистых почв является базовым компонентом их морфогенетического статуса, лимитирующим фактором потенциального и эффективного плодородия, основным структуром, определяющим равновесную порозность и плотность сложения верхних горизонтов почв в условиях различной антропогенной нагрузки [19, 20, 21, 22, 23]. С сезонной и многолетней динамикой органического вещества лесных почв тесно связана пространственно-временная изменчивость почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> [5, 7, 11, 12, 13].

Разноуровневая динамика и пространственное варьирование гумусового состояния и «дыхания» лесных дерново-подзолистых почв является результатом комплексного влияния на них различных факторов внешней среды: формы мезо- и микрорельефа, литологии и гранулометрического состава почвообразующих пород, региональных и локальных особенностей климата и растительности и склона, микробиологического ценоза почвенных горизонтов [14, 24, 25].

Быстро растущая урбанизация сопровождается значительными изменениями условий функционирования и структурной организации растительности и почв [11, 26, 27, 28]. Почвы различных функциональных зон одного города, нередко, отличаются значительно более высоким уровнем пространственной дифференциации, чем почвы соседних географических зон [18, 29, 30, 31, 32]. Минимальными антропогенными изменениями, как правило, характеризуются почвы лесопарковой природоохранной инфраструктуры городов с различным уровнем рекреационной нагрузки на них, которая также, нередко, приводит к серьезным изменениям в содержании органического углерода, гумуса, плотности, влажности, температуры и микробных комплексов почв [30, 33, 34].

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

Крупнейший в Европе Московский мегаполис характеризуется повышенной неоднородностью почв своей лесопарковой природоохранной инфраструктуры [24, 29, 34, 35], что необходимо принимать во внимание при планировании мониторинговых исследований, оценке и прогнозировании экологических функций почв, обоснованном выборе фоновых объектов при оценке воздействия на окружающую среду и экологической экспертизе градостроительных проектов.

Особое место в природоохранной инфраструктуре Москвы занимает Лесная Опытная Дача Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева. На ее территории сохранились наиболее близкие региональным фоновым объектам южной тайги Центрально-лесного биосферного заповедника [11] катены со слабодерново-палево-подзолистыми суглинистыми почвами зональных кислично-щитовниковых ельников и переходным рядом почв разного уровня оглеения [23, 24, 34].

**Целью данной статьи** стали системный анализ и сравнительно-экологическая оценка результатов сезонных мониторинговых исследований пространственно-временной изменчивости основных диагностических параметров гумусового состояния (содержание гумуса, почвенные потоки CO<sub>2</sub> и запас углерода) дерново-подзолистых почв в условиях типичного для северной части Москвы городского лесного массива Лесной Опытной Дачи Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева, сформированной 160 лет назад на основе природного участка леса, с внедрением в него монокультурных посадок различных пород деревьев, типичных для подзон южнотаежных и смешанных лесов Европейской части России и Западной Сибири.

### **Объекты и методы**

Лесная Опытная Дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева является основным компонентом природоохранной инфраструктуры Тимирязевского района Северного административного округа (САО) г. Москвы. Для САО характерны повышенная плотность населения (30 тыс. чел./км<sup>2</sup> – средний показатель для административных округов Москвы), относительно небольшая суммарная площадь озеленения (6,2 м<sup>2</sup> зеленых насаждений на одного жителя) и повышенный для условий Московского мегаполиса уровень рекреационной нагрузки на компоненты лесной природоохранной инфраструктуры.

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

Тимирязевский район – один из наиболее экологически благополучных в САО и северной части города. Расположенная в нем Лесная Опытная Дача площадью 232,6 га – популярное место отдыха жителей Тимирязевского и соседних с ним районов Москвы. Поэтому она испытывает повышенный уровень рекреационной нагрузки с локальной деградацией растительного и почвенного покрова.

Природные условия Лесной Опытной Дачи типичны для подзоны смешанных хвойно-широколиственных лесов [23, 24, 33]. С мая по сентябрь выпадает более половины годового количества осадков – 366 мм, с максимумом в июле – августе. Среднегодовая температура воздуха – 3,7°C. Сильные ветры со скоростью от 15 м/сек отмечаются 20 дней в году и служат причиной широко распространенного ветровала и бурелома перестойного древостоя, что в целом характерно для южнотаежных экосистем с периодически ярко выраженными условиями переувлажнения в пониженных элементах мезо- и микрорельефа [11, 23].

Исследования проводились на 9 ключевых участках экологического мониторинга (КУМ), расположенных на трех представительных элементах мезорельефа с перепадом высот около 12 м в пределах единой катены склона северо-восточной экспозиции: Вершина выположенного моренного холма – Средняя часть склона – Подошва склона (табл. 1).

На каждом элементе катены исследовали 3 участка – с различным уровнем рекреационной нагрузки: минимальным (условный фон) – средним – сильным. Уровень нагрузки оценивался по выраженности тропинойной сети и нарушенности почвенного растительного покрова. На всех участках исследования распространены морфогенетически сопоставимые между собой дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, сформированные в легком крупнопылеватом покровном суглинке и подстилающих его средне-/тяжелосуглинистой московской морене или супесчаном флювиогляциале.

Преобладающие на ЛОД дерново-палево-подзолистые почвы сформированы в двучленных почвообразующих породах [24]. Элювиальная часть их профиля (A1 – A1A2 – A2) преимущественно сложена песчано-крупнопылевым легким покровным суглинком разной степени педогенной трансформации. Нижележащие иллювиальные текстурно-дифференцированные горизонты (ПВ) – тяжелым моренным суглинком московской морены или, реже – на подошве склонов, красно-бурой супесчаными флювиогляциальными отложениями с выраженными глинистыми кутанами.

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 1. Краткая характеристика ключевых участков исследования катены на склоне северо-восточной экспозиции

КУМ	Рельеф	Тип леса: состав древостоя	Почва: профиль [Вас, 2007]
1 (ВМХ)	Вершина выположен- ного холма	Дубняк с липой сложный будро-копытениевый: 2ДЗК2Лп+С+К+Вз Сомкнутость крон – 60%	Дерново-подзолистая легкосуглинистая: O <sub>+2</sub> – A1 <sub>4</sub> – A1A2 <sub>10</sub> – A2' <sub>(f)30</sub> – A2'' <sub>(f)c44</sub> – ПА2'' <sub>(f)g 51</sub> – ПА2В <sub>62</sub> – ПВ1 <sub>t90</sub> – ПВ2 <sub>(t)120↓</sub>
2 (ССВ)	Средняя часть склона	Сосняк с кленом сложный осоково-щитовниковый: 5С+К + Д +Лп+Б Сомкнутость крон – 50–70%.	Дерново-подзолистая легкосуглинистая: O <sub>+2</sub> – A1 <sub>4</sub> – A1A2 <sub>15</sub> – A2' <sub>31</sub> – A2'' <sub>41</sub> – ПА2В <sub>50</sub> – ПВ1 <sub>t(t)g86</sub> – ПВ2 <sub>(t)g120↓</sub>
3 (ПСВ)	Подошва склона	Сосняк осоково- щитовниковый 4С+3К+2Лп+Б+едЕ Сомкнутость крон – 40–45%.	Дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая: O <sub>+2</sub> – A1 <sub>6</sub> – A1A2 <sub>15</sub> – A2' <sub>(g)25</sub> – A2'' <sub>(g)34</sub> – A2''' <sub>g42</sub> – ПА2В <sub>g55</sub> – ПВ <sub>(t)g80</sub> – ПВС <sub>120↓</sub>

В древостое Лесной Опытной Дачи представлены различные породы деревьев, типичных для подзон южнотаежных и смешанных лесов Европейской части России и Западной Сибири, при преобладании сосны (средним возрастом более 100 лет) и близком соотношении участков естественного происхождения и искусственных насаждений (52% и 48% лесопокрываемой площади, соответственно). Средний возраст первого яруса всех насаждений около 100 лет, средняя полнота насаждений ЛОД составляет 0,79–0,80 единицы, класс бонитета – 1,4, средний запас древесины – 282 м<sup>3</sup>/га [36].

В исследуемой катене вниз по склону отмечается постепенная смена неморального дубняка с липой на бореальный сосняк с участием широколиственных и мелколиственных пород, что в целом характерно для смены автоморфных ландшафтных элементов рельефа на полугидроморфные в подзоне смешанных южнотаежных лесов Европейской части России [11, 23, 37, 38]. Вниз по склону снижается сомкнутость крон, и возрастает их пространственная неоднородность, с большей распространенностью явлений ветровала и бурелома. На подошве склона в профиле дерново-подзолистых почв появляются таксономически выраженные признаки глееватости – при статистически достоверном увеличении среднего значения ранневесенней мощности снежного покрова [39]

Васнев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

На каждом из исследуемых ключевых участков ежемесячно с апреля по октябрь отбирались образцы почв для химического анализа и определения плотности сложения в тройной повторности по трем глубинам: 0–5 см (преимущественно горизонт A1); 5–10 см (горизонт A1A2); 10-15 см (на участке ВМХ – горизонт A2; на участках ССВ и ПСВ – горизонт A1A2). В отобранных для химического анализа образцах почв после стандартной предварительной подготовки в лаборатории определяли содержание органического вещества (гумуса) по методу И.В. Тюрина, модифицированному по ЦИНАО с окончанием на спектрофотометре Prom Ecolab PE-5400V (ГОСТ 26213-91).

Определение плотности сложения проводилось по методу Н.А. Качинского с использованием режущих цилиндров объемом 100 см<sup>3</sup> и термовесовым определением влажности [40]. Запасы органического углерода рассчитаны для слоя 0–15 см – с учетом дифференцированных для 5-сантиметровых слоев почвы значений содержания органического углерода и плотности сложения почвы. Данные статистически обработаны с использованием ANOVA в соответствии с процедурой GLM (IBM SPSS) версии 25 (при разнице наименьшей значимости (LSD) 0,01 и 0,05) и Microsoft Excel 2010.

Анализ интенсивности почвенных потоков CO<sub>2</sub> проводился *in situ* два раза в месяц с использованием мобильного инфракрасного газоанализатора Li-820 и напочвенных экспозиционных камер с сезонно устанавливаемыми основаниями, врезаемыми в почву на глубину 7 см для предотвращения боковой диффузии CO<sub>2</sub>. Наблюдения в каждой точке проводились в течение примерно 5–15 минут до достижения стабильно прямолинейного роста концентрация CO<sub>2</sub> в камере не менее, чем на 100 ppm.

### **Результаты и их обсуждение**

Проведенные в апреле-сентябре 2021 года наблюдения показали четко выраженную пространственную дифференциацию гумусового состояния исследуемых почв по исследуемым элементам мезорельефа (и связанными с ними составу древостоя и напочвенного растительного покрова (см. табл. 1), влажности и температуре почв) и участкам с различным уровнем рекреационной нагрузки (и определяемыми им состоянием напочвенного растительного покрова и подстилки, выраженности тропинойной сети, плотности сложения и влажности верхних горизонтов почвы [41]) (рис. 1).

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков  $\text{CO}_2$  и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

А) Минимальная рекреационная нагрузка

Б) Средняя рекреационная нагрузка

В) Сильная рекреационная нагрузка

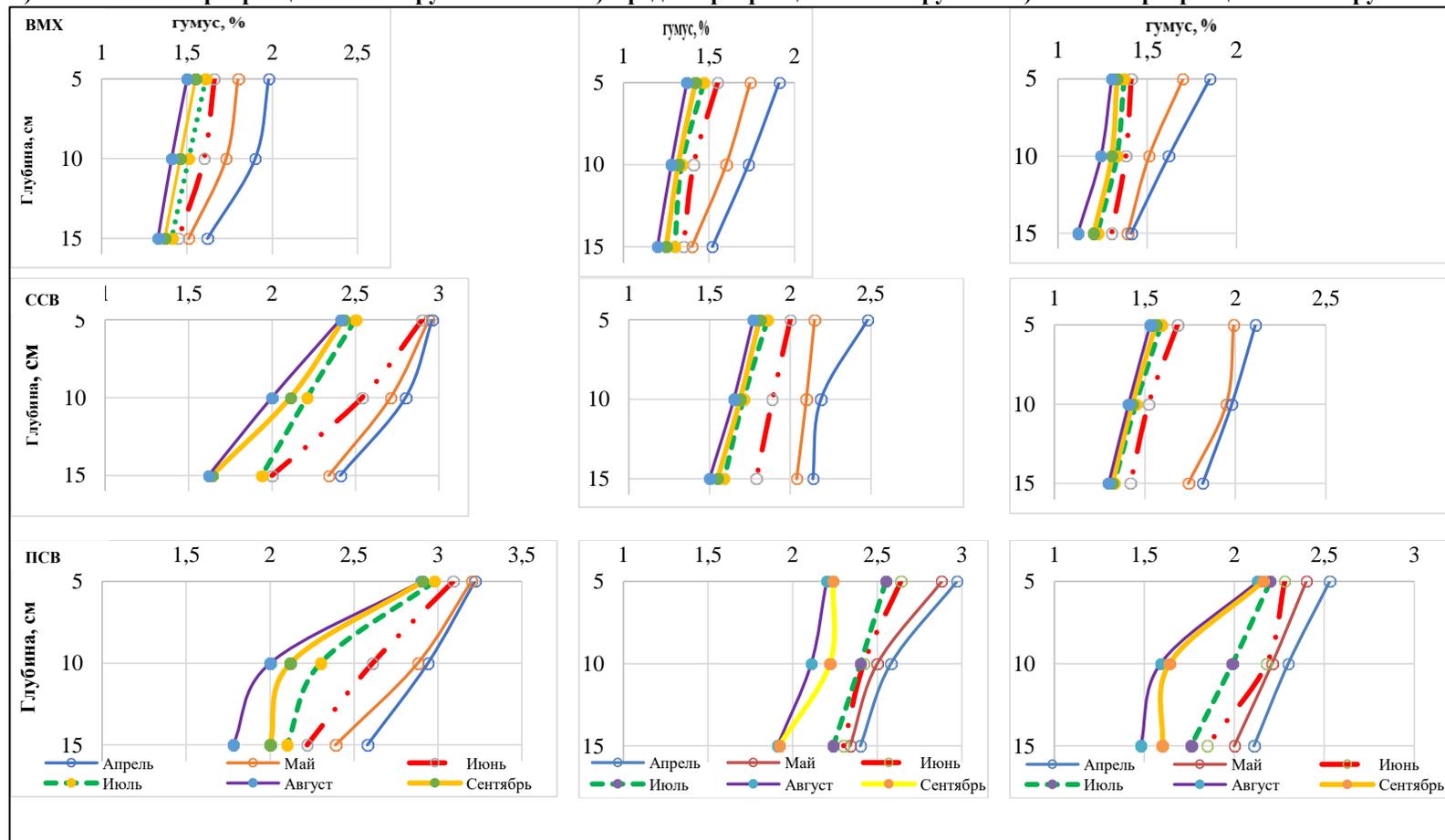


Рис. 1. Сезонная динамика гумуса в верхней части дерново-подзолистых почв склоновой катены Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в условиях разного уровня рекреационной нагрузки.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**

В фоновых (контрольных) точках с минимальной рекреационной нагрузкой одновременно определяемое содержание гумуса в сопоставимых верхних почвенных горизонтах постепенно возрастает вниз по склону катены до 1,5 раз на подошве склона – по сравнению с дерново-подзолистой почвой на вершине моренного холма (рис. 1.А). При этом резко возрастает профильная дифференциация содержания гумуса в верхних 15 см почвы: от 1,2 на вершине холма до 1,7 на подошве склона.

Отдельно следует отметить высокую сезонную динамику содержания гумуса в большинстве исследованных верхних горизонтов дерново-подзолистых почв: от 0,4–0,5% в верхних горизонтах почвы на вершине моренного холма до 0,8–1% в горизонте А1А2 на подошве склона. При этом во всех фоновых почвах содержание гумуса закономерно снижается с максимальных значений в апреле до минимума в августе (в этот период интенсивность минерализации органического вещества почв значительно превосходит скорость поступления в почву органического углерода) и затем возрастает в сентябре – с массовым поступлением в почву отмирающих растительных остатков (рис. 1.А).

Возрастание рекреационной нагрузки на всех исследуемых элементах мезорельефа сопровождается последовательным снижением содержания гумуса верхних горизонтов почв (рис. 1.Б – 1.В). На участке вершины моренного холма со средним уровнем рекреационной нагрузки одновременно определяемое содержание гумуса в сопоставимых верхних почвенных горизонтах на 0,1–0,2 абсолютных % (5–10 относительных %) ниже фонового участка с минимальным уровнем нагрузки (рис. 1.Б).

На участке средней части склона связанные с рекреационной нагрузкой изменения варьируют от 0,5 абсолютных % (17 относительных %) в горизонте А1 до 0,1–0,25 абсолютных % (7–12 относительных %) в горизонте А1А2. Несколько ниже уровень «рекреационного» снижения содержания гумуса в верхних горизонтах почвы участка на подошве склона – в среднем, около 0,3 абсолютных % (9–10 относительных %) – на фоне более высокого общего содержания гумуса (рис. 1.Б).

Сезонная динамика содержания гумуса в почвах участков со средним уровнем рекреационной нагрузки, как правило, сопоставима или выражена еще сильнее, чем в почвах фоновых участков (рис. 1.Б и 1.А). Максимальные изменения характерны для почвы склона и

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

верхнего горизонта почвы на подошве склона: от 0,55% до 0,8%. Как и в случае фоновых почв наблюдается последовательное снижение содержания гумуса всех исследованных горизонтов в период с апреля по август с последующим незначительным повышением в сентябре. В почве склона наиболее интенсивная минерализация гумуса наблюдается в период с мая по июль. В почве на подошве склона она сдвинута по сезону на период с июля по август, для которого характерно сезонное понижение влажности верхних горизонтов этой почвы [41].

Минимальным содержанием гумуса характеризуются участки с сильной рекреационной нагрузкой (рис. 1.В). В почве вершины моренного холма различия с фоном одновременно определяемого содержания гумуса в сопоставимых верхних почвенных горизонтах уже на 0,2–0,3 абсолютных % (10–20 относительных %) ниже фонового участка с минимальным уровнем нагрузки. В почве на склоне связанные с рекреационной нагрузкой различия варьируют от 0,3 до 0,9 абсолютных % (10–30 относительных %), с наиболее резким снижением содержания гумуса в период с мая по июнь – на 0,3–0,5%.

Близкий уровень «рекреационного» снижения содержания гумуса характерен для верхних горизонтов почвы участка с сильной рекреационной нагрузкой на подошве склона, но, как и на участке со средним уровнем нагрузки, максимальное снижение содержания гумуса здесь отмечается в период с июля по август (рис. 1.В) с относительно пониженной влажностью верхних горизонтов [41].

Наблюдаемое на исследованных участках последовательное увеличение диапазона сезонной динамики содержания гумуса верхних горизонтов дерново-подзолистых почв в нижних элементах склоновой катены и при возрастании рекреационной нагрузки свидетельствует о значительном снижении на этих участках устойчивости функционирования почв и возрастающем поступлении почвенного CO<sub>2</sub> в атмосферу.

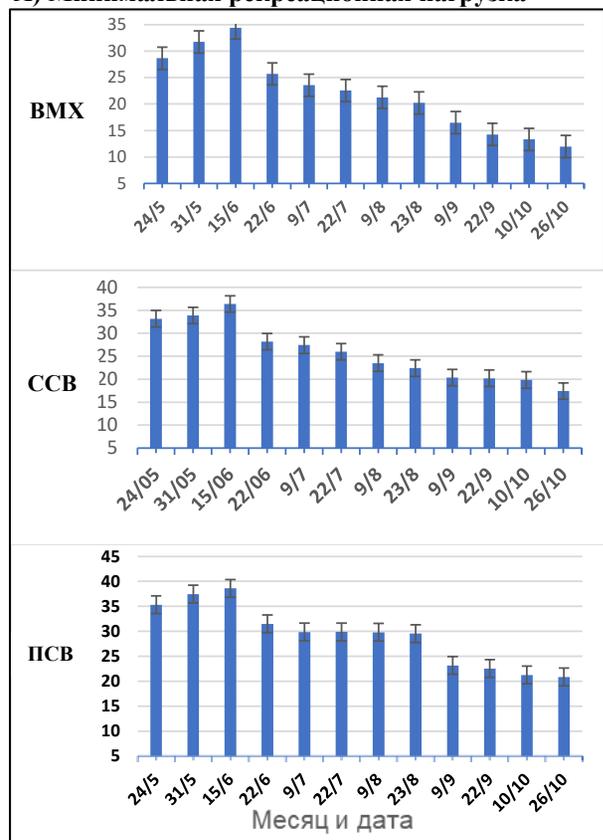
По результатам мониторинговых наблюдений сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> на фоновых участках катены выявлено устойчивое и, преимущественно, статистически достоверное увеличение средней интенсивности почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> вниз по склону: от 1 до 5–7 г/м<sup>2</sup> в сутки на средней части склона и от 4 до 9 г/м<sup>2</sup> в сутки на подошве склона – относительно вершины моренного холма (рис. 2.А).

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

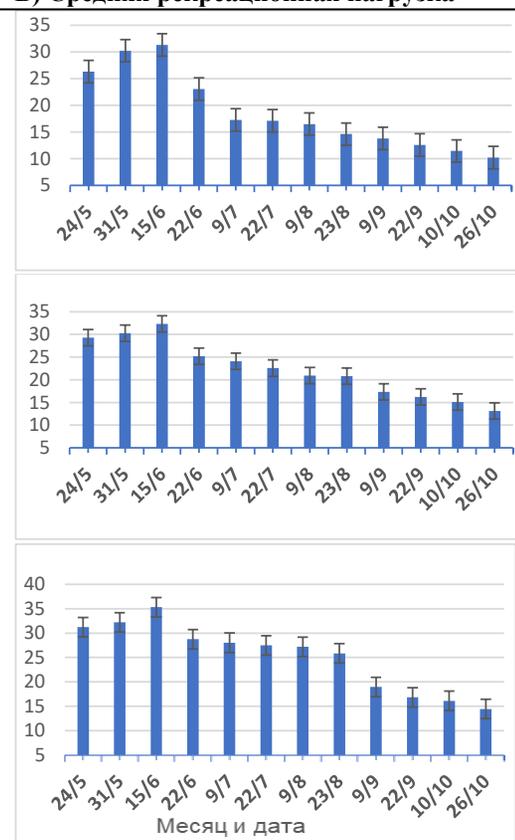
Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков  $\text{CO}_2$  и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

А) Минимальная рекреационная нагрузка



Б) Средняя рекреационная нагрузка



В) Сильная рекреационная нагрузка

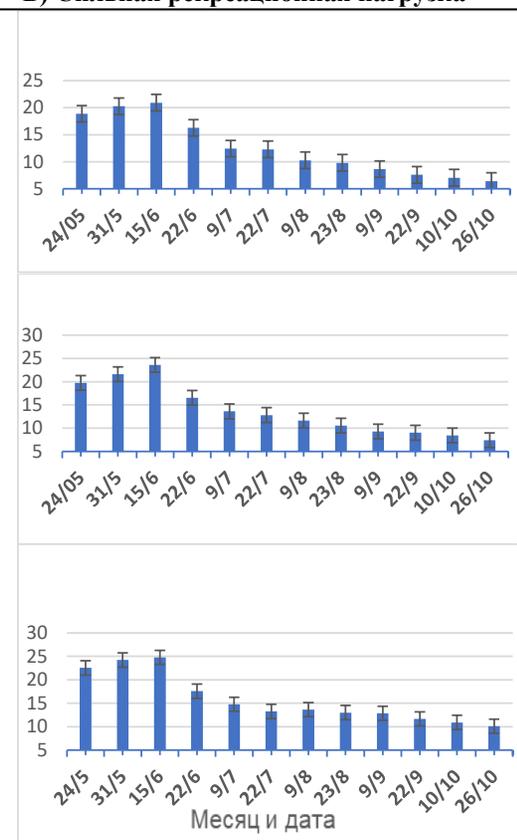


Рис. 2. Сезонная динамика интенсивности почвенных потоков  $\text{CO}_2$  ( $\text{г м}^{-2} \text{сутки}^{-1}$ ) в склоновой катене дерново-подзолистых почв Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в условиях разного уровня рекреационной нагрузки.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**

Наибольшие различия наблюдаются осенью и во второй половине лета, что хорошо коррелирует с сезонной динамикой опада и результатами мониторинга сезонной динамики содержания гумуса в верхних почвенных горизонтах (см. рис. 1) – на фоне поэтапного понижения интенсивности почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в течение основного вегетационного периода, что уже неоднократно отмечалось в предыдущих исследованиях [11, 17, 31, 38, 39].

Возрастание рекреационной нагрузки сопровождается поэтапным устойчивым и, нередко, статистически достоверным снижением средней интенсивности почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>: на 2–7 г/м<sup>2</sup> в сутки на участках со средним уровнем нагрузки и на 5–17 г/м<sup>2</sup> в сутки при сильной рекреационной нагрузке – относительно сопоставимого фона (рис. 2.Б, 2.В и 2.А). Максимальные различия с фоном отмечаются для почв подошвы склона и летнего периода наблюдений, для которых характерны максимально высокие уровни почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> фоновых почв с минимальной рекреационной нагрузкой.

Отмеченные закономерности сезонной динамики почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в почвах склоновой катены с различным уровнем рекреационной нагрузки подтверждают сделанное ранее предположение о пониженной устойчивости к этой нагрузке диагностируемого по содержанию органического углерода (гумуса) гумусового состояния почв на склоне и подошве склона, характеризующихся более высокой интенсивностью почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в фоновых условиях рекреационной минимальной нагрузки.

Расчеты, проведенные с использованием дифференцированных по слоям 0–5, 5–10 и 10–15 см значений плотности сложения верхних горизонтов исследованных почв [41], показали общее для всех ключевых участков мониторинга однонаправленное снижение запасов органического углерода в период с апреля по июль, а на вершине моренного холма – по сентябрь (табл. 2). В большинстве почв склоновых участков оно продолжается до августа, за исключением участка на склоне со средним уровнем рекреационной нагрузки.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 2. Сезонная динамика запасов органического углерода (кг м<sup>-2</sup>) в верхней части (0–15 см) дерново-подзолистых почв склоновой катены Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в условиях разной рекреационной нагрузки

Ключевой участок	Уровень нагрузки	Глубина (см)	Запасы органического углерода (кг м <sup>-2</sup> ) по горизонтам и в слое 0–15 см														
			Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
Вершина моренного холма	Минимальный	0-5	0.73	2.07	0.64	1.88	0.58	1.77	0.57	1.71	0.55	1.67	0.50	1.57			
		5-10	0.68		0.62		0.59		0.56		0.55		0.53				
		10-15	0.66		0.62		0.60		0.59		0.57		0.54				
	Средний	0-5	0.68	2.01	0.58	1.83	0.55	1.75	0.53	1.69	0.53	1.65	0.43	1.36			
		5-10	0.66		0.62		0.59		0.56		0.55		0.46				
		10-15	0.66		0.63		0.61		0.60		0.57		0.47				
	Сильный	0-5	0.66	2.00	0.58	1.75	0.55	1.71	0.55	1.63	0.53	1.57	0.41	1.25			
		5-10	0.68		0.57		0.57		0.54		0.53		0.43				
		10-15	0.66		0.60		0.59		0.53		0.51		0.42				
Средняя часть склона северо-восточной экспозиции	Минимальный	0-5	0.92	2.73	0.92	2.73	0.91	2.55	0.81	2.35	0.79	2.16	0.81	2.43			
		5-10	0.92		0.92		0.87		0.78		0.72		0.85				
		10-15	0.89		0.89		0.77		0.76		0.65		0.77				
	Средний	0-5	0.76	2.45	0.76	2.45	0.72	2.22	0.68	2.01	0.66	2.00	0.65	2.00			
		5-10	0.79		0.79		0.72		0.65		0.65		0.65				
		10-15	0.89		0.89		0.79		0.68		0.68		0.70				
	Сильный	0-5	0.80	2.42	0.80	2.42	0.68	2.01	0.66	1.93	0.67	1.95	0.61	1.84			
		5-10	0.83		0.83		0.66		0.63		0.64		0.61				
		10-15	0.79		0.79		0.67		0.64		0.63		0.62				
Подощва склона северо-восточной экспозиции	Минимальный	0-5	0.98	2.91	0.98	2.83	0.96	2.67	0.95	2.55	0.96	2.39	0.94	2.45			
		5-10	0.95		0.94		0.86		0.77		0.72		0.73				
		10-15	0.98		0.91		0.85		0.82		0.71		0.78				
	Средний	0-5	0.95	2.77	0.94	2.73	0.79	2.52	0.74	2.49	0.75	2.37	0.76	2.41			
		5-10	0.88		0.84		0.82		0.87		0.77		0.79				
		10-15	0.93		0.96		0.91		0.88		0.86		0.85				
	Сильный	0-5	0.84	2.57	0.78	2.53	0.75	2.47	0.75	2.36	0.72	2.05	0.72	2.16			
		5-10	0.82		0.83		0.86		0.79		0.61		0.67				
		10-15	0.92		0.93		0.86		0.82		0.71		0.77				

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

Максимальное сезонное снижение почвенных запасов органического углерода в слое 0-15 см отмечается в наименее увлажненных и лучше прогреваемых [41] почвах моренного холма: от 0,5 кг м<sup>-2</sup> на участке с минимальным уровнем рекреационной нагрузки до 0,75 кг м<sup>-2</sup> – при сильном уровне нагрузки (соответственно, от 25 до 37,5 % относительно апрельского запаса органического углерода – табл. 2)

В почвах средней части склона диапазон сезонных потерь апрельского запаса органического углерода варьирует от 0,45 кг м<sup>-2</sup> при среднем уровне рекреационной нагрузки до 0,58 кг м<sup>-2</sup> – при сильном уровне нагрузки (соответственно, от 25 до 37,5 % относительно апрельского запаса C). Минимальные потери характерны для почв подошвы склона (табл. 2) с наиболее устойчивыми условиями повышенного увлажнения при относительно пониженных температурах [41].

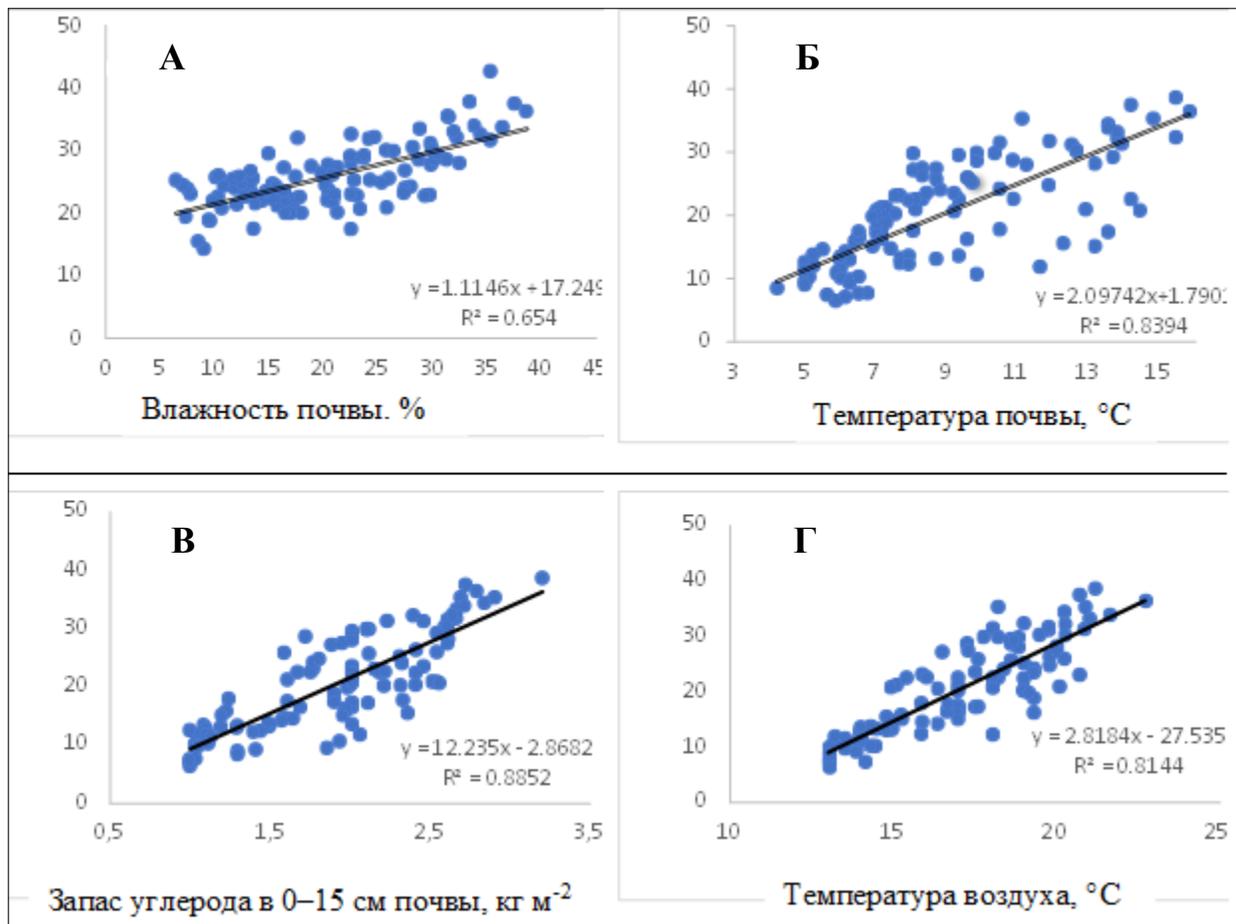
Характерные для большинства исследованных почв на склоне северо-восточной экспозиции сентябрьская стабилизация или даже незначительное увеличение запасов органического углерода в верхних горизонтах почв отражает начало интенсивного разложения поступающих в почву растительных остатков в условиях устойчиво повышенного увлажнения.

Среди сезонно изменяющихся лимитирующих экологических факторов почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в проведенных с мая по октябрь 2021 года мониторинговых наблюдениях наибольшую значимость показали влажность, температура верхних горизонтов почвы, запасы в них органического углерода и температура воздуха (рис. 3). Статистическая достоверность влияния микроклиматических факторов существенно возрастает при их дифференцированном анализе по положению почв в мезорельефе и сезонам года (табл. 3).

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»



**Рис. 3.** Регрессионные зависимости влияния на почвенную эмиссию CO<sub>2</sub> (г м<sup>-2</sup> сутки<sup>-1</sup>), лимитирующих экологических факторов влажности почвы (А), температуры почвы (Б), запаса углерода в верхней части почвы (В) и температуры воздуха (Г).

По данным дифференцированных по сезонам года корреляционных зависимостей почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> наиболее значимо влияние влажности почвы – с варьированием от 0,911 до 0,999 (табл. 3). Корреляционные зависимости почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> от температуры почвы и воздуха значительно менее значимы и однородны, варьируя от 0,616 до 0,999 в случае температуры почвы и от 0,661 до 0,998 в случае температуры воздуха – с минимально достоверными зависимостями в осенний период, для которого характерна более контрастная динамика погодных условий. Влияние почвенных запасов органического углерода также

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

характеризуется устойчиво повышенной значимостью: с пространственно-временным варьированием сезонных коэффициентами корреляции от 0,746 до 0,969.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции интенсивности почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в катене с лимитирующими экологическими факторами влажности почвы, температуры почвы, запаса углерода в верхней части почвы (0–15 см) и температуры воздуха по сезонам исследования.

Ключевой участок	Сезон	Влажность почвы	Температура почвы	Запас углерода в 0–15 см почвы	Температура воздуха
Вершина моренного холма	Весна	0.970**	0.997**	0.812*	0.870**
	Лето	0.983**	0.924**	0.942*	0.970**
	Осень	0.963**	0.685*	0.842*	0.818**
Средняя часть склона северо-восточной экспозиции	Весна	0.952**	0.791**	0.746*	0.977*
	Лето	0.911**	0.768*	0.865*	0.998**
	Осень	0.997**	0.616*	0.969*	0.925**
Подошва склона северо-восточной экспозиции	Весна	0.999**	0.998**	0.865*	0.924**
	Лето	0.999**	0.999**	0.865*	0.951**
	Осень	0.963**	0.742*	0.760*	0.661*

Примечание: \* Корреляция значима (на уровне 0,05), \*\* Корреляция очень значима (на уровне 0,01).

### Заключение

Проведенные с апреля по сентябрь 2021 года мониторинговые исследования сезонной динамики содержания гумуса и запасов органического углерода в верхних горизонтах представительных вариантов дерново-подзолистых почв, распределенных по склоновой катене на участках с различным уровнем рекреационной нагрузки Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, дополненные сезонным мониторингом почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>, позволили сделать следующие выводы.

1. Проведенные исследования выявили ярко выраженную сезонную динамику почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса (органического вещества почв) в верхних горизонтах исследованных почв – с четкой дифференциацией по формам склонового мезорельефа и уровню рекреационной нагрузки.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

2. Летние максимумы потоков CO<sub>2</sub> достигают 35–40 г/м<sup>2</sup> в сутки, а к концу октября падают в 3–5 раз. Средняя интенсивность почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> увеличивается вниз по склону на 5–7 г/м<sup>2</sup> в сутки и снижается с возрастанием рекреационной нагрузки, в среднем, на 5–10 г/м<sup>2</sup> в сутки: на участках с сильной рекреационной нагрузкой – на 5–17 г/м<sup>2</sup> в сутки.

3. Максимальные различия с фоном отмечаются для почв подошвы склона и летнего периода наблюдений, для которых характерны максимально высокие уровни почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> фоновых почв с минимальной рекреационной нагрузкой.

4. Среди сезонно изменяющихся лимитирующих экологических факторов почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в проведенных с мая по октябрь 2021 года мониторинговых наблюдениях наибольшую значимость показали влажность, температура верхних горизонтов почвы, запасы в них органического углерода и температура воздуха.

5. Статистическая достоверность влияния микроклиматических факторов на почвенную эмиссию CO<sub>2</sub> существенно возрастает при их дифференцированном анализе по положению почв в мезорельефе и сезонам года: коэффициенты корреляции почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> с влажностью почвы при этом варьируют от 0,911 до 0,999.

6. На пологой склоновой катене наблюдается постепенное увеличение содержания гумуса от вершины выположенного холма к подошве склона – в 1,5 раза. При возрастании рекреационной нагрузки, наоборот, наблюдается поэтапное снижение содержания гумуса на 10–20 относительных процентов – по сравнению с фоновыми участками минимальной рекреационной нагрузки.

7. Содержание гумуса в верхних горизонтах исследуемых дерново-подзолистых почв (A1 – A1A2 – A2) анализируемой мощности в 15 см в большинстве случаев значительно снижается (на 0,5–0,7%) по сезону от апрельского максимума к сезонному минимуму в августе.

8. Наблюдаемое на исследованных участках последовательное увеличение диапазона сезонной динамики содержания гумуса верхних горизонтов дерново-подзолистых почв в нижних элементах склоновой катены и при возрастании рекреационной нагрузки свидетельствует о значительном снижении при этом устойчивости функционирования почв,

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

что хорошо согласуется с данными сезонной динамики поступления почвенного CO<sub>2</sub> в атмосферу.

9. Максимальное сезонное снижение почвенных запасов органического углерода в слое 0-15 см отмечается в наименее увлажненных и лучше прогреваемых почвах моренного холма: от 0,5 кг м<sup>-2</sup> на участке с минимальным уровнем рекреационной нагрузки до 0,75 кг м<sup>-2</sup> – при сильном уровне нагрузки (соответственно, от 25 до 37,5 % относительно апрельского запаса органического углерода).

10. Наблюдаемые в 2021 году локальные (и, возможно, регионально-типологические) закономерности повышенной пространственно-временной изменчивости диагностических параметров гумусового состояния дерново-подзолистых почв в условиях городского лесопарка Москвы с выраженной рекреационной нагрузкой позволяют более обоснованно выбирать фоновые объекты экологического мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду в Северном округе Москвы, с анализом парниковых газов и углеродного баланса почв.

#### **Список использованных источников**

1. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). – Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. P. 3–32.

2. Фоменко Г.А., Романовская А.А., Фоменко М.А., Лошадкин К.А., Климов Е.В., Липка О.Н., Коротков В.Н., Алдошина А.С. Лесные климатические проекты: возможности и проблемы реализации ESG-подхода. Часть 1 // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 91–106.

3. Ciais P., Dolman A.J., Bombelli A., Duren R., Peregon A., Rayner P.J., Miller C., Gobron N., Kinderman G., Marland G., Gruber N., Chevallier F., Andres R.J., Balsamo G., Bopp L., Bracon F.-M., Broquet G., Dargaville R., Battin T.J., Borges A., Bovensmann H., Buchwitz, M., Butler J., Canadell J.G., Cook R.B., Defries R., Engelen R., Gurney K.R., Heinze C., Heimann M., Held A., Henry M., Law B., Luyssaert S., Miller J., Moriyama T., Moulin C., Myneni R.B., Nussli C., Obersteiner M., Ojima D., Pan Y., Paris J.-D., Piao S.L., Poulter B., Plummer S., Quegan S., Raymond

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

P., Reichstein M., Rivier L., Sabine C., Schimel D., Tarasova O., Valentini R., Wang R., Van Der Werf G., Wickland D., Williams M., Zehner C. Current systematic carbon-cycle observations and the need for implementing a policy-relevant carbon observing system // *Biogeosciences*. – 2014. Vol. 11 (13). – P. 3547-3602.

4. Prescott CE., Maynard DG., Laiho R. Humus in northern forests // *Forest Ecology and Management*. – 2000. Vol. 133. – P. 23-36.

5. Исаев А.С., Уткин А.И., Замолдчиков Д.Г., Честных О.В., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // *Лесоведение*. – 2001. – № 5. – С. 8-23.

6. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.

7. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник РАН*. – 2006. – Т. 76. – № 1. – С. 14–29.

8. Смагин А.В., Карелин Д.В. о влиянии ветра на газообмен почвы и атмосферы // *Почвоведение*. – 2021. – № 3. – С. 327–337.

9. Информационно-методическое обеспечение агроэкологического мониторинга и экологический мониторинг парниковых газов в условиях Центрального региона России / Под ред. И.И. Васенева – М.: ПринтФормула, 2015. – 120 с.

10. Gregorich E.G., Beare M.H., Mckim U.F., Skjemstad J.O. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter // *Soil. Sci. Soc. Am. J.* – 2006. – Vol. 70. – P. 975–985.

11. Васенев И.И. Почвенные сукцессии. – М.: ЛКИ. – 2008. – 320 с.

12. Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах // Санкт-Петербург: Наука, 2014. – 270 с.

13. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Запасы органического углерода в почвах Российской Федерации: современные оценки в связи с изменением системы землепользования // *Доклады Академии наук*. – 2009. – Т. 426. – № 1. – С. 132–134.

14. Magnússon R.I., Tietema A., Cornelissen J.H.C., Hefting M.M., Kalbitz K. Tamm review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils // *Forest Ecology and Management*. – 2016. Vol. 377. P. 1-15.

15. Lützw M.V., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – A review // *European Journal of Soil Science*. – 2006. – Vol. 57. – P. 426-445.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

16. Shao X., Yang W., Wu M. Seasonal dynamics of soil labile organic carbon and enzyme activities in relation to vegetation types in Hangzhou Bay tidal flat wetland // PLoS One. – 2015. – Vol. 10. – № 11. – e0142677.

17. Алилов Д.Р., Васенев И.И., Комарова Т.В. Влияние ветровала на пространственно-временную изменчивость почвенных потоков CO<sub>2</sub> в ельниках кислично-щитовниковых Центрально-Лесного Заповедника [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2018. – № 3 (33). – Ст. 17.

18. Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почв города Курска // Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 70–79.

19. Тонконогов В.Д. К генетической классификации и географии глинисто-дифференцированных почв Европейской Территории Союза // Почвоведение. – 1985. – № 4. – С. 5–16.

20. Лыков А. М. Гумус и плодородие почвы. – М.: Московский рабочий, 1985. – 190 с.

21. Сорокина Н.П. Принципы типизации почвенных комбинаций при изучении агрогенных изменений почвенного покрова // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1477–1488.

22. Скворцова Е.Б., Шеин Е.В., Романенко К.А., Абросимов К.Н., Юдина А.В., Ключева В.В., Хайдапова Д.Д., Рогов В.В. Изменение порового пространства в гумусовых агрегатах дерново-подзолистой почвы при многократном замораживании и оттаивании // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2018. – № 91. – С. 6–20.

23. Яшин И.М., Васенев И.И., Белопухов С.Л. Путеводитель научных почвенно-экологических экскурсий в лесных и аграрных ландшафтах ЦЛГПБЗ и мегаполиса Москвы. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2018. – 128 с.

24. Васенев И.И., Наумов В.Д., Раскатова Т.В. Структурно-функциональная организация почвенно-экологического мониторинга Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА // Известия ТСХА. – 2007. – № 4. – С. 29–44.

25. Кудреватых И.Ю., Ананьева Н.Д., Сушко С.В., Иванищева Е.А. Химические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы в лесах Вологодской и Костромской областей // Лесоведение. – 2021. – № 1. – С. 93–106.

26. Мартыненко И.А., Прокофьева Т.В., Строганова М.Н. Состав и строение почвенного покрова лесных, лесопарковых и парковых территорий г. Москвы // Лесные экосистемы и урбанизация: сборник научных трудов / Под ред. Л.П. Рысина. – Москва, 2008. – С. 69–90.

27. Pickett S.T.A., Cadenasso M.L., Grove J.M., Boone C.G., Groffman P.M., Irwin E., Kaushal S.S., Marshall V., McGrath B.P., Nilon C.H., Pouyat R.V., Szlavecz K., Troy A., Warren P. Urban ecological systems: scientific foundations and a decade of progress // J. Environ. Manag. – 2011. – Vol. 92. – P. 331–362.

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

28. Васенев В.И., Прокофьева Т.В., Макаров О.А. Разработка подхода к сравнительной оценке запасов почвенного органического углерода мегаполиса и малого населенного пункта // Почвоведение. – 2013. – №6. – С. 725–736.

29. Васенев, В.И., Валентини Р., Васенев И.И. Региональные особенности эмиссии CO<sub>2</sub> и антропогенной динамики запасов углерода в почвах представительных урбоэкосистем Москвы и Московской области // Доклады ТСХА. – 2012. – Вып. 284. – Ч. 1. – С. 215–218.

30. Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Ananyeva N.D., Ivashchenko K.V., Sarzhanov D.A., Epikhina A.S., Vasenev I.I., Valentini R. Quantifying spatial-temporal variability of carbon stocks and fluxes in urban soils: from local monitoring to regional modeling // The Carbon Footprint Handbook / Muthu (eds.). – Boca Raton (Florida): CRC Press. – 2015. – P. 185-222.

31. Саржанов Д.А., Васенев И.И., Валентини Р. Анализ пространственного разнообразия и временной динамики почвенных потоков парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) в условиях представительных урбоэкосистем г. Курска [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2015. – №6 (22). – Ст. 6.

32. Sarzhanov D.A., Vasenev V.I., Vasenev I.I., Morin T., Sotnikova Y.L., Ryzhkov O.V. Carbon stocks and CO<sub>2</sub> emissions of urban and natural soils in Central Chernozemic Region of Russia // Catena. – 2017. – Т. 158. – С. 131-140.

33. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости почвенных микробных комплексов к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. – 2002. – №. 5. – С. 580–587.

34. Dovletyarova E.A., Vasenev V.I., Ivashchenko K.V., Mosina L.V., Ananyeva N.D., Paltseva A. Monitoring and assessing anthropogenic influence on soil's health in urban forests: the case from Moscow city // Adaptive Soil Management: From Theory to Practices. – 2017. – P. 531-557.

35. Андреева И.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б., Васенёв И.И. Сравнительная оценка экологического состояния лесопарковых зон Тимирязевского района города Москвы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 6 (48). – Ст. 21. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st\\_630.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_630.pdf)

36. Наумов В.Д., Поляков А.Н. 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – 511 с.

37. Центральная-лесной государственный природный биосферный заповедник / Сост.: Пузаченко Ю.Г., Желтухин А.С., Козлов Д.Н., Кораблев Н.П., Федяева М.В., Пузаченко М.Ю., Сиунова Е.В. – М.: Деловой мир, 2007. – 80 с.

38. Аднане И.А., Васенев И.И., Тихонова М.В. Влияние склонового мезорельефа на сезонную динамику интегральных потоков CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в дерново- и торфянисто-подзолистых

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О.

Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

почвах фоновых лесных экосистем на севере Москвы [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2018. – № 3 (33). – Ст. 18.

39. Vasenev I.I., Avilova A.A., Tikhonova M.V., Ermakov S.Yu. Assessment of within-forest variability in Albeluvisol quality in an urban forest ecosystem for the northern part of the Moscow megalopolis // Springer Geography. – 2020. – С. 133-144.

40. Теории и методы физики почв. / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и К (Тула), 2007. – 616 с.

41. Мелесе С.М., Васенев И.И. Сезонная динамика влажности и плотности дерново-подзолистых почв на склоновой катене ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева при различных уровнях рекреационной нагрузки [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st\\_243.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_243.pdf). DOI: <https://doi.org/10.51419/202122243>.

**Цитирование:**

Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О. Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков CO<sub>2</sub> и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 4. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st\\_419.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_419.pdf). DOI: <https://doi.org/10.51419/202124419>.