

КОМПЛЕКС ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИИ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Ю.А. Виноградова✉, В.А. Ковалева, Т.А. Пристова

ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 28

vinogradova@ib.komisc.ru

Представлены материалы изучения количественных показателей (мощности, запасов, химического состава), состава, структуры биомассы микроскопических грибов, видового разнообразия культивируемых микромицетов лесной подстилки среднетаежных разновозрастных лиственных насаждений послерубочного происхождения. Показано, что биомасса грибов в лесной подстилке лиственных насаждений варьирует в пределах $0,030 \pm 0,00$ — $2,73 \pm 2,25$ мг/г абсолютно сухой почвы (а. с. п.), в структуре биомассы в осенний период доминирует мицелий с функционально активными гифами (70–98 %), в летний период — споры грибов (30–100 %). Из подстилок исследуемых лесных насаждений выделено 39 видов микромицетов (с учетом стерильного мицелия). Определено, что отдел *Mucoromycota* представлен шестью видами из родов *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*. В отделе *Ascomycota* доминирует по числу видов род *Penicillium* (15 видов), менее представлены род *Trichoderma* (4 вида), *Mucor* (3 вида), *Chaetomium* (3 вида), остальные роды — *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Umbelopsis*, *Pseudogymnoascus*, *Talaromyces*, *Verticillium* представлены единичными видами. Установлено, что структура комплекса микромицетов исследуемой лесной подстилки лиственных насаждений представлена в основном случайными (44–63 %) и редкими видами (29–31 %), доля частых видов составляет 4–19 %, доминирующих — 4–6 %. В лесной подстилке осиново-березового и березово-елового насаждений наиболее обильно выделялся стерильный мицелий (32–37 %), в подстилке осиново-березового насаждения — *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %), в подстилке березово-елового — *Penicillium thomii* (16 %).

Ключевые слова: вторичные лиственные насаждения, лесная подстилка, биомасса грибов, микромицеты

Ссылка для цитирования: Виноградова Ю.А., Ковалева В.А., Пристова Т.А. Комплекс почвенных микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений при естественном лесовозобновлении среднетаежных лесов Республики Коми // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 19–30.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-19-30

Рубка таежных хвойных лесов с последующим восстановлением лиственными породами приводит к изменению качественного состава опада, скорости его разложения при формировании лесной подстилки [1]. Растительный опад в процессе формирования лесной подстилки проходит сложный многоступенчатый биологический процесс под действием микроорганизмов, при котором сложные органические соединения не только разлагаются, но и синтезируются новые [1–4]. Скорость развития этого процесса и его господствующее направление зависят от ботанического состава основной массы подвергающегося деструкции материала и гидротермических условий [5, 6]. Известно, что в лиственных лесах эти процессы происходят активнее, чем в хвойных [7, 8]. Ключевую роль в процессе разложения растительного опада и формировании подстилки играют почвенные грибы, которые активно выделяют различные органические кислоты [9], что

способствует трансформации трудноразлагаемого растительного материала [10–14].

Изучение скорости деструкции растительного опада, значения микромицетов в формировании лесной подстилки проведено в среднетаежных лесах Республики Коми в основном для хвойных лесов [15–17]. В производных лиственных насаждениях эти исследования малочисленны и относятся преимущественно к фитоценозам на начальных стадиях постантропогенной сукцессии — в молодняке [18]. При этом в разновозрастных лиственных и хвойно-лиственных насаждениях процессы формирования лесной подстилки, как правило, рассматривались без исследований участия микромицетов, ограничиваясь определением запасов подстилки и скорости разложения 5–8 компонентов растительного опада [15, 19, 20]. Изучение микологического состава микромицетов в процессе формирования лесной подстилки проведены нами ранее на более ранних этапах сукцессионного развития исследуемых лиственных насаждений [18].

Цель работы

Цель работы — выявление особенностей комплекса почвенных микромицетов и их распределение в лесной подстилке лиственных насаждений в процессе естественного лесовозобновления среднетаежных лесов Республики Коми.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2021 г. на территории Кытловского участкового лесничества Государственного учреждения Республики Коми «Железнодорожное лесничество» (далее — Кытловское лесничество), расположенного в Княжпогостском районе Республики Коми (62°19' с. ш. 50°55' в. д.). Объектами изучения были 27-летнее березово-еловое насаждение разнотравного типа (состав древостоя 6Б4Е+С ед.Ос) и 55-летнее осиново-березовое насаждение чернично-разнотравного типа (6Ос3Б1Еед.Пх).

Перечет проведен в 2020 г. по общепринятой в лесной таксации методике [21]. Исследуемые фитоценозы формировались после рубок, проведенных в 1980–1990-е годы. До рубки на месте исследуемых насаждений произрастали ельник чернично-долгомощный и ельник черничный с составом древостоя 8Е2Б, подроста — 10Е, возрастом 150...190 лет, по данным Кытловского лесничества. Почва — торфянисто-подзолисто-глеватая. Напочвенный покров исследуемых фитоценозов довольно мозаичен. Исследуемые лесные экосистемы отличаются по видовому составу и количеству видов, формирующих напочвенный покров. Общее количество растений, произрастающих в исследуемых фитоценозах, составляет 44 вида, в том числе 34 вида растений напочвенного покрова. Более подробная характеристика исследуемых объектов приведена ранее [22].

Древостой березово-елового насаждения представлен доминирующими видами: березой повислой (*Betula pendula* Roth), березой пушистой (*B. pubescens* Ehrh.), елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и единичными экземплярами осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.). Напочвенный покров данного насаждения насчитывает 28 видов растений с общим проективным покрытием (ОПП) до 90 %, в том числе травяно-кустарничкового яруса — 40, мохового — 50 %. Из кустарничков доминируют черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусника обыкновенная (*V. vitis-idaea* L.), из трав — ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.) и полевика тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.), мхов — кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.), сфагнум магелланский (*Sphagnum magelanicum* Brid.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splen-*

dens (Hedw.) Bruch et al.). Спецификой напочвенного покрова исследуемого фитоценоза является то, что на месте трелевочных волоков развивается моховой покров — преимущественно из *Sphagnum magelanicum* и *Polytrichum commune*, проективное покрытие которых достигает 80 %.

Древостой осиново-березового насаждения состоит из *Populus tremula*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Picea obovata*, единично *Abies sibirica*. Общее проективное покрытие растений напочвенного покрова осиново-березового насаждения, произрастающего на торфянисто-подзолисто-глеватой почве, сформированного 27 видами, составляет 60 %, в том числе проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса — 50 %, мохового — 10 %. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*, часто — кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), сныть обыкновенная *Aegopodium podagraria* L. Моховой покров в осиново-березовом фитоценозе развит неравномерно, встречаются участки с доминирующими *Polytrichum commune* или *Sphagnum magelanicum*. В подросте обоих фитоценозов доминируют *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Picea obovata* разной высоты. Подлесок исследуемых фитоценозов состоит из ивы козьей (*Salix caprea* L.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), шиповника иглистого (*Rosa acicularis* Lindl.) (высотой до 0,5 м) и единичных экземпляров жимолости Палласа (*Lonicera pallasii* Ledeb.) (от 0,6 до 1 м), в березово-еловом молодняке дополнительно — ивы пятитычинковой (*Salix pentandra* L.) и ивы филиколистной (*S. philicifolia* L.).

Для определения запасов и изучения микромицетного комплекса в лиственных насаждениях отбирали лесную подстилку шаблоном площадью 400 см² в десятикратной повторности для каждого исследования [23] с соблюдением условий, препятствующих их контаминации [24]. Лесную подстилку разделяли на подгоризонты *L* и *F+H* с удалением минеральных примесей, живой части мхов, корней деревьев, кустарничков и трав. Образцы подстилки взвешивали, затем высушивали при температуре 105 °С до абсолютно сухого веса (а. с. в.) и отбирали пробы для проведения химического анализа. В экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в лесной подстилке определена концентрация N, Ca, S, Mg, K, Na, Fe, Al, P. Образцы подстилки до начала микологических исследований хранили в морозильной камере при температуре –18...–20 °С. Всего было проанализировано 60 образцов.

Для выявления разнообразия культивируемых микроскопических грибов использовали метод серийных разведений почвенной суспензии. Выде-

**Содержание N и элементов минерального питания
в подстилке березово-елового и осиново-березового насаждений, %**
N content and mineral nutrition elements in birch-spruce and aspen-birch stands litter, %

Подгоризонт подстилки	N	Ca	Fe	Al	K	Mg	P	S	Na
Березово-еловое насаждение									
<i>L</i>	1,29	0,55	0,37	0,13	0,22	0,14	0,12	0,12	0,02
<i>F+H</i>	0,57	0,42	0,58	0,73	0,38	0,47	0,09	0,04	0,13
Осиново-березовое насаждение									
<i>L</i>	1,44	0,80	0,50	0,14	0,30	0,15	0,10	0,10	0,02
<i>F+H</i>	0,27	0,43	0,82	0,80	0,35	0,42	0,07	0,04	0,16

ление и учет микромицетов осуществляли на твердых питательных средах (среда Чапека (рН = 4,5), среда Гетчинсона, глюкозо-пептонный дрожжевой агар, сусло-агар). Почвенные суспензии готовили в трехкратной повторности с трехкратным приготовлением разведений и трехкратным посевом на чашки Петри из каждого разведения.

Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием современных определителей [25–30]. Названия и положения таксонов унифицировали с помощью базы данных CBS [31] и MucosaBank [32]. Для характеристики комплекса микромицетов использовали индексы видового разнообразия Шеннона (*H*), выравнивания Пиелу (*E*), доминирования Симпсона (*D*) [33], а также показатели частоты встречаемости и относительного обилия видов [34]. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью плагина программы «ExcelToR» [35].

Результаты и обсуждение

Изменения структуры и состава микробных ценозов (микромицетов и бактерий) в процессе формирования листовых лесов на месте вырубок происходят в основном в подстилке и верхних слоях почвы, в нижележащих слоях колебания микрофлоры менее значительны [36]. Важными количественными показателями, которые отражают интенсивность разложения лесной подстилки и косвенно указывают на деятельность микроорганизмов, являются мощность и запасы. Подстилка исследуемых листовых насаждений различается и характеризуется неоднородностью по морфологическому и минеральному составу. Мощность подстилки в березово-еловом насаждении составляет 11...13 см и 6...9 см — в осиново-березовом. Запасы подстилки в березово-еловом насаждении составляют 45,8 т/га и отличаются неоднородностью и вариабельностью ($CV = 25\%$), в осиново-березовом насаждении — 37,5 т/га, а ее распределение более

равномерно ($CV = 10\%$). Исследуемые образцы лесной подстилки сильнокислые, значение рН = 3,09...3,44. В морфологической структуре в лесной подстилке обоих насаждений выделяется два подгоризонта — верхний (*L*) и нижний (*F+H*). В нижнем, более разложившемся, слое сосредоточены основные запасы подстилки — свыше 60 % ее общей массы.

При характеристике лесной подстилки листовых насаждений послерубочного происхождения важным показателем является их минеральный состав. Свежие вырубki обогащаются минеральными веществами за счет поступления большого количества порубочных остатков, которые оказывают влияние на последующее развитие листового насаждения и формирование лесной подстилки. Подгоризонты подстилки различаются по минеральному составу. В березово-еловом насаждении в верхнем слое подстилки содержание минеральных элементов в порядке убывания следующее: $N > Ca > Fe > K > Mg > Al > P > S > Na$, в нижнем: $Al > Fe > N > Mg > Ca > K > P > Na > S$ (табл. 1). В осиново-березовом насаждении эта последовательность в подгоризонте *L* схожа с березово-еловым, а в подгоризонте *F+H* немного отличается: $Al > Fe > N > Ca > K > Mg > Na > P > S$. Последовательность содержания химических элементов в подгоризонте *L* схожа в обоих насаждениях и характеризуется преобладанием N, Ca и K. В нижних подгоризонтах исследуемых образцов подстилки доминируют Al и Fe. Особенностью подстилки осиново-березового насаждения является более высокое содержание Ca и суммы определяемых элементов в верхнем слое. Это обусловлено превалированием осины в составе древостоя и листовом опаде [37]. Известно, что опад осины отличается высоким содержанием Ca [38].

Ежегодно при разложении верхнего подгоризонта подстилки часть минеральных элементов переходит в нижние подгоризонты гумификации и ферментации (*F+H*), остальные — вымываются

за ее пределы и потребляются растениями. Из нижнего подгоризонта подстилки элементы перемещаются в минеральные слои почвы, потребляются растениями и микроорганизмами, а часть выносятся за пределы корнеобитаемого слоя вследствие водной миграции [38]. За счет этого запасы и концентрация элементов минерального питания в верхнем и нижнем подгоризонтах исследуемых образцов подстилки дифференцированы. В верхнем подгоризонте лесной подстилки накапливается не более 20 % всех минеральных элементов органического горизонта, несмотря на то что суммарная концентрация элементов минерального питания и N в слое L выше, чем в F+H (см. табл. 1). Такое различие обусловлено тем, что большая часть запасов исследуемых образцов подстилки сосредоточена в нижнем слое. Подгоризонты отличаются сочетанием в составе доминирующих элементов: для верхнего подгоризонта подстилки характерно $N > Ca > K$, для нижнего — $Al > Fe > N$. Более высокие концентрации Al и Fe в нижнем подгоризонте связаны с особенностями трансформации химического состава растительного опада при разложении (см. табл. 1). В процессе деструкции из растительных остатков в первую очередь высвобождаются биогенные элементы необходимые для роста и развития растений, микроорганизмов. Поэтому относительное увеличение содержания Al и Fe в нижних подгоризонтах подстилки обусловлено низкой потребностью живых организмов в этих элементах, их инертностью и слабой водной миграцией [39]. Такие элементы как K, P, Ca, Mg лучше растворяются в воде и могут выщелачиваться из растительных остатков без их глубокого разложения. Основные биофильные элементы (N, Ca, K) энергично потребляются и накапливаются в отмершей растительной массе, а также в биомассе микроорганизмов и лишь частично выносятся за пределы подстилки.

Сопоставление запасов минеральных элементов в лесной подстилке и годичном опаде позволяет оценить скорость их оборота в подстилке исследуемых листовых насаждений. Расчет показателя скорости оборота элементов минерального питания позволил выделить элементы с высокой скоростью оборота (менее 5 лет) — Ca, Mn, S, K, средней (от 5 до 10 лет) — N, Mg, P и низкой (от 10 до нескольких десятков лет) — Na, Fe, Al. Согласно проведенным подсчетам, элементы, поступающие в течение года с наземным растительным опадом в подстилку исследуемых листовых насаждений, полностью выводятся из нее в среднем за 25...30 лет.

Комплекс культивируемых микромицетов, представленный в исследуемых образцах подстилки осиново-березового насаждения, характеризуется достаточно высоким таксономическим

разнообразием ($H = 2,67$), высокими значениями выравненности ($E = 0,77$) и высокими значениями индекса Симпсона ($S = 0,87$). Из подстилки в целом (с учетом L и F+H) осиново-березового насаждения за период май — сентябрь выделено 32 вида грибов (с учетом стерильного мицелия) из 13 родов (табл. 2). Основу микоценозов составляют представители отдела Ascomycota — 27 видов из 10 родов. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* (12 видов, 38 % общего количества выделенных видов), который доминирует в почвах бореальной зоны [17, 40–42]. Род *Trichoderma* включает в себя четыре вида, род *Chaetomium* — три вида, род *Cladosporium* — два вида, род *Acremonium* — один вид, род *Alternaria* — один вид, род *Gliocladium* — один вид, род *Aureobasidium* — один вид, род *Paecilomyces* — один вид, род *Verticillium* — один вид, род *Pseudogymnoascus* — один вид (см. табл. 2). Отдел *Mucoromycota* представлен шестью видами, что составляет 19 % общего количества выделенных видов с ведущими родами *Mucor* (три вида), *Umbelopsis* (два вида), *Mortierella* (один вид). Неидентифицированные изоляты стерильного мицелия рассмотрены в составе групп стерильного светло- и темноокрашенного мицелия по аналогии с работой [43]. В целом структура микромицетного комплекса исследуемых образцов подстилки по частоте встречаемости [34] представлена случайными видами — 44 %, редкими — 31 % и частыми — 19 %, на долю доминирующих видов приходится всего 6 %.

Группу доминантов (по частоте встречаемости) составляет *Chaetomium globosum* (77 %), *Mycelia sterilla* c/o (95 %). Высокое доминирование активного целлюлозолитика *Chaetomium globosum* в подстилке осиново-березового насаждения обусловлено высокой конкурентной способностью, связанной с активным образованием плодовых тел, высокой динамикой скорости роста, целлюлазной активностью, а также выделением токсичных метаболитов, на что указывают литературные данные и результаты исследований их морфолого-культуральных и биодеструктивных свойств [44].

По относительному обилию в лесной подстилке доминируют *Mycelia sterilla* (32 %), *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %). Высоким обилием *Mycelia sterilla*, *Pseudogymnoascus pannorum* характеризуются также органико-аккумулятивные слои вторичных листовых насаждений по данным других исследователей [45]. Вид *Pseudogymnoascus pannorum* — типичный представитель почвенных микоценозов в наземных экосистемах таежной зоны [17, 18, 45]. В начале летнего периода (в майских пробах) в подстилке осиново-березового насаждения в число доминирующих

Т а б л и ц а 2

**Видовое разнообразие микромицетов и их относительное обилие (%)
в лесной подстилке лиственных насаждений (по данным 2021 г.)**

**Species diversity of micro-mycetes and their relative abundance (%)
in deciduous stands forest litter (based on 2021 data)**

Вид микромицетов	Осиново-березовое насаждение			Березово-еловое насаждение		
	07.06	08.08	24.09	07.06	08.08	24.09
<i>Отдел Mucoromycota</i>						
<i>Mortierella alpina</i> Peyron	0	1,83	0	0	0	0
<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	0	0	0,46	0	2,02	0
<i>Mucor racemosus</i> Fresen.	0	0	0	5,56	0	0
<i>Mucor sp.</i>	0	0	0	0	0	3,75
<i>Umbelopsis isabellina</i> W.Gams	7,79	0,92	6,45	0	0	0
<i>Umbelopsis ramanniana</i> W.Gams	2,60	1,83	2,76	0	0	0
<i>Отдел Ascomycota</i>						
<i>Acremonium sp.</i>	1,30	0	0	0	0	0
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	0	0	5,99	0	0	0
<i>Aureobasidium pullulans</i> G. Arnaud	0	0	8,76	0	5,05	0
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	9,09	7,34	5,07	0	0	0
<i>Chaetomium spirale</i> Zopf	3,90	0,92	4,15	0	0	0
<i>Chaetomium sp.</i>	7,79	1,83	1,38	0	0	0
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries	0	1,83	7,83	0	0	0
<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	0	0	4,61	0	2,02	0
<i>Gliocladium sp.</i>	2,60	0	0	0	0	0
<i>Paecilomyces variotii</i> Bainier	0	0	0	0	2,02	3,75
<i>Penicillium brevicompactum</i> Dierckx	2,60	0	0	0	0	0
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	1,30	0,92	0,46	0	2,02	3,75
<i>Penicillium digitatum</i> (Pers.) Sacc.	0	0	0	0	0	1,25
<i>Penicillium canescens</i> Sopp	1,30	0,92	2,30	5,56	2,02	10,00
<i>Penicillium camemberti</i> Sopp	0	0,92	0,46	0	1,01	0
<i>Penicillium italicum</i> Wehmer	1,30	0	0,92	0	0	0
<i>Penicillium lanosum</i> Westling	2,60	0	0,92	0	2,02	0
<i>Penicillium lapidosum</i> Raper & Fennell	0	0	0	0	3,03	0
<i>Penicillium lividum</i> Westling	1,30	2,75	3,23	0	0	1,25
<i>Penicillium olivicolor</i> Pitt	0	0,92	0,92	0	4,04	5,00
<i>Penicillium raistrickii</i> G. Sm.	0	0	0,46	0	3,03	7,50
<i>Penicillium simplicissimum</i> Thom	2,60	0	0	0	0	0
<i>Penicillium thomii</i> K.M. Zaleski	2,60	4,59	6,45	0	23,23	11,25
<i>Penicillium verrucosum</i> Dierckx	0	0	0	0	0	2,50
<i>Penicillium sp.</i>	0	0,92	0,46	0	1,01	12,50
<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> (Link) Minnis & D.L. Lindner	0	25,69	5,53	0	1,01	8,75
<i>Talaromyces diversus</i> (Raper & Fennell) Samson. N. Yilmaz & Frisvad	0	0	0	0	2,02	0
<i>Trichoderma aureoviride</i> Rifai	1,30	0	0,46	0	0	0
<i>Trichoderma koningii</i> Oudemans	2,60	0	2,76	0	0	0
<i>Trichoderma sympodanum</i> Kulik	1,30	3,67	0,46	16,67	1,01	0
<i>Trichoderma viride</i> Schumach.	6,49	1,83	1,38	5,56	1,01	0
<i>Verticillium sp.</i>	0	0,92	0	0	0	0
<i>Mycelia sterilla</i> светлоокрашенный (с/о)	37,66	39,45	25,35	66,67	38,38	28,75

входят следующие виды: *Chaetomium globosum*, *Umbelopsis isabellina*, *Mycelia sterilla* (с/о). К часто встречающимся относятся такие виды, как: *Chaetomium spirale*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium simplicissimum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride*. К осени в структуре микромицетов происходят существенные изменения (см. табл. 2). Наряду с увеличением количества видов микромицетов до 26 по сравнению с началом летнего периода исчезают виды *Acremonium sp.*, *Gliocladium sp.*, *Penicillium simplicissimum*, появляются: *Mortierella alpina*, *Mucor hiemalis*, *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium camemberti*, виды рода *Cladosporium*. Возрастание величины биомассы микроскопических грибов отмечается также в осенний период ($0,45 \pm 0,32 \dots 2,22 \pm 1,75$ мг/г а. с. п.) по сравнению с раннелетним ($0,030 \pm 0,001$ мг/г а. с. п.). В разложении подстилок осиново-березового насаждения в возрасте 40 лет, по данным 2009 г., в весенне-осенний период активно участвовал вид *Aureobasidium pullulans* [18].

Лесная подстилка березово-елового насаждения в течение исследуемого периода в отличие от подстилки осиново-березового характеризуется невысоким разнообразием микромицетов ($H = 2,34$), однако высокими значениями выравненности (E) и индекса Симпсона (S) ($E = 0,74$, $S = 0,82$). Выделенно 22 вида микромицетов из восьми родов и стерильный мицелий. Отдел *Ascomycota* представлен 19 видами из семи родов. По видовой насыщенности преобладает род *Penicillium* — 12 видов (52 % общего количества выделенных видов), роды: *Trichoderma* — два вида, *Talaromyces* — один вид, *Paecilomyces* — один вид, *Pseudogymnoascus* — один вид (см. табл. 2). Наиболее обильны вид *Penicillium thomii* (16 %) и вид *Mycelia sterilla* (37 %). Основу микромицетного комплекса составляют случайные (63 %) и редкие (29 %) виды. По мнению некоторых авторов [41, 46, 47] увеличение доли редких и случайных видов в комплексах почвенных микромицетов способствует большей их стабильности в случае изменения экологических условий. Доминирует в лесной подстилке исследуемого березово-елового насаждения стерильный мицелий (68%).

Отличительной особенностью микологического состава лесной подстилки березово-елового насаждения, по данным на 2021 г., по сравнению с 2009 г. является отсутствие лигнинразрушающих видов рода *Chaetomium* (см. табл. 2). Активное участие видов рода *Chaetomium* с использованием биоактивных метаболитов [48] в процессе разложения подстилки в березово-еловом молодняке, отмеченное в 2009 г., связано с наличием большого количества разлагающихся порубочных и корневых остатков, оставшихся после рубки [18].

По-видимому, к 2021 г. порубочные остатки практически разложились, что привело к исчезновению этих видов в подстилке березово-елового насаждения. Известно, что на вырубках увеличивается количество лигнинразрушающих микроорганизмов, однако со временем их численность может значительно снижаться [49, 50]. В весенний период в лесной подстилке березняка наиболее обильны виды: *Mycelia sterilla* (с/о) (67 %) и *Trichoderma sympodanum* (17 %). При разложении подстилки (с мая по сентябрь) наибольшим количеством видов характеризуется летне-осенний период — 19 видов ($H = 3,82$) (табл. 3), что подтверждается более высокими значениями содержания биомассы микроскопических грибов ($2,24 \pm 1,40 \dots 2,73 \pm 2,25$ мг/г а. с. п.) в этот период в подстилке по сравнению с раннелетним ($0,77 \pm 0,08$ мг/г а. с. п.).

По данным Осано [51], в лиственных лесах Азии при разложении подстилки, в составе опада которой преобладают листья березы, также доминируют аскомицеты: виды родов *Trichoderma*, *Penicillium*, зигомицеты: виды родов *Mortierella*, *Mucor*, *Umbelopsis*. Эти виды отмечаются и в наших исследованиях, за исключением видов рода *Umbelopsis* (см. табл. 2).

По полученным данным установлены различия в микромицетных комплексах лесной подстилки осиново-березового и березово-елового насаждений ($K_s = 61$ %), обусловленные комплексом факторов, в том числе составом и возрастом древостоев, разнокачественностью растительного опада, скоростью его разложения в этих насаждениях и характеристикой подстилки [18, 37].

Результаты исследований, проведенные ранее на этих объектах, показали, что скорость разложения слоя L в подстилке березово-елового насаждения составляет $30,4 \pm 3,6$ % в год, что ниже, чем в осиново-березовом насаждении — $54,9 \pm 9,1$ % в год. При этом интенсивность разложения нижнего слоя подстилки ($F+H$) для исследуемых насаждений приблизительно одинакова — $14 \dots 16$ % в год [37]. Исходя из приведенных выше характеристик напочвенного покрова, подстилки и ее минерального состава различия между микромицетными комплексами вполне объяснимы. Подстилка осиново-березового насаждения по сравнению с березово-еловым отличается более низкими значениями показателя мощности и запасов, большим суммарным содержанием минеральных элементов и Са в верхнем почвенном слое L . В напочвенном покрове березово-елового насаждения сфагновых мхов больше на переувлажненных участках на месте трелевочных волоков.

Кластерный анализ микологических сообществ лесной подстилки лиственных насаждений

**Показатели структуры комплекса микромицетов
в лесной подстилке лиственных насаждений (по данным на 2021 г.)**
Indicators of micro-mycete complex structure in forest litter of deciduous stands (based on 2021 data)

Показатель	Осиново-березовое насаждение			Березово-еловое насаждение		
	07.06	08.08	24.09	07.06	08.08	24.09
Количество выделенных видов, шт.	20	19	26	5	19	13
Индекс видового разнообразия Шеннона (H')	2,35	1,98	2,84	0,78	3,82	3,56
Индекс выравненности Пиелу (E')	0,78	0,67	0,87	0,48	1,30	1,39
Индекс доминирования Симпсона (S') (1- D')	0,84	0,84	0,94	0,55	0,85	0,91
Индекс полидоминантности Вильямса (1/ D')	6,13	6,18	17,03	2,22	6,89	11,24

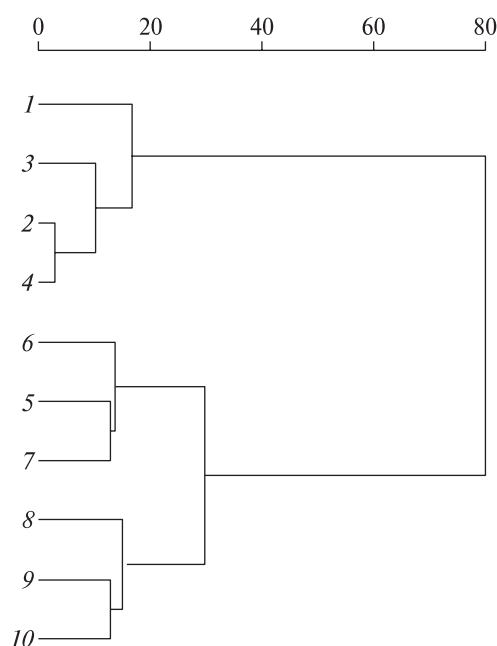
в период проведения исследований 2009 и 2021 гг. подтверждает четкую специфику комплексов микромицетов (рисунок).

Согласно проведенному анализу, отчетливо выделяются два кластера, что указывает на существенное за 10 лет изменение комплексов почвенных микромицетов лесной подстилки в процессе формирования лиственных биоценозов на месте еловой вырубki. По литературным данным, с возрастом нарушенная после рубки почва восстанавливается, как правило, в течение 8 лет при формировании сомкнутого молодняка [52]. Последующие преобразования в подстилке связаны с выносом минеральных элементов из почвы древесными породами по мере их роста. В связи с этим происходят существенные изменения в численности и видовом составе комплексов микромицетов по мере роста и формирования древостоя лиственных насаждений. Таким образом, исследования микоценозов в лесной подстилке среднетаежных разновозрастных лиственных лесов послерубочного происхождения показали их специфику и выявили различия в комплексах почвенных микромицетов.

Выводы

1. Исследования комплексов почвенных микромицетов в лесной подстилке среднетаежных разновозрастных лиственных насаждений выявили их специфические особенности: видовой состав микромицетов в лиственных насаждениях насчитывает 39 видов с учетом стерильного мицелия из 15 родов, группу доминантов в исследуемых образцах подстилки по обилию составляют такие виды, как: *Penicillium thomii* (21 %), *Pseudogymnoascus pannorum* (14 %) и *Mycelia sterilla* (69 %).

2. Выявленные отличия в микромицетных комплексах лесной подстилки осиново-березового и березово-елового насаждений обусловлены различным составом и возрастом древостоев. Осиново-березовое насаждение характеризуется большим количеством видов и таксономиче-



Дендрограмма сходства комплексов культивируемых микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений в период проведения исследований в 2009 [18] и 2021 гг.: березово-еловый молодняк: 1 — май 2009 г.; 2 — сентябрь 2009 г.; осиново-березовое насаждение: 3 — май 2009 г.; 4 — сентябрь 2009 г.; осиново-березовое насаждение: 5 — июнь 2020 г.; 6 — август 2020 г.; 7 — сентябрь 2020 г.; березово-еловое насаждение: 8 — июнь 2020 г., 9 — август 2020 г., 10 — сентябрь 2020 г. (кластеризация — по Варду, мера расстояния — Манхеттенское расстояние)

Complexes similarity dendrogram of cultivated micromycetes in the deciduous stands litter during the period of research in 2009 [18] and 2021: birch and spruce young growth: 1 — May 2009.; 2 — September 2009; aspen-birch stands: 3 — May 2009; 4 — September 2009; aspen-birch stands: 5 — June 2020; 6 — August 2020; 7 — September 2020; birch-spruce stands: 8 — June 2020, 9 — August 2020, 10 — September 2020 (clustering by Ward, distance measure by Manhattan distance)

ским разнообразием микромицетов в отличие от березово-елового насаждения, однако имеет с ним близкие значения содержания биомассы микроскопических грибов в подстилке в летний период ($2,22 \pm 1,97$ и $2,73 \pm 2,25$ мг/г а. с. п. соответ-

ственно). В осиново-березовом насаждении пре-валирует в начале летнего периода (июнь) только биомасса спор грибов ($0,030 \pm 0,001$ мг/г а. с. п.).

3. Лесная подстилка осиново-березового насаждения отличается меньшими мощностью и запасами и более высоким суммарным содержанием минеральных элементов и Са в верхнем слое.

4. Структура комплекса микромицетов в подстилке лиственных насаждений представлена в основном случайными (44...63 %) и редкими видами (29...31 %), при этом доля доминирующих видов составляет 4...6 %, частых — 4...19 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке тем госзадания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 122040100031-8) и «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ 122040600023-8).

Список литературы

- [1] Cartner T.B., Cardon Z.G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter // *Oikos*, 2004, v. 104 (2), pp. 230–246.
- [2] Bania A., Piolia S., Ventura M. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood // *Applied Soil Ecology*, 2018, v. 126, pp. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.017>
- [3] Stursova M., Snajdr J., Koukol O., Tlaskal V., Cajthaml T., Baldrian P. Long-term decomposition of litter in the montane forest and the definition of fungal traits in the successional space // *Fungal Ecology*, 2020, v. 46, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100913>
- [4] Hu Y., Yesilonis I., Szlavecz K. Microbial and environmental controls on wood decomposition in deciduous forests of different ages // *Applied Soil Ecology*, 2021, v. 166, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103986>
- [5] Bahnmann B., Mašínová T., Halvorsen R., Davey M. L., Sedláč P., Tomšovský M., Baldrian P. Effects of oak, beech and spruce on the distribution and community structure of fungi in litter and soils across a temperate forest // *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, v. 119, pp. 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.021>
- [6] Queiroz M.E.F., Monteiro J.S., Viana-Junior A.B., Praxedes C.L.B., Lavelle P., Vasconcelos S.S. Litter thickness and soil pH influence the diversity of saprotrophic fungi in primary forest fragments in the Amazon // *Pedobiologia. Journal of Soil Ecology*, 2021, v. 89, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150771>
- [7] Германова Н.И. Скорость разложения растительного опада в лесных насаждениях заповедника «Кивач» // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2009. 176 с.
- [8] Xie L., Yin C. Seasonal variations of soil fungal diversity and communities in subalpine coniferous and broadleaved forests // *Science of the Total Environment*, 2022, v. 846, pp. 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157409>
- [9] Сазанова К.В. Органические кислоты грибов и их эколого-физиологическое значение: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2014. 26 с.
- [10] Fenner N., Ostle N.J., Menamara N. Elevated CO₂ effects on peatland plant community carbon dynamics and DOC production // *Ecosystems*, 2007, v. 10, pp. 635–647. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9051-x>
- [11] Kostadinova N., Tosi S., Spassov A.B. Comparison of the oxidative stress response of two Antarctic fungi to different growth temperatures // *Polish Polar Research*, 2017, v. 38 (3), pp. 393–408. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0015>
- [12] Juan-Ovejero R., Brionesa M.J.I., Opikb M. Fungal diversity in peatlands and its contribution to carbon cycling // *Applied Soil Ecology*, 2020, v. 146, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103393>
- [13] Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Перминова Е.М. Распределение микроскопических грибов в многолетнемерзлых торфяниках лесотундры // *Микология и фитопатология*, 2019. Т. 53. № 6. С. 342–353.
- [14] Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Ковалева В.А., Перминова Е.М. Биомасса грибов и разнообразие культивируемых микромицетов в сезонно-талом слое буржистых торфяников южной тундры // *Микология и фитопатология*, 2021. Т. 55. № 2. С. 105–118.
- [15] Кузнецов, М.А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом ельнике // *Лесоведение*, 2010. № 6. С. 54–60.
- [16] Хабибуллина Ф.М., Пристова Т.А., Виноградова Ю.А. Роль микромицетов в формировании лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги // *Лесоведение*, 2012. № 4. С. 47–55.
- [17] Khabibullina F. M., Kuznetsova E. G., Vaseneva I. Z. Micromycetes in podzolic and bog-podzolic soils in the middle taiga subzone of northeastern European Russia // *Eurasian Soil Science*, 2014, v. 10 (47), pp. 1027–1032. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100049>.
- [18] Пристова Т.А., Хабибуллина Ф.М., Виноградова Ю.А., Мельник П.Г. Формирование лесной подстилки лиственных насаждений средней тайги Республики Коми // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2011. № 3(79). С. 41–50.
- [19] Лиханова Н.В. Биоразнообразие и микоризообразование лекарственных растений на залежных участках // *Теоретическая и прикладная экология*, 2021. № 2. С. 75–80.
- [20] Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
- [21] ГОСТ 56–69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- [22] Пристова Т.А. Динамика древесной растительности в лиственных насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми) // *Принципы экологии*, 2019. Т. 8. № 3. С. 63–73.
- [23] Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.
- [24] Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.
- [25] Ellis M.B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. UK: Kew, 1971, 608 p.
- [26] Ramirez C. *Manual and atlas of the Penicillia*. Amsterdam-N.-Y.: Oxford. Elsevier Biomedical Press, 1982, 874 p.
- [27] Егорова Л.Н. Почвенные грибы Дальнего Востока: Гифомицеты. Л.: Наука, 1986. 191 с.
- [28] Pitt J. *A laboratory guide to common Penicillium species*. N.S.W., Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing, 1988, 187 p.

- [29] Александрова А.В., Великанов Л.Л., Сидорова И.И. Ключ для определения видов рода *Trichoderma* // Микология и фитопатология, 2006. Т. 40. Вып. 6. С. 457–468.
- [30] Domsh K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of soil fungi. Eshing: INW-Verlag, 2007, 672 p.
- [31] Базы данных CBS. URL: <https://indexfungorum.org/Names/Names.asp> (дата обращения 10.10.2023).
- [32] MycoBank. URL: <http://www.mycobank.org> (дата обращения 10.10.2023).
- [33] Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его изменение. М.: Мир, 1992. 161 с.
- [34] Кураков А.В. Методы выделения и характеристика комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. М.: МАКС Пресс, 2001. 92 с.
- [35] Новаковский А.Б. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 3. С. 26–33.
- [36] Bani A., Pioli S., Ventura M., Panzacchi P., Borruso L., Tognetti R., Tonon G., Brusetti L. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood // *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 126, pp. 75–84
- [37] Пристова Т.А. Скорость разложения растительного опада в лиственных насаждениях послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства, 2020. № 3. С. 62–72.
- [38] Couteaux M.-M., Bottner P., Berg B. Litter decomposition climate and litter quality // *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, v. 10 (2), pp. 63–66.
- [39] Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Изд-во географической литературы, 1961. 495 с.
- [40] Берсенева О.А., Саловарова В.П., Приставка А.А. Почвенные микромицеты основных природных зон // Известия Иркутского государственного университета, 2008. Т. 1, № 1. С. 3–9.
- [41] Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Баранцевич Е.П., Крыленков В.А., Соколов В.Т. Комплексы микроскопических грибов в почвах и грунтах полярных Островов Известий ЦИК (Карское море) // Микология и фитопатология, 2014. Т. 48. № 6. С. 365–371.
- [42] Функционирование комплексов микроорганизмов в верховых торфяниках анализ причин медленного разложения торфа. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 128 с.
- [43] Власов Д.Ю., Зеленская М.С., Кирцидели И.Ю., Абакумов Е.В., Криленков В.А., Лукин В.В. Грибы на природных и антропогенных субстратах Западной Антарктиды // Микология и фитопатология, 2012. № 46 (1). С. 20–26.
- [44] Линник М.А. Видовое разнообразие и характеристика грибов рода *Chaetomium*: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2012. 26 с.
- [45] Хабибуллина Ф.М., Лиханова И.А., Творожникова Т.А., Ибатуллина И.З. Микробиота органогенного слоя почв послерубочных лиственных насаждений средней тайги // Теоретическая и прикладная экология, 2008. № 2. С. 86–91.
- [46] Xiong J., Peng F., Sun H. Divergent Responses of Soil Fungi Functional Groups to Short-term Warming // *Microbial Ecology*, 2014, v. 68, pp. 708–715. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0385-6>
- [47] Кураков А.В., Семенова Т.А. Видовое разнообразие микроскопических грибов в лесных экосистемах южной тайги европейской части России // Микология и фитопатология, 2016. Т. 50. № 6. С. 367–378.
- [48] Kumar R., Kundu A., Dutta A. Chemo-profiling of bioactive metabolites from *Chaetomium globosum* for biocontrol of *Sclerotinia rot* and plant growth promotion // *Fungal Biology*, 2021, no. 125(3), pp. 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.07.009>
- [49] Сорокин Н.Д., Прокушкин С.Г., Пашенова Н.В., Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д., Полякова Г.Г. Микробиологическая трансформация растительных остатков и динамика углерода в бореальных лесах Сибири // Лесоведение, 2003. № 5. С. 18–24.
- [50] Мовчан Д.Д., Великанов Л.Л., Александрова А.В. Влияние сплошной санитарной рубки хвойного леса на комплекс почвенных микроорганизмов // Микология и фитопатология, 2005. № 39(2). С. 27–33.
- [51] Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in Asian forests of different climatic regions Takashi OSONO // *Fungal Ecology*, 2011, no. 4, pp. 375–385.
- [52] Cao J., Pan H., Chen Z., Shang H. Bacterial, fungal and archaeal community assembly patterns and their determining factors across three subalpine stands at different stages of natural restoration after clear-cutting // *J. of Soils and Sediments*, 2020, no. 20(7), pp. 2794–2803.

Сведения об авторах

Виноградова Юлия Алексеевна [✉] — канд. биол. наук, науч. сотр. отдела почвоведения ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), vinogradova@ib.komisc.ru

Ковалева Вера Александровна — мл. науч. сотр. отдела почвоведения ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), kovaleva@ib.komisc.ru

Пристова Татьяна Александровна — канд. биол. наук отдела лесобиологических проблем Севера ФГБУН «Институт биологии Коми Научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), pristova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.

Одобрено после рецензирования 21.06.2023.

Принята к публикации 05.03.2024.

SOIL MICROSCOPIC FUNGI COMPLEX IN DECIDUOUS FOREST LITTER DURING MIDDLE TAIGA FORESTS NATURAL REFORESTATION IN KOMI REPUBLIC

Yu. A. Vinogradova✉, V.A. Kovaleva, T.A. Pristova

Institute of Biology Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Komi Republic, Russia

vinogradova@ib.komisc.ru

The article studies the parameters (thickness, reserves and mineral composition), composition and the biomass structure of microscopic fungi, species diversity of cultivated microscopic fungi in forest litter in middle taiga uneven-aged deciduous forest of post-cutting origin. The study was carried out in a 27-year-old birch-spruce stand of the herb type (stand composition 60 % — silver birch, 40 % — Norway spruce, singly — Scots pine and common aspen) and a 55-year-old aspen-birch stand of the bilberry-herb type (60 % — aspen, 30 % — birch, 10 % — spruce, singly — fir). Within the birch-spruce stand, the litter reserves are 45,8 t/ha and are heterogeneous and variable (CV = 25 %), in the aspen-birch stand, with a reserve of 37,5 t/ha, its distribution is more even (CV = 10 %). It was shown that microscopic fungi biomass in the litter of deciduous stands varies within 0,030 ± 0,001 — 2,73 ± 2,25 mg/g of dry soil. Mycelium with functionally active fungal hyphae (70...98 %) dominate in the structure of biomass in autumn, fungal spores (30–100 %) in summer. Thirty-nine species of microscopic fungi were isolated (including sterile mycelium from the litter of the studied forest stands. The Mucoromycota division is represented by 6 species (15 %) from the genera *Mucor*, *Mortierella* and *Umbelopsis*. The genus *Penicillium* dominates in the number of species (15 species), the genera *Trichoderma* (4 species), *Mucor* (3 species), *Chaetomium* (3 species) are less presented. Other genera such as *Acremonium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Paecilomyces*, *Umbelopsis*, *Pseudogymnoascus*, *Talaromyces*, *Verticillium* are represented by single species. According to the frequency of occurrence, the structure of the complex of microscopic fungi in the studied deciduous stands litter is represented mainly by random (44...63 %) and rare species (29...31 %). The share of frequent species is 4...19 % and dominant ones — 4...6 %. A common abundant species in the litter of aspen-birch and birch-spruce stands is *Mycelia sterilla* (32...37 %). *Pseudogymnoascus pannorum* (10 %) is abundant in the litter of the aspen-birch stand and *Penicillium thomii* (16 %) is abundant in the birch-spruce stand litter.

Keywords: secondary deciduous stands, forest litter, microscopic fungi

Suggested citation: Vinogradova Yu.A., Kovaleva V.A., Pristova T.A. *Kompleks pochvennykh mikromitsetov v lesnoy podstilke listvennykh nasazhdeniy pri estestvennom lesovozobnovlenii srednetazhnykh lesov Respubliki Komi* [Soil microscopic fungi complex in deciduous forest litter during middle taiga forests natural reforestation in Komi Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 19–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-19-30

References

- [1] Cartner T.B., Cardon Z.G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 2004, v. 104 (2), pp. 230–246.
- [2] Bania A., Piolia S., Ventura M. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 2018, v. 126, pp. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.017>
- [3] Stursova M., Snajdr J., Koukol O., Tlaskal V., Cajthaml. T., Baldrian P. Long-term decomposition of litter in the montane forest and the definition of fungal traits in the successional space. *Fungal Ecology*, 2020, v. 46, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100913>
- [4] Hu Y., Yesilonis I., Szlavetz K. Microbial and environmental controls on wood decomposition in deciduous forests of different ages. *Applied Soil Ecology*, 2021, v.166, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103986>
- [5] Bahnmann B., Mašínová T., Halvorsen R., Davey M. L., Sedlák P., Tomšovský M., Baldrian P. Effects of oak, beech and spruce on the distribution and community structure of fungi in litter and soils across a temperate forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, v. 119, pp. 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.021>
- [6] Queiroz M.E.F., Monteiro J.S., Viana-Junior A.B., Praxedes C.L.B., Lavelle P., Vasconcelos S.S. Litter thickness and soil pH influence the diversity of saprotrophic fungi in primary forest fragments in the Amazon. *Pedobiologia. Journal of Soil Ecology*, 2021, v. 89, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150771>
- [7] Germanova N.I. *Skorost' razlozheniya rastitel'nogo opada v lesnykh nasazhdeniyakh zapovednika «Kivach»* [The rate of decomposition of plant litter in the forest plantations of the Kivach Reserve]. *Ekologo-geokhimiicheskie i biologicheskie zakonomernosti pochvoobrazovaniya v taezhnykh lesnykh ekosistemakh* [Ecological, geochemical and biological patterns of soil formation in taiga forest ecosystems]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2009, 176 p.
- [8] Xie L., Yin C. Seasonal variations of soil fungal diversity and communities in subalpine coniferous and broadleaved forests. *Science of the Total Environment*, 2022, v. 846, pp. 1–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157409>
- [9] Sazanova K.V. *Organicheskie kisloty gribov i ikh ekologo-fiziologicheskoe znachenie* [Organic acids of fungi and their ecological and physiological significance]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). St. Petersburg, 2014, 26 p.
- [10] Fenner N., Ostle N.J., Mcnamara N. Elevated CO₂ effects on peatland plant community carbon dynamics and DOC production. *Ecosystems*, 2007, v. 10, pp. 635–647. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9051-x>
- [11] Kostadinova N., Tosi S., Spassov A.B. Comparison of the oxidative stress response of two Antarctic fungi to different growth temperatures. *Polish Polar Research*, 2017, v. 38 (3), pp. 393–408. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0015>

- [12] Juan-Ovejero R., Brionesa M.J.I., Opikb M. Fungal diversity in peatlands and its contribution to carbon cycling. *Applied Soil Ecology*, 2020, v. 146, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103393>
- [13] Vinogradova Yu.A., Lapteva E.M., Kovaleva V.A., Perminova E.M. *Raspredelenie mikroskopicheskikh gribov v mnogoletemerzlykh torfyanikakh lesotundry* [Distribution of microscopic fungi in permafrost peatlands of the forest-tundra]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2019, v. 53, no. 6, pp. 342–353.
- [14] Vinogradova Yu.A., Lapteva E.M., Kovaleva V.A., Perminova E.M. *Biomassa gribov i raznoobrazie kul'tiviruemykh mikromitsetov v sezonno-talom sloe bugristykh torfyanikov yuzhnoy tundry* [Fungal biomass and diversity of cultivated micromycetes in the seasonally thawed layer of hilly peatlands of the southern tundra]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2021, v. 55, no. 2, pp. 105–118.
- [15] Kuznetsov, M.A. *Vliyaniye usloviy razlozheniya i sostava opada na kharakteristiki i zapas podstilki v srednetaeznom chernichno-sfagnovom el'nike* [Influence of decomposition conditions and litter composition on the characteristics and stock of litter in the middle taiga blueberry-sphagnum spruce forest]. *Lesovedenie*, 2010, no. 6, pp. 54–60.
- [16] Khabibullina F.M., Pristova T.A., Vinogradova Yu.A. *Rol' mikromitsetov v formirovanii lesnoy podstilki listvennykh nasazhdeniy sredney taygi* [The role of micromycetes in the formation of forest litter in deciduous plantations of the middle taiga]. *Lesovedenie*, 2012, no. 4, pp. 47–55.
- [17] Khabibullina F. M., Kuznetsova E. G., Vaseneva I. Z. Micromycetes in podzolic and bog-podzolic soils in the middle taiga subzone of northeastern European Russia. *Eurasian Soil Science*, 2014, v. 10 (47), pp. 1027–1032. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100049>.
- [18] Pristova T.A., Khabibullina F.M., Vinogradova Yu.A., Mel'nik P.G. *Formirovaniye lesnoy podstilki listvennykh nasazhdeniy sredney taygi Respubliki Komi* [Formation of forest litter in deciduous plantations of the middle taiga of the Komi Republic]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2011, no. 3(79), pp. 41–50.
- [19] Likhanova N.V. *Bioraznoobrazie i mikorizoobrazovaniye lekarstvennykh rasteniy na zaleznykh uchastkakh* [Biodiversity and mycorrhiza formation of medicinal plants in fallow areas]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2021, no. 2, pp. 75–80.
- [20] Bobkova K.S., Mashika A.V., Smagin A.V. *Dinamika sodержaniya ugleroda organicheskogo veshchestva v srednetaeznykh el'nikakh na avtomorfnykh pochvakh* [Dynamics of carbon content of organic matter in middle taiga spruce forests on automorphic soils]. St. Petersburg: Nauka, 2014, 270 p.
- [21] GOST 56–69–83 *Probnyye ploshchadi lesoustroitel'nyye. Metod zakladki* [Trial forest management areas. Bookmark method]. Moscow: TsBNTI Gosleskhov USSR, 1983, 60 p.
- [22] Pristova T.A. *Dinamika drevesnoy rastitel'nosti v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya (podzona sredney taygi Respubliki Komi)* [Dynamics of tree vegetation in deciduous plantations of post-cutting origin (middle taiga subzone of the Komi Republic)]. *Printsipy ekologii* [Principles of Ecology], 2019, v. 8, no. 3, pp. 63–73.
- [23] Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Guidelines for the study of dynamics and biological circulation in phytocenoses]. Leningrad: Nauka, 1968, 145 p.
- [24] *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow: MGU, 1991, 304 p.
- [25] Ellis M.B. *Dematiaceous Hyphomycetes*. UK: Kew, 1971, 608 p.
- [26] Ramirez C. *Manual and atlas of the Penicillia*. Amsterdam-N.-Y.: Oxford. Elsevier Biomedical Press, 1982, 874 p.
- [27] Egorova L.N. *Pochvennyye griby Dal'nego Vostoka: Gifomitsety* [Soil fungi of the Far East: Hyphomycetes]. Leningrad: Nauka, 1986, 191 p.
- [28] Pitt J. *A laboratory guide to common Penicillium species*. N.S.W., Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing, 1988, 187 p.
- [29] Aleksandrova A.V., Velikanov L.L., Sidorova I.I. *Klyuch dlya opredeleniya vidov roda Trichoderma* [The key to identify species of the genus Trichoderma]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2006, v. 40, iss. 6, pp. 457–468.
- [30] Domsh K.H., Gams W., Anderson T.H. *Compendium of soil fungi*. Eshing: IHW-Verlag, 2007, 672 p.
- [31] *Bazy dannykh CBS* [CBS databases]. Available at: <https://indexfungorum.org/Names/Names.asp> (accessed 10.10.2023).
- [32] MycoBank. Available at: <http://www.mycobank.org> (accessed 10.10.2023).
- [33] Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow: Mir, 1992, 161 p.
- [34] Kurakov A.V. *Metody vydeleniya i kharakteristika kompleksov mikroskopicheskikh gribov nazemnykh ekosistem* [Methods for isolating and characterizing complexes of microscopic fungi in terrestrial ecosystems]. Moscow: Maks Press, 2001, 92 p.
- [35] Novakovskiy A.B. *Vzaimodeystvie Excel i statisticheskogo paketa R dlya obrabotki dannykh v ekologii* [Interaction of Excel and the statistical package R for data processing in ecologists]. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2016, no. 3, pp. 26–33.
- [36] Bani A., Pioli S., Ventura M., Panzacchi P., Borruso L., Tognetti R., Tonon G., Brusetti L. The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 126, pp. 75–84
- [37] Pristova T.A. *Skorost' razlozheniya rastitel'nogo opada v listvennykh nasazhdeniyakh poslerubochnogo proiskhozhdeniya v usloviyakh sredney taygi Respubliki Komi* [The rate of decomposition of plant litter in deciduous plantations of post-cutting origin in the conditions of the middle taiga of the Komi Republic]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 3, pp. 62–72.
- [38] Couteaux M.-M., Bottner P., Berg B. Litter decomposition climate and litter quality, *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, v. 10 (2), pp. 63–66.
- [39] Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow: Publishing House of Geographical Literature, 1961, 495 p.
- [40] Berseneva O.A., Salovarova V.P., Pristavka A.A. *Pochvennyye mikromitsety osnovnykh prirodnykh zon* [Soil micromycetes of the main natural zones]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Irkutsk State University], 2008, v. 1, no. 1, pp. 3–9.

- [41] Kirtsideli I.Yu., Vlasov D.Yu., Barantsevich E.P., Krylenkov V.A., Sokolov V.T. *Kompleksy mikroskopicheskikh gribov v pochvakh i gruntakh polyarnogo ostrova Izvestiy TsIK (Karskoe more)* [Complexes of microscopic fungi in soils and soils of the polar island of Izvestii CEC (Kara Sea)]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2014, v. 48, no. 6, pp. 365–371.
- [42] *Funktsionirovanie kompleksov mikroorganizmov v verkhovnykh torfyanikakh analiz prichin medlennogo razlozheniya torfa* [Functioning of complexes of microorganisms in high-moor peatlands analysis of the reasons for the slow decomposition of peat]. Moscow: Association of scientific. editions of KMK, 2013, 128 p.
- [43] Vlasov D.Yu., Zelenskaya M.S., Kirtsideli I.Yu., Abakumov E.V., Krilenkov V.A., Lukin V.V. *Griby na prirodnykh i antropogennykh substratakh Zapadnoy Antarktity* [Fungi on natural and anthropogenic substrates of West Antarctica]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2012, no. 46 (1), pp. 20–26.
- [44] Linnik M.A. *Vidovoe raznoobrazie i kharakteristika gribov roda Shaetomium* [Species diversity and characteristics of fungi of the genus Chaetomium]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 2012, pp. 1–26.
- [45] Khabibullina F.M., Likhanova I.A., Tvorozhnikova T.A., Ibatullina I.Z. *Mikrobiota organogennoy sloya pochv poslerubochnykh listvennykh nasazhdeniy sredney taygi* [Microbiota of the organogenic soil layer of post-cutting deciduous plantations in the middle taiga]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya], 2008, no. 2, pp. 86–91.
- [46] Xiong J., Peng F., Sun H. Divergent Responses of Soil Fungi Functional Groups to Short-term Warming. *Microbial Ecology*, 2014, v. 68, pp. 708–715. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0385-6>
- [47] Kurakov A.V., Semenova T.A. *Vidovoe raznoobrazie mikroskopicheskikh gribov v lesnykh ekosistemakh yuzhnoy taygi evropeyskoy chasti Rossii* [Species diversity of microscopic fungi in forest ecosystems of the southern taiga of the European part of Russia]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2016, v. 50, no. 6, pp. 367–378.
- [48] Kumar R., Kundu A., Dutta A. Chemo-profiling of bioactive metabolites from Chaetomium globosum for biocontrol of Sclerotinia rot and plant growth promotion. *Fungal Biology*, 2021, no. 125(3), pp. 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.07.009>
- [49] Sorokin N.D., Prokushkin S.G., Pashenova N.V., Evgrafova S.Yu., Grodnitskaya I.D., Polyakova G.G. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya rastitel'nykh ostatkov i dinamika ugleroda v boreal'nykh lesakh Sibiri* [Microbiological transformation of plant residues and carbon dynamics in the boreal forests of Siberia]. *Lesovedenie*, 2003, no. 5, pp. 18–24.
- [50] Movchan D.D., Velikanov L.L., Aleksandrova A.V. *Vliyaniye sploshnoy sanitarnoy rubki khvoynogo lesa na kompleks pochvennykh mikroorganizmov* [Influence of clear sanitary felling of coniferous forests on the complex of soil microorganisms]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mikologiya i fitopatologiya], 2005, no. 39(2), pp. 27–33.
- [51] Diversity and functioning of fungi associated with leaf litter decomposition in Asian forests of different climatic regions Takashi OSONO // *Fungal Ecology*, 2011, no. 4, pp. 375–38552.
- [52] Cao J., Pan H., Chen Z., Shang H. Bacterial, fungal and archaeal community assembly patterns and their determining factors across three subalpine stands at different stages of natural restoration after clear-cutting // *J. of Soils and Sediments*, 2020, no. 20(7), pp. 2794–2803.

This work was financially supported by the state task of the Institute of Physical Research of the Komi Scientific Centre of the Ural RAS Department 'Zonal regularities of dynamics of structure and productivity of primary and anthropogenically modified phytocenoses of forest and bog ecosystems of the European North-East of Russia' (No. 122040100031-8) and 'Cryogenesis as a factor of formation and evolution of soils of Arctic and boreal ecosystems of the European North-East in the conditions of modern anthropogenic impacts, global and regional climatic trends' (No. 122040600023-8).

Authors' information

Vinogradova Yuliya Alekseevna  — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, vinogradova@ib.komisc.ru

Kovaleva Vera Aleksandrova — Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, kovaleva@ib.komisc.ru

Pristova Tat'yana Aleksandrovna — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pristova@ib.komisc.ru

Received 30.01.2023.

Approved after review 21.06.2023.

Accepted for publication 05.03.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest