

УДК 645.01.631

DOI:10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-36-45

## ПОДСТИЛКИ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ МЕГАПОЛИСА КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

О. В. Семенюк\*, В. М. Телеснина, Л. Г. Богатырев, А. И. Бенедиктова

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

\* E-mail: olgatour@rambler.ru

В целях экологического мониторинга изучены особенности живого напочвенного покрова и лесных подстилок еловых насаждений в пределах г. Москвы. Использование экологических шкал Ниценко, Раменского, Элленберга и Ландольта позволило установить, что рудерализация напочвенного покрова является результатом последствий рекреации. Независимо от типа ельника отсутствие подлеска обуславливает увеличение освещенности и приводит к увеличению численности видов. Разнообразие экологических ниш является следствием умеренного вытаптывания, которое в большей степени характерно для межкрупных пространств. Повышенный балл трофности по Л.Г. Раменскому обусловлен повышенной засоренностью напочвенного покрова. Показано, что живой напочвенный покров характеризует разнообразие экосистем и уровень антропогенного воздействия на фитоценоз.

Подстилки городских еловых насаждений чувствительны к изменению условий функционирования и могут быть использованы в качестве объектов экологического мониторинга. Доступность изучения подстилок и простота оценки параметров позволяет в экспресс-режиме получать информацию о депонировании органического вещества в условиях антропогенного воздействия разной степени на урбоэкосистемы.

В еловых насаждениях, как условно эталонных, так и нарушенных, в системе тессер ствол-крона-окно закономерно происходит упрощение строения подстилок и снижение общих запасов органического вещества, что можно считать инвариантным процессом. Рекреационная нагрузка приводит к снижению запасов подстилок в 1,5 раза, а также к их перераспределению в пределах тессер в сторону увеличения в подкрупном пространстве до 85% от общего запаса в биогеоценозе и снижении в других зонах.

При выборе точек обследования в пределах насаждений следует признать приоритетность приствольных и межкрупных пространств как объектов, наиболее чувствительных к изменению внешних условий. Зоны приствольных повышений в силу своего расположения испытывают минимальное влияние рекреации, отражая в большей мере изменения экологических условий функционирования, а для оценки влияния рекреации наиболее показательны зоны межкрупных пространств.

Для экологического мониторинга с точки зрения методических подходов предложены две группы показателей, характеризующих структурно-функциональную организацию подстилок. В параметры, характеризующие структурную организацию подстилок, включены общие запасы подстилок и запасы в подгоризонте L. Параметры, характеризующие особенности функционирования, включают в себя запасы и долю детрита и легкоразрушаемых компонентов, соотношение мощности и запасов подгоризонта L по отношению к подгоризонту F. Особенности долговременного пространственного функционирования характеризуются типологией подстилок в системе тессер: ствол-крона-окно.

*Ключевые слова:* городские насаждения, лесные подстилки, ельники, биологический круговорот, депонирование органического вещества.

### Введение

Современная система мониторинга окружающей среды характеризуется постоянным совершенствованием и постоянным расширением оцениваемых параметров. Это в полной мере касается городских территорий, для которых к настоящему времени сформулированы не только важнейшие научные принципы мониторинга, но и обоснована целая система характеристик, которые рекомендованы при исследовании почвенного покрова в условиях городских ландшафтов [Смагин и др., 2006].

В рамках развития системы мониторинга перспективным направлением является расширение набора оценок за счет поиска и включения инте-

гральных показателей состояния окружающей среды, например, таких как эмиссия газов и ряд биологических показателей почв [Васенев и др., 2012; Смагин и др., 2018]. К интегральным показателям экосистем как индикаторам изменяющихся локальных экологических условий, в том числе и городских, можно отнести живой напочвенный покров и подстилку зеленых насаждений.

В настоящее время подстилки городских лесов изучены недостаточно. Это тем более парадоксально на фоне широкого использования лесных подстилок в качестве важнейших критериев, отражающих состояние лесных экосистем в естественных экосистемах. К роли подстилки известный исследователь лесных экосистем О.Г. Чертов обращался при оценке

разнокачественности аккумулятивного процесса в лесных почвах. Так, согласно его данным, в почвах с грубогумусными типами лесного гумуса аккумулятивной частью профиля является подстилка, тогда как в почвах с модергумусовыми типами аккумуляция сосредоточена равновелико в подстилке и горизонте А, а в почвах с муллевым типом гумуса аккумуляция органического вещества приурочена полностью к гумусово-аккумулятивному горизонту А. Кроме того, роль подстилки О.Г. Чертов оценивал при построении модели динамики азота в лесной экосистеме [Чертов, 1981]. В последующих работах этого автора роль подстилки подробно рассматривается при построении моделей динамики органического вещества в лесных почвах [Чертов, Комаров, 2013].

Строение подстилки выступает в качестве одного из критериев рекреационной дигрессии лесов в рамках методики Казанской [Королькова, 2015]. Являясь функцией растительности и других факторов окружающей среды, подстилка служит индикатором состояния лесных экосистем [Богатырев, 1990], а ее параметры детерминируются возрастом древостоя, что особенно важно для оценки насаждений, находящихся под антропогенным влиянием.

Вышесказанное в полной мере относится к особо охраняемым природным территориям (ООПТ), выполняющим экологическую функцию сохранения и поддержания качества городской среды. Это тем более приобретает важное значение, так как ООПТ формируют экологический каркас города, где они являются основными структурными элементами системы городского озеленения. В значительной мере эти территории можно рассматривать как условный фон мегаполиса, так как они являются основными депозитариями природных и слабо преобразованных экосистем и имеют большую экологическую ценность [Баранова, Семенюк, 2018]. Наиболее информативным является подход комплексного изучения почв и напочвенного покрова, последний в большей степени, чем древостой и подлесок, отражает изменения экологических условий, таких как характер освещения, увлажнения, обогащенности почвы элементами питания. В связи с этим особое значение принадлежит классическим шкалам Ландольта, Элленберга, Раменского, значение которых в экспресс-диагностике состояния природных и городских экосистем по флористическому составу отмечалось ранее [Клещева, 2007].

Среди лесных насаждений в ельниках по сравнению с другими типами леса, особенно широколиственными и мелколиственными, наиболее сильно выражена пространственная дифференциация подстилок и живого напочвенного покрова в соответствии с особенностями тессер [Орлова и др., 2015], которые существенно различаются в приствольных пространствах, под кронами и в окнах, нередко обуславливая различные скорости разложения опада

[Hertz et al., 1990], отражая, таким образом, закономерности изменения экологических условий в пределах лесного пространства. Одновременно с этим происходит изменение подстилок.

В ельниках значительно раньше по сравнению с лиственными насаждениями наступает дигрессия в результате рекреации [Кузнецов и др., 2017]. Поэтому еловые насаждения наиболее показательны в плане оценки антропогенного воздействия на свойства лесных подстилок и пространственного варьирования результатов этого воздействия. Исследование живого напочвенного покрова и подстилок может быть положено в основу экспресс-информации о состоянии городских экосистем.

*Цель работы* — изучение особенностей подстилок и напочвенного покрова городских еловых фитоценозов для разработки предложений по методике проведения экологического мониторинга.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили городские насаждения в пределах особо охраняемой природной территории (ООПТ) природно-исторического парка «Битцевский лес», г. Москва. Территория характеризуется влажным умеренно континентальным климатом и принадлежит к подзоне хвойно-широколиственных лесов. Парк расположен на наиболее приподнятой части Теплостанской возвышенности и представляет собой обособленный природный комплекс, который сформирован на доледниковом останце [Жидков, Коженков, 2017]. В почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности, в меньшей степени — серые лесные. Для изучения были выбраны фитоценозы с преобладанием или как наиболее чувствительной к изменению локальных экологических условий древесной породы [Григорьева, Репях, 2020], различающиеся составом древостоя и живого напочвенного покрова.

Первый фитоценоз представляет собой ельник зеленчуковый с участием липы сердцелистной (9Е1Л) возрастом около 120 лет (условно эталонный). Второй — сложный ельник зеленчуково-медуничный 120 лет (6Е2Л1Д1К) с участием липы сердцелистной, дуба черешчатого и клена платановидного. Третий — ельник крапивно-живучковый (8Е2Л), с небольшим участием липы в древостое, возраста около 100 лет, вытоптаный и засоренный (нарушенный).

При изучении особенностей еловых насаждений степень рекреационного воздействия определялась на основе установления стадий дигрессии по Л.П. Рысину [Рысин и др., 2006]. На основе геоботанического описания была проведена эколого-ценотическая классификация растительности по А.А. Ниценко [Ниценко, 1969].

Для дополнительной эколого-ценотической характеристики живого напочвенного покрова

использовали экологические шкалы — диапазонную шкалу трофности Л.Г. Раменского [Раменский и др., 1956], а также точечные шкалы Элленберга [Ellenberg, 1974] и Ландольта [Landolt, 1977]. Значение этих шкал в экспресс-диагностике состояния природных и городских экосистем по флористическому составу отмечалось ранее [Гончарова и др., 2021]. Для каждого фитоценоза рассчитывался средневзвешенный балл трофности живого напочвенного покрова по шкале Л.Г. Раменского — этот балл возрастает с увеличением доли видов, требовательных к обогащенности почвы элементами питания. В соответствии с точечными экологическими шкалами определялись: доля в живом напочвенном покрове световых и теневых видов (имеющих соответственно 4–5 и 1–2 балла по Ландольту, а также 7–9 и 1–3 балла по Элленбергу); доля анитрофилов и нитрофилов (соответственно 1–2 и 4–5 баллов по Ландольту, а также 1–3 и 7–9 баллов по Элленбергу); доля ацидофилов и нейтрофилов (соответственно 1–2 и 4–5 баллов по отношению к кислотности почвы по Ландольту).

Отбор подстилок с разделением на подгоризонты проводился с площади 25×25 см с учетом положения в тессере (ствол-крона-окно) в пяти тессерах каждого фитоценоза (для каждого из трех компонентов тессеры отобрано по пять повторностей). Под термином «тессера» подразумевалась совокупность приствольного, подкоронового и межкоронового (окна) пространств [Карпачевский, 2007]. В полевых условиях проводилось морфологическое описание подстилок и определение мощности каждого подгоризонта. Классификационная принадлежность подстилок определялась по Л.Г. Богатыреву [Богатырев, 1990]. В соответствии с этой классификацией, деструктивные маломощные подстилки морфологически состоят из опада прошлых лет (единственный подгоризонт L), что свидетельствует о высокой скорости переработки растительного опада. При снижении скорости разложения опада формируются подстилки более сложного строения — ферментативные (L-F) и гумифицированные (L-F-H), которые включают в себя соответственно ферментативный (F) и гумифицированный (H) подгоризонты, различающиеся по степени разложения органического вещества [Богатырев, 1990]. Подгоризонты L разбирались на фракции, расчет долевого участия каждой фракции и запасов подстилок велся на навеску (г/м<sup>2</sup>). Листья и опад трав (ветошь) относили к категории легкоразлагаемых компонентов. Растительные остатки, определить происхождение которых не представляется возможным, относили к детриту. Запасы подстилок также определяли на абсолютно сухую массу отдельно для всех подгоризонтов. Были рассчитаны две группы показателей. Первая группа характеризовала структурную организацию подстилок, которая включала в себя общие запасы подстилок и запасы органиче-

ского вещества в подгоризонте L. Показатели функционирования были условно охарактеризованы долей детрита и легкоразлагаемых компонентов от общего органического вещества в подгоризонте L и отношением мощности (запасов) L к сумме мощностей (запасов) F и H. Особенности долговременного пространственного функционирования подстилок отражены через соотношение типологии подстилок в системе тессер: ствол-крона-окно.

С целью оценки накопления наземного детрита в биогеоценозе были дополнительно определены общие запасы подстилки на 100 м<sup>2</sup>, поскольку это соответствует площади исследованной части фитоценоза, на которой осуществляли геоботаническое описание. Расчет проводили с учетом соотношения площадей, занимаемых приствольными повышениями, подкороновыми пространствами и окнами, которые были подсчитаны на изученных участках. Площадь приствольных и подкороновых пространств определяли исходя из их примерного радиуса, площадь окон соответствует разности 100 м<sup>2</sup> и совокупности площадей приствольных, подкороновых пространств и площадей сечений стволов.

Для статистической обработки полученных результатов использовали программы Excel и Statistica.

## Результаты

**Живой напочвенный покров.** Оценка напочвенного покрова в соответствии с эколого-ценотической принадлежностью по А.А. Ниценко показала, что во всех фитоценозах травяной ярус состоит из видов неморальных свит (медуница неясная — *Pulmonaria obscura* Dumort., зеленчук желтый — *Galeobdolon luteum* Huds.) на 70–95%. Везде встречаются сорно-рудеральные и нитрофильные виды (недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora* DC.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.)), но максимальное развитие они получили в ельнике крапивно-зеленчуковом. Кроме того, здесь появляются луговые виды (щавель конский (*Rumex confertus* Willd.)). Для этого же фитоценоза характерно максимальное видовое разнообразие (табл. 1). В соответствии с экологическими шкалами в ельнике крапивно-живучковом диагностируются светлюбивые виды, а число теневыносливых при этом существенно уменьшается по сравнению с остальными ельниками. В ельниках зеленчуково-медуничном и крапивно-живучковом также значительно больше видов-нитрофилов (в соответствии со шкалами Ландольта и Элленберга), которые обычно бореальным лесам не свойственны. В живом напочвенном покрове ельника зеленчукового как наиболее сходного с типичным бореальным лесом минимальна доля видов-нейтрофилов, соответствующих по шкале Ландольта нейтральным и даже слабощелочным почвам. Изучение живого напочвенного покрова и анализ полученных данных показали, что ельники зеленчуковый и зеленчуко-

Таблица 1

Эколого-ценотические характеристики живого напочвенного покрова

Характеристики живого напочвенного покрова		Ельник зеленчуковый	Ельник зеленчуково-медуничный	Ельник крапивно-живучковый
Число видов		11	9	18
Число эколого-ценотических свит		7	7	7
% видов конкретных свит	Еловых (бореальных)	2	10	1
	Неморальных	90	75	75
	Сорно-рудеральных	7	3	12
	Луговых	0	0	2
Балл трофности по Л.Г. Раменскому		8,0	8,5	8,6
Соотношение разных групп видов по Ландольту	теневые : световые	97,4:0	98,6:0	28,6:3,6
	ацидофилы : нейтрофилы	3,4:3,4	5,6:44,9	3,6:3,6
	анитрофилы : нитрофилы	0:2,6	0:12,6	5,4:21,5
Соотношение разных групп видов по Элленбергу	теневые : световые	99,6:0	36,4:0	0:3,6
	анитрофилы : нитрофилы	0:5	0:57,5	0:17,9

во-медуничный соответствуют первой, а ельник крапивно-живучковый — третьей-четвертой стадиям дигрессии. Общим для всех групп ельников является высокий уровень трофности в среднем около 8,5 баллов, рассчитанных по шкале Л.Г. Раменского.

**Подстилки. Типология и свойства подстилок.**

В фитоценозах обнаружены три типа подстилок: деструктивные, ферментативные, гумифицированные. Деструктивные маломощные подстилки морфологически представляют собой однослойные подстилки, состоящие из опада прошлых лет (горизонт L), что свидетельствует о высокой скорости переработки растительного опада. При пониженной скорости разложения опада формируются многослойные подстилки — ферментативные и гумифицированные, соответствующие с 2 или 3 горизонтами (горизонты

L-F и L-F-H). В условно эталонном ельнике встречались все три вышеперечисленные типы подстилок, причем у стволов — только гумифицированные, под кронами — ферментативные и деструктивные с преобладанием первых, в окнах развиваются ферментативные и деструктивные типы подстилок с преобладанием вторых, что практически соответствует этим типам тессер в естественных еловых насаждениях согласно предыдущим исследованиям [Телеснина и др., 2019]. Подстилки в ельниках зеленчуково-медуничном и крапивно-живучковом имеют более простое строение и относятся к деструктивному типу, реже встречались ферментативные.

Во всех ельниках выявлено уменьшение мощности подстилок от стволов к окнам. При этом наиболее мощные подстилки соответствуют условно эталонному ельнику (рис. 1), в котором

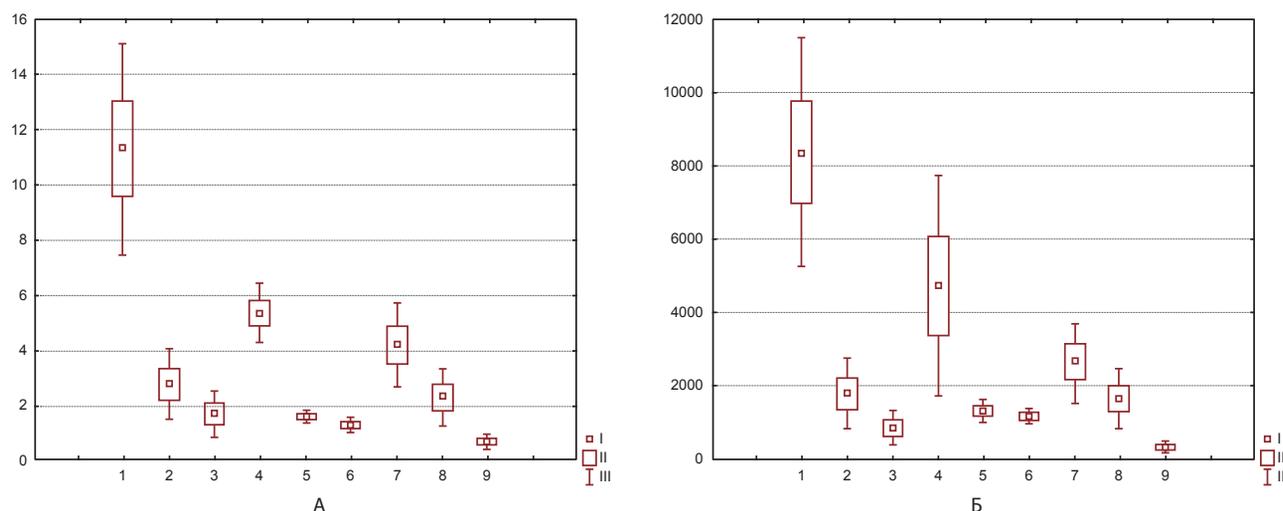


Рис. 1. Мощность (А) и общие запасы (Б) подстилки.  
 Ельник зеленчуковый: 1 — ствол, 2 — крона, 3 — окно.  
 Ельник зеленчуково-медуничный: 4 — ствол, 5 — крона, 6 — окно.  
 Ельник крапивно-живучковый: 7 — ствол, 8 — крона, 9 — окно.  
 I — среднее; II — среднее ± стандартная ошибка; III — среднее ± стандартное отклонение

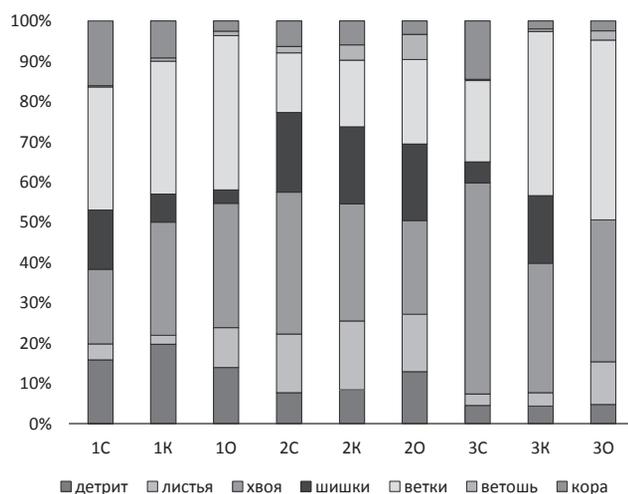


Рис. 2. Фракционный состав подгоризонтов L лесных подстилок.

1 — ельник зеленчуковый, 2 — ельник зеленчуково-медуничный, 3 — ельник крапивно-живучковый.  
С — ствол, К — крона, О — окно

мощность подстилок может превышать в 2–3 раза соответствующие показатели в других изученных ельниках.

Пространственное варьирование условий формирования подстилок находит отражение во фракционном составе подгоризонтов L различных компонентов тессер (рис. 2). Установлено, что преобладающими фракциями являются хвоя и ветки, причем наиболее высокая доля хвои наблюдается в подстилках ельника крапивно-живучкового, что, вероятно, связано с ослабленным состоянием деревьев ввиду повышенной антропогенной нагрузки [Скок, 2018]. Доля листьев и ветоши в подстилках всех ельников возрастает от стволов к окнам и максимальна в сложном ельнике зеленчуково-медуничном, что связано, по-видимому, с составом опада. Доля детрита максимальна в подстилках ельника зеленчукового, тогда как минимальна в подстилках ельника крапивно-живучкового, что может быть связано с поступлением детрита из подстилки в минеральный горизонт при активном вытаптывании [Кузнецов и др., 2017].

В соответствии с типологией и мощностью подстилок происходит и изменение их запасов, которые варьируют в диапазоне от 300 до 8000 г/м<sup>2</sup>, находясь в тесной зависимости от типа ельника и положения в тессере. Оказалось, что в рекреационно нарушенном ельнике крапивно-живучковом запасы подстилки существенно ниже, чем в других, особенно в приствольных пространствах, что указывает на снижение влияния дерева-эдификатора на формирование подстилок.

Уменьшение мощности и запасов подстилки по направлению от приствольного пространства к окну (рис. 3) происходит главным образом за счет уменьшения или полного отсутствия гумифицированного и ферментативного подгоризонтов, что свидетель-

ствует об относительном снижении депонирования органического вещества в подстилках в связи с изменениями условий разложения. Оказалось, что в приствольном пространстве условно эталонного зеленчукового ельника мощность и запасы подгоризонта L составляют всего лишь 25% и менее от всех запасов подстилки, под кроной и в окне — 50% и более.

Уменьшение влияния еловой кроны проявляется также в снижении варьирования мощности и запасов подстилки, что прежде всего проявляется в приствольных повышениях, для которых отмечаются наиболее значимые различия в запасах подстилки между изучаемыми ельниками. Показано, что практически не отличаются запасы подстилок под кроной и в окне ельника зеленчуково-медуничного (рис. 1Б).

На основе сравнения суммарных запасов подстилки на 100 м<sup>2</sup> установлено, что дифференциация пространства по величине запасов подстилок, при котором они различаются на порядок в ряду крона-ствол-окно, сохраняется, включая нарушенные фитоценозы. В ненарушенных еловых насаждениях, представленных ельником зеленчуковым и крапивно-живучковым, общие запасы подстилки практически представлены подкороновыми пространствами (более 80% площади фитоценоза). В смешанных насаждениях (ельник зеленчуково-медуничный) дифференцирующее действие еловой кроны значительно снижается, что проявляется в снижении запасов в приствольных пространствах почти в три раза, под кронами — более чем в два, однако в окнах, напротив, увеличивается по сравнению с ельником зеленчуковым в восемь раз. Возможно, именно в окнах увеличивается роль листового опада дуба, клена и других лиственных деревьев. Существенных различий в запасах подстилки подкороновых пространств и окон не отмечено. Общие запасы подстилок на 100 м<sup>2</sup> еще ниже, чем в рекреационном ельнике, то есть депонирование углерода подстилками в сложном ельнике снижено существенно по сравнению с фитоценозами с чистым еловым древостоем.

Установлено, что антропогенное влияние на еловые насаждения приводит к снижению депонирования органического вещества подстилок, что выражается в уменьшении запасов подстилок почти в 1,5 раза. Наиболее чувствительными к антропогенной нагрузке зонами еловых тессер оказались приствольные пространства и окна.

*Показатели функционирования подстилок.* Показатели функционирования подстилок, которые могут служить индикаторами интенсивности биологического круговорота, также существенно различаются, несмотря на сходные локальные гидро-термические условия в пределах парка – в данном случае определяющими факторами являются как состав древостоя (примесь лиственных пород), так и степень антропогенного воздействия (табл. 2).

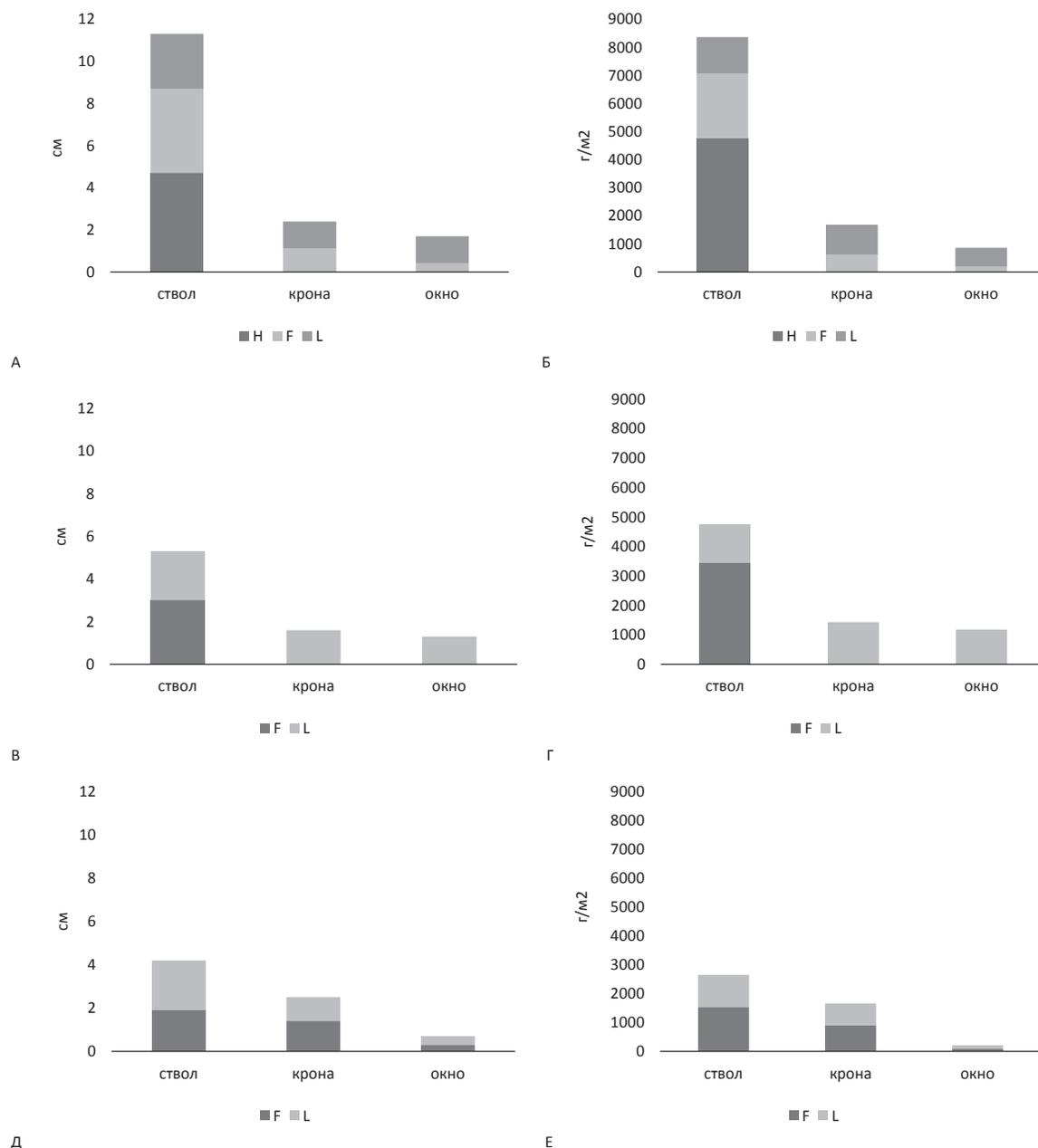


Рис. 3. Мощности (А, В, Д) и запасы (Б, Г, Е) подстилок по подгоризонтам.  
 А, Б — ельник зеленчуковый. В, Г — ельник зеленчуково-медуничный. Д, Е — ельник крапивно-живучковый

Для подстилок условно эталонного ельника зеленчукового, древостой которого сложен только хвойными породами, можно рассматривать эти условия как максимально приближенные к естественным, выявлены максимальные запасы и доля детрита при минимальных доле и запасах легко разлагаемых компонентов. Расчет отношения мощности (или запасов) подгоризонтов L к мощности (или запасам) остальных подгоризонтов подстилки показал, что наиболее низкие значения этих соотношений выявлены для приствольных пространств ельника зеленчукового, где подстилки наиболее мощные и сложно организованные. Для этого ельника характерна наибольшая контрастность для всех показателей функционирования подстилок по компонентам тессер, в других же они несколько снижены.

Что касается подстилок двух других ельников, подобного разрыва в мощности и запасах между разными компонентами тессер не наблюдается и соотношение мощности (запасов) L и F подгоризонтов составляет примерно 1:1.

В ельнике зеленчуково-медуничном наблюдаются повышенные запасы и доля легко разлагаемых компонентов в подстилках. При этом подстилки под кронами и окнами исключительно ферментативные, что говорит о высокой интенсивности разложения органического вещества, обусловленной в данном случае влиянием опада широколиственных пород. В ельнике крапивно-зеленчуковом все показатели подстилок также говорят об относительно повышенной интенсивности круговорота. Во-первых, в этом типе леса отсутствуют гумифицированные подстилки.

Таблица 2

**Показатели структуры и функционирования подстилок, указывающие на интенсивность биологического круговорота**

Показатели		Ельник зеленчуковый			Ельник зеленчуково-медуничный			Ельник крапивно-живучковый		
		ствол	крона	окно	ствол	крона	окно	ствол	крона	окно
Структурные показатели										
Общие запасы подстилки, г/м <sup>2</sup>		8370,2	1787,1	861,6	4744,8	1432,6	1179,2	2648,8	1653,8	310,8
Запасы подгоризонта L, г/м <sup>2</sup>		1300,0	1070,1	680,0	1312,0	1432,2	1179,1	1108,0	757,0	115,3
Показатели функционирования										
Детрит	Запасы, г/м <sup>2</sup>	185,4	248,2	90,1	98,8	117,5	134,8	44,0	37,0	8,4
	Доля, %*	14,5	19,8	13,3	7,5	8,3	11,7	3,3	5,3	3,2
ЛРК**	Запасы, г/м <sup>2</sup>	4,6	4,3	5,9	29,7	51,3	77,1	37,1	32,2	25,0
	Доля, %*	0,3	0,8	1,1	1,5	3,7	5,7	2,8	4,6	9,5
Соотношение доли подстилок разных типов Г:Ф:Д (%)***		100:0:0	0:60:40	0:20:80	0:100:0	0:0:100	0:0:100	0:80:20	0:40:60	0:20:80
Отношение мощности подгоризонта L к мощности подгоризонта F		0,3****	1,0	0,5	1,0	–	–	0,8	0,4	0,7
Отношение запасов подгоризонта L к запасам подгоризонта F		0,2****	1,5	0,8	0,6	–	–	0,4	0,5	0,7

\* доля от общих запасов подгоризонта L; \*\* ЛРК — легко разлагаемые компоненты горизонта L — листья и ветошь (опад трав); \*\*\* Г — гумифицированные, Ф — ферментативные, Д — деструктивные; \*\*\*\* отношение мощности (запасов) L к сумме мощностей (запасов) F и H.

во-вторых, запасы и доля детрита в этом насаждении намного ниже, чем в других фитоценозах. В-третьих, запасы и доля легкоразлагаемых компонентов выше, чем в зеленчуковом ельнике. С одной стороны, количество поступающего опада здесь несколько ниже из-за упрощенной вертикальной структуры и слабого развития травяного яруса. С другой стороны, рекреационное воздействие вызывает измельчение подстилки и активное перемешивание с минеральными горизонтами, что упрощает ее строение и ускоряет разложение органического вещества [Maes et al., 2019]. Повышенная биологическая активность почв на рекреационных участках парков, особенно при умеренной рекреации, была отмечена и ранее [Кузнецов и др., 2017].

### Обсуждение

Анализ особенностей напочвенного покрова показал, что в целом рудерализация живого напочвенного покрова в результате рекреации довольно типична для парковых насаждений [Лысиков, Судницына, 2008], а активное участие в напочвенном покрове неморальных видов отражает влияние городского микроклимата. Так, максимальное развитие сорно-рудеральных и нитрофильных видов в ельнике зеленчуковом обусловлено тем, что он в большей степени подвержен рекреационным воздействиям. Условно эталонный ельник наиболее приближен к естественным насаждениям, поэтому

для него характерна, в отличие от других типов леса, более строгая пространственная дифференциация типологии подстилок в системе ствол-крона-окно, причем это сопровождается соответствующим изменением запасов подстилки. В то же время луговые виды, описанные для нарушенного ельника, обусловлены отсутствием здесь подлеска, что приводит к увеличению освещенности и увеличению численности видов. С другой стороны, это объясняется умеренным вытаптыванием, которое может способствовать увеличению разнообразия экологических ниш. Для ельника крапивно-живучкового специфика напочвенного покрова заключается в повышенной засоренности в результате рекреации, что объясняет максимальный балл трофности по шкале Л.Г. Раменского. Особенности ельника зеленчуково-медуничного заключаются в том, что он относится к сложным ельникам, в которых участие широколиственных пород обуславливает характерные эвтрофные виды в живом напочвенном покрове, что подтверждается также высоким баллом трофности. Таким образом, очевидно, что рекреационное воздействие в сочетании с возможным негативным влиянием антропогенного загрязнения приводит к уменьшению густоты кроны елей, а также последующей деградации подлеска и подроста, что не может не отражаться на световом режиме. В результате этого во всех типах ельников отмечается высокая трофность, что подтверждает положение о том, что

живой напочвенный покров отражает как разнообразие древесного яруса, так и уровень антропогенного влияния на фитоценоз. По-видимому, включение широколиственных пород в ельник оказывает нивелирующее воздействие на пространственное распределение свойств подстилок в пределах тессер.

Анализ данных по структурно-функциональной организации подстилок позволяет заключить, что в городских хвойных насаждениях они отличаются значительным разнообразием свойств. В условно-ненарушенных чистых ельниках свойства подстилок соответствуют свойствам подстилок естественных экосистем [Телеснина и др., 2019]. В случае смешанных насаждений подстилки по сравнению с естественными, чистыми ельниками характеризуются упрощенным строением и низким значением мощности и запасов органического вещества. Рекреационное воздействие вызывает дополнительное снижение пространственной дифференциации свойств, упрощение их строения и снижение запасов [Семенюк и др., 2021]. Происходящая пространственная типологическая дифференциация подстилок, сопровождающаяся снижением их мощности и запасов, отмечена в системе ствол-крона-окно, как и тенденция к увеличению в этом направлении долевого участия фракций листьев и ветоши. Особенно это характерно для тессер фитоценозов с чистым еловым древостоем, не подверженных рекреации, в остальных фитоценозах дифференциация свойств подстилок несколько снижена. Этим объясняется то, что наибольшая интенсивность биологического круговорота характеризует сложный ельник с участием в древостое лиственных пород, для подстилок которого выявлены наименьшие отношения мощности деструктивного подгоризонта к мощности нижележащих горизонтов. То же самое касается и отношения запасов подгоризонта L к запасам нижележащих, а также высоким долевым участием легкоразлагаемых компонентов в подгоризонте L.

В условиях рекреационного воздействия снижается дифференцирующее влияние кроны, происходит перераспределение запасов подстилок. Их запас определяется как максимальный (до 85%) по отношению к запасам в других зонах тессеры в пределах всей площади фитоценоза. Наиболее стабильными компонентами тессер являются подкروновые пространства, в которых концентрируются основные запасы углерода подстилок, что свидетельствует о достаточной устойчивости экосистемы в целом. Наиболее чувствительными в плане антропогенного воздействия точками являются приствольные пространства, а также окна.

### Заключение

Результаты показали, что в условиях городских парков анализ состава живого напочвенного покрова на основе соответствующих шкал может служить

индикатором экологического состояния зеленых насаждений. Увеличение роли видов, не характерных для лесных экосистем, приводит к снижению запасов органического вещества подстилок, что оказывает влияние на углеродный баланс экосистемы.

Еловые насаждения характеризуются активным накоплением органического вещества, и снижение скорости этого процесса отражается на показателях подстилок, что позволяет отнести эти насаждения к наиболее чувствительным к изменяющимся условиям и предпочтительным объектам для мониторинговых наблюдений в условиях мегаполиса.

Подстилки являются весьма удобным объектом для мониторинга, поскольку быстро реагируют на изменение локальных условий, легко доступны для исследования, характеризуются простотой методов отбора образцов и измерения параметров, что можно использовать для экспресс-индикации состояния экосистем.

Выбор точек опробования необходимо проводить с учетом пространственной неоднородности распределения подстилок. При организации слежения за запасами мертвого органического вещества еловых насаждений можно рекомендовать в качестве точек отбора образцов зону окон как наиболее чувствительных к рекреационной нагрузке, проводя периодические контрольные замеры в приствольных участках. Особенностью приствольных повышений является наличие мертвопокровных участков большей или меньшей площади, которые испытывают минимальное влияние травянистой растительности и позволяют проводить сравнение хвойных фитоценозов с различным напочвенным покровом. В городских условиях это сочетается с минимальным воздействием на данные участки тессеры рекреационных процессов, включая вытаптывание и т.д., что определяет исключительную ценность мертвопокровных участков приствольных пространств как объектов мониторинга в методическом аспекте.

Для проведения мониторинга предложено две группы показателей, характеризующих структурно-функциональную организацию подстилок. В параметры, характеризующие структурную организацию подстилок, включены запасы подстилок — как общие, так и всех подгоризонтов. Параметры функционирования включают запасы и долю детрита и легкоразрушаемых компонентов, соотношение мощности и запасов органического вещества в подгоризонте L по отношению к сумме подгоризонтов F и H. Особенности долговременного пространственного функционирования характеризуются типологией подстилок в системе тессер: ствол-крона-окно.

Рекреационная нагрузка приводит к существенному снижению запасов органического вещества подстилок за счет его разложения и соответственно дополнительному поступлению углерода в атмосферу с городских территорий. Однако запасы подстилок в нарушенных еловых насаждениях пре-

вышают аналогичный показатель, характерный для смешанных елово-широколиственных насаждений.

Проблема снижения содержания углерода в атмосфере может решаться не только путем его связывания, но и снижения или предотвращения его высвобождения в результате антропогенного воздействия. Для решения этой задачи в проектных предложениях по благоустройству особо охраняемых природных территорий (ООПТ) необходимо планировать отведение транзитных потоков посетителей от мест расположения хвойных насаждений с целью снижения рекреационной нагрузки на данные экосистемы.

### Информация о финансировании работы

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР № 121040800321-4 «Индикаторы трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов в природных и антропогенных экосистемах» и Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова О.Ю., Семенюк О.В. Экологические подходы и особенности проектирования на озелененных природоохраненных городских территориях // Академич. вестн. УралНИИпроект РААСН. 2018. Т 39, № 4.
2. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3.
3. Васнев В.И., Ананьева Н.Д., Макаров О.А. Особенности экологического функционирования конструкторов в различных биоклиматических зонах Московской области // Почвоведение. 2012. № 2.
4. Гончарова О.Ю., Семенюк О.В., Стома Г.В. Исследование почв на урбанизированных территориях: анализ методических аспектов и подходов на примере г. Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2021. № 4.
5. Григорьева С.О., Репях М.В. Композиционные сочетания с участием хвойных пород и их состояние в урбанизированной среде // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. 38, № 1–2.
6. Жидков А.Н., Коженков Л.Л. Восстановление и охрана почв Битцевского леса // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2017. № 1. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
7. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М., 1977.
8. Клещева Е.А. Использование экологических шкал для индикации современного состояния лесных сообществ // Экология. 2007. № 2.
9. Королькова Е.О. Мониторинг рекреационного использования особо охраняемых природных территорий

на примере Полистовского государственного природного заповедника // Социально-экологические технологии. 2015. № 1–2.

10. Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение свойств почв лесопарков Москвы при высоком уровне рекреационной нагрузки // Почвоведение. 2017. № 10.

11. Лысков А.Б., Судницина Т.Н. Влияние рекреации на почву лиственных насаждений Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2008. № 3.

12. Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Бот. Журн. 1969. Т. 54, № 7.

13. Орлова М.А., Лукина М.В., Смирнов В.Э. Методические подходы к отбору образцов лесной подстилки с учетом мозаичности лесных биогеоценозов // Лесоведение. 2015. № 3.

14. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., 1956.

15. Рысин Л.П., Абатуров А.В., Савельева Л.И. и др. Динамика и устойчивость рекреационных лесов. М., 2006.

16. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г. и др. Использование особенностей структурно-функциональной организации подстилок для оценки интенсивности биологического круговорота // Почвоведение. 2021. № 5.

17. Скок А.В. Оценка экологического состояния хвойных растений на урбанизированной территории // Пермский аграрный вестн. 2018. № 1 (21).

18. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В. и др. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5.

19. Смагин А.В., Смагина М.В., Садовникова Н.Б. Биологическое потребление кислорода в почвах и подстилках // Почвоведение. 2018. № 3.

20. Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. и др. Динамика поступления растительного опада и некоторых свойств лесных подстилок при постагрогенном лесовосстановлении в условиях южной тайги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 4.

21. Чертов О.Г. Экология лесных земель. Почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний. Л., 1981.

22. Чертов О.Г., Комаров А.С. Теоретические подходы к моделированию динамики содержания органического вещества почв // Почвоведение. 2013. № 8. С. 937–947.

23. Ellenberg H. Zeigerwerteder Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen, 1974.

24. Hertz J., Angehrn-Bettinazzi C., Stöckli H. Distribution of heavy metals in various litter horizons and forest soils // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 1990. Vol. 39, № 1.

25. Landolt E. Okologische Zeigerwerts zur Sweizer Flora // Veroff. Geobot. Inst. ETH. 1977. Bd. 64.

26. Maes S.L., Blondeel H., Perring M.P. et al. Litter quality, land-use history, and nitrogen deposition effects on topsoil conditions across European temperate deciduous forests // Forest Ecology and Management. 2019. Vol. 433.

Поступила в редакцию 09.09.2022

После доработки 29.10.2022

Принята к публикации 02.11.2022

## THE LITTERS OF SPRUCE STANDS WITHIN MEGAPOLIS AS AN OBJECT OF ECOLOGICAL MONITORING

O. V. Semenyuk, V. M. Telesnina, L. G. Bogatyrev, A. I. Benediktova

For the purposes of ecological monitoring, the features of living ground cover and forest floor in spruce stands within Moscow urban territory were studied. Using ecological scales by Nitsenko, Ramensky, Ellenberg and Landolt, let to consider, that ruderalization of living overground cover is a result of recreation. Independently of spruce forest type, the absence of undergrowth results in increasing light penetrating and increasing species quantity. Variety of ecological spaces is a result of moderate trampling, which is mostly expressed in between-crown spaces. High trophy index by L.G. Ramensky is a result of increased weediness of overground cover. It is shown, that living overground cover characterizes the variety of tree layer and the level of anthropogenic impact on phytocenosis.

The forest floor in urban spruce stands is sensitive to changes in functioning conditions and can be used for ecological monitoring. Availability of forest floor studying and simplicity of parameter estimation allows getting information about organic matter accumulation in express-regime under various degrees of anthropogenic impact on urban ecosystems.

Within the system of trunk, crown and open space, the simplification of litter structure and decreasing organic matter total deposit are observed — this can be considered an invariant process.

Maximal uniformity of coverless spaces litter, composed by needles and branches, results from absence of living overground cover, in combination with low recreation in these spaces. This fact let to conclude, that coverless spaces are able to be used as most important objects for comparing spruce ecosystems with different overground cover. Two groups of indexes, characterizing structure-functional litter organization, are proposed. Indexes, characterizing structural litter organization, include the total deposit of litter and L horizon deposit. Indexes, characterizing functional litter features, include deposit and proportion of detritus as well as the same for easy-decomposed components, ratio of thickness (deposit) of L horizon and F horizon. The peculiarities of long-term spatial functioning are characterized by litter typology in the system trunk-crown-open space.

*Key words:* urban stands, forest floor, spruce stands, biological cycling, organic matter accumulation.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Семенюк Ольга Вячеславовна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: olgatour@rambler.ru

**Телеснина Валерия Михайловна**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: vtelesnina@mail.ru

**Богатырев Лев Георгиевич**, канд. биол. наук, доцент каф. общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: bogatyrev.l.g@yanbex.ru

**Бенедиктова Анна Игоревна**, канд. биол. наук, науч. сотр. каф. общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,  
e-mail: beneanna@yandex.ru