УДК 631.48

Элементный состав лесных подстилок дерново-подзолистых почв пробных площадей Лесной опытной дачи

Мамонтов В.Г., Мостовая А.С.

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация

Изучен элементный состав лесных подстилок липняка и сосняка разнотравных. В средних образцах, измельченных и просеянных через сито с диаметром отверстий 0,25 мм, определяли: гигроскопическую влагу высушиванием в эксикаторе над P_2O_5 , зольность весовым методом, содержание C, H, N на автоматическом анализаторе CHNS–vario Micro cube, элементный состав определяли рентгенфлуоресцентным методом на анализаторе состава вещества РеСПЕКТ. По сравнению с подстилкой липняка, органическая часть сосняка содержит больше ароматических, обедненных азотсодержащими группировками и окисленных соединений. Зольность подстилки липняка равна 11,46%, подстилки сосняка – 7,19%. Химический состав минеральной части подстилок формируют две группы элементов: макроэлементы (Ca, Si, Al, Fe, Mn, Mg, K, P, S, Na, Cl), содержание которых варьирует от 0,02–0,03 до 2,36–3,07 %; микроэлементы (Zn, Cr, Sr, Cu, Ni, Pb, Rb, As, Hg), содержащиеся в количествах от 0,24–0,39 до 151–199 мкг/г. В лесных подстилках липняка и сосняка ЛОД абсолютно преобладают Ca и Si, на долю которых приходится более 70% от суммы всех макроэлементов. На долю Zn, Cr, Sr приходится 74% от суммы микроэлементов в подстилке сосняка и 82% – в подстилке липняка. При этом в подстилке липняка выше содержание всех минеральных элементов, за исключением Ni, Pb и Mn. Полученные данные могут быть использованы для экологического мониторинга.

Ключевые слова: ЛЕСНАЯ ПОДСТИЛКА, ЛИПНЯК, СОСНЯК, ЭЛЕМЕНТЫ-ОРГАНОГЕНЫ, МАКРОЭЛЕМЕНТЫ, МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Введение

Лесная подстилка – неперенный атрибут (составная часть) лесных биогеоценозов. Она представляет собой органогенный слой на поверхности почвы, состоящий, преимущественно, из остатков растительности.

щественно, из растительного опада, находящегося на разных стадиях разложения, – от свежего до материала, обогащенного трудноразлагаемыми компонентами. Исследователи неоднозначно оценивают это природное образование. Одни считают лесную подстилку самостоятельным природным телом, биогеоценотическим горизонтом [1]. Этот горизонт резко отличается от остальных почвенных горизонтов и обладает рядом специфических свойств и экологических функций [1, 2]. Другие рассматривают лесную подстилку как верхний генетический горизонт почвы и включают ее характеристику в показатели гумусового состояния почв [3]. Несмотря на расхождения во взглядах о статусе лесной подстилки в лесном биогеоценозе, единодушно признается, что она имеет огромное значение для формирования почвенного профиля и условий произрастания лесной растительности.

Лесная подстилка в значительной мере определяет характер гумусообразования и гумусонакопления лесных почв [4]. В лесных ценозах лесная подстилка служит источником водорастворимых органических веществ, в том числе и специфической природы, которые являются важнейшей причиной развития процесса оподзоливания [5-7]. Для таких почв, как подзолистые и дерново-подзолистые, широко распространенных в таежно-лесной зоне, оподзоливание является ведущим элементарным почвенным процессом, во многом обуславливающим формирование почвенного профиля. В этой же зоне широко представлены и почвы, испытывающие избыточное поверхностное переувлажнение, следствием чего является развитие такого процесса, как оглеение.

Оглеение – процесс по своей природе биохимический, возможный только при обязательном участии легкоферментируемого водорастворимого органического вещества [8]. Источником таких органических веществ в естественных лесных ценозах служит лесная подстилка [5-7, 9].

Значение лесной подстилки для нормального функционирования лесных ценозов трудно переоценить. Из всего многообразия функций, которые присущи лесной подстилке в лесных биогеоценозах, в первую очередь, необходимо отметить функцию, названную концентрационной [2] и характеризующую ее как своеобразное депо зольных элементов, углерода и азота [10, 11]. Исследования, проведенные в естественных лесных биогеоценозах, показали, что 80–90 % всех зольных элементов поступает в растения из наземного опада. При этом фосфор усваивается не менее чем на 95%, железо – на 70% [12].

Следовательно, в лесных ценозах растения усваивают элементы минерального пи-

тания почти полностью из растительных остатков собственного опада или предшествующих поколений. Отметим, что наземный опад содержит полноценное и сбалансированное минеральное питание, представленное всеми макро- и микроэлементами в нужном соотношении. При этом благодаря высоким значениям коэффициентов использования обеспечивается сбалансированность биогеохимического круговорота веществ, благодаря которому и происходит воспроизводство плодородия естественных ценозов. Таким образом, лесные подстилки выступают как связующее звено между почвой и растительным покровом, благодаря чему осуществляется круговорот веществ в лесных экосистемах [13].

В лесных биоценозах лесная подстилка служит источником диоксида углерода, поскольку основная часть органического вещества подстилки, разлагаясь, минерализуется до CO_2 [9]. Известно, что увеличение концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы сопровождается повышением фотосинтетической ассимиляции углерода, тем самым способствуя увеличению чистой первичной продукции растений [14]. Именно поэтому данной проблеме в последнее время уделяется все более пристальное внимание [15].

Наряду с этим, лесная подстилка мульчирует поверхность почвы, предохраняя ее от прямого нагревания, служит аккумулятором влаги и замедляет ее испарение из почвы [1, 16]. Лесная подстилка может служить субстратом для некоторых недревесных представителей лесных биоценозов (кислицы, грибы и пр.), в то же время она может препятствовать всхожести семян, сохраняя стабильность растительного покрова участка [1]. Лесная подстилка служит местообитанием и питательным субстратом для микроорганизмов, беспозвоночных животных, насекомых и личинок [1, 17–20]. Подстилка может продуцировать вещества-стимуляторы или ингибиторы для растений [1, 21].

Лесные подстилки обладают высокой буферной емкостью и полностью нейтрализуют современную кислотную нагрузку. Подстилка служит важным биогеохимическим барьером, препятствующим миграции тяжелых металлов вглубь почвы и в сопредельные среды [22].

Особое значение приобретает изучение химического состава лесных подстилок заповедных и природоохранных городских территорий. Эти сведения необходимы для оценки и прогноза питания, поведения, роста и развития лесных насаждений в условиях повышенной антропогенной нагрузки и решения экологических проблем мегаполисов.

Материалы и методы

Объектом наших исследований служила территория Лесной опытной дачи (ЛОД), расположенная в Северном административном округе г. Москвы. Регулярные наблюдения за состоянием лесных насаждений на территории ЛОД ведутся с 1862 года. Здесь располагаются постоянные пробные площади, представленные датируемыми участками, занятыми различными породами древесных растений естественного и искусственного происхождения, причем возраст некоторых из них достигает 300 лет.

Характеристика пробных площадок приведена в таблице 1.

Таблица 1. Таксационная характеристика пробных площадок ЛОД [23]

№ квартала	Индекс площадки	Год заложения	Происхождение	Площадь, га	Ярус, состав	Класс бонитета	Тип леса
3	Е	1962	Естественное	0,2720	II0Сед.Б; II7Д3Кл, ед.Лп,В	I	Сосняк разнотравный
8	3	1897	Естественное	0,1338	I9Лп1Д; II 6Лп3В1Кл	I	Липняк разнотравный

Пробная площадь 3Е с координатами N 37.54313, E 55.82087 заложена А.Р. Варгасом в 1862 г. в 42-летнем сосновом насаждении естественного происхождения с примесью березы и подростом из дуба. В настоящее время пробная площадь 3Е – старейшее на ЛОД насаждение сосны естественного происхождения, чистое, сложное по форме с почти одинаковым участием деревьев сосны и дуба при значительном участии клена в составе II яруса. Подрост – клен, вяз, дуб. Подлесок – рябина, бересклет, малина, лещина. Напочвенный покров – недотрога, кислица, папоротники, копытень, волчья ягода. Тип леса – сосняк разнотравный (*Pinetum-nerbosum*), произрастающий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Пробная площадь 83 (зе) с координатами N 37.55583, E 55.81914 заложена в 1897 г. А.М. Турским в 97-летнем насаждении сосны естественного происхождения с небольшой примесью березы 60–70 лет, второй ярус состоял из дуба и липы. В дальнейшем липа заняла господствующее положение как в первом, так и во втором ярусах. Подрост – клен, вяз. Подлесок – рябина, лещина, бересклет, малина. Напочвенный покров – недотрога, копытень, папоротники, крапива. Тип леса – липняк разнотравный (*Tilietum-herbosum*), произрастающий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

[23].

Образцы лесной подстилки отбирали на пробных площадках в мае 2019 г. в 3-кратной повторности на всю глубину подстилки без деления ее на подгоризонты. В дальнейшем индивидуальные образцы лесной подстилки высушивали и разбирали на фракции: листья, хвою, ветви, шишки, ветошь, кору, взвешивали и составляли средний образец в соответствии с содержанием каждого из компонентов. Средние образцы измельчали с помощью мельницы и просеивали через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. В образцах определяли гигроскопическую влагу высушиванием в эксикаторе над P_2O_5 , зольность весовым методом после сухого сжигания, содержание С, Н, N на автоматическом анализаторе CHNS–vario Micro cube, кислород находили по разности, элементный состав определяли рентгенфлуоресцентным методом на анализаторе состава вещества РеСПЕКТ.

Результаты и их обсуждение

Химический состав растений характеризуется большим разнообразием. В составе сухого вещества растений обнаружено более 70 химических элементов [24]. Важнейшие элементы, из которых состоит органическая часть сухого вещества лесной подстилки, – С, Н, О, N, которые Б.Б. Полюнов [25] отнес в свое время к абсолютным органогенам (табл. 2).

Таблица 2. Элементный состав и зольность органического вещества лесных подстилок дерново-подзолистых почв ЛОД, %

Тип леса	Гигро- скопиче- ская вла- га, %	Золь- ность, % от сухой массы	% на сухую, беззольную массу				Атомные отношения		
			С	Н	N	О	С:N	Н:С	О:С
Липняк разнотрав- ный	11,92	13,46	55,86	8,55	2,13	33,46	30,6	1,82	0,45
Сосняк раз- нотравный	11,61	7,19	56,00	7,72	1,47	34,81	44,4	1,64	0,47

Лесные подстилки липняка и сосняка содержат одинаковое количество гигроскопической влаги: 11,61–11,92 %. По содержанию основных элементов-органогенов они имеют как сходство, так и некоторые отличия и заметно различаются между собой по об-

щему содержанию минеральных элементов.

Зольность лесных подстилок – весьма переменчивый показатель, зависящий от многих факторов, но несомненно, что ведущую роль играет тип леса в связи с избирательной способностью растений поглощать элементы минерального питания [1, 24]. Так, зольность опада хвойных лесов варьирует от 0,1–0,5 до 1,5–3,0 %, тогда как опад лиственных лесов содержит от 0,5–1,0 % до 5–10 % зольных элементов [26]. Зольность подстилки сосняков среднего Приангарья варьирует от 1,7% в сосняке мертвopoкpoвнoм до 2,56% в сосняке oльxoвникoвoм [21]. Зольность подстилки сосняка зеленомошного составляла 11,2%, а сосняка лишайниково-зеленомошного – 17,0%, тогда как в березняке ирисово-разнотравном достигала 30,4% [27]. По имеющимся данным, коэффициенты вариации концентраций зольных элементов и азота изменяются от 10–30 до 40–60 % [28].

По нашим данным, зольность подстилки сосняка разнотравного ЛОД равна 7,19%, тогда как для липняка разнотравного она оказалась почти в 2 раза больше и составила 13,46%.

Содержание элементов, формирующих органическую часть подстилки, также во многом зависит от типа леса. Так в подстилке сосняков содержание С составило 54,0–55,0 %, О – 32,4–37,2, Н – 6,8–6,9 % и N – 0,96–1,19 %, а в березняках – 52,0–53,0; 38,2–38,4; 5,7–6,6 и 1,7–2,38 %, соответственно [27].

По содержанию С и О лесные подстилки сосняка и липняка ЛОД близки между собой. Содержание С равно 55,86–56,00 %, О – 33,46–34,81 %. В подстилке липняка содержание Н составило 8,55%, в подстилке сосняка его содержание несколько меньше – 7,72%. Более существенные различия наблюдаются в содержании N, количество которого в подстилке сосняка равно 1,47%, тогда как в подстилке липняка – 2,13%. Различия в химическом составе органических веществ, формирующих подстилки липняка и сосняка, подчеркиваются и величинами атомных отношений Н:С и С:N.

У органического вещества подстилки липняка величина атомного отношения Н:С равна 1,82, отношения С:N – 30,6. У подстилки сосняка атомное отношение Н:С заметно ниже – 1,64, а атомное отношение С:N существенно выше – 44,6. Это свидетельствует о том, что подстилка липняка в большей мере обогащена алифатическими азотсодержащими компонентами. В подстилке сосняка содержится значительно больше устойчивых к минерализации ароматических структур, обедненных азотсодержащими группировками.

Судя по величине атомного отношения О:С, изменяющемуся от 0,45 у подстилки липняка до 0,47 у подстилки сосняка, можно допустить тенденцию к увеличению вклада кислородсодержащих групп в формирование органических веществ подстилки сосняка. Это подтверждается и изменением степени окисленности органических веществ подстилок, которая снижается с -0,92 у подстилки липняка до -0,71 у подстилки сосняка. Следовательно, подстилку сосняков, в отличие от подстилки липняков, формируют не только более ароматичные, но и более окисленные органические соединения.

Как было показано, в хвойных лесах на поверхность почвы поступает в 2 раза больше лигнина, чем в широколиственных лесах [29], при этом из хвои азот выщелачивается в первую очередь и гораздо активнее, чем из опада широколиственных и мелколиственных пород [2]. Эти факторы и обуславливают различия в химическом составе органической части подстилок липняка и сосняка.

Важной характеристикой лесных подстилок является содержание в них минеральных элементов, которые, высвобождаясь в результате минерализационных процессов, не только непосредственно используются произрастающими растениями, но и участвуют в создании почвенного плодородия. Вовлекаясь в миграцию, они участвуют в формировании на разной глубине почвенного профиля различных по доступности фондов минерального питания растений. По содержанию химических макроэлементов между подстилками липняка и сосняка имеется как сходство, так и различие (табл. 3).

Таблица 3. Содержание макроэлементов в лесных подстилках ЛОД

Тип леса	В % на сухую массу										
	Si	Al	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	P	S	Cl
Липняк	2,83	0,45	3,07	0,22	0,10	0,42	0,33	0,22	0,20	0,19	0,02
Сосняк	1,32	0,28	2,36	0,17	0,03	0,31	0,25	0,25	0,14	0,16	0,03

Из макроэлементов в подстилке липняка отчетливо преобладают Ca и Si, содержание которых равно 3,07 и 2,83 %, соответственно. Следующими по значимости элементами являются K и Al, содержащиеся практически в одинаковом количестве: 0,42–0,45 %. Содержание Fe составило 0,33%. Далее следует группа элементов, представленная S, P, Mn и Mg, количество которых находится в пределах 0,19–0,22 %. Содержание Na равно 0,10%. Очень мало подстилка липняка содержит Cl: 0,02%. По абсолютному содержанию

в подстилке липняка разнотравного основные химические макроэлементы образуют следующий ряд: $\text{Ca} > \text{Si} \gg \text{Al} \approx \text{K} > \text{Fe} > \text{Mg} \approx \text{Mn} \approx \text{P} \approx \text{S} > \text{Na} \gg \text{Cl}$. Схожая картина в содержании химических макроэлементов наблюдается и у подстилки сосняка разнотравного. В ее составе отчетливо преобладают Ca, содержание которого составило 2,36%, и Si с содержанием 1,32%. Следующими по значимости элементами являются K, Al, Fe и Mn, содержащиеся в количестве 0,31, 0,28 и 0,25 %, соответственно. Существенно ниже содержание P, S и Mg, находящееся в пределах 0,14–0,17 %. Содержание Na и Cl составило всего 0,03%. По абсолютному содержанию в подстилке сосняка разнотравного минеральные макроэлементы образуют следующий ряд: $\text{Ca} > \text{Si} \gg \text{K} \approx \text{Al} > \text{Fe} \approx \text{Mn} > \text{Mg} \approx \text{S} \approx \text{P} \gg \text{Na} = \text{Cl}$. Этот ряд практически аналогичен подобному ряду подстилки липняка разнотравного. Различия наблюдаются лишь в том, что некоторые элементы меняются местами в этом ряду.

По абсолютному содержанию минеральные элементы подстилок липняка и сосняка разнотравных ЛОД образуют несколько групп.

Одна группа представлена Ca и Si, содержание которых составляет более 1,3%. В следующую группу входят K и Al, их содержание варьирует в пределах 0,28–0,45 %. В отдельную Группу можно выделить Fe и Mn, содержащиеся в количествах 0,22–0,33 %. При этом необходимо отметить, что по своим функциям в растениях Fe и Mn – микроэлементы. Однако, высвобождаясь при минерализации растительных остатков, они накапливаются в лесной подстилке в результате активного взаимодействия с различными компонентами органической природы. Четвертую группу составляют Mg, S и P, содержащиеся в количествах от 0,1 до 0,2 %. В пятую группу входят Na и Cl, их содержание находится на уровне от 0,1% и менее. Таким образом, в составе лесных подстилок липняка и сосняка ЛОД абсолютно преобладают Ca и Si, на долю которых приходится более 70% от суммы всех макроэлементов. Преобладание в составе лесных подстилок Ca и Si уже отмечалось в литературе [24, 27, 30]. При этом необходимо отметить, что содержание минеральных элементов в лесных подстилках – очень динамичный показатель, во многом зависящий от интенсивности минерализации и выщелачивания. Считается, что очень интенсивно выщелачиваются из лесных подстилок K, Mg, P, N. В результате этого по мере усиления минерализации и гумификации растительного материала содержание этих элементов в лесных подстилках уменьшается, но резко возрастает содержание Al и Si [30, 31].

Наряду с отмеченными ранее различиями между подстилками липняка и сосняка, есть еще одно важное отличие. В подстилке липняка существенно выше содержание всех химических макроэлементов: Na – в 3,3; Si – в 2,1; Al – в 1,6; K и P – в 1,4; Ca, Mg – в 1,3; S – в 1,2 раза, что обусловлено структурой и химическим составом растительного опада, формирующего подстилки.

Наряду с макроэлементами, важным компонентом лесных подстилок являются микроэлементы. Многие из них выполняют в растениях важные физиологические функции и относятся к числу необходимых или условно необходимых элементов питания растений, а в последнее время их все чаще относят к категории «тяжелых металлов» в связи с проблемой загрязнения окружающей среды [32].

В содержании микроэлементов в подстилках липняка и сосняка разнотравных много общего (табл. 4).

Таблица 4. Содержание микроэлементов в лесных подстилках ЛОД

Тип леса	мкг/г сухого вещества								
	Zn	Cu	Cr	Sr	Ni	Rb	Pb	As	Hg
Липняк	199	39	127	115	33	9	10	3,25	0,39
Сосняк	151	35	54	51	37	6	10	2,35	0,24

В подстилке липняка среди микроэлементов отчетливо преобладает Zn, содержание которого составило 199 мкг/г. Следующими по значимости элементами являются Cr и Sr, их содержание довольно близкое и находится на уровне 127 и 115 мкг/г, соответственно. Заметно меньше содержание в подстилке Ni – 33 мкг/г и Cu – 39 мкг/г. Содержание Rb и Pb равно 9 и 10 мкг/г. Меньше всего подстилка липняка содержит As и особенно Hg: всего 3,25 и 0,39 мкг/г. По абсолютному содержанию в подстилке липняка разнотравного микроэлементы образуют следующий ряд: $Zn > Cr > Sr \gg Cu \approx Ni \gg Pb \approx Rb \gg As \gg Hg$.

Такая же закономерность в содержании микроэлементов характерна и для подстилки сосняка разнотравного. Больше всего она содержит Zn – 151 мкг/г, затем следуют Cr и Sr – 54 и 51 мкг/г, Cu и Ni – 35 и 37 мкг/г. Гораздо меньше подстилка сосняка содержит Rb и Pb – 6 и 10 мкг/г и особенно As и Hg – 2,35 и 0,24 мкг/г. По абсолютному содержанию в подстилке сосняка разнотравного микроэлементы образуют ряд, аналогичный их ряду в липняке разнотравном: $Zn > Cr > Sr \gg Ni \approx Cu \gg Pb > Rb \gg As \gg Hg$.

Таким образом, по абсолютному содержанию в подстилках липняка и сосняка раз-

нотравных ЛОД микроэлементы образуют 5 групп. Отдельно обособляется Zn, содержание которого составляет сотни мкг/г. Следующая группа представлена Cr и Sr, содержание которых в 1,6–1,7 и 2,8–3,0 раза меньше. Третью группу образуют Cu и Ni, содержащиеся в количестве 33–39 мкг/г. В четвертую группу входят Rb и Pb с содержанием 6 и 10 мкг/г. Пятую группу формируют As и Hg, их содержание равно 0,24–3,25 мкг/г.

При этом важнейшее значение для формирования микроэлементного состава лесных подстилок липняка и сосняка разнотравного ЛОД имеют Zn, Cr и Sr, на долю которых приходится 82% от суммы микроэлементов в подстилке липняка и 74% от суммы микроэлементов в подстилке сосняка.

Основное отличие подстилки липняка разнотравного от подстилки сосняка разнотравного заключается в более высоком содержании основных микроэлементов. Так, в подстилке липняка содержание Zn выше в 1,3; Sr – в 2,3; Cr – в 2,4 раза. Кроме того, в подстилке липняка менее выражено превышение содержания Zn над Cr и Sr.

Наряду с рассмотренными макро- и микроэлементами, в подстилках липняка и сосняка ЛОД присутствуют еще два элемента – Fe и Mn, причем, если в подстилке липняка содержание Fe выше, чем содержание Mn, то в подстилке сосняка Mn несколько преобладает над Fe. Содержание Fe в подстилке липняка равно 3292 мкг/г, Mn – 2527 мкг/г, в подстилке сосняка 2183 и 2501 мкг/г, соответственно. По своему содержанию в подстилках липняка и сосняка Fe и Mn образуют группу переходных элементов между группами микро- и макроэлементов.

Выводы

1. Органическая часть подстилки липняка разнотравного обогащена восстановленными алифатическими азотсодержащими соединениями. Органическая часть сосняка разнотравного содержит больше ароматических, более окисленных структур, обедненных азотсодержащими группировками.

2. Зольность подстилки сосняка разнотравного равна 7,19%, липняка разнотравного почти в 2 раза больше: 13,46%. В составе минеральной части подстилок с помощью рентгенофлуоресцентного анализа обнаружено 20 химических элементов, образующих 2 группы: макроэлементы и микроэлементы.

3. По абсолютному содержанию в подстилках липняка и сосняка макроэлементы и

микроэлементы образуют сходные ряды:

макроэлементы: $\text{Ca} > \text{Si} \gg \text{Al} \approx \text{K} > \text{Fe} \geq \text{Mn} \geq \text{Mg} \approx \text{P} \approx \text{S} > \text{Na} \gg \text{Cl}$;

микроэлементы: $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{Sr} \gg \text{Cu} \approx \text{Ni} \gg \text{Pb} \approx \text{Rb} \gg \text{As} \gg \text{Hg}$.

В большинстве случаев содержание химических элементов выше в подстилке липняка. При этом на долю Ca и Si приходится более 70% от суммы всех макроэлементов. На долю Zn, Cr и Sr приходится 82% в подстилке липняка и 74% в подстилке сосняка от суммы всех микроэлементов.

Список использованных источников

1. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.
2. Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. – 1996. – № 4. – С. 501–511.
26. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986. – 244 с.
3. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
4. Сапожников А.П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. – 1984. – № 5. – С. 96–105.
5. Роде А.А. Избранные труды. Т. 2. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 480 с.
6. Яшин И.М., Кауричев И.С. Особенности процессов глее- и подзолообразования в почвах таежных экосистем // Известия ТСХА. – 1990. – Выпуск 1. – С. 79–98.
7. Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э., Артемкина Н.А. Влияние ели на формирование кислотности и плодородия почв в северотаежных ельниках кустарничково-зеленомошных // Почвоведение. – 2016. – № 11. – С. 1355–1367.
8. Зайдельман Ф.Р. Глееобразование – глобальный почвообразовательный процесс. Теория процесса и практика применения. – Воронеж: Кварта, 2016. – 328 с.
9. Ведрова Э.Ф., Мухторова Л.В., Метелева М.К. Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах // Лесоведение. – 2018. – № 1. – С. 24–36.
10. Бобкова К.С., Лиханова Н.В. Потоки азота и зольных элементов в системе «почва-фитоценоз» на вырубках среднетаежных ельников Республики Коми // Лесоведение. – 2019. – № 6. – С. 512–523.
11. Решетникова Т.В. Лесная подстилка как депо биогенных элементов // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 12. – С. 74–81.
12. Фокин А.Д., Торшин С.П. Растения в жизни почв и наземных экосистем. – Рига:

LAP. Lambert, 2020. – 184 с.

13. McRae D. J., Weber M. G., Ward P. C. Site preparation – prescribed fire in regenerating the Canadian forests: principles and practices for Ontario / R. G. Wagner and S. J. Columbo (Eds.). Fitzhenry and Whiteside. – Markham, Ontario, 2001. – P. 201–219.

14. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.

15. Сморгалов А.И. Новая методика определения интенсивности дыхания лесной подстилки в полевых условиях // Экология. – 2016. – № 5. – С. 390–395.

16. Jie D., Jianzhi N., Zhaoliang G., Xiongwen C., Zhijun Z. Effects of rainfall intensity and slope on interception and precipitation partitioning by forest litter layer // Catena. – 2019. – V. 172. – P. 711–718.

17. Schadler M., Brandl R. Do invertebrate decomposers affect the disappearance rate of litter mixture? // Soil Biology and Biochemistry. – 2005. – №3. – P. 329–337.

18. Бескаравайная И.Н., Егунова М.Н. Оценка трофической активности микроартропод в лесных культурах с помощью BAIT-LAMINA теста // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №10. – С. 46–50.

19. Patoine G., Thakur M.P., Frieze J., Nock C., Eisenhauer N. Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community // Pedobiologia. – 2017. – V.65. – P. 29–42.

20. Гераськина А.П., Шевченко Н.Е. Биотопическая приуроченность дождевых червей в малонарушенных лесах Тебердинского заповедника // Лесоведение. – 2018. – № 6. – С. 464–478.

21. Прокушкин С.Г., Степень Р.А., Прокушкин А.С., Каверзина Л.А. Водорастворимые органические вещества сосновых подстилок и их аллелопатическая роль // Химия растительного сырья. – 1998. – № 3. – С 13–20.

22. Копчик Г.Н. Трансформация и устойчивость почв лесных экосистем под воздействием атмосферного загрязнения: автореф. дис... д-ра биол. наук. – М. – 2012. – 46 с.

23. Наумов В.Д., Поляков А.Н. 145 лет Лесной опытной даче. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. – 512 с.

24. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Книга первая. – М.: Наука, 1973. – 448 с.

25. Побынов Б.Б. К вопросу о роли элементов биосферы в эволюции организмов // Почвоведение. – 1948. – №10 – С. 594–607.

26. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986. – 244 с.

27. Шибарева С.В. Запасы и элементный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск. – 2004. – 23 с.

28. Парамонова Т.А., Окунева Р.М. Исследование внутрипарцеллярной неоднородности лесной подстилки соснового биогеоценоза // Почвоведение. – 1998. – № 6. – С. 696–703.

29. Ковалев И.В. Биохимия лигнина в почвах: автореф. дис. ... д-ра с-х. наук. – М. – 2016. – 50 с.

30. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. – М.: Наука, 1993. – 301 с.

31. Бахмет О.Н. Структурно-функциональная организация органопроефилей почв лесных экосистем северо-запада России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Петрозаводск. – 2014. – 49 с.

32. Водяницкий Ю.Н. Функциональные различия тяжелых и сверхтяжелых металлов и металлоидов в почвах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2009. – Вып. 64. – С. 50–56.
=====

Цитирование:

Мамонтов В.Г., Мостовая А.С. Элементный состав лесных подстилок дерново-подзолистых почв пробных площадей Лесной опытной дачи [Электрон. ресурс] // Агро-ЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_225.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20212225>.