

УДК 581.5*631.41

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНЫХ НАСЫПНЫХ ЛИЗИМЕТРОВ ФАКУЛЬТЕТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Г. Р. Глазман, Л. Г. Богатырев*, В. М. Телеснина, Ф. И. Земсков,
А. И. Бенедиктова, М. М. Карпухин, В. В. Демин

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

* E-mail: bogatyrev.l.g@yandex.ru

Изучены типология и общие запасы мортмассы, сосредоточенные в лесных подстилках основных типов биогеоценозов, развивающихся в пределах стационарных насыпных лизиметров почвенного стационара МГУ имени М. В. Ломоносова. Показано, что в ельниках развиваются преимущественно деструктивные подстилки, в смешанных древостоях формируются ферментативные подстилки, тогда как в широколиственных — гумифицированные. Установлен межбиогеоценотический обмен опадом, при котором листва обнаруживается в еловых биогеоценозах, зарастающей залежи и в условиях пара. Расчет подстильно-опадных коэффициентов по Н.И. Базилевич позволил охарактеризовать тип круговорота в еловых насаждениях как заторможенный — подстильно-опадный коэффициент (ПОК) 2,8, что обусловлено преимущественным участием хвойного опада, устойчивого к разложению. В широколиственных и смешанных насаждениях установлен интенсивный тип круговорота с ПОК 1,2. Показано, что при расчете общих запасов органического вещества в подстилках следует учитывать содержание минеральных примесей, доля которых должна быть оценена в ходе лабораторных исследований.

Ключевые слова: растительный опад, наземный детрит, скорость биологического круговорота, подстильно-опадный коэффициент.

Введение

Лесные подстилки относятся к числу важнейших компонентов лесных биогеоценозов (БГЦ) и во многом определяют, по словам выдающегося исследователя Г.Ф. Морозова, весь химизм лесных почв. Кроме того, лесные подстилки представляют собой первый биогеохимический барьер на пути аэрального поступления поллютантов и на современном уровне рассматриваются как индикатор почвенно-фитоценоотического ареала [16], что необходимо учитывать при постановке исследований, связанных с мониторингом окружающей среды. В современной отечественной научной литературе сложилось несколько направлений в изучении лесных подстилок. Первое направление включает в себя теоретические работы, посвященные развитию представлений о роли подстилок при разработке концепции типов лесного гумуса [20], моделированию органического вещества в лесных экосистемах [10] и балансу углерода в связи с глобальным изменением климата [23]. Второе направление — это работы методического характера [13, 14]. Третье направление объединяет работы по изучению строения и запасов подстилок в широком диапазоне гидротермических условий [8, 11, 17, 25] и в различных экологических условиях — от естественных экосистем [28] до подстилок, развивающихся в условиях загрязнения нефтью

[29]. Обсуждались данные по запасам углерода в подстилках России [21]. Особенный интерес представляют многочисленные работы по изучению процессов разложения, включая как натурные, так и экспериментальные наблюдения [26, 27, 30]. В последние годы интенсивно изучаются подстилки городских экосистем [3, 6, 9, 24]. Интегрально рассмотрено поведение органического вещества в условиях города [3]. Показано, что урбанизация по-разному влияет на пулы органического вещества в зависимости от условий функционирования биогеоценозов и степени загрязнения. Обсуждаемые в настоящей работе стационарные лизиметры изучались в различных аспектах — от особенностей биологического круговорота [15] и характера формирования органического вещества [19] до оценки степени преобразования минеральной матрицы [22] и специфики биогеохимических процессов [2].

Тем не менее детальных исследований структурно-функциональной организации подстилок в условиях стационарных почвенных лизиметров до сих пор проведено не было. Представление о характере процессов деструкции растительного опада, указывающих на скорость биологического круговорота, складывается на основе трех методических подходов. Первый из них включает в себя установление типа подстилки, второй основан на изучении фракционного состава генетических подгоризонтов

подстилок, который служит основанием для детального анализа закономерностей преобразования наземного опада и его трансформации в системе сопряженных подгоризонтов. Третий метод, позволяющий оценить скорость круговорота, основан на расчете подстильно-опадных коэффициентов. Эта задача и была поставлена при изучении подстилок стационарных почвенных лизиметров.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили лесные подстилки, сформированные под различной растительностью стационарных почвенных лизиметров МГУ (Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 30Б), заложенных в 1967 г. Лизиметр представляет собой бункер глубиной 1,5 м, площадью 8,27 м², засыпанный бескарбонатным покровным суглинком, на котором высажена определенная растительность. Стоки лизиметров выводятся в подземную галерею, где установлены счетчики воды. Лизиметры расположены на площадке в два ряда и разделены переборками шириной ~ 30 см. В настоящее время первые два лизиметра заняты чистым паром, далее по четыре лизиметра заняты еловым, смешанным и широколиственным лесом; далее по два лизиметра заняты кустарниковой, травяно-кустарниковой и травяной растительностью (залежь) (рис. 1).

Лизиметрическая площадка огорожена сетчатым забором; с 2013 г. со стороны дороги дополнительно установлены пластиковые щиты для предотвращения попадания снега и противогололедных препаратов при механизированной очистке дороги.

Методы исследования. На каждой из лизиметрических площадок проводили подробное описание растительности с определением видов, используя определитель, разработанный на биологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова [5].

Поступление опада изучали при помощи стационарных опадоуловителей диаметром 36 см, площадью 0,10 м², по одному опадоуловителю на каждом из 20 лизиметров. Опадоуловитель представляет

собой проволочный каркас со съёмным мешком из терилоновой сетки или из нетканого полимерного полотна — для фитоценозов (ФЦ), где заметно поступление мелкой хвои. Опадоуловитель устанавливали примерно в центре лизиметра, в подкроновом пространстве при наличии выраженной парцеллярной контрастности биогеоценоза. Опад отбирали по вегетационным сезонам: перед началом осеннего листопада в конце сентября, по окончании листопада в конце ноября, после таяния снега в марте — апреле и после распускания листьев в начале июня. Пробы опада высушивали при комнатной температуре, затем фракционировали по морфологической и видовой принадлежности, выделяя листья, хвою, травы, семена лиственных деревьев, шишки елей, ветки лиственных и хвойных деревьев, мелкий несортируемый детрит. Для учета общего количества ежегодного поступления органического вещества на залежи закладывали площадки 20×25 см с последующим укосом наземной растительности и расчетом запасов органического вещества на 1 м². На всех лизиметрических площадках изучалось строение подстилок с определением типологической принадлежности по классификации подстилок Л.Г. Богатырева [1]. В основу классификации положено морфологическое строение подстилок. Если подстилки представляют собой недифференцированный опад прошлых лет, состоящий из одного горизонта О1, то такие подстилки относились к деструктивным типам подстилок. Если профиль подстилки характеризовался строением О1-О2-О2ⁿ, включающим в себя систему ферментативных подгоризонтов, в которых присутствуют сохранившиеся растительные остатки, то такие подстилки относились к ферментативному типу. Подстилка, профиль которой характеризовался строением О1-О2-О3, относился к гумифицированному типу. Гумифицированный подгоризонт обычно характеризуется темной окраской, мажущийся и, как правило, представляющий собой сильно преобразованные растительные остатки, которые уже трудно диагностировать.



Рис. 1. Схема лизиметрической площадки.

* — лизиметры, находящиеся в зоне поступления противогололедных реагентов; 1 — залежь, зарастающая древесной и кустарниковой растительностью; 2 — залежь разнотравно-злаковая с участием древесной и кустарниковой растительности; 3 — залежь травяная

Для определения запасов органического вещества по подгоризонтам образцы подстилок отбирали с учетом их генетического строения с двух пробных площадок размером 20×25 см на каждом лизиметре; запасы пересчитывали в г·м⁻². Подстилки, так же как и опад, отбирались в подкроновых пространствах.

После отбора подстилки были высушены при комнатной температуре и затем фракционированы по типам растительных остатков. Структурный состав каждого из подгоризонтов подстилок определялся методом визуального разбора на фракции аналогично процедуре фракционирования опада. Были выделены фракции листьев, веток, шишек и семян ели, корней без разделения на живые и отмершие. Отдельная фракция была представлена детритом, который представлял собой мелкие остатки растений, слабо диагностируемые визуально. При разборе и описании нижних подгоризонтов подстилок обратили на себя внимание минеральные примеси, для диагностики которых было использовано дополнительное просеивание через стандартные сита размером 10–0,25 мм с последующим взвешиванием в целях установления соотношения фракций. В ходе фракционирования было установлено, что мелкозем нередко агрегирован. Вес минеральных примесей был исключен при окончательном расчете общих запасов органического вещества, сосредоточенного в подстилках.

Для расчета скорости биологического круговорота по Л.Е. Родину и Н.И. Базилевич [18] и скорости разложения опада по Л.А. Гришиной [4] использовались данные о среднегодовом поступлении опада, полученные по результатам многолетних наблюдений, и величины запасов органического вещества, сосредоточенного в подстилках без учета почвенного мелкозема.

Так как верхние подгоризонты, обозначаемые как О1, представляли собой текущий осенний опад, при расчете запасов подстилки, используемых при определении подстильно-опадных коэффициентов, учитывались только ферментативные и гумифицированные подгоризонты.

После того как для детрита были установлены высокие величины содержания золы, достигающие 50–70%, что явно свидетельствовало о его органо-минеральном происхождении, его запасы также были исключены из расчета подстильно-опадных коэффициентов.

Результаты исследования. Первая группа фитоценозов (лизиметры 31–34), представленная ельниками (*Picea abies* (L.) Н. Karst), характеризуется значительной долей мертвопокровных участков поверхности, что обуславливает не только почти полное отсутствие надземной биомассы живого напочвенного покрова, но и отсутствие мелких корней, что не может не отражаться на формировании органопрофиля. Тем не менее в пределах лизиметра № 31 в составе напочвенного покрова 35%

проективного покрытия занимает мох (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid) Mitt.), а 20% — грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.) — типичные бореальные виды. На других лизиметрах под еловыми фитоценозами проективное покрытие живого напочвенного покрова не превышает 5% и представлено золотарником обыкновенным (*Solidago virgaurea* L.), одуванчиком лекарственным (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg), ожикой волосистой (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), вейником тростниковидным (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth), недотрогой мелкоцветковой (*Impatiens parviflora* DC). Одуванчик и недотрога не характерны для хвойных насаждений, первый является луговым нитрофильным видом, второй — сорно-рудеральным [12]. Следует отметить, что еловый древостой по высоте явно не соответствует возрасту: 60-летние ели имеют, как правило, высоту не менее 15 м, тогда как изучаемые ельники — всего 5–8 м. По этой причине сомкнутость крон достаточно высокая, что не дает в полной мере развиваться живому напочвенному покрову. Именно поэтому пространственная дифференцированность живого напочвенного покрова и подстилок в системе *ствол — крона — окно* в данном случае выражена слабо.

Вторая группа фитоценозов (лизиметры 35–38) была сформирована смешанными древостоями, состоящими из ели и клена платановидного (*Acer platanoides* L.). Здесь характерной чертой живого напочвенного покрова является также низкое проективное покрытие (не более 5–6%). Преобладают луговые и сорно-рудеральные виды: горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), одуванчик лекарственный, недотрога мелкоцветковая. Встречаются также и типичные бореальные виды: золотарник обыкновенный, вейник тростниковидный.

Третья группа (лизиметры 39–42) была отнесена к широколиственным фитоценозам, древостой которых состоит из клена платановидного и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). В пределах этой группы фитоценозов наблюдается, в отличие от еловых и смешанных насаждений, высокое разнообразие подроста (5–6 видов), а также абсолютное преобладание в живом напочвенном покрове ландыша майского (*Convallaria majalis* L.), который характерен и для естественных широколиственных лесов, причем его проективное покрытие достигает 60%. Для широколиственных деревьев, как и для хвойных, хотя и в меньшей степени, характерно некоторое несоответствие высоты древостоя возрасту.

Четвертая группа (лизиметры 43–44) представляет собой участки, заросшие травяно-кустарниковой растительностью; наблюдается чрезвычайно высокое разнообразие молодых деревьев, среди которых — вишня (*Cerasus vulgaris* Mill.), клен платановидный, дуб черешчатый, рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), и кустарников — ирга коло-

систая (*Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch), черемуха птичья (*Padus avium* Mill.), сорбарония Мичурина (*Sorbaronia mitschurinii* Skvortsov & Maitul (Sennikov)), шиповник собачий (*Rosa canina* L.), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.). Сочетание данных видов не характерно ни для естественных растительных сообществ, представляющих собой начальные стадии зарастания залежей, ни для городских насаждений. Такой набор видов деревьев и кустарников связан, по-видимому, с влиянием расположенного в шаговой доступности (50–100 м) Ботанического сада (БС) МГУ как источника семян, переносимых ветром и с помощью птиц.

В травяном же покрове наблюдаются только пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и горошек мышиный, т.е. полог кустарников посредством затенения существенно сократил видовое разнообразие трав.

Участки пятой группы (лизиметры 45–48), занятые залежью, представляют собой травяные сообщества, в пределах которых встречаются отдельные молодые деревья. Среди них — клен платановидный, клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), ясень обыкновенный, береза повислая (*Betula pendula* Roth), рябина обыкновенная. В травяном ярусе обнаружено 10 видов, из которых 1 относится к нитрофильным луговым видам (пырей ползучий), 1 — к «пионерным», соответствующим ранним стадиям сукцессий (вейник наземный — *Calamagrostis epigeos* (L.) Roth), 1 — к эвритопным (овсяница красная — *Festuca rubra* L.), а остальные — к луговым (преобладают овсяница луговая — *Festuca pratensis* Huds и лисохвост луговой — *Alopecurus pratensis* L.). Встречаются отдельные всходы деревьев — клен платановидный, клен ясенелистный, ясень обыкновенный, береза повислая, рябина обыкновенная. Схема фитоценозов представлена на рис. 1.

Малая площадь биогеоценозов лизиметров обуславливает ряд характерных особенностей по сравнению с естественными и городскими биогеоценозами, развивающимися в условиях не столь ограниченного пространства. Так, ранее на примере лизиметров и Ботанического сада МГУ было показано [7], что малая площадь и близкое соседство различных биогеоценозов влечет крайне интенсивный обмен опадом между ними, а также его вынос, что обуславливает сглаживание различий в характеристиках подстилок, а также формирование менее мощных подстилок в хвойных БГЦ по сравнению с естественными лесами. Кроме того, по сравнению с датированными фитоценозами Дендрария БС МГУ (1953–1959 гг.) фитоценозы лизиметров (1967 г.) заметно загущены, но при этом отличаются меньшей высотой деревьев и толщиной стволов, а также низким расположением крон, что в совокупности, как и перенос опада, способствует сглаживанию парцеллярной контрастности: как

правило, не удается четко выделить закономерные последовательности ствол — крона — окно в структуре биогеоценозов лизиметров.

Типология подстилок. Изучение строения подстилок показало, что в продольном ряду от елового леса к широколиственному (рис. 1) подстилки сменяются от деструктивных к гумифицированным, а не наоборот, как можно было бы ожидать, исходя из флористического состава древостоев.

В условиях пара (лизиметры 29, 30) поверхность почвы представляет собой оголенный грунт, на котором обнаруживаются фрагменты листьев мелколиственных пород деревьев, при полном отсутствии подстилок.

Для еловых насаждений (лизиметры 31–34) характерной чертой является существенная пространственная дифференциация типов подстилок. Около 30% поверхности лизиметров занимают участки, на которых преобладает мелколиственный (березовый) опад; эти участки чередуются с типично мертвопокровными участками. Мощность осеннего опада текущего года не превышает 1–2 см, ниже вскрывается перегнойный подгоризонт мощностью 3–4 см, но явно органоминерального происхождения. На приствольных повышениях, преимущественно самых мощных елей, аналогично естественным условиям, подстилки достигают мощности 7 см и представляют собой серию подгоризонтов О1–О2–О3. Но основная часть поверхности лизиметров под еловыми насаждениями занята маломощными деструктивными и в меньшей степени ферментативными подстилками, что показано в табл. 1.

Под смешанными насаждениями (лизиметры 35–38) формируются гумифицированные подстилки. Верхние подгоризонты представлены текущим опадом мощностью 6–10 см, под которым залегают ферментативные подгоризонты мощностью 3–5 см, представленные растительными остатками прошлых лет буровато-коричневатых тонов. Под ферментативными подгоризонтами развиваются очень маломощные перегнойные подгоризонты, как правило, представленные преимущественно мелкоземом. Таким образом, основная роль в этих биогеоценозах принадлежит ферментативным подстилкам.

На лизиметрах 39–41 под широколиственными насаждениями накапливается опад текущего года мощностью до 15 см, под которым формируется ферментативный подгоризонт мощностью до 3–4 см. Под ним залегает маломощный гумифицированный подгоризонт толщиной не более 1–3 см, темных тонов, представленный хорошо разложившимися растительными остатками с явным присутствием мелкозема с незначительным включением сохранившихся фрагментов растительных остатков. Обращает на себя внимание, что в условиях смешанных и широколиственных насаждений корни

довольно интенсивно пронизывают нижние подгоризонты подстилок.

В условиях *зарастающей залежи* (лизиметры 43–44) мощность опада составляет 6–7 см, а на отдельных участках возрастает до 15 см. Подстилки здесь представлены, как и на других типах залежи, исключительно опадом прошлых лет.

В условиях *залежи с участием древесной и кустарниковой растительности* (лизиметры 45–46) поверхность почвы на 80–90% покрыта перенесенным листовым опадом. Однако здесь также не происходит формирование подстилок, дифференцированных на подгоризонты.

В условиях *травяной залежи* (лизиметры 47–48) с хорошо сформированным злаково-разнотравным сообществом 15–40% поверхности покрыто листьями древесных пород, перенесенными из фитоценозов смежных лизиметров. Подстилка представлена исключительно опадом прошлых лет и не дифференцирована на подгоризонты.

Структурный состав подстилок. Анализ структурного состава показал, что для еловых насаждений (табл. 1) закономерным является преобладание хвои, тогда как листьям и веткам принадлежит подчиненное значение.

В системе подгоризонтов О1-О2 происходит снижение содержания листьев и веток с одновременным увеличением содержания детрита. В среднем под еловыми древостоями первое место в со-

ставе подстилок сохраняется за хвоей, за которой следуют детрит, листья и мелкие ветки. В одном из лизиметров (л. 31) обнаруживается существенная доля семян и шишек, которые на большинстве лизиметров не диагностируются. Общие запасы подстилок в еловых древостоях изменяются в пределах 1000–3500 г при довольно существенном варьировании, о чем свидетельствует высокая величина стандартного отклонения.

Структурный состав подстилок для смешанных насаждений (табл. 2) позволяет оценить закономерности, происходящие в системе подгоризонтов О1-О2.

Характерным является резкое уменьшение в нижних подгоризонтах содержания листвы и довольно существенное увеличение содержания детрита, несмотря на смешанный состав древостоя, в верхних подгоризонтах подстилок диагностируется хвоя, составляющая на некоторых площадках почти треть от общих запасов органического вещества (табл. 2). Общие запасы подстилки под смешанными древостоями близки к аналогичным показателям, рассчитанным для еловых биогеоценозов, но с несколько увеличенной долей детрита, что можно в целом отнести за счет ферментативных подгоризонтов.

Подстилки широколиственных насаждений (табл. 3) характеризуются более сложным строением по сравнению с другими насаждениями, и

Таблица 1

Фракционный состав подстилок на лизиметрах 31–34 под еловыми насаждениями
(г·м⁻², % фракций от общей массы)

Номер лизиметра / формула древостоя	Подгоризонт	Средняя масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы					Общая масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы
		Хвоя	Листья	Ветки	Шишки и семена	Мелкий детрит	
31 / 10Е	О1	$\frac{1625,3}{47,5}$	$\frac{156,8}{4,6}$	$\frac{196,1}{5,7}$	$\frac{1171,0}{34,3}$	$\frac{269,6}{7,9}$	$\frac{3419}{100}$
32 / 10Е	О1	$\frac{1056,5}{52,8}$	$\frac{315,2}{15,8}$	$\frac{191,9}{9,6}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{436,0}{21,8}$	$\frac{2000}{100}$
33 / 10Е	О1	$\frac{0}{0}$	$\frac{616,6}{46,6}$	$\frac{217,0}{16,4}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{489,5}{37,0}$	$\frac{1323}{100}$
34 / 10Е	О1	$\frac{209,6}{18,1}$	$\frac{451,7}{39,0}$	$\frac{187,2}{16,2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{308,7}{26,7}$	$\frac{1157}{100}$
	О2	$\frac{808,3}{34,2}$	$\frac{43,6}{1,8}$	$\frac{83,0}{3,5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1429,4}{60,5}$	$\frac{2364}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{1018}{28,9}$	$\frac{495}{14,1}$	$\frac{270}{7,7}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1738}{49,4}$	$\frac{3521}{100}$
Средние запасы на биогеоценоз ± ст. откл. (n = 8)		$\frac{925}{36,0}$	$\frac{396}{15,4}$	$\frac{219}{8,5}$	$\frac{293}{11,4}$	$\frac{733}{28,6}$	$\frac{256 + 1488}{100}$

Примечание. В условиях каждого биогеоценоза были заложены 8 пробных площадок, с которых отбирались образцы подстилок (по 2 площадки на каждый лизиметр). В таблицах 1–4 для каждого лизиметра представлены данные, усредненные по пробным площадкам.

Таблица 2

**Фракционный состав подстилок на лизиметрах 35–38 под смешанными насаждениями
(г·м⁻², % фракций от общей массы)**

Номер лизиметра / формула древостоя	Подгоризонт	Средняя масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы					Общая масса фракций, г·м ⁻²
		Хвоя	Листья	Ветки	Корни	Мелкий детрит	% фракций от общей массы
35 / 8Е2Б	O1	$\frac{33,5}{3,0}$	$\frac{648,3}{58,3}$	$\frac{345,0}{31,0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{84,6}{7,6}$	$\frac{1111}{100}$
	O2	$\frac{0}{0}$	$\frac{45,5}{6,2}$	$\frac{77,3}{10,5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{616,2}{83,4}$	$\frac{739}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{34}{1,8}$	$\frac{694}{37,5}$	$\frac{422}{22,8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{701}{37,9}$	$\frac{1850}{100}$
36 / 9Е1Б	O1	$\frac{95}{9,4}$	$\frac{630,4}{62,1}$	$\frac{200,3}{19,7}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{88,9}{8,8}$	$\frac{1015}{100}$
	O2	$\frac{1012,9}{40,8}$	$\frac{157,6}{6,3}$	$\frac{321,3}{12,9}$	$\frac{45,6}{1,8}$	$\frac{945,0}{38,1}$	$\frac{2482}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{1108}{31,7}$	$\frac{788}{22,5}$	$\frac{522}{14,9}$	$\frac{46}{1,3}$	$\frac{1034}{29,6}$	$\frac{3497}{100}$
37 / 8Е2Б	O1	$\frac{0}{0}$	$\frac{852,8}{69,2}$	$\frac{150,0}{12,2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{229,6}{18,6}$	$\frac{1232}{100}$
	O2	$\frac{0}{0}$	$\frac{66,1}{4,8}$	$\frac{118,4}{8,5}$	$\frac{71,1}{5,1}$	$\frac{1129,7}{81,5}$	$\frac{1385}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{0}{0}$	$\frac{919}{35,1}$	$\frac{268}{10,3}$	$\frac{71}{2,7}$	$\frac{1359}{51,9}$	$\frac{2618}{100}$
38 / 8К1Д1Б	O1	$\frac{0}{0}$	$\frac{975,6}{61,7}$	$\frac{452,2}{28,6}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{153,5}{9,7}$	$\frac{1581}{100}$
	O2	$\frac{0}{0}$	$\frac{106,7}{5,1}$	$\frac{160,4}{7,6}$	$\frac{66,4}{3,2}$	$\frac{1772,2}{84,2}$	$\frac{2106}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{0}{0}$	$\frac{1082}{29,4}$	$\frac{613}{16,6}$	$\frac{66}{1,8}$	$\frac{1926}{52,2}$	$\frac{3687}{100}$
Средние запасы на биогеоценоз ± ст. откл. (n = 8)		$\frac{285}{9,8}$	$\frac{871}{29,9}$	$\frac{456}{15,7}$	$\frac{46}{1,6}$	$\frac{1255}{43,1}$	$\frac{(2913 \pm 848)}{100}$

преобладающими являются гумифицированные подстилки со строением O1-O2-O3, что влияет на общие запасы подстилок. Следует отметить, что, несмотря на более высокие средние величины запасов подстилок под широколиственными насаждениями, размах средних величин продолжает оставаться высоким, и гипотеза о достоверном различии запасов подстилок в широколиственных и смешанных насаждениях не может быть отвергнута полностью. Так же, как и под смешанными древостоями, в широколиственных насаждениях подстилка в среднем на треть состоит из листьев, но содержание таких компонентов, как ветки и детрит, в сравниваемых насаждениях близкое. В профиле подстилок уменьшается содержание листьев и веток, а содержание детрита — увеличивается.

Показано, что доля корней, без подразделения на живые и мертвые, сильно варьирует в подгоризонтах подстилок: от 1–3% от общей массы органи-

ческого вещества в смешанных биогеоценозах до 10–30% на некоторых площадках под широколиственными БГЦ. Кроме того, при детальном фракционировании подстилок удалось показать, что в гумифицированных подгоризонтах обнаруживаются фрагменты листьев и веточек, но их доля незначительна и, как правило, не превышает нескольких процентов (табл. 3) при закономерном преобладании последних фракций.

На травяной залежи (табл. 4), где поступление опада обусловлено в основном биомассой травянистых растений, подстилка формируется исключительно по деструктивному типу. Общее количество мортмассы, которая ежегодно включается в процессы круговорота, оценивалось по ветоши растений. Оказалось, что в среднем эта величина составляет до 1000 г·м⁻² (табл. 4). Существенным является отсутствие в опаде и подстилках залежи веток и детрита и незначительное участие листьев мелко-

Таблица 3

**Фракционный состав подстилок на лизиметрах 39–42 под широколиственными насаждениями
(г·м⁻², % фракций от общей массы)**

Номер лизиметра / формула древостоя	Подгоризонт	Средняя масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы				Общая масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы
		Листья	Ветки	Корни	Мелкий детрит	
39 / 7БЗД1Ос	O1	$\frac{1301,4}{67,7}$	$\frac{328,7}{17,1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{292,7}{15,2}$	$\frac{1923}{100}$
	O3	$\frac{54,3}{3,7}$	$\frac{100,6}{6,8}$	$\frac{88,1}{6,0}$	$\frac{1230,5}{83,5}$	$\frac{1474}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{1356}{39,9}$	$\frac{429}{12,6}$	$\frac{88}{2,6}$	$\frac{1523}{44,8}$	$\frac{3396}{100}$
40 / 9К1Д	O1	$\frac{874,4}{77,1}$	$\frac{179,2}{15,8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{80,1}{7,1}$	$\frac{1134}{100}$
	O2	$\frac{605,4}{26,7}$	$\frac{174,1}{7,7}$	$\frac{100}{4,4}$	$\frac{1385,6}{61,2}$	$\frac{2265}{100}$
	O3	$\frac{18,9}{3,8}$	$\frac{30,2}{6,2}$	$\frac{168,4}{34,3}$	$\frac{273,5}{55,7}$	$\frac{491}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{1499}{38,5}$	$\frac{384}{9,9}$	$\frac{268}{6,9}$	$\frac{1739}{44,7}$	$\frac{3890}{100}$
41 / 7КЗД	O1	$\frac{1042,4}{74,0}$	$\frac{161,6}{11,5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{203,9}{14,5}$	$\frac{1408}{100}$
	O3	$\frac{35,7}{1,0}$	$\frac{54,6}{1,6}$	$\frac{378,8}{10,8}$	$\frac{3023,3}{86,6}$	$\frac{3492}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{1078}{22,0}$	$\frac{216}{4,4}$	$\frac{379}{7,7}$	$\frac{3256}{65,9}$	$\frac{4929}{100}$
42 / 8Д2К	O1	$\frac{1158}{91,0}$	$\frac{77,2}{6,1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{37}{2,9}$	$\frac{1272}{100}$
	O2	$\frac{275,4}{16,6}$	$\frac{379,7}{22,9}$	$\frac{30,9}{1,9}$	$\frac{973,8}{58,7}$	$\frac{1660}{100}$
	O3	$\frac{103,6}{8,7}$	$\frac{273,8}{23,0}$	$\frac{55,4}{4,6}$	$\frac{758,0}{63,6}$	$\frac{1191}{100}$
	Всего на площадку	$\frac{275,4}{16,6}$	$\frac{731}{17,7}$	$\frac{86}{2,1}$	$\frac{1769}{42,9}$	$\frac{4123}{100}$
Средние запасы на биогеоценоз ± ст. откл. (n = 8)		$\frac{103,6}{8,7}$	$\frac{440}{10,8}$	$\frac{205}{5,0}$	$\frac{2067}{50,7}$	$\frac{(4080 \pm 631)}{100}$

лиственных и широколиственных пород деревьев. Напротив, в условиях зарастающей залежи вклад листового опада, веток и детрита резко возрастает.

На основе сопоставления данных о среднегодовых величинах поступления опада и о запасах подстилки, за исключением осеннего опада (подгоризонт O1), были рассчитаны подстилочно-опадные коэффициенты (ПОК) (табл. 5), которые составили для еловых экосистем 2,8 года, для смешанных — 1,3 года, для широколиственных — 1,2 года. Это позволяет оценить тип круговорота для еловых экосистем как заторможенный, а для смешанных и широколиственных экосистем — как интенсивный (по классификации Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич [18]).

Обсуждение

Таким образом, обращает на себя внимание, во-первых, перенос растительного опада, преимущественно листового происхождения, из одного биогеоценоза в другой, а во-вторых — закономерное возрастание мощности и изменение типологии подстилок — от деструктивных, преимущественно состоящих из опада прошлых лет и не дифференцированных на подгоризонты, в условиях различных вариантов залежи — до ферментативных в условиях ельников и гумифицированных под широколиственными насаждениями. Такая пространственная дифференциация коррелирует с типами насаждений, что в целом характерно и для естественных

Таблица 4

Фракционный состав опада прошлых лет на лизиметрах 43–48 под древесно-кустарниковой и травяной залежной растительностью (г·м⁻², % фракций от общей массы)

Номер лизиметра / название биогеоценоза	Средняя масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы				Общая масса фракций, г·м ⁻² % фракций от общей массы
	листья	ветки	мелкий детрит	остатки трав	
Залежь, зарастающая деревьями и кустарниками					
43 / злаковая с молодыми деревь- ми и кустарниками	$\frac{864,1}{56,6}$	$\frac{95,5}{6,3}$	$\frac{566,1}{37,1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1526}{100}$
44 / молодой кленово-дубовый мертвопокровный лес	$\frac{729,8}{45,9}$	$\frac{422,7}{26,6}$	$\frac{438,6}{27,6}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1591}{100}$
45 / травяно-злаковая залежь с молодыми деревьями	$\frac{306,4}{43,7}$	$\frac{71,5}{10,2}$	$\frac{38,0}{5,4}$	$\frac{284,9}{40,7}$	$\frac{701}{100}$
46 / травяно-злаковая залежь с молодыми деревьями	$\frac{386,3}{93,0}$	$\frac{12,5}{3,0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{16,5}{4,0}$	$\frac{415}{100}$
Средние запасы на биогеоценоз ± ст. откл. (n = 8)	$\frac{572}{59,8}$	$\frac{151}{11,5}$	$\frac{261}{17,5}$	$\frac{75}{11,2}$	$\frac{(1058 \pm 590)}{100}$
Травяная залежь					
47 / сообщество многолетних трав	$\frac{31,1}{4,5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{655,2}{95,5}$	$\frac{686}{100}$
48 / сообщество многолетних трав	$\frac{59,0}{4,2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1342,5}{95,8}$	$\frac{1402}{100}$
Средние запасы на биогеоценоз ± ст. откл. (n = 4)	$\frac{45}{4,4}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{999}{95,6}$	$\frac{(1044 \pm 506)}{100}$

Таблица 5

Среднегодовое поступление опада (2013–2019), г·м⁻² · год⁻¹, типы и запасы подстилок (2020), г·м⁻², некоторые параметры биологического круговорота в условиях стационарных почвенных лизиметров МГУ

Биогеоценозы	Типы подстилок	Среднегодовое поступление опада (2013–2019) [7], г·м ⁻² ·год ⁻¹	Запасы подстилок* (2020), г·м ⁻²	Подстильно-опаднoй коэфф. (ПОК)*, годы	Интенсивность разложения*, %·год ⁻¹	Тип круговорота (по Родину и Базилевич [18])	Разложение, степень проявления процесса (по Гришиной [4])
Ельник	Деструктивные (n = 6) Ферментативные (n = 1) Гумифицированные (n = 1)	332	935	2,8	35,5	Заторможенный	Мало-интенсивное
Смешанный лес	Ферментативные (n = 8)	436	562	1,3	77,6	Интенсивный	Весьма интенсивное
Широколиственный лес	Гумифицированные (n = 8)	633	732	1,2	86,5		

Примечание. * — без учета опада текущего года (О1) и фракции «мелкий детрит», характеризующейся высоким содержанием минеральных примесей.

биогеоценозов. Характер подстилок еловых биогеоценозов несколько нетипичен как по величине запасов, так и по строению. Но тенденция к увеличению мощности подстилок в приствольных повышениях является общей как для ельников, развивающихся в условиях лизиметров, так и для естественных экосистем.

Возможно, по причине несоответствия высоты и, как следствие, биомассы елового древостоя возрасту количество поступающего хвойного опада также существенно занижено по сравнению с естественными ельниками соответствующего возраста. Поэтому подстилки имеют относительно упрощенное строение, так как достаточный объем детрита просто не успевает накапливаться.

Оценивая общую картину, характерную для всех подстилок, описываемых на различных лизиметрических площадках в период после осеннего листопада, особо подчеркнем, что верхние подгоризонты подстилок (О1) целиком представляют собой опад текущего года. В связи с этим, бесспорно, запасы органического вещества, сосредоточенные в этих подгоризонтах, не относились к запасам подстилки и не учитывались при расчетах подстильно-опадных коэффициентов. К запасам подстилки были отнесены только ферментативные подгоризонты, представляющие собой преобразованный опад прошлых лет, и гумифицированные подгоризонты.

Кроме того, в числе основных закономерностей следует назвать увеличение содержания в нижних подгоризонтах подстилок мелкого детрита, характеризующегося высоким содержанием золы (50–70%), что свидетельствует о явном преобладании минеральных примесей в этой фракции. Таким образом, исключение из запасов подстилки верхних подгоризонтов, представленных опадом текущего года, и фракции мелкого детрита, характеризующейся высоким содержанием минеральных примесей, позволило более корректно оценить скорости биологического круговорота. Отметим, что поступление пыли оценивается величиной порядка $30 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [2].

При обсуждении структурного состава подстилок нельзя не отметить активное участие хвои в верхних и даже в гумифицированных подгоризонтах подстилок, формирующихся под смешанными древостоями, а также значительную долю листьев в подстилках ельников. Однако если хвоя в смешанных насаждениях поступает с местных елей, то поступление листового опада в ельниках почти полностью обеспечено его межбиогеоценозным переносом, обусловленным близким соседством хвойных и смешанных насаждений. В широколиственных насаждениях хвоя не принимает участие в процессах формирования органической составляющей подстилок в силу слабой способности к переносу.

Обращает на себя внимание сложное строение подстилок в широколиственных насаждениях. Это обусловлено несколькими причинами. Первая и наиболее вероятная причина повышенных запасов органического вещества в подстилках, особенно в нижних гумифицированных подгоризонтах, связана с участием минеральных примесей почвенного происхождения и, в меньшей степени, с примесями атмосферного происхождения, чье поступление не превышает $14 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [2].

Важнейшее отличие между травяной и зарастающей залежью заключается в том, что травяная залежь (лизиметры 47 и 48) максимально удалена от древесных насаждений (рис. 1), что обуславливает слабый уровень взаимодействия между ними. В то же время в условиях зарастающей залежи при активном участии подроста и при непосредственном контакте с широколиственными древостоями роль листового компонента и веток в опаде резко возрастает. Оказалось, что поступление листового опада в 2020 г., оцененное при исследовании подстилок в $570 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, вполне сопоставимо с многолетними данными по поступлению опада за 2013–2019 гг., полученными Ф.И. Земсковым, — $533 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [7], что подтверждает полученные нами сведения.

Полученные ранее данные [7] позволяют сравнить характеристики исследуемых подстилок с подстилками Ботанического сада МГУ (БС МГУ), формирующимися под сходными фитоценозами. Ельник БС МГУ характеризуется низкими запасами подстилок ($665\text{--}1926 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$) и высоким поступлением опада ($718 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$), что определяет нетипично высокую скорость круговорота ($ПОК$ 0,9–2,7), объясняемую взаимодействием хвойного и листового опада в результате межбиогеоценозного обмена. В ельниках лизиметров 31–34 общие запасы подстилок схожи с таковыми в ельнике БС МГУ, а поступление опада — вдвое ниже, поэтому величины $ПОК$ (2,8) хотя и выше, чем в ельнике БС МГУ (0,9–2,7), но все же существенно ниже, чем в естественных ельниках, где они могут составлять около 8. В подстилках ельников на лизиметрах в 6,5 раза выше содержание листьев, но в 4 раза ниже содержание веток, а также присутствует 25,6% мелкого детрита, не выделенного в отдельную фракцию из подстилок ельника БС МГУ, что определяет в 1,5 раза более высокое общее содержание активных относительно легкоразлагаемых фракций. Содержание активных фракций выше и в опаде ельников на лизиметрах (90%) по сравнению с ельником БС МГУ (78%).

Широколиственные насаждения лизиметров 39–42 превосходят березово-кленовые насаждения БС МГУ по поступлению опада примерно в 1,4 раза (по данным за 2016–2019 гг., различие значимо) [7]; запасы подстилок на этих лизиметрах также несколько выше; таким образом, $ПОК$ приобретает значение 1,2 — почти такое же, как и в березово-

кленовой полосе БС МГУ (1,3). Подстилки широколиственного леса лизиметров содержат в 1,7 раза больше листьев, в 5,8 раза меньше веток, в 17,5 раза больше мелкого детрита и в целом в 2,4 раза больше активных фракций [7].

Под смешанным лесом (лизиметры 35–38) поступление опада и запасы подстилок несколько ниже, чем в ельнике и в березово-кленовой полосе БС МГУ, но ПОК имеет такое же значение (1,3). По соотношению компонентов подстилки смешанного и широколиственного лесов лизиметров демонстрируют между собой различие не столь значительное, как их общее отличие от подстилок березово-кленового насаждения БС МГУ.

Повышенное содержание активных фракций в опаде и подстилках является общим отличием БГЦ лизиметров от БГЦ Ботанического сада и предположительно объясняется меньшей развитостью древостоев в условиях бедных почв и ограниченного пространства лизиметров.

Заключение

Таким образом, подтверждена закономерная взаимосвязь типологии подстилок и общих запасов органического вещества для изученных лизиметров.

Несмотря на ограниченную площадь поверхности лизиметров, растительный покров описываемых типов леса по основным доминантам живого напочвенного покрова вполне соответствует естественным насаждениям, за исключением некоторых участков залежи. Это свидетельствует о том, что биологический круговорот в пределах насыпных почвенных лизиметров протекает в типичных условиях, в целом характерных для хвойно-широколиственной зоны.

Особенности развития древостоя, выросшего в специфических условиях лизиметрических конструкций, детерминируют объем и строение наземного детрита, как и некоторое нивелирование его пространственной дифференцированности. Особенно это касается еловых биогеоценозов, где наблюдаются значительно более высокие скорости круговорота по сравнению с естественными ельниками. Общим свойством БГЦ лизиметров является также повышенное содержание активных фракций в опаде и подстилках.

Отнесение типа круговорота к интенсивному для смешанных и широколиственных насаждений и заторможенному для ельников подтверждается единством генезиса и строения подстилок и использованием формальных критериев оценки круговорота. Отметим, что если в еловых древостоях относительно низкие скорости круговорота обусловлены в первую очередь хвойным опадом, богатым лигнином и целлюлозой, замедляющими скорость разложения, то в широколиственных и смешанных насаждениях интенсивный круговорот обусловлен преобладанием листового опада или его взаимодействием с

хвойным опадом. О незначительной тенденции к замедлению круговорота можно судить, принимая во внимание небольшие по мощности гумифицированные подгоризонты, которые не являются типичными для широколиственных насаждений в автоморфных условиях, где, как правило, встречаются подстилки деструктивного типа, представляющие собой исключительно опад прошлых лет, легко отделяющийся от поверхности почвы, что, например, характерно для широколиственных и смешанных насаждений Ботанического сада МГУ [7].

Понятно, что хвойная компонента участвует в процессах формирования подстилок в смешанных древостоях, тогда как листовая опад, перенесенный из пределов широколиственных или смешанных насаждений, вносит свой вклад в формирование подстилок в условиях хвойных экосистем, что может способствовать увеличению скорости круговорота за счет привноса с опадом легкогидролизуемых компонентов.

При расчете подстилочно-опадных коэффициентов следует всегда определять содержание золы в подгоризонтах подстилок с последующим установлением доли минеральных примесей и, в случае их высокого содержания, учитывать их количество при расчетах. Но даже в случае прямого определения общего содержания золы этого показателя вполне достаточно для оценки степени его использования при расчетах подстилочно-опадных коэффициентов.

Информация о финансировании работы

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 121040800321-4 «Индикаторы трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов в природных и антропогенных экосистемах», в рамках государственного задания № 122011800459-3 «Почвенные биомаркеры: идентификация, устойчивость, активность, возможность использования для мониторинга», а также 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. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3.
2. Богатырев Л.Г., Жилин Н.И., Карпунин М.М. и др. Особенности биогеохимических процессов почв в городских условиях на основе изучения экосистем больших (изолированных) лизиметров почвенного стационара

МГУ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2021. № 3.

3. *Водяницкий Ю.Н.* Органическое вещество в городских почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 8.

4. *Гришина Л.А.* Гумусообразование и гумусное состояние почв. М., 1986.

5. *Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С. и др.* Иллюстрированный определитель растений средней полосы России. Т. 1–3. М., 2002.

6. *Ермаков А.И., Воробейчик Е.Л.* Почвенная мезофауна лесных экосистем в условиях крупного промышленного города // Евразийский энтомологический журнал. 2013. Т. 12, № 6.

7. *Земсков Ф.И.* Детритогенез в условиях лесных биогеоценозов урбанизированных территорий: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, М., 2021.

8. *Иванов А.В., Черненко В.Е., Хабилов В.Ш.* Динамика запасов лесных подстилок в кедрово-широколиственных лесах // Аграрный вестн. Приморья. 2017. № 1.

9. *Калякина Р.Г., Ангальт Е.М., Бурлуцкий А.Ю.* Формирование лесной подстилки в городских лесах (на примере урочища Качкарский мар) // Известия Оренбургского гос. аграр. ун-та. 2017. № 4 (66).

10. *Комаров А.С., Чертов О.Г., Михайлов А.В. и др.* Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М., 2007.

11. *Лянгузова И.В., Примаков П.А., Волкова Е.Н. и др.* Пространственное распределение запасов напочвенного покрова и лесной подстилки в средневозрастных сосновых лесах Кольского полуострова // Растит. ресурсы. 2019. Т. 55, № 4.

12. *Ниценко А. А.* Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журн. 1969. Т. 54, № 7.

13. *Орлова М.А., Лукина Н.В., Камаев И.О. и др.* Мозаичность лесных биогеоценозов и продуктивность почв // Лесоведение. 2011. № 6.

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

15. *Первова Н.Е., Золотарев Г.В.* О некоторых особенностях биологического круговорота в модельных лесных БГЦ (Лизиметрический опыт) // Агрохимический вестн. 2012. № 3.

16. *Попова Н.В., Трифонова Т.А.* Особенности формирования и функционирования напочвенного органического горизонта почвенно-фитоценологических экосистем зонального и аazonального типов // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3.

17. *Решетникова Т.В.* Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестн. Красноярского гос. аграр. ун-та. 2011. № 12 (63).

18. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М., 1965.

19. *Савельев Д.В., Владыченский А.С.* Гумусное состояние почв модельных экосистем почвенных лизиметров // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2001. № 1.

20. *Чертов О.Г., Надпорожская М.А.* Формы гумуса лесных почв: концепции и классификация // Почвоведение. 2018. № 10. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18100027>

21. *Честных О.В., Лыжин В.А., Кокишарова А.В.* Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. 2007. № 6.

22. *Чижикова Н.П., Верховец И.А., Владыченский А.С.* Поведение компонентов илстых фракций в модельных экосистемах почвенных лизиметров // Почвоведение. 2006. № 9.

23. *Шанин В.Н., Михайлов А.В., Быховец С.С. и др.* Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2010. № 6.

24. *Шергина О.В., Михайлова Т.А.* Биогеохимическое перераспределение свинца в урбоэкосистеме (на примере Иркутска) // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. Т. 19, № 2.

25. *Шибарева С.В., Самбуу А.Д.* Запасы и элементный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Тувы // Мат-лы 1-й Междунар. научно-практической конф. Сохранение разнообразия растительного мира Тувы и сопредельных регионов центральной Азии: история, современность, перспективы. 2016.

26. *Berg B.* Decomposition patterns for foliar litter — a theory for influencing factors // Soil Bi-ology and Biochemistry. 2014. Vol. 78.

27. *Hilli S., Stark S., Derome J.* Litter decomposition rates in relation to litter stocks in boreal coniferous forests along climatic and soil fertility gradients // Applied Soil Ecology. 2010. Vol. 46, № 2.

28. *Kölli R., Tamm I.* Nitrogen and ash elements content in sub-horizons of forest floor // Applied Soil Ecology. 2018. Vol. 123. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.038>

29. *Reintam L., Kaar E., Rooma I.* Development of soil organic matter under pine on quarry detritus of open-cast oil-shale mining // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 171, № 12.

30. *Van Meeteren M.J.M., Tietema A., van Loon E.E. et al.* Microbial dynamics and litter decomposition under a changed climate in a Dutch heathland // Applied Soil Ecology. 2008. Vol. 38, № 2.

Поступила в редакцию 04.03.2022

После доработки 27.04.2022

Принята к публикации 23.05.2021

STRUCTURAL ORGANIZATION OF FOREST FLOOR UNDER STATIONARY BULK LYSIMETERS OF SOIL SCIENCE FACULTY OF LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

**G. R. Glazman, L. G. Bogatyrev, V. M. Telesnina, Ph. I. Zemskov,
A. I. Benediktova, M. M. Karpukhin, V. V. Demin**

The typology and total reserves of mortmass concentrated in the forest floor of the main types of biogeocenoses developing within the stationary bulk lysimeters of the soil station of Lomonosov Moscow State University have been studied. It is shown that mainly destructive floor develops in spruce forests, fermentative floor is formed in mixed stands, while humified floor is formed in broad-leaved stands. An interbiogeocenotic litter exchange has been established, in which foliage is found in spruce biogeocenoses, overgrown fallows and in fallow conditions. Calculation of floor-litter coefficients according to N.I. Bazilevich made it possible to characterize the type of circulation in spruce plantations as inhibited — floor-litter coefficient (LOC) 2,8 —, which is due to the predominant participation of needles, resistant to decomposition. In broad-leaved and mixed plantations, an intensive type of cycling was established with an SAR of 1,2. It has been shown that when calculating the total reserves of organic matter in the litter, the content of mineral impurities should be taken into account, the proportion of which should be estimated in the course of laboratory studies.

Key words: plant litter, ground detritus, biological circulation rate, floor-litter coefficient.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Глазман Глеб Русланович, аспирант каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: glazman.gleb@gmail.com

Богатырев Лев Георгиевич, канд. биол. наук, доц. каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: bogatyrev.l.g@yandex.ru

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

Земсков Филипп Иванович, инженер каф. общего почвоведения ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: philzemskov@mail.ru

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

Карпукhin Михаил Михайлович, канд. биол. наук, науч. сотр. каф. химии почв ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: kmm82@yandex.ru

Демин Владимир Владимирович, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. каф. географии почв ф-та почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: vvdmsu@gmail.ru