

Биоразнообразие грибов на местных и чужеродных видах древесных растений семейства Fabaceae на Среднем Урале

А. Г. ШИРЯЕВ¹, И. В. ЗМИТРОВИЧ^{1, 2}, П. ЧЖАО³, С. А. СЕНАТОР^{1,4}, Т. С. БУЛГАКОВ^{1, 5}

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202/3

²Ботанический институт РАН имени В. Л. Комарова
197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2

³Институт микробиологии, Китайская Академия Наук
100101, Пекин, район Чаоянг, № 1 Бейчен Западное шоссе
E-mail: zhaopeng@im.ac.cn

⁴Главный ботанический сад РАН имени Н. В. Цицина
127276, Москва, ул. Ботаническая, 4

⁵Федеральный исследовательский центр “Субтропический научный центр РАН”
354002, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28

Статья поступила 17.02.2023

После доработки 28.02.2023

Принята к печати 07.03.2023

АННОТАЦИЯ

Впервые выявлено видовое разнообразие дереворазрушающих грибов на древесных растениях семейства Fabaceae, произрастающих на Среднем Урале. В модельном регионе – Свердловская область, с 2002 по 2022 г. на древесных бобовых растениях (ДБР) выявлено 136 видов дереворазрушающих грибов: 127 видов Basidiomycota и 9 видов Ascomycota. Грибы обнаружены на 12 видах ДБР из 20. Наибольшее число видов грибов собрано на чужеродном *Caragana arborescens* (115 видов – 84,5 % от общего числа видов), тогда как на *C. decorticans*, *C. ussuriensis*, *Laburnum alpinum* – по два, и один – на *Genista florida*. На девяти чужеродных видах ДБР выявлено 122 вида грибов, что в 4,1 раза больше по сравнению с тремя местными видами. Только на *C. arborescens* обнаружено 85 видов грибов (62,5 %), четыре – на *Chamaecytisus ruthenicus* (2,9 %), три – на *Maackia amurensis* (2,2 %), по два – на *Genista tinctoria* и *Robinia pseudoacacia* (1,5 %) и один вид – на *Caragana ussuriensis* (0,7 %). На максимальном числе субстратов – семи видах древесных растений – развивается *Nectria cinnabarina*, на шести – *Xylodon sambuci*, на четырех – *Peniophora cinerea* и *Schizophyllum commune*. И наоборот, 69,8 % видов грибов найдено только на одном виде ДБР, а единичной находкой характеризуются 27,2 % видов. Впервые для Свердловской области указывается 14 видов грибов, из которых лишь два вида собраны в естественных лесах. С другой стороны, 12 видов выявлены в парках Екатеринбурга и лесополосах вдоль дорог, что может являться подтверждением чужеродной природы некоторых из них. С целью изучения широтно-зонального распределения видового богатства

© Ширяев А. Г., Змитрович И. В., Чжао П., Сенатор С. А., Булгаков Т. С., 2023

микобиоты ДБР использовалась группа афиллофороидных грибов как самая крупная (75 %) среди всех обнаруженных видов, и *Caragana arborescens* – как самый богатый и распространенный субстрат. Изменение разнообразия грибов изучено на меридиональной трансекте, протянувшейся на 800 км вдоль 60° в. д. – от средней тайги Свердловской области до степей Челябинской области (Россия) и Костанайской области (Казахстан). В каждой из пяти природно-климатических зон/подзон (а также в г. Екатеринбурге) исследовано по шесть площадок, площадь которых варьировала от 0,9 до 6,8 га. Надземная фитомасса *C. arborescens* оказалась максимальной в лесостепи (8,9–11,7 т/га), а минимальной – на северной и южной краях трансекты (2,4–5,8 т/га). Установлена положительная корреляция между надземной фитомассой растений с видовым богатством микобиоты, тогда как с климатическими параметрами связь отсутствует. В Екатеринбурге выявлены заметные отличия: фитомасса караганы здесь в 2 раза ниже по сравнению с лесостепью, однако видовое богатство грибов оказалось почти одинаковым с лесостепью. Близкий результат получен для α -разнообразия микобиоты (среднее число видов грибов на площадках и индекс Шеннона), которое возрастало от средней тайги к лесостепи и снижалось в степи. Индексы Уиттекера и Чекановского – Сьеренсена (β -разнообразии) увеличиваются от тайги к степи, что обусловлено сильной положительной связью разнообразия со среднегодовой температурой и осадками. На севере трансекты преобладают местные виды грибов, тогда как на юге и в г. Екатеринбурге высока роль южных и новых для региона таксонов. В связи с этим видовой состав микобиоты разделяется на два кластера – северный (таежный) и южный (лесостепной), включая г. Екатеринбург. По направлению к югу возрастает численность патогенных видов грибов, однако этот параметр не коррелирует с фитомассой *C. arborescens*. В посадках чужеродной для региона караганы древовидной число видов пороидных грибов оказалось близко к числу кортициидных – на локальном и региональном уровне, что отличается от картины, характерной для фитоценозов, образованных местными видами древесных растений. Также, по сравнению с естественными условиями, выявлено высокое видовое разнообразие фитопатогенных грибов. Полученные результаты могут быть использованы с целью оптимизации разработки концепции Зеленого каркаса г. Екатеринбурга, а также предотвращения ряда экологических проблем, возникающих в результате “скоропалительной” реализации стратегии развития города и окружающих территорий.

Ключевые слова: Россия, Казахстан, антропогенное воздействие, биогеография, инвазии, климат, фитопатология, экология.

ВВЕДЕНИЕ

Зеленые зоны городов Урала и городские леса выполняют важные средообразующие функции: они способствуют формированию благоприятных условий жизни и являются местами отдыха населения [Рысин, Рысин, 2012]. Многокилометровые искусственные лесополосы вдоль полей, автомобильных и железных дорог способствуют снижению скорости ветра и защите дорог от снежных заносов, а полезащитные – снегозадержанию (в зимний сезон) и защите от суховея (в летний сезон), сохраняя плодородие почв и повышая урожайность сельскохозяйственных культур [Бурнацкий, 1952; Shortt, Vamosi, 2012]. Городские насаждения древесных растений, как и лесополосы, – это искусственные сообщества, зачастую состоящие из интродуцированных (чужеродных) видов растений. Входя в состав экологического каркаса многих регионов, они являются исторически и генетически чуждыми ландшафту объектами, но необходимыми для его экологической оптимизации в условиях интенсивной хозяйственной деятельности [Сафонов и др., 2013].

Среди обширного спектра растений, используемых в городском озеленении и соз-

дании лесополос в различных регионах Урала, одно из важных мест занимают местные и чужеродные древесные бобовые растения (ДБР) – деревья и кустарники семейства Fabaceae (Leguminosae). Представители этого семейства играют важную роль в жизни людей: они издавна культивируются в качестве пищевых, медоносных, декоративных и кормовых растений, а также являются источником ценной древесины [Князев, 2014]. Многие представители Fabaceae уральской флоры являются декоративными растениями, заслуживающими широкого внедрения в цветоводческую практику [Меркер, 2005]. Благодаря симбиозу с азотфиксирующими бактериями, бобовые способны активно обогащать почву доступным для растений азотом [Shortt, Vamosi, 2012], потому даже редкие виды бобовых могут быть важным элементом устойчивости экосистем и поддержания биоразнообразия в биоценозах [Лацинский, Ревякина, 1986].

На Среднем Урале, в том числе в Свердловской области – одном из наиболее экономически развитых регионов России, уже с конца XIX в. предпринимались многократные попытки интродукции экзотических для региона ДБР [Говорухин, 1937; Меркер, 2005].

Однако суровый континентальный климат не способствовал успешной акклиматизации ДБР – многие подобные попытки оказывались неудачными: интродуценты гибли в морозные зимы [Меркер, 2009; Князев, 2014]. Тем не менее центральноазиатская карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), отличаясь устойчивостью к засухе, зимостойкостью и солестойкостью при общей нетребовательности к плодородию почв, приспособилась к местным климатическим условиям [Shortt, Vamosi, 2012]. Это предопределило ее широкое использование при создании лесополос вдоль автомобильных и железных дорог и сельскохозяйственных угодий с целью снижения скорости ветра и задержания снега [Меркер, 2005]. Также *C. arborescens* используется при закреплении склонов оврагов и рекультивации техногенных ландшафтов. Декоративность караганы древовидной, устойчивость к воздействию газов и тяжелых металлов, а также способность быстро восстанавливать листву после повреждения способствуют ее активному применению и в озеленении населенных пунктов [Бухарина и др., 2007; Копылова, 2017], тем более что *C. arborescens* не страдает от пыли, хорошо переносит интенсивную стрижку и является лекарственным растением [Бухарина и др., 2007; Shortt, Vamosi, 2012].

В связи с происходящим в последние десятилетия потеплением [Доклад..., 2020] климат Свердловской области становится более комфортным для ДБР-интродуцентов из более южных регионов. По этой причине неуклонно расширяется перечень интродуцированных и инвазивных видов растений, хотя, несомненно, основная часть видов ДБР в настоящее время по-прежнему способна выживать в зимний период исключительно рядом с человеком [Князев, 2014]. Рост разнообразия и фитомассы подобных чужеродных для региона ДБР является ведущим фактором для проникновения на Средний Урал новых видов грибов, которые могут вызывать различные болезни рассматриваемых растений [Shiryaev et al., 2022a].

В парках Екатеринбурга – административного центра и крупнейшего города Свердловской области, за 50 лет (1970–2020) фитомасса чужеродных древесных растений в парках города увеличилась многократно: восточноазиатских древесных интродуцентов – *Juglans*

mandshurica Maxim. и *Vitis amurensis* Rupr. – в 5–7 раз; североамериканских – *Acer negundo* L. и *Fraxinus pennsylvanica* Marshall – в 4–8 раз; европейских – *Quercus robur* L. и *Acer platanoides* L. – в 3–4 раза [Состояние..., 2019; Shiryaev et al., 2022a]. За этот период в Екатеринбурге на чужеродных видах древесных растений появилось не менее 60 новых видов фитопатогенных микромицетов и более 20 видов макромицетов [Shiryaev et al., 2010, 2021, 2022a, b; Ширяев и др., 2022; Bulgakov, Shiryaev, 2022]. Для ряда фитопатогенных грибов отмечено расширение круга растений-хозяев по сравнению с естественным ареалом [Shiryaev et al., 2021, 2022b]. Однако микобиота ДБР в Свердловской области специально не изучалась, поэтому были известны лишь единичные находки грибов, собранные с местных ДБР [Степанова, Сирко, 1970; Степанова, 1977] и на чужеродной караганы древовидной [Степанова, 1971; Shiryaev et al., 2010]. Своевременное выявление новых грибных фитопатогенов, появившихся в регионе благодаря массовому и неконтролируемому ввозу саженцев, и вызываемых ими болезней растений будет способствовать поддержанию биобезопасности естественных и антропогенных местообитаний Среднего Урала.

Данная работа содержит результаты исследований, направленных на выявление разнообразия дереворазрушающих грибов, развивающихся в Свердловской области на местных и чужеродных видах ДБР, а также установление факторов, определяющих пространственное распределение биоразнообразия грибов на модельном объекте – *Caragana arborescens* – как наиболее распространенном виде ДБР вдоль восточного макросклона Урала. Выдвинута и проверена гипотеза о положительной корреляции числа видов грибов (в том числе фитопатогенных) с биомассой ДБР.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследования

Свердловская область – крупнейший регион Среднего Урала (рис. 1). Город Екатеринбург (56°50' с. ш.; 60°35' в. д.; 280 м над ур. м.) – административный центр Свердловской области с населением 1,6 млн человек и площадью 1112 км², расположен на грани-

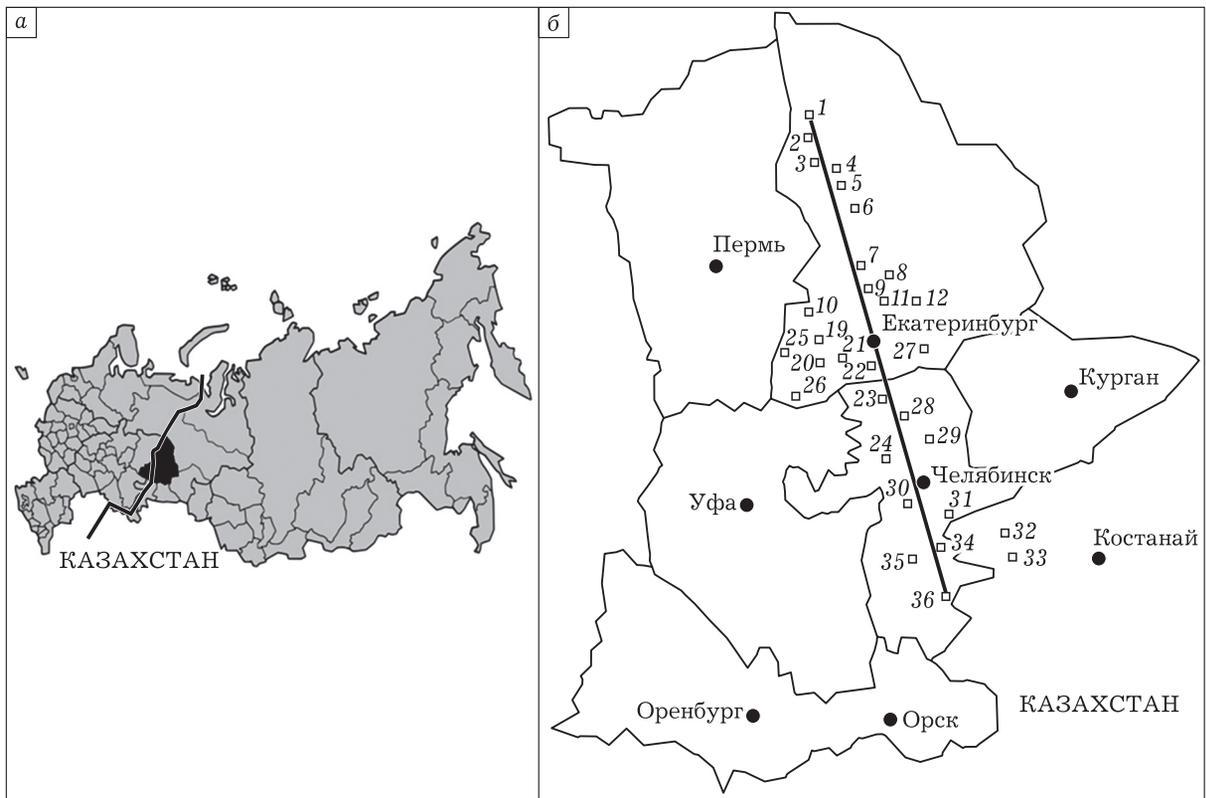


Рис. 1. Расположение Свердловской обл. Толстая линия – граница между Европой и Азией (а). Широтно-зональная трансекта вдоль 60° в. д., от средней тайги Свердловской обл. до степей Челябинской (Россия) и Костанайской (Казахстан) областей (б)

це Европы и Азии [Состояние..., 2019]. Среднегодовая температура в г. Екатеринбурге за последние десять лет колеблется в пределах 3,1–5,3 °С [Fick, Nijmans, 2017; ВНИИГМИ..., 2021]. Климат – континентальный с выраженной сезонностью. Среднемесячная температура июля 19,4 °С, абсолютный максимум 39,6 °С. Среднемесячная температура января –14,3 °С, абсолютный минимум –46,7 °С. Среднегодовое количество осадков в период с 2010 по 2020 г. 537 мм/год [ВНИИГМИ..., 2021].

На севере Свердловской обл., в зоне средней тайги, среднегодовая температура составляет 0,6 °С, тогда как на юге региона, в лесостепи и подтайге (смешанных хвойно-широколиственных лесах), достигает 3,7 °С [ВНИИГМИ..., 2021]. В равнинных частях севера региона широко распространены болота, а в горах – горные тундры и многолетняя мерзлота. В подтаежных лесах преобладают еловые, пихтовые и сосновые леса, в которых присутствуют широколиственные древесные растения (*Acer platanoides* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall.

и др.), а также *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L., *Salix* spp., *Sorbus aucuparia* L. и др. В лесостепной зоне, широко распространены березово-осиновые колки с подлеском из *T. cordata*, *B. pendula*, *P. tremula*, *S. aucuparia*, *Crataegus sanguinea* Pall. и др. [Меркер, 2009].

Древесные растения семейства Fabaceae в Свердловской области

Из древесных растений семейства Fabaceae в данной работе рассматривались деревья и кустарники (фанерофиты по системе К. Раункиера, включая нанофанерофиты) [Raunkiaer, 1937], тогда как хамефиты и гемикриптофиты, например представители родов *Astragalus* L., *Hedysarum* L., *Oxytropis* DC. и т. п., исключены из работы.

В естественных и антропогенных условиях открытого грунта Свердловской обл. в настоящее время произрастает 20 видов ДБР. Из них три вида – местные растения: карагана кустарничковая (*Caragana frutex* (L.) K. Koch.), ракитничек русский (*Chamaecytisus ruthenicus*

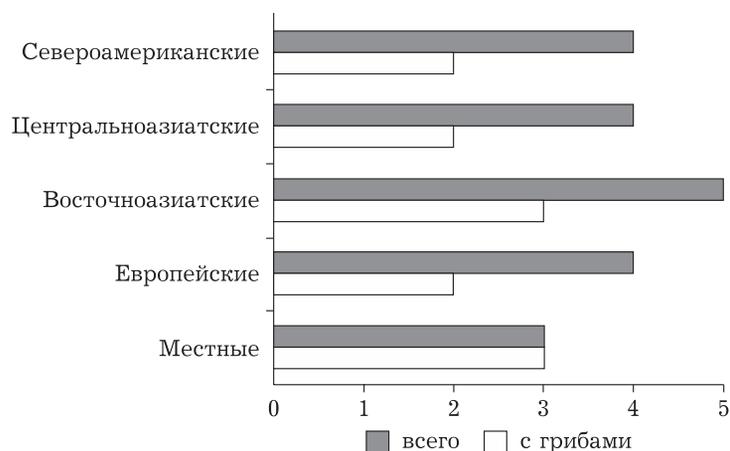


Рис. 2. Число видов древесных бобовых растений в Свердловской обл. из различных биогеографических регионов. Дано общее число видов растений и число видов, на которых выявлены грибы

(Fisch. ex Vol.) Klask.) и дрок красильный (*Genista tinctoria* L.). Это невысокие кустарники высотой 0,3–1,5 м, встречающиеся в степных или лесных биотопах на открытых участках в сосновых и лиственных лесах и лугах, от альпийской границы леса и средней тайги до лесостепи. 17 чужеродных видов интродуцированы из других биогеографических регионов (рис. 2): четыре вида имеют естественные ареалы в Южной Европе: *Genista florida* L., *Laburnum alpinum* (Mill.) Bercht. & J. Presl, *L. anagyroides* Medik., *L. watereri* (G. Kirchn.) Dippel [= *L. alpinum* × *L. anagyroides*]; четыре вида – в Центральной Азии (включая горы Южной Сибири): *Caragana arborescens* Lam., *C. decorticans* Hemsl., *C. spinosa* (L.) Vahl ex Hornem., *C. turkestanica* Kom.; пять видов – в Восточной Азии: *Caragana boisii* C. K. Schneid., *C. microphylla* Lam., *C. ussuriensis* (Regel.) Pojark., *Lespedeza bicolor* Turcz., *Maackia amurensis* Rupr.; четыре вида – в Северной Америке: *Amorpha fruticosa* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Gymnocladus dioica* (L.) K. Kotch., *Robinia pseudoacacia* L. Все интродуцированные виды ДБР произрастают исключительно в ботанических садах и парках Екатеринбурга, за исключением *C. arborescens*, широко распространенного в Свердловской обл. в парках и лесополосах.

Широтно-зональная (меридиональная) трансекта с *Caragana arborescens*

Caragana arborescens – кустарник высотой до 6 м. Его естественный ареал расположен в Восточном Казахстане и Киргизии, горах

Южной Сибири (Алтай, Саяны), на северо-западе и северо-востоке Китая и в Монголии [Shortt, Vamosi, 2012]. Вторичный ареал караганы древовидной охватывает почти всю территорию лесной зоны России [Князев, 2014]. На Урале акклиматизация караганы древовидной началась в первом десятилетии XX в., а массовые посадки, некоторые фрагменты которых сохранились до настоящего времени, сделаны в 1950-е годы [Меркер, 2009]. *C. arborescens* широко распространена в городах Урала и преобладает в лесополосах вдоль автомобильных, железнодорожных дорог и сельскохозяйственных полей от средней тайги до степи.

В лесополосах с караганой древовидной набор сопутствующих древесных растений существенно меняется с широтой: в степи вместе высаживались *Elaeagnus angustifolia* L. и *Prunus spinosa* L.; в лесостепи – *Populus balsamifera* L. s. l., *Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh., *Acer tataricum* L., *Syringa vulgaris* L., *S. josikaea* J. Jacq. ex Rchb., *Lonicera tatarica* L.; в подтайге – *Acer negundo* L., *Malus sylvestris* Mill., *P. balsamifera*, *Syringa* spp.; в южной тайге – *Pinus sylvestris* L. и *A. negundo*; в средней тайге – *Picea obovata* Ledeb., *P. sylvestris*, *Salix caprea* L. и *Prunus padus* L. В центральной части Екатеринбурга широко распространены чистые посадки *C. arborescens* или смешанные с участием *A. negundo*, *P. balsamifera*, *Lonicera tatarica* и *Syringa* spp. Названия видов растений приводятся согласно базе данных World Flora Online [2023].

В течение 20 лет (2002–2022) изучали видовое богатство доразрушающих гри-

бов на *S. arborescens* на широтно-зональной (меридиональной) трансекте длиной 800 км, протянувшейся по восточному макросклону Уральско-Новоземельской горной страны

[Физико-географическое районирование..., 1966] вдоль 60° в. д. (см. рис. 1, табл. 1). Микобиота караганы древовидной исследовалась на 36 площадках, от средней тайги Свердлов-

Т а б л и ц а 1

Расположение 36 исследованных точек в шести широтных подразделениях, расположенных вдоль меридиональной трансекты

Широтное подразделение	№	Название точки	Координаты	Площадь, га	Видов грибов, шт.
Средняя тайга	1	окр. г. Североуральска, СО	60°09' с. ш., 60°00' в. д.	2,9	8
	2	окр. пос. Козий, СО	59°59' с. ш., 60°04' в. д.	4	9
	3	окр. г. Карпинск, СО	59°46' с. ш., 60°03' в. д.	3,3	10
	4	окр. г. Серов, СО	59°37' с. ш., 60°38' в. д.	3,8	10
	5	окр. пос. Лобва, СО	59°09' с. ш., 60°27' в. д.	4,4	11
	6	окр. г. Верхотурье, СО	58°52' с. ш., 60°41' в. д.	5,7	12
Южная тайга	7	окр. г. Нижний Тагил, СО	57°58' с. ш., 59°51' в. д.	3,9	9
	8	окр. пос. Липовка, СО	57°27' с. ш., 61°10' в. д.	3,6	10
	9	окр. г. Новоуральска, СО	57°16' с. ш., 60°11' в. д.	5,6	13
	10	окр. дер. Колпаковка, СО	57°27' с. ш., 58°49' в. д.	5,2	11
	11	окр. пос. Лосиный, СО	57°08' с. ш., 61°04' в. д.	3,6	10
	12	окр. пос. Рефтинский, СО	57°05' с. ш., 61°40' в. д.	3,7	10
Екатеринбург	13	пр. Космонавтов, СО	56°55' с. ш., 60°36' в. д.	1,8	10
	14	Дендрарий на Первомайской, СО	56°50' с. ш., 60°39' в. д.	1,5	10
	15	ЦПКиО им. В. В. Маяковского, СО	56°48' с. ш., 60°38' в. д.	2,7	10
	16	Парк 50-летия СССР, СО	56°49' с. ш., 60°37' в. д.	3,2	11
	17	Сад лечебных культур им. проф. Л. И. Вигорова, СО	56°49' с. ш., 60°39' в. д.	3,2	12
	18	Ботанический сад УрО РАН, СО	56°47' с. ш., 60°36' в. д.	4,8	15
Подтайга	19	окр. пос. Кленовское, СО	56°47' с. ш., 58°36' в. д.	2,2	10
	20	окр. пос. Половинка, СО	56°32' с. ш., 59°13' в. д.	3,7	11
	21	окр. дер. Лебянка, СО	56°40' с. ш., 59°51' в. д.	4	12
	22	окр. г. Верхняя Сысерть, СО	56°26' с. ш., 60°46' в. д.	5,3	12
	23	окр. г. Верхний Уфалей, ЧО	56°01' с. ш., 60°17' в. д.	4,5	13
	24	окр. пос. Селянкино, ЧО	55°13' с. ш., 60°11' в. д.	6	16
Лесостепь	25	окр. г. Красноуфимск, СО	56°43' с. ш., 57°42' в. д.	4,1	14
	26	окр. пос. Большая Тавра, СО	56°09' с. ш., 58°00' в. д.	3,6	15
	27	окр. пос. Покровское, СО	56°58' с. ш., 61°37' в. д.	6,8	20
	28	окр. пос. Малый Куяш, ЧО	55°51' с. ш., 61°10' в. д.	4,0	18
	29	окр. пос. Муслимово, ЧО	55°35' с. ш., 61°36' в. д.	3,9	17
	30	окр. пос. Кукушка, ЧО	54°32' с. ш., 60°30' в. д.	5,5	17
Степь	31	окр. г. Троицк, ЧО	54°06' с. ш., 61°28' в. д.	1,8	9
	32	окр. пос. Карабалык, КЗ	53°44' с. ш., 62°02' в. д.	1,5	8
	33	окр. пос. Славенка, КЗ	53°19' с. ш., 62°02' в. д.	2,3	9
	34	окр. пос. Варна, ЧО	53°23' с. ш., 60°58' в. д.	2,4	11
	35	окр. пос. Париж, ЧО	53°18' с. ш., 60°06' в. д.	1,8	10
	36	окр. пос. Карталы, ЧО	53°03' с. ш., 60°38' в. д.	0,9	6

П р и м е ч а н и е. СО – Свердловская обл., Россия; ЧО – Челябинская обл., Россия; КЗ – Костанайская обл., Казахстан.

ской обл. (город Североуральск, 60°09' с. ш.) до степной зоны Казахстана (Костанайская обл.) и Челябинской обл. России (пос. Карталы, 53°03' с. ш.). Город Екатеринбург расположен на границе южной тайги и подтайги, т. е. в середине изучаемой широтно-зональной трансекты.

В каждом из пяти широтных подразделений (природно-климатических зонах/подзонах), а также в г. Екатеринбурге изучено по шесть площадок, размер которых варьирует от 0,9 до 6,8 га. Работы проведены только в пределах лесополос или городских посадок. В Свердловской обл. расположено 25 площадок, девять – в Челябинской обл., две – в Костанайской обл. Казахстана (см. рис. 1). Исследования на площадках проведены от 2 до 5 раз: в Свердловской обл. в 2005–2022 гг., в Челябинской обл. в 2006–2012 гг., в Костанайской обл. в 2002–2009 гг.

Под надземной фитомассой понимаем вес сухих живых (биомасса) и отмерших (опад), но сохранивших анатомическую структуру растений к моменту учета. Надземную фитомассу караганы древовидной учитывали в октябре 2022 г. после опадения листьев. Исследован материал из трех точек размером 10 × 10 м с четырех площадок в каждом широтном подразделении и г. Екатеринбурге (72 точки в сумме). Срезанную фитомассу высушивали при 105 °С до абсолютно сухого веса и взвешивали [Методы..., 2002].

При анализе использован индекс аридности по Де Мартонну [Быков, 1983], характеризующий степень сухости (аридности) климата, который вычисляется как отношение

$$R/(t + 10),$$

где R – годовая сумма осадков, см; t – средняя годовая температура, °С. Более аридный климат имеет меньший индекс.

Исследование микобиоты

Учитывались плодовые тела грибов, выявленные только на древесине (сухостояной, валяжной, живой и мертвой). Виды грибов, формирующие плодовые тела на почве, листьях и подстилке, исключены из исследования. При установлении числа видов на площадке, среднего числа видов и т. д., под учетной единицей гриба, образцом (шт.) понимается один

вид, заселяющий дискретную единицу субстрата (ветка, ствол) [Змитрович и др., 2018]. Оценивали видовую насыщенность микобиоты на единицу площади как среднее число видов на гектар (видов/га).

В списке видов грибов (табл. 2) даны следующие обозначения. Общее число образцов грибов (номер площадки, в которой найден образец: число образцов и субстрат). Например, 1(20:1Chr) – значит, что в данном широтном подразделении найден один образец (на площадке № 20 выявлен один образец на *Chamaecytisus ruthenicus*). Новые для Свердловской обл. виды грибов отмечены звездочкой (*). Названия видов грибов приводятся согласно базе данных IndexFungorum [2023].

Статистический анализ

При построении дендрограммы сходства видового состава грибов на различных видах ДБР, а также отдельных широтных подразделений (природно-климатические зоны/подзоны и г. Екатеринбург) применены метод Уорда и коэффициент корреляции Пирсона. Для установления линейной корреляции между различными параметрами микобиоты, климата и фитомассы применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s), для оценки различий между двумя независимыми выборками с целью сравнения уровней видового богатства между чужеродными и местными видами ДБР— U -критерий Манна – Уитни.

Альфа-разнообразие микобиоты определялось как среднее число видов грибов на шести площадках в пределах одного широтного подразделения, а также по величине индекса Шеннона. Бета-разнообразие оценивалось как средний показатель индекса Чекановского – Сьеренсена (C_s) между шестью площадками в пределах одного широтного подразделения, а также Индекс Уиттекера [Методы..., 2002]:

$$\beta_w = S/\alpha - 1,$$

где S – общее число видов; α – среднее число видов на площадках.

Для оценки ожидаемого числа видов на трансекте использовали подход, основанный на алгоритме генерации выборки [Colwell et al., 2012]. В его основе лежит конструирование

Пространственное распределение видового состава дереворазрушающих грибов на древесных бобовых растениях

Вид	Средняя тайга	Южная тайга	Екатеринбург	Подтайга	Лесостепь	Степь
1	2	3	4	5	6	7
BASIDIOMYCOTA						
<i>Афиллофороидные грибы</i>						
<i>Amphinema byssoides</i> (Pers.) J. Erikss			2(17:1Ma, 16:1Lb)		1(25:1Ca)	
<i>Antrodia albida</i> (Fr.) Donk			1(17:1Ma)			
<i>Antrodiella faginea</i> Vampola & Pouzar			2(15:1Ca; 1Ca)			
<i>A. leucoxantha</i> (Bres.) Miettinen & Niemelä					1(25:1Gt)	1(31:1Gt)
<i>A. romellii</i> (Donk) Niemelä			2(14:1Ca; 15:1Ca)			
<i>A. serpula</i> (P. Karst.) Spirin & Niemelä	1(5:1Ca)	2(9:1Ca; 11:1Ca)	1(18:1Ca)			
<i>Athelia epiphylla</i> Pers.				1(21:1Chr)	1(27:1Cf)	
<i>Baltazaria galactina</i> (Fr.) Leal-Dutra, Dentinger & G. W. Griff.	2(3:1Ca; 5:1Ca)	1(10:1Ca)		3(21:2Ca; 23:2Ca)		
<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) P. Karst.	4(1:1Ca; 2: 1Ca; 4: 1Ca; 6: 1Ca)	3(7:1Ca; 11:1Ca; 12:1Ca)	6(15:2Ca; 16:3Ca; 17:1Rp)	2(19:1Ca; 24:1Ca)	4(25:2Ca; 29:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Byssocorticium atrovirens</i> (Fr.) Bondartsev & Singer					2(25:1Ca; 27:1Ca)	
<i>Ceraceomyces microsporus</i> K. H. Larss.			1(18:1Ca)			
<i>Ceriporia viridans</i> (Berk. & Broome) Donk			2(15:1Ca; 18:1Ca)			
<i>Cerioporus squamosus</i> (Huds.) Quél.		1(9:1Ca)	3(13:2Ca; 17:1Ca)	2(19:1Ca; 24:1Ca)	2(26:1Ca; 30:1Ca)	2(32:1Ca; 34:1Ca)
<i>C. varius</i> (Pers.) Zmitr. & Kovalenko					3(27:2Ca; 29:1Ca)	
<i>Cerrena unicolor</i> (Bull.) Murrill		3(7:1Ca; 9:1Ca; 12:1Ca)	4(13:1Ca; 15:1Ca; 17:1Ma; 17:1Rp)	3(20:2Ca; 23:1Ca)	2(25:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Chondrostereum purpureum</i> (Pers.) Pouzar				2(21:1Chr; 24:1Chr)		
<i>Clavulina cinerea</i> (Bull.) J. Schröt.	2(3:1Ca; 6:1Ca)					
<i>Cyanosporus caesioides</i> (Schrad.) McGinty			2(18:2Ca)	1(22:1Ca)	2(28:1Ca; 30:1Ca)	1(34:1Ca)
<i>Cylindrobasidium laeve</i> (Pers.) Chamuris			1(15:1Af)		1(28:1Cf)	2(33:1Ca; 35:1Ca)
<i>Daedalea xantha</i> (Fr.) A. Roy & A. B. De					2(27:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Erythricium laetum</i> (P. Karst.) J. Erikss. & Hjortstam					2(27:1Chr, 28:1Gt)	
* <i>Fibulomyces mutabilis</i> (Bres.) Jülich				2(22:1Ca, 1Chr)		
<i>Fomitoporia punctata</i> (P. Karst.) Murrill				2(21:1Ca; 23:1Ca)	1(25:1Ca)	2(32:2Ca)
<i>F. robusta</i> (P. Karst.) Fiasson & Niemelä					1(26:1Ca)	3(33:1Ca; 35:2Ca)
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.		2(7:1Ca; 12:1Ca)			1(27:1Ca)	2(33:1Ca)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Fuscoporia contigua</i> (Pers.) G. Cunn.				1(23:1Ca)	2(26:1Ca; 29:1Ca)	3(31:2Ca; 34:1Ca)
<i>F. ferruginosa</i> (Schrad.) Murrill					1(26:1Ca)	2(32:1Ca; 35:1Ca)
<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.			1(18:1Ca)			1(31:1Ca)
<i>Hapalopilus rutilans</i> (Pers.) Murrill	2(2:1Ca; 4:1Ca)		2(18:2Ca)		2(25:1Ca; 30:1Ca)	1(33:1Ca)
<i>Hymenochaete cinnamomea</i> (Pers.) Bres.				1(22:1Ca)	1(28:1Ca)	1(35:1Ca)
* <i>Hyphoderma transiens</i> (Bres.) Parmasto			2(16:1Ca; 17:1Ma)		1(27:1Ca)	
<i>Hypochnicium bombycinum</i> (Sommerf.) J. Erikss.	1(1:1Ca)	1(9:1Ca)				
<i>Hypochnicium</i> sp. nova ined.					1(25:1Ca)	
<i>Inonotus hispidus</i> (Bull.) P. Karst.			2(15:2Ca)			2(32:2Ca)
<i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr.	4(2:1Ca; 5:2Ca; 6:1Ca)	7(7:1Ca; 8:1Ca; 9:3Ca; 11:2Ca)	12(13:2Ca; 14:3Ca; 15:4Ca; 16:3Ca)	8(19:2Ca; 20:1Ca; 21:3Ca; 23:2Ca)	11(25:4Ca; 27:3Ca; 29:4Ca)	6(33:2Ca; 34:3Ca; 35:1Ca)
<i>Junghuhmia nitida</i> (Pers.) Ryvarden	2(1:1Ca; 4:1Ca)	2(11:2Ca)				
* <i>Lachnella alboviolascens</i> (Alb. & Schwein.) Fr.			3(16:3Ca)			
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.) Murrill	1(3:1Ca)		1(18:1Ca)		2(27:1Ca; 30:1Ca)	2(35:2Ca)
* <i>Lentaria surculus</i> (Berk.) Corner					1(27:1Ca)	
<i>Leucogyrophana mollusca</i> (Fr.) Pouzar			2(18:2Ca)	2(21:1Ca; 24:1Ca)	1(26:1Ca)	
<i>Lyomyces crustosus</i> (Pers.) P. Karst.					1(25:1Ca)	2(32:1Ca, 1Cf)
<i>L. erastii</i> (Saaren. & Kotir.) Hjortstam & Ryvarden			4(15:2Ca; 18:1Gf; 15:1Gt)		2(28:1Ca, 1Chr)	2(34:1Ca; 35:1Ca)
<i>L. pruni</i> (Lasch) Riebesehl & Langer					2(26:1Ca; 29:1Ca)	2(33:2Ca)
<i>Mutatoderma mutatum</i> (Peck) C. E. Gómez					2(25:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Neofavolus alveolaris</i> (DC.) Sotome & T. Hatt.	2(2:1Ca; 6:1Ca)	2(8:2Ca)	5(15:3Ca; 16:2Ca)	7(19:2Ca; 20:1Ca; 21:2Ca; 23:1Ca; 24:1Ca)	13(25:4Ca; 26:5Ca; 28:2Ca; 30:2Ca)	19(31:4Ca; 32:5Ca; 34:6Ca; 35:4Ca)
* <i>Odontia calcicola</i> (Bourdot & Galzin) Köljalg				2(22:1Ca; 24:1Ca)		
<i>Oxyporus corticola</i> (Fr.) Ryvarden			2(18:2Ca)		2(26:2Ca)	1(31:1Ca)
<i>O. latemarginatus</i> (Durieu & Mont.) Donk				1(21:1Ca)		2(33:1Ca; 35:1Ca)
<i>Peniophora cinerea</i> (Pers.) Cooke			3(16:2Ca; 14:1Ma)	4(20:1Ca; 23:2Ca, 1Chr)	5(25:2Ca; 28:2Ca; 30:1Ca)	4(32:2Ca; 34:1Ca; 36:1Cf)
<i>P. incarnata</i> (Pers.) P. Karst.	3(3:1Ca; 5:1Ca; 6:1Ca)	2(9:2Ca)				
<i>P. limitata</i> (Chaillet ex Fr.) Cooke			2(15:2Ca)	1(22:1Ca)		2(35:1Ca; 36:1Ca)
<i>P. lycii</i> (Pers.) Höhn. & Litsch.			1(17:1Rp)		2(26:1Gt; 28:1Ca)	2(33:1Ca; 36:1Ca)
<i>P. violaceolivida</i> (Sommerf.) Masee				3(20:1Ca; 23:2Chr)	1(28:1Ca)	

1	2	3	4	5	6	7
<i>Perenniporia</i> sp. nova ined.					1(26:1Ca)	
<i>Phaeoclavulina flaccida</i> (Fr.) Giachini	1(4:1Ca)	1(12:1Ca)				
<i>Phanerochaete alnea</i> (Fr.) P. Karst.				1(20:1Chr)		
<i>Ph. laevis</i> (Fr.) J. Erikss. & Ryvarden			1(18:1Ca)	1(21:1Ca)		1(31:1Ca)
<i>Phylloporia</i> sp. nova ined.					1(26:1Ca)	
<i>Piloderma byssinum</i> (P. Karst.) Jülich				2(20:1Ca; 24:1Chr)		
<i>Podofomes mollis</i> (Sommerf.) Gorjón	1(3:1Ca)	2(10:2Ca)			1(28:1Ca)	
<i>P. stereoides</i> (Fr.) Gorjón						2(31:1Ca; 35:1Ca)
<i>Porostereum spadiceum</i> (Pers.) Hjortstam & Ryvarden			2(16:2Ca)	3(19:2Ca; 23:1Ca)	2(29:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Pseudotomentella tristis</i> (P. Karst.) M. J. Larsen					2(26:1Ca; 29:1Ca)	
<i>Pterula subulata</i> Fr.		2(9:2Ca)				
<i>Pycnoporellus fulgens</i> (Fr.) Donk					1(27:1Ca)	
<i>Raduliporus aneirinus</i> (Sommerf.) Spirin & Zmitr.					3(25:2Ca; 30:1Ca)	
<i>Radulomyces confluens</i> (Fr.) M. P. Christ.	2(4:1Ca; 6:1Ca)	3(8:2Ca; 10:1Ca)				
<i>R. rickii</i> (Bres.) M. P. Christ.			4(13:1Ca; 15:3Ca)	2(21:1Ca; 24:1Ca)	2(27:1Ca; 30:1Ca)	
<i>Rigidoporus sanguinolentus</i> (Alb. & Schwein.) Donk				2(22:1Ca; 24:1Ca)	1(28:1Ca)	
* <i>Sanguangporus</i> cf. <i>baumii</i> (Pilát) L. W. Zhou & Y.C. Dai					1(27:1Ca)	
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	3(1:1Ca; 5:1Ca; 6:1Ca)	4(7:2Ca; 9:2Ca)	20(13:4Ca; 14:5Ca; 15:4Ca; 16:4Ca, 1La; 17:1Ma, 1Lb)	5(19:1Ca; 20:2Ca; 22:1Ca; 24:1Ca)	5(25:2Ca; 27:1Ca; 29:2Ca)	6(31:2Ca; 34:2Ca; 35:2Ca)
<i>Schizopora paradoxa</i> (Schrad.) Donk			4(14:2Ca; 16:1Cd, 1Ca)		4(26:2Ca; 29:1Ca; 30:1Ca)	3(32:2Ca; 35:1Ca)
<i>Scopuloides hydnoides</i> (Cooke & Masse) Hjortstam & Ryvarden					3(27:2Ca; 29:1Ca)	
<i>Sertulicium niveocremaeum</i> (Höhn. & Litsch.) Spirin & K. H. Larss.				2(22:1Ca, 1Ca)	1(26:1Ca)	2(32:2Ca)
<i>Sistotrema muscicola</i> (Pers.) S. Lundell	2(2:1Ca; 6:1Ca)	3(10:3Ca)				
* <i>S. octosporum</i> (J. Schröt. ex Höhn. & Litsch.) Hallenb.			1(17:1Rp)	2(23:1Ca, 1Chr)		
<i>Skeletocutis nivea</i> (Jungh.) Jean Keller		1(12:1Ca)	3(18:3Ca)		2(26:1Ca; 30:1Ca)	
<i>S. bourdotii</i> Saliba & A. David			2(16:2Ca)	3(20:2Ca; 24:1Ca)	2(25:1Ca; 30:1Ca)	2(33:1Ca; 35:1Ca)
<i>S. fimbriatum</i> (Pers.) J. Erikss.	18(1:3Ca; 3:2Ca; 4:4Ca; 5:4Ca; 6:5Ca)	9(7:1Ca; 8:2Ca; 9:1Ca; 10:2Ca; 11:3Ca)	5(13:1Ca; 14:2Ca; 17:2Ca)	4(19:1Ca; 21:1Ca; 24:1Ca)	3(27:1Ca; 29:1Ca; 30:1Ca)	3(31:2Ca; 34:1Ca)
<i>S. laeticolor</i> (Berk. & M. A. Curtis) Banker			3(13:2Ca; 18:1Ca)	2(22:1Ca; 1Ca)		
<i>S. ochraceum</i> (Pers. ex J. F. Gmel.) Gray		5(8:2Ca; 9:2Ca; 10:1Ca)	4(14:1Ca; 16:3Ca)		4(26:1Ca; 29:2Ca; 30:1Ca)	

1	2	3	4	5	6	7
<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	2(2:1Ca; 5:1Ca)	3(7:3Ca)	3(13:2Ca; 17:1Rp)			
<i>S. subtomentosum</i> Pouzar			2(16:2Ca)		1(28:1Ca)	
<i>Subulicystidium longisporum</i> (Pat.) Parmasto			1(18:1Ca)	3(20:2Ca; 24:1Chr)		
<i>Tomentella cinerascens</i> (P. Karst.) Höhn. & Litsch.	1(4:1Ca)	3(9:3Ca)				
<i>T. botryoides</i> (Schwein.) Bourdot & Galzin				2(23:1Ca; 24:1Chr)	2(25:1Ca; 30:1Ca)	1(32:1Ca)
<i>T. bryophila</i> (Pers.) M. J. Larsen		3(8:1Ca; 11:2Ca)			1(26:1Ca)	
<i>T. fibrosa</i> (Berk. & M. A. Curtis) Köljalg				1(21:1Ca)		1(31:1Ca)
<i>T. stiposa</i> (Link) Stalpers				2(22:1Ca, 1Chr)		
<i>Trametes hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd			9(13:3Ca; 14:2Ca; 16:4Ca)	3(20:1Ca; 23:2Ca)		5(31:2Ca; 34:2Ca; 36:1Ca)
<i>T. ochracea</i> (Pers.) Gilb. & Ryvarden			3(14:1Ca; 18:2Ca)	4(19:2Ca; 22:2Ca)	4(26:1Ca; 28:2Ca; 30:1Ca)	3(33:2Ca; 35:1Ca)
<i>T. versicolor</i> (L.) Lloyd	3(1:1Ca; 5:1Ca; 6:1Ca)	3(7:1Ca; 10:2Ca)	2(17:1Ca, 1Ma)			
<i>Trechispora cohaerens</i> (Schwein.) Jülich & Stalpers					2(27:1Ca; 29:1Ca)	
<i>T. farinacea</i> (Pers.) Liberta				2(22:2Ca)		1(33:1Cf)
<i>T. mollusca</i> (Pers.) Liberta	3(2:1Ca; 3:1Ca; 6:1Ca)	2(9:2Ca)	2(14:1Ma; 16:1Ca)			
<i>Typhula micans</i> (Pers.) Berthier	2(4:1Ca; 5:3Ca)	2(12:2Ca)	2(17:1Rp, 1Lb)	3(19:2Ca; 23:1Ca)	3(27:1Ca; 28:1Ca)	2(31:1Ca; 36:1Ca)
<i>T. spathulata</i> (Corner) Berthier		2(11: 2Chr)	1(18:1Chr)	2(21:2Chr)		
* <i>Xylodon borealis</i> (Kotir. & Saaren.) Hjortstam & Ryvarden		1(12:1Ca)				
<i>X. brevisetus</i> (P. Karst.) Hjortstam & Ryvarden					2(27:1Ca; 30:1Ca)	
<i>X. flaviporus</i> (Berk. & M. A. Curtis ex Cooke) Riebesehl & Langer	3(3:1Ca; 4:2Ca)	3(8:1Ca; 10:1Ca; 12:1Ca)	2(18:1Cu, 1Af)	4(20:1Ca; 22:3Ca)	2(26:1Ca; 28:1Ca)	2(36:1Ca; 35:1Ca)
<i>X. nesporii</i> (Bres.) Hjortstam & Ryvarden					3(27:2Ca; 29:1Ca)	
<i>X. sambuci</i> (Pers.) Tura, Zmitr., Wasser & Spirin	12(1:1Ca; 2:1Ca; 3:3Ca; 4:2Ca; 5:3Ca; 6:2Ca)	14(7:2Ca; 8:1Gt; 9:3Ca; 10:3Ca; 11:2Ca; 12:3Ca)	15(13:3Ca; 14:1Rp, 2Ca; 16:1Cu, 3Ca; 18:1Af, 4Ca)	16(19:3Ca, 1Gt; 20:4Ca; 22:6Ca; 23:2Ca)	12(25:3Ca, :1Cf; 26:4Ca; 27:3Ca; 28:2Ca)	15(31:3Ca, 1Cf; 33:3Ca; 34:4Ca; 35:4Ca)

Агарикоидные грибы

<i>Coprinopsis atramentaria</i> (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo	1(18:1Cu)
<i>Crepidotus calolepis</i> (Fr.) P. Karst.	1(18:1Ca)
<i>C. caspari</i> Velen.	1(18:1Ca)
<i>C. subverrucisporus</i> Pilát	1(18:1Ca)
<i>Flammulina velutipes</i> (Curtis) Singer	1(18:1Ca)
<i>Galerina marginata</i> (Batsch) Kühner	1(18:1Ca)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Gymnopilus junonius</i> (Fr.) P. D. Orton			1(18:1Ca)			
<i>Hemimycena</i> sp.			1(18:1Ca)			
<i>Hypholoma lateritium</i> (Schaeff.) P. Kumm.					1(27:1Ca)	
<i>Megacollybia platyphylla</i> (Pers.) Kotl. & Pouzar			1(18:1Ca)			
<i>Mycena abramsii</i> (Murrill) Murrill			1(18:1Ca)			
<i>M. galericulata</i> (Scop.) Gray			1(14:1Ma)			
<i>Pholiota limonella</i> (Peck) Sacc.			1(18:1Ca)			
* <i>Phloeomana minutula</i> (Sacc.) Redhead			1(18:1Ca)			
<i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quél.	1(5:1Ca)	2(8:1Ca; 12:1Ca)	5(13:1Ca; 15:2Ca; 18:2Ca)	9(20:3Ca; 22:4Ca; 24:2Ca)	11(25:3Ca; 26:3Ca; 27:2Ca; 28:2Ca; 30:1Ca)	4(31:2Ca; 32:1Ca; 35:1Ca)
<i>Pluteus salicinus</i> (Pers.) P. Kumm.			1(18:1Ca)			
* <i>Simocybe haustellaris</i> (Fr.) Watling				1(22:1Ca)		
<i>S. sumptuosa</i> (P. D. Orton) Singer			1(18:1Ca)			
Гастероидные и гетеробазидиальные грибы						
<i>Apioperdon pyriforme</i> (Schaeff.) Vizzini		1(10:1Ca)		1(19:1Ca)		
<i>Crucibulum laeve</i> (Huds.) Kambly	1(2:1Ca)					
<i>Cyathus striatus</i> Willd.		1(8:1Ca)	1(18:1Ma)			
<i>Dacrymyces lacrymalis</i> (Pers.) Nees		1(11:1Ca)				
<i>Exidia cartilaginea</i> S. Lundell & Neuhoff			1(17:1Ma)			
<i>E. nigricans</i> (With.) P. Roberts			2(18:1La; 17:1Rp)		1(26:1Ca)	1(31:1Ca)
<i>Tremella mesenterica</i> (Schaeff.) Pers.				1(21:1Ca)		
ASCOMYCOTA						
* <i>Camarosporidiella mackenziei</i> Wanas., Bulgakov & K. D. Hyde			1(17:1Ca)		1(25:1Ca)	
* <i>Camarosporidiella robinicola</i> (Wijayaw., Camporesi & K. D. Hyde) Wijayaw., Wanas. & K. D. Hyde			1(17:1Rp)			
<i>Camarosporidiella caraganicola</i> (Phukhams., Bulgakov & K. D. Hyde) Phukhams., Wanas. & K. D. Hyde					1(25:1Chr)	
* <i>Diaporthe caraganae</i> Jacz.			1(17:1Ca)		1(25:1Ca)	
* <i>Diaporthe oncostoma</i> (Duby) Fuckel			1(17:1Rp)			
* <i>Keissleriella</i> cf. <i>genistae</i> (G. Winter) E. Müll.			1(18:1Gt)			
<i>Nectria cinnabarina</i> (Tode) Fr.	2(1:2Ca)	3(8:1Ca; 10:1Ca; 11:1Ca)	6(13:1Ca; 14:1Chr, 1Rp; 17:1Ma; 18:1La, 1Af)	3(19:1Ca; 20:2Ca)	2(25:1Ca; 27:1Cf)	1(35:1Ca)

1	2	3	4	5	6	7
* <i>Stromatonectria caraganae</i> (Höhn.) Jaklitsch & Voglmayr			1(15:1Ca)			
<i>Xylaria hypoxylon</i> (L.) Grev.				1(20:1Ca)		

П р и м е ч а н и е. Af – *Amorpha fruticosa*; Ca – *Caragana arborescens*; Cd – *C. decorticans*; Cf – *C. frutex*; Cu – *C. ussuriensis*; Chr – *Chamaecytisus ruthenicus*; Gf – *Genista florida*; Gt – *G. tinctoria*; La – *Laburnum alpinum*; Lb – *Lespedeza bicolor*; Ma – *Maackia amurensis*; Rp – *Robinia pseudoacacia*.

кривой разрежения (rarefaction curve) с помощью специального алгоритма случайной многократной перестановки данных в пределах выборок из числа обнаруженных образцов. Для расчета ожидаемого числа видов в генеральной совокупности, из которой была сделана выборка, использовался скорректированный индекс Chao1 (индекс с поправкой на смещение), который рассчитывался на основе регистрации количества видов, представленных одним образцом.

Также применен косвенный способ оценки полноты выявления видового богатства – коэффициент Тьюринга (C), в основу которого положено отношение числа видов-синглетонов (представленных единичной находкой) к общему числу выявленных видов [Good, 1979],

$$C = (1 - f_1/S) \times 100 \%,$$

где f_1 – число видов-синглетонов; S – общее число выявленных видов. Потенциальное число видов (T) может быть вычислено как

$$T = S/C.$$

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакетов статистических программ EstimateS9.10 и MS Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Видовое богатство дереворазрушающих грибов на растениях семейства Fabaceae в Свердловской области

За 20 лет исследований на ДБР выявлено 136 видов грибов: 127 видов дереворазрушающих Basidiomycota и 9 видов Ascomycota (см. табл. 2). Среди них 14 видов впервые приводятся для Свердловской обл. – восемь видов Basidiomycota: *Fibulomyces mutabilis* (Bres.) Jülich, *Lachnella alboviolascens* (Alb. & Schwein.) Fr., *Lentaria surculus* (Berk.) Corner, *Phloeotana minutula* (Sacc.) Redhead, *Sang-*

huangporus cf. *baumii* (Pilát) L. W. Zhou & Y. C. Dai, *Simocybe haustellaris* (Fr.) Watling, *Sistotrema octosporum* (J. Schröt. ex Höhn. & Litsch.) Hallenb., *Xylodon borealis* (Kotir. & Saaren.) Hjortstam & Ryvarden, и шесть видов Ascomycota: *Camarosporidiella mackenziei* Wanas., Bulgakov & K. D. Hyde, *C. robinicola* (Wijayaw., Camporesi & K. D. Hyde) Wijayaw., Wanas. & K. D. Hyde, *Diaporthe caraganae* Jacz., *D. oncostoma* (Duby) Fuckel, *Keissleriella genistae* (G. Winter) E. Müll., *Stromatonectria caraganae* (Höhn.) Jaklitsch & Voglmayr. Из них девять видов – это сапротрофные макромицеты, а семь – фитопатогенные макро- и микромицеты.

Половина всех новых для региона видов выявлена в ботанических садах и парках Екатеринбурга, а пять видов (36 %) – в лесополосах вдоль автомобильных дорог и сельскохозяйственных угодий. Лишь два вида (12,5 %) собраны в естественных природных сообществах региона: *Keissleriella genistae* на *Genista tinctoria* и *Camarosporidiella caraganicola* на *Caragana frutex*. Также стоит отметить, что три выявленных вида базидиомицетов – *Hypochnicium* sp., *Perreniporia* sp. и *Phylloporia* sp. – вероятно, являются новыми для науки.

В Свердловской обл. дереворазрушающие грибы обнаружены на 12 видах ДБР: *Amorpha fruticosa*, *Caragana arborescens*, *C. decorticans*, *C. frutex*, *C. ussuriensis*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Genista florida*, *G. tinctoria*, *Laburnum alpinum*, *Lespedeza bicolor*, *Maackia amurensis*, *Robinia pseudoacacia* (рис. 3).

Грибы выявлены на всех видах местных ДБР, на 60 % восточноазиатских и на 50 % видов растений европейского, североамериканского и центральноазиатского происхождения (см. рис. 2).

Наибольшее число видов дереворазрушающих грибов (115) собрано на центральноазиатском виде *Caragana arborescens* (см. рис. 3),

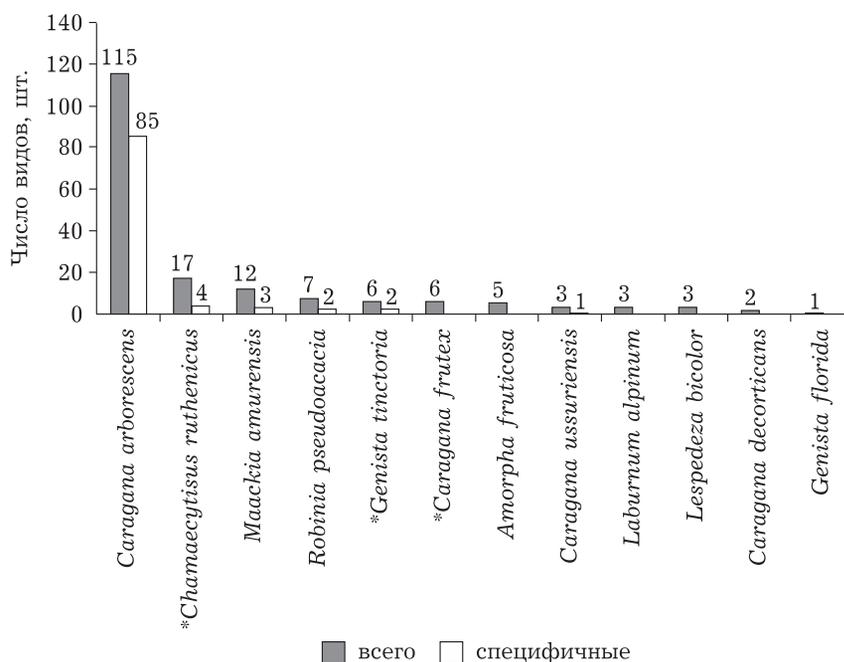


Рис. 3. Число видов грибов на видах древесных растений семейства Fabaceae. Местные виды растений отмечены звездочкой. Дано общее число видов грибов, а также число субстрат-специфичных для каждого вида растений

что составляет 84,5 % от общего числа видов грибов. Далее следуют местный *Chamaecytisus ruthenicus* (17) и восточноазиатский *Maackia amurensis* (12) виды. На остальных растениях-субстратах собрано не больше 10 видов грибов. Диапазон видового богатства микобиоты чужеродных ДБР варьирует от 115 до 1 вида, тогда как местных – от 17 до 5 видов. Следовательно, между видовым богатством местных и чужеродных растений нет статистического различия: $U = 7$; $z = -1,19$; $p = 0,26$ (Monte Carlo: $p = 0,24$). Тем не менее на девяти чужеродных видах ДБР выявлено 122 вида грибов, что в 4 раза больше, чем на трех местных видах ДБР. При этом чужеродный вид – *C. arborescens* – наиболее богатый, более чем в 4 раза превышает самый богатый местный субстрат (*Ch. ruthenicus*). Это свидетельствует, что интродуцированные растения представляют для местных грибов ценный пищевой ресурс, даже несмотря на ограниченное распространение в регионе, по сравнению с местными древесными растениями.

Только на одном из видов ДБР (субстрат-специфичные) выявлено 95 из 136 видов грибов (69,8 %). При этом только на *C. arborescens* собрано 85 видов, что составляет 62,5 % от

общего числа видов грибов (см. рис. 3). Далее следует *Chamaecytisus ruthenicus*, на котором выявлено четыре специфичных вида (2,9 %), три – на *Maackia amurensis* (2,2 %), по два – на *Genista tinctoria* и *Robinia pseudoacacia* (1,5 %), и один вид – на *Caragana ussuriensis* (0,7 %). Единичной находкой характеризуются 27,2 % видов (*Antrodia albida*, *Ceraceomyces microsporus*, *Fibulomyces mutabilis*, *Lentaria surculus*, *Phanerochaete alnea*, *Pyrenopeziza fulgens*, *Sanguangporus cf. baumii* и др.). И наоборот, на максимальном числе субстратов – семи видах ДБР, развивается гриб *Nectria cinnabarina*, на шести – *Xylodon sambuci*, на четырех – *Peniophora cinerea* и *Schizophyllum commune*.

В связи с высоким уровнем видового богатства и числом специфичных видов грибов на *Caragana arborescens* данный субстрат формирует отдельный кластер при сопоставлении с другими видами ДБР (рис. 4). Оставшиеся виды объединяются в два крупных кластера. Первый объединяет местные виды растений (*Caragana frutex*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Genista tinctoria*) и наиболее крупный по надземной фитомассе чужеродный субстрат (*Maackia amurensis*), а второй кластер обра-

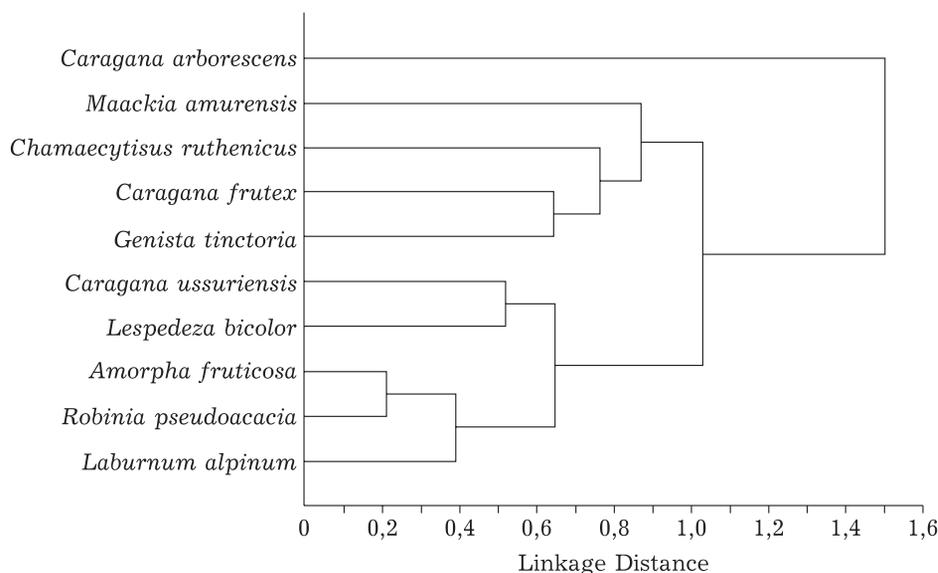


Рис. 4. Сходство видового состава грибов на десяти видах самых богатых древесных бобовых растений (на которых выявлено три и более вида грибов)

зован исключительно чужеродными видами, характеризующимися невысокой надземной фитомассой (*Amorpha fruticosa*, *Caragana ussuriensis*, *Laburnum alpinum*, *Lespedeza bicolor*, *Robinia pseudoacacia*).

В общем списке видов (см. табл. 2) преобладают сапротрофные грибы (112 видов/82,3%), тогда как патогенов растений заметно меньше (26 видов/19,1%). Среди видов, характеризующихся облигатной или факультативной патогенной активностью, 18 – это Basidiomycota (*Cerrena unicolor*, *Chondrostereum purpureum*, *Fomitoporia punctata*, *F. robusta*, *Fuscoporia contigua*, *F. ferruginosa*, *Ganoderma applanatum*, *Inonotus hispidus*, *Irpex lacteus*, *Laeti-*

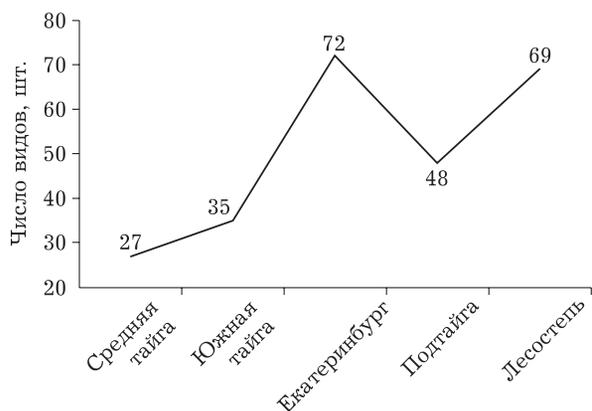


Рис. 5. Общее число видов дереворазрушающих грибов на древесных бобовых растениях в различных частях Свердловской обл.

porus sulphureus, *Oxyporus corticola*, *Sanghuangporus cf. baumi*, *Schizophyllum commune*, *Stereum hirsutum*, *S. subtomentosum*, *Trametes hirsuta*, *T. ochracea*, *Typhula micans*), и восемь видов Ascomycota (*Camarosporidiella mackenziei*, *C. robinicola*, *C. caraganicola*, *Diaporthe caraganae*, *D. oncostoma*, *Keissleriella genistae*, *Nectria cinnabarina*, *Stromatonectria caraganae*).

В естественных условиях Свердловской обл. (исключая г. Екатеринбург) общее число видов грибов на ДБР увеличивается линейно в южном направлении ($r_s = 0,98$; $p = 0,02$), от минимальных показателей в средней и южной тайге (27 и 35 видов соответственно) до 69 видов в лесостепи (рис. 5). Однако микобиота г. Екатеринбурга, расположенного на границе южной тайги и подтайги, оказывается самой богатой (72 вида) и по числу видов сопоставима с лесостепной. Тем не менее с учетом городской микобиоты линейная корреляция остается статистически достоверной ($r_s = 0,77$; $p = 0,05$).

Для изучения связи видового богатства микобиоты с биотическими и абиотическими факторами среды выбраны афиллофороидные грибы как самая крупная группа из развивающихся на ДБР (75% от общего числа видов, см. табл. 2). Карагана древовидная выбрана как модельный субстрат: на ней собрано самое большое количество грибов (84,5%), и это самый распространенный вид ДРБ в регионе исследования. Следовательно, карага-

на древесная и афиллофороидные могут рассматриваться в качестве модельных групп растений и грибов для выявления эколого-географических закономерностей формирования разнообразия микобиоты, ассоциированной с ДБР.

Связь надземной фитомассы *Caragana arborescens* с разнообразием афиллофороидных грибов вдоль меридиональной трансекты

Надземная фитомасса *C. arborescens* в лесополосах средней тайги в среднем составляет 4,6 т/га (рис. 6). В направлении южной тайги отмечен рост до 7,2 т/га, а максимальный уровень (10,4 т/га) установлен для лесостепи. На южном крае трансекты, в степи, биомасса снижается до уровня средней тайги. В урбанофлоре Екатеринбурга средний уровень фитомассы караганы древесной (4,6 т/га) соответствует минимальным показателям северного и южного краев трансекты, что в 2,3 раза ниже показателя лесостепи.

Вдоль изучаемой трансекты на *C. arborescens* собрано 93 вида афиллофороидных

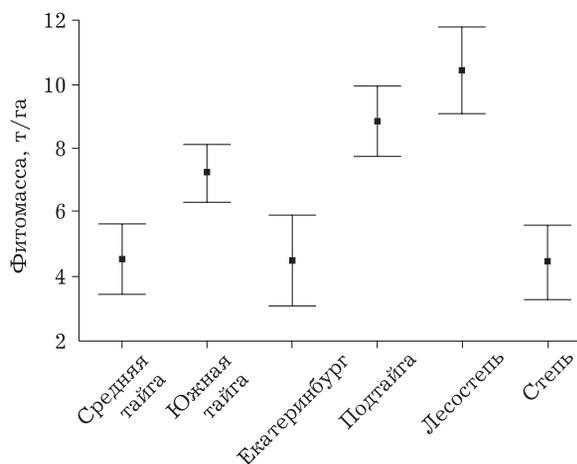


Рис. 6. Надземная фитомасса *Caragana arborescens* вдоль меридиональной трансекты (т/га). Приводится средний уровень и 95%-й доверительный интервал

грибов, при этом в Свердловской обл. выявлено 60 видов, в Челябинской обл. – 51, в Костанайской обл. Казахстана – 17 видов (см. табл. 2). На карагане древесной минимальное число видов выявлено на севере трансекты – в средней и южной тайге, 24 и 30 видов соответственно (табл. 3). В Екатеринбурге собрано

Т а б л и ц а 3

Разнообразие меридиональных комплексов афиллофороидных грибов, развивающихся на *Caragana arborescens*

Параметр	Средняя тайга	Южная тайга	Екатеринбург	Подтайга	Лесостепь	Степь
Число площадок, шт.	6	6	6	6	6	6
Площадь площадок, га	24,1	25,6	17,2	25,7	33,9	10,7
Средний размер площадок, га	4,1 ± 0,9	4,3 ± 0,8	2,9 ± 1,1	4,3 ± 1,2	5,6 ± 1,8	1,8 ± 0,5
Фитомасса надземная, т/га	4,7 ± 0,8	7,1 ± 1,2	4,6 ± 1,0	8,8 ± 1,2	10,5 ± 1,4	4,5 ± 0,7
Среднегодовая температура, °С	1,2	1,9	3,5	3,3	3,7	4,1
Среднегодовое количество осадков, мм	627	588	565	532	475	353
Индекс аридности	63,9	60,7	60	56,6	51,2	39,4
Видов грибов, шт.	24	30	46	41	60	38
Образцов, шт.	77	92	156	117	147	115
Среднее число видов, шт.	10,1 ± 1,2	10,5 ± 1,5	11,4 ± 2,6	12,3 ± 1,3	16,8 ± 2,1	8,8 ± 2,0
Средняя видовая насыщенность, видов/га	2,5 ± 0,3	2,5 ± 0,3	4,4 ± 1,4	3,1 ± 0,8	3,0 ± 0,3	5,2 ± 0,9
Индекс Шеннона, H	2,56	2,94	3,45	3,38	3,75	3,24
Индекс Уиттекера, βw	0,68	0,91	1,98	1,19	1,55	2,41
Индекс Чекановского-Сьеренсена, Cs	0,69 ± 0,07	0,65 ± 0,07	0,34 ± 0,06	0,51 ± 0,09	0,39 ± 0,08	0,30 ± 0,04
Число видов патогенов, шт.	3	4	10	6	8	9
Средняя видовая насыщенность патогенов, видов/га	0,12	0,19	0,52	0,28	0,31	0,84
Видов сапротрофов/патогенов, шт.	4,75	4,3	2,9	4	3,5	2,25
Корт/пор, видов	0,91	1,17	0,73	1,29	0,90	0,65
Корт/пор, образцов	3,36	2,89	1,92	2,44	1,73	1,07

П р и м е ч а н и е. Приводится среднее арифметическое и (±) стандартная ошибка.

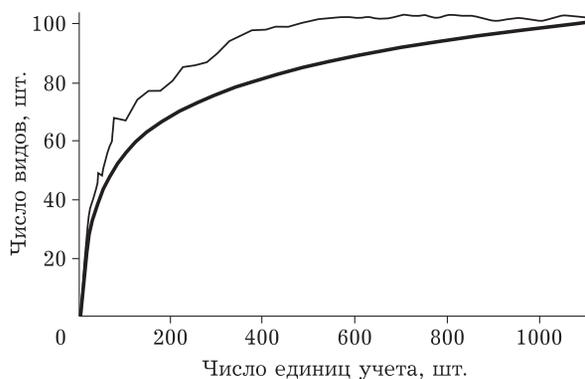


Рис. 7. Результаты бутстреп-анализа для оценки полноты выявления видов афиллофороидных грибов на *Caragana arborescens* в зависимости от числа единиц учета. Тонкая линия – средние значения индекса Chao1 (ожидаемое число видов) по мере увеличения числа единиц учета, толстая линия – сглаженная кривая разрежения (individual-based rarefaction curve), зависящая от числа единиц учета

47 видов, а максимум — в лесостепи (61). Северные микобиоты (средне- и южнотаежные) в 1,8–2,6 раза беднее южных вариантов.

По максимальному среднему значению индекса Chao1, рассчитанному для кривой накопления видов (рис. 7), число видов афиллофороидных грибов на трансекте составляет $101,6 \pm 4,1$ вида при собранных нами 93 видах (92 % потенциального видового состава). Следовательно, выявление разнообразия оказалось достаточным для обнаружения всех наиболее часто встречающихся видов грибов вдоль трансекты. При этом восемь из 93 ви-

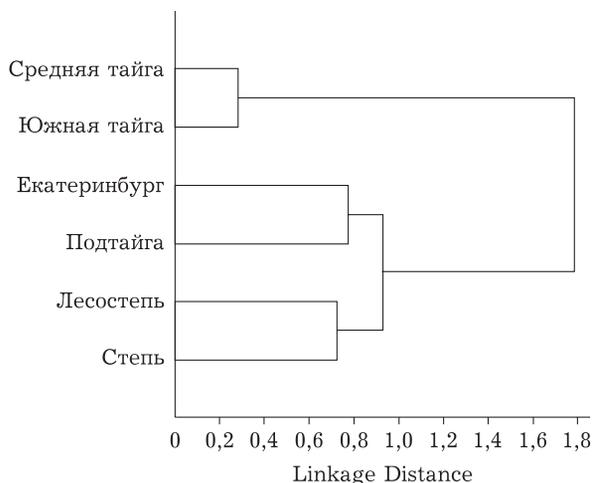


Рис. 8. Сходство видового состава меридиональных комплексов афиллофороидных грибов, развивающихся на *Caragana arborescens*

дов афиллофороидных грибов на изучаемой трансекте характеризуются единичной находкой (синглетоны), следовательно, коэффициент Тьюринга составляет 0,91, или 91 %, что косвенно подтверждает предполагаемое видовое богатство в 102 вида.

Сопоставление списков видов грибов для каждой природно-климатической зоны/подзоны и г. Екатеринбурга вдоль трансекты свидетельствует, что северные (таежные) сообщества афиллофороидных грибов на карагане древовидной (далее – АГКД) достоверно отличаются ($U = 0$; $z = -1,94$; $p = 0,05$) по отношению к южным (степным), а также подтаежным и Екатеринбургской. Северные микобиоты формируют отдельный кластер по отношению к южным и урбомикобиоте Екатеринбурга (рис. 8).

Шесть видов афиллофоровых грибов (4,4 % от общего числа видов АГКД) развивается вдоль всего спектра природно-зональных условий трансекты (см. табл. 2). Тем не менее некоторые из них обнаруживают повышенную численность в “северной” таежной части трансекты (*Steccherinum fimbriatum*, *Typhula micans*) (рис. 9), другие, наоборот, в “южной” степной (*Neofavolus alveolaris*). Некоторые чаще встречаются в антропогенных условиях Екатеринбурга (*Schizophillum commune*), а четвертые равномерно распределены по всему широтному спектру (*Irpex lacteus*, *Xylodon sambuci*). Из других групп грибов максимально широкий зональный спектр распространения выявлен для *Nectria cinnabari* и *Pleurotus pulmonarius*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дереворазрушающие грибы выявлены на 12 видах ДБР, что составляет 60 % от общего числа видов древесных растений семейства Fabaceae в естественных и антропогенных условиях Свердловской обл. Это объясняется суровостью климатических и эдафических условий региона по отношению к подобным теплолюбивым растениям. Многие виды ДБР, несмотря на продолжительное время произрастания в г. Екатеринбурге, плохо переносят зимние низкие температуры, а верхняя часть растений, выступающая над поверхностью снега, ежегодно отмерзает. Например, это относится к растениям двух видов – *Gle-*

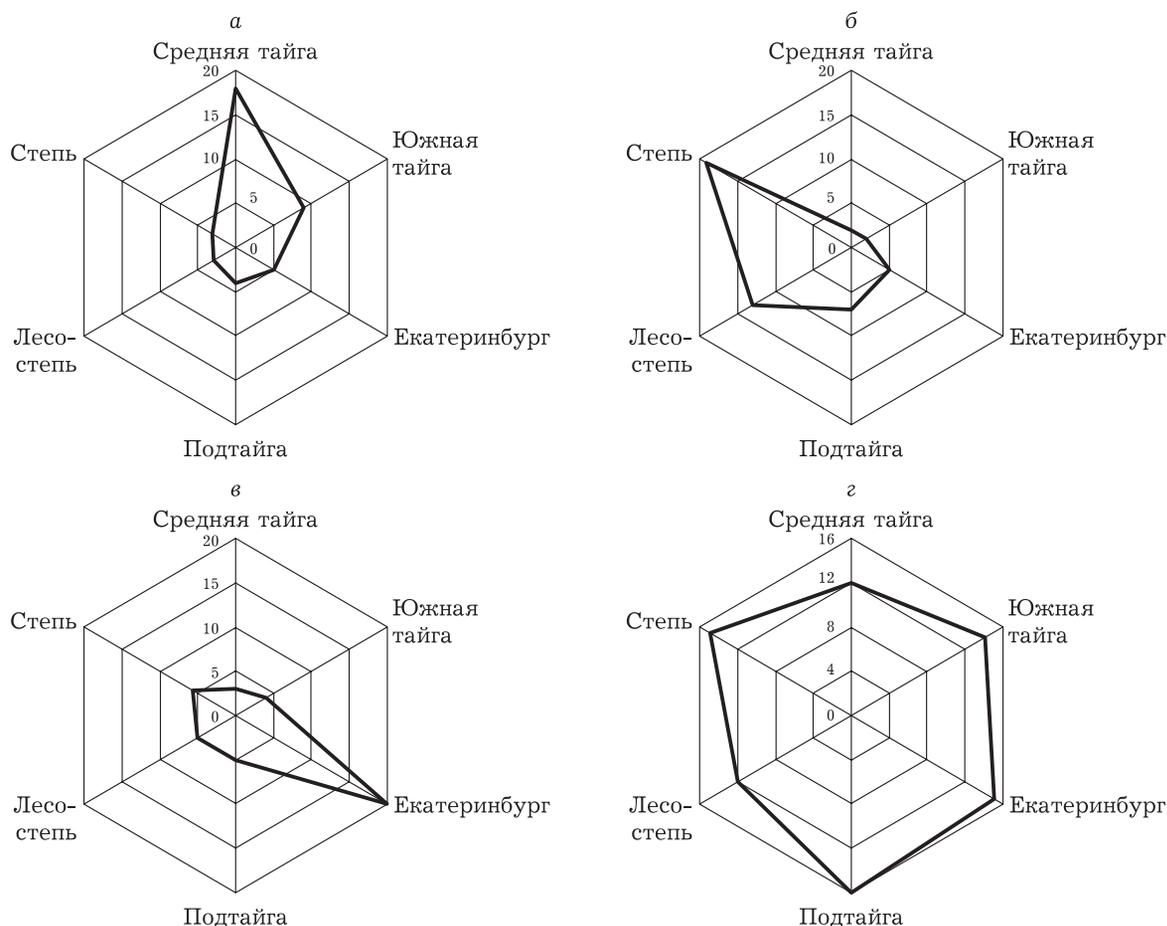


Рис. 9. Распределение числа единиц учета (образцов) грибов на *Caragana arborescens* вдоль меридиональной трансекты: а – “северный” вид *Steccherinum fimbriatum*; б – “южный” вид *Neofavolus alveolaris*; в – “антропофильный” вид *Schizophyllum commune*; г – “эврибионтный” вид *Irpex lacteus*

ditsia triacanthos и *Gymnocladus dioicus*. Изученные растения этих видов в Екатеринбурге имеют возраст более 10 лет, однако в 2022 г. их высота не превышала 30 см, т. е. фактически они существуют здесь как кустарнички. На других видах (*Laburnum anagyroides*, *L. × watereri*, *Caragana boissii*, *C. microphylla*, *C. spinosa*, *C. turkestanica*), представленных единичными невысокими кустами (не выше 1,5 м), которые регулярно обрезают в садах и парках, грибы либо не выявлены, либо отмечено не более трех видов грибов (*Caragana ussuriensis*, *Genista florida*, *Laburnum alpinum*, *Lespedeza bicolor*). О находках грибов на растениях родов *Amorpha*, *Genista*, *Laburnum*, *Lespedeza*, *Maackia* и *Robinia* в Свердловской обл. информация приводится впервые.

Только на чужеродных видах ДБР выявлено 14 видов грибов, новых для Свердловской обл.: *Camarosporidiella caraganicola*, *C. mac-*

kenziei, *C. robinicola*, *Diaporthe caraganae*, *D. oncostoma*, *Fibulomyces mutabilis*, *Lachnella alboviolascens*, *Lentaria surculus*, *Phloeomana minutula*, *Sanghuangporus cf. baumii*, *Simocybe haustellaris*, *Stromatonectria caraganae*, *Xylodon borealis*. Только на чужеродных видах ДБР собраны следующие местные виды грибов: *Amphinema byssoides*, *Cyathus striatus*, *Exidia nigricans*, *Tomentella botryoides*, *Typhula micans*, *Xylodon flaviporus* и др., в том числе только на *C. arborescens* – *Antrodiella romellii*, *Byssocorticium atrovirens*, *Pseudotomentella tristis* и др., и только на *M. amurensis* – *Antrodia albida*, *Exidia cartilaginea*, *Mycena galericulata*.

На всех трех местных видах ДБР в Свердловской обл. (*C. frutex*, *Ch. ruthenicus*, *G. tinctoria*) выявлено 25 видов дереворазрушающих грибов, из которых восемь встречались только на этих субстратах: *Antrodiella leucoxantha*,

Athelia epiphylla, *Erythricium laetum*, *Chondrostereum purpureum*, *Typhula spathulata*, в том числе два вида, новые для региона: *Stromatonectria caraganae*, *Keissleriella genistae*. В целом, на местных видах ДБР развивается шесть видов патогенов (*Camasporidiella caraganicola*, *Chondrostereum purpureum*, *Keissleriella genistae*, *Nectria cinnabarina*, *Stereum rugosum*, *Stromatonectria caraganae*), а остальные виды – это сапротрофы и микоризообразователи.

Общими для местных и чужеродных ДБР являются 16 видов грибов: *Cylindrobasidium laeve*, *Lyomyces crustosus*, *Nectria cinnabarina*, *Peniophora cinerea*, *Piloderma byssinum*, *Stereum hirsutum* и др. Все эти виды – местные, широко распространенные в естественных условиях Свердловской обл. Все сапротрофные виды грибов на ДБР – это типичные разрушители древесины местных лиственных деревьев.

Интересны патогены, впервые выявленные в регионе на чужеродных растениях. Так, на карагане древовидной собран *Sanghuangporus* cf. *baumii*, имеющий центр ареала в Восточной Азии, где развивается на живых и усыхающих стволах древесных растений родов *Syringa*, *Lonicera*, *Viburnum* и др. [Бондарцева, Пармасто, 1986]. Данный вид гриба впервые выявлен на растениях семейства Fabaceae. На отмирающих ветвях *S. arborescens* впервые собраны патогенные микромицеты *Diaporthe*

caraganae и *Camasporidiella mackenziei*. Последний вид уже отмечался в Челябинской обл. [Степанова, Сирко, 1970] на аналогичном субстрате (табл. 4), что может свидетельствовать о расширении его вторичного ареала на север вдоль Урала. На отмирающих ветках *Robinia pseudoacacia* впервые для региона собраны *Camasporidiella robinicola* и *Diaporthe oncostoma* – типичные патогены робинии в пределах ее естественного распространения и вторичного ареала [Michalopoulos-Skarmoutsos, Skarmoutsos, 1999; Vajna, 2002; Pem et al., 2021].

На разложившемся валеже *S. arborescens* собраны базидиомы *Lentaria surculus* – это вторая находка данного тропического гриба на Урале. До этого был собран в окрестностях г. Перми в рудеральных сообществах на мертвых стеблях инвазионного *Heracleum sosnowskyi* Manden. [Ширяев, 2014]. Следовательно, все находки этого гриба на Урале сделаны на инвазионных растениях: на одревесневших стеблях крупных травянистых растений (*Heracleum*), которые сохраняются относительно длительное время, а также на кустарнике (*Caragana*) с сильно разрушенной древесиной. Вероятно, на грани этих двух состояний (одревесневшие стебли и сильно разложившаяся лиственная древесина) находится возможность проникновения в подтайгу данного тропического гриба.

Т а б л и ц а 4

Корреляция параметров микобиоты с абиотическими факторами среды и надземной фитомассой *Caragana arborescens*

Параметр	Фитомасса надземная	Среднегодовая температура	Среднегодовое количество осадков	Индекс аридности
Число видов грибов	0,61/0,79*	0,78*/0,75	-0,43/-0,51	-0,38/-0,47
Среднее число видов грибов	0,85* / 0,93**	0,29/0,31	-0,01/0,01	0,03/0,05
Видовая насыщенность, видов/га	-0,48 / -0,37	0,76*/0,74	-0,77*/-0,93**	-0,72/-0,94*
Индекс Шеннона, H	0,64 / 0,81	0,79*/0,77	-0,44/-0,51	-0,38/-0,47
Индекс Уиттекера, βw	0,25 / -0,10	0,88**/0,88**	-0,82*/-0,99***	-0,79*/-0,99***
Индекс Чекановского–Сьеренсена, Cs	-0,09/-0,27	-0,97***/-0,97***	0,80*/0,94**	0,75/0,92*
Число видов патогенов	-0,01/0,23	0,94***/0,97***	-0,73/-0,96**	-0,68/-0,94**
Видовая насыщенность патогенов, видов/га	-0,39/-0,33	0,78/0,81*	-0,84*/-0,95**	-0,83*/-0,96**
Число видов сапротрофов/патогенов	0,26/0,13	-0,87**/-0,86*	0,83*/0,99***	0,81*/0,99***
Число видов кортициоидных/пороидных	0,57/0,49	-0,38/-0,33	0,48/0,63	0,47/0,66
Число образцов кортициоидных/пороидных	-0,02/-0,10	-0,94***/-0,95**	0,91**/0,99***	0,98**/0,99**

П р и м е ч а н и е. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,005$. Уровень ниже 0,05 – не достоверен. Для трансекты вместе с Екатеринбургом / без Екатеринбурга.

Все 12 видов ДБР развиваются в пределах г. Екатеринбурга. В городе собрано 72 вида грибов (52,9 % от общего числа видов грибов) – самое большое число из всех широтных подразделений, представленных на меридиональной трансекте (см. рис. 5). Исключительно в г. Екатеринбурге найдено 26 видов грибов, из которых основное количество собрано только на интродуцентах: *Antrodia albida*, *Antrodiella faginea*, *Ceraceomyces microsporus*, *Ceriporia viridans*, *Gymnopilus junonius*, *Megacollybia platyphylla*, *Pluteus salicinus*, и среди них имеются патогены – *Camarosporidiella robiniiicola*, *Diaporthe oncostoma*, *Keissleriella genistae*. Все три вида патогенов – новые для Свердловской обл. Таким образом, по числу фитопатогенных видов грибов на ДБР (10 видов) микобиота Екатеринбурга оказывается самой богатой. Это обусловлено тем, что в парках и садах города развиваются все интродуцированные ДБР, известные в регионе, с которыми ассоциированы субстрат-специфичные патогены (*Camarosporidiella mackenziei*, *C. robiniiicola*, *Diaporthe caraganae*, *D. oncostoma*, *Keissleriella genistae*), а также некоторые обычно сапротрофные виды грибов, проявляющие в городских условиях патогенные свойства (*Cerrena unicolor*, *Irpex lacteus*, *Trametes ochracea*, *Typhula micans*). Также стоит отметить, что, в отличие от естественных условий региона, в г. Екатеринбурге на ДБР не выявлены облигатные микоризообразующие грибы (рода *Clavulina*, *Odontia*, *Pseudotomentella*, *Tomentella*).

Разнообразие афиллофороидных грибов на *Caragana arborescens* вдоль меридиональной трансекты. На Среднем Урале выявлено 115 видов дереворазрушающих грибов (из них 93 вида афиллофороидных) на карагане древовидной. Это в 4 раза больше по сравнению с числом видов грибов, известных в ее естественном ареале, например в Алтае-Саянской горной стране, где ранее на карагане обнаружено 27 видов. Вероятно, столь большая разница объясняется тем, что данный вид не являлся объектом целенаправленных микологических исследований в Южной Сибири. Данные о встречаемости афиллофороидных грибов на *Caragana arborescens* на Алтае и Салаире приводятся в следующих публикациях [Шварцман, 1964; Vlasenko, Vlasenko, 2015]; в Саянах [Беглянова и др., 1978; Koti-

ranta et al., 2017]; агарикоидные грибы собирали в Саянах и на Алтае [Перова, Горбунова, 2001; Кутафьева, Кошелева, 2005; Горбунова, 2015]. Патогенные микромицеты изучали на Алтае, Салаире, а также в городах Новосибирск, Барнаул, Красноярск [Растительное многообразие..., 2014; Томошевич, 2015].

Вдоль восточного макросклона Урала, в районах расположения трансекты, интродукция караганы древовидной началась в первые десятилетия XX в. [Протасов, 1927; Говорухин, 1937], но к настоящему времени посадки вековой давности не сохранились. Существующие в настоящий момент растения высаживали в основном в 1950–1960 гг., поэтому возраст отдельных кустов может достигать 60–70 лет. Однако в лесополосах степного Зауралья карагана древовидная уже почти выпала [Меркер, 2009]; небольшие площади посадок поддерживаются лишь вблизи населенных пунктов. Поэтому “возраст” посадок не оказывает влияния на широтную динамику видового богатства грибов.

Вероятно, на видовое разнообразие фитопатогенов косвенно влияет возраст растений. В таежных районах на севере трансекты благодаря большим массам снега начало вывала стареющих стволов караганы происходит в возрасте 14–20 лет, тогда как в степи и лесостепи – в 22–28 лет. Поэтому средний возраст живых частей растений на севере ниже, чем на юге. Следовательно, на севере на живой древесине не успевают развиваться дереворазрушающие патогены, а на юге четверти века хватает для развития богатой патогенной микобиоты.

В связи с тем что посадки караганы имеют рукотворную природу, их развитие зависит от деятельности человека, а не от абиотических факторов (см. табл. 4). Почти все из анализируемых параметров микобиоты не связаны с фитомассой караганы, за исключением общего и среднего числа видов грибов на площадках.

Существенно больше параметров микобиоты обусловлено абиотическими факторами среды. На северном краю трансекты α -разнообразие (среднее число видов на площадке) крайне низкое и растет в южном направлении, достигая максимума в лесостепи (с 10,1 до 16,8), но затем резко падает в степи до минимального уровня (8,8). Схожая тенденция выявлена и для индекса Шеннона. От средней тайги

до лесостепи показатели индекса растут с 2,56 до 3,75, а в степи снижаются, но не так резко (3,24), как среднее число видов на площадке.

Пространственные изменения β -разнообразия противоположны по сравнению с α -разнообразием. Например, индекс Уиттекера имеет минимальный уровень на севере трансекты (0,68) и достигает максимума в степи (2,41), а также в Екатеринбурге (1,98). Самый низкий показатель среднего сходства между площадками (индекс Чекановского – Сьеренсена) выявлен в степи и Екатеринбурге (0,34 и 0,37), тогда как максимальный – в средней и южной тайге (0,65 и 0,69 соответственно).

Независимо от способа оценки β -разнообразия в южном направлении возрастает в 2,2–3,7 раза. Отдельные площадки степной зоны не имеют ни одного общего вида, что подтверждает мозаичный характер трансформации сообществ грибов и свидетельствует об усилении пространственной изоляции локальных популяций. Возможно, в связи с тем что ДРБ – это “южные” растения, основной спектр видов грибов, ассоциированных с ними, также имеет относительно южные черты, в противоположность таежной микобиоте. В урбомикобиоте Екатеринбурга β -разнообразие также в 2–3 раза выше по сравнению с естественными условиями. Максимальное число видов грибов и α -разнообразие (среднее число видов на площадках и индекс Шеннона) выявлены в экотонной зоне – лесостепи, но южнее, в степи, этот “богатый” комплекс разрушается под воздействием суровых аридных условий и резкого уменьшения надземной фитомассы *S. arborescens*. Это, в свою очередь, отражается в максимальной плотности видов грибов вдоль всей трансекты (в 2,1 раза выше по сравнению с северными микобиотами).

Возможно, увеличение β -разнообразия в градиенте загрязнения обусловлено неравномерностью элиминации видов в пространстве. Это связано с тем, что при увеличении пессимальности условий в степи наблюдается не собственно элиминация видов грибов, а снижение численности локальных популяций. Даже при самом низком уровне фитомассы *S. arborescens* часть особей сохраняется в “осколках местообитаний”, где в силу разных причин условия могут оставаться относительно благоприятными.

Выявлена отрицательная корреляция между видовой насыщенностью и среднегодовым количеством осадков ($r = -0,77 \dots -0,93$; $p = 0,01$). Также выявлена корреляция со среднегодовой температурой и индексом Шеннона ($r = 0,79$; $p = 0,04$).

Для показателей β -разнообразия установлена сильная отрицательная корреляция среднегодовой температуры с индексом Чекановского – Сьеренсена ($r = -0,97$; $p = 0,01$), а также положительная с индексом Уиттекера ($r = 0,88$; $p = 0,01$). С уровнем осадков выявлена обратная зависимость: сильная отрицательная корреляция с индексом Уиттекера ($r = -0,82 \dots -0,99$; $p = 0,001$) и положительная с индексом Чекановского – Сьеренсена ($r = 0,80 \dots 0,94$; $p = 0,01$).

Полученные данные свидетельствуют о том, что число фитопатогенных видов АГКД не связано с фитомассой ($r = -0,01$; $p = 0,99$), но сильно положительно коррелирует с температурой ($r = 0,94$; $p = 0,004$) и отрицательно – с аридизацией ($r = -0,94$; $p = 0,01$). Из этого можно сделать вывод, что в связи с происходящим ростом температур и аридизацией климата в регионе [Доклад..., 2020] число патогенных видов АГКД будет увеличиваться.

Число патогенных видов и средняя видовая насыщенность патогенных видов АГКД увеличивается со снижением широты, достигая максимума в степи, а также в г. Екатеринбурге (см. табл. 3). Также в южном направлении (и в г. Екатеринбурге) снижается соотношение сапротрофных и патогенных видов АГКД: на севере трансекты, в средней тайге, число сапротрофных видов в 4,75 раза превосходит число патогенных, тогда как в степи этот параметр снижается в 2 раза. Данные результаты интересны тем, что именно в степи и Екатеринбурге выявлены минимальные уровни фитомассы *S. arborescens*. При этом схожий низкий уровень фитомассы караганы древесной отмечен и на севере трансекты, однако в суровых условиях средней тайги оба показателя микобиоты противоположны. Можно отметить, что максимальное число видов патогенов на южной границе лесной зоны и в антропогенных условиях также выявлено, например, в г. Новосибирске, где соотношение сапротрофных и патогенных видов афиллофоровых грибов на интродуцированных дре-

весных растениях составляет единицу [Власенко, Власенко, 2018]. Схожий результат получен и для фитопатогенных микромицетов: в засушливых условиях города выпадают сапротрофы и остаются паразиты, привязанные к влажному живому субстрату [Томошевич, 2015].

В общем списке АГКД число видов пороидных и кортициоидных грибов оказалось схожим (1,0), хотя в естественных лесах Урала кортициоидные в 2 раза преобладают [Степанова, 1971; Shiryaev et al., 2010; Ширяев и др., 2012]. Более того, при снижении площади исследования в некоторых широтно-зональных подразделениях трансекты (степь, лесостепь, Екатеринбург) пороидные численно преобладают (см. табл. 4). Тем не менее число образцов кортициоидных выше по сравнению с пороидными (например, в средней тайге более чем в 3 раза), но этот параметр снижается в южном направлении. Стоит отметить, что преобладание или схожее число видов пороидных грибов по сравнению с кортициоидными также установлено для микобиот других антропогенно измененных территорий – городов Санкт-Петербург, Тюмень и Красноярск [Арефьев, Казанцева, 2016; Змитрович и др., 2018; Крючкова, 2022]. Несомненно, данный феномен требует дальнейшего исследования.

Благодаря освоению лесополос с караганой некоторые аборигенные виды грибов расширяют свой естественный ареал. В лесостепи Зауралья только в посадках *C. arborescens* выявлены два таежных вида, предпочитающие хвойные древесные растения, – *Rychnoporellus fulgens* и *Daedalea xantha*. Оба вида крайне редко встречаются на листовых субстратах, а представители семейства *Fabaceae* не были указаны в качестве известных растений-хозяев [Бондарцева, 1998; Ryvardeen, Melo, 2014]. Возможно, подобная субстратная специфика этих видов объясняется суровостью континентального семиаридного климата Зауральской лесостепи и регулярными низовыми пожарами в лесополосах из *C. arborescens*. В противоположную сторону – севернее своего естественного ареала – проникают *Antrodiella serpula*, *Baltazaria galactina*, *Xylodon flaviporus*, которые ранее были известны в лесостепи, подтайге и южной тайге [Shiryaev et al., 2010, 2021], а в посадках караганы впервые собраны в средней тайге.

В степной и лесостепной зонах, в лесополосах с *C. arborescens*, выявлен *Fomitiporia robusta*, включенный в Красную книгу Челябинской обл. [Красная книга..., 2017] со статусом III – редкий вид (NT – вид в состоянии, близком к уязвимому), а в Свердловской обл. [Shiryaev et al., 2010] имеющий статус на грани исчезновения (CR C2a(i); D1). Следовательно, лесополосы с караганой могут рассматриваться в качестве территорий, где сохраняются редкие и исчезающие виды грибов.

В городских парках, где растения ежегодно подвергаются санитарной обрезке (удаление сломанных и мертвых ветвей), найдено мало видов грибов по сравнению со старыми заброшенными насаждениями. Следовательно, можно рекомендовать очистку поломанных веток, не запускать посадки, удалять морозобоинные ветви, так как это первый и самый простой путь для проникновения факультативных и облигатных патогенов. Как показало проведенное исследование, именно в южной части трансекты – от степи до Екатеринбурга – выявлены многие новые “южные” (характерные для смешанных и широколиственных лесов Европы) виды грибов, наиболее активно разрушающие древесину живых растений и приводящие к гибели ДБР в лесополосах и городских насаждениях. Отсутствие ухода за посадками приводит к быстрому накоплению мертвых и ослабленных ветвей, что в свою очередь способствует развитию патогенов и ускорению вывала лесополос. В связи с этим сохраняется необходимость оптимизации приемов обрезки древесных побегов в парках городов Среднего Урала. Также следует избегать загущения внутригородских листовых насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Древесные бобовые растения – это “южная” группа растений по отношению к зональным дендрокомплексам Среднего Урала и соседних территорий. Вероятно, именно поэтому максимальные показатели видового богатства дереворазрушающей микобиоты, ассоциированной с ДБР, выявлены в южной части трансекты – в степи и лесостепи. Также одни из самых высоких показателей биоразнообразия соответствуют урбаномикобиоте Екатеринбурга, что очередной раз подтверждает

повышенный уровень разнообразия различных групп живых организмов, включая грибы, на антропогенно-измененных территориях. Ботанические сады и парки Екатеринбурга, а также лесополосы являются местами концентрации и каналами миграции чужеродной фитопатогенной микобиоты.

В Свердловской области 95 % патогенных видов макромицетов, найденных на ДБР, являются местными видами. Чужеродным можно признать лишь *Sanghuangporus cf. baumii*, центр ареала которого находится в Восточной Азии. Более низкий показатель выявлен для микроскопических грибов, где 50 % видов грибов специфичны по отношению к чужеродным видам ДБР и, по всей видимости, изначально были занесены вместе со своими питающими растениями при их интродукции.

Максимальное видовое богатство фитопатогенных видов грибов на карагане древесной выявлено на юге трансекты, а также в Екатеринбурге, что объясняется как климатическими условиями, так и высокой частотой механических повреждений растений. На образовавшихся ранах развиваются обычные местные сапротрофные виды, которые выступают в роли первичных раневых патогенов. Во многом именно за счет подобных факультативных паразитов число видов грибов с выраженной фитопатогенной активностью, отмеченных в городских условиях на чужеродных древесных растениях, существенно превышает аналогичный показатель для естественных местообитаний региона.

Гипотеза о корреляции видового богатства грибов с надземной фитомассой растения-хозяина подтвердилась частично (только для дереворазрушающих базидиомицетов). Пик фитомассы караганы древесной выявлен в лесостепи вместе с максимумом общего числа видов афиллофороидных грибов и их α -разнообразием, однако β -разнообразие ассоциированных грибов оказалось максимальным в степи, где фитомасса рассматриваемого растения минимальна. Отдельно стоит сказать об урбаномикобиоте Екатеринбурга, параметры которой отличны от естественных природно-климатических комплексов: при одних из самых высоких уровней α - и β -разнообразия микобиоты в городе выявлен один из самых низких уровней фитомассы *S. arborescens*. Данное исследование в очередной раз

подтверждает специфичность процессов формирования таксономической структуры микобиоты урбоэкосистем. Для дереворазрушающих аскомицетов тестируемая гипотеза не подтверждается в связи с тем, что для микроскопических патогенов ведущим фактором видового богатства является не фитомасса, а число видов растений.

Следует отметить, что, несмотря на масштабные исследования, видовой состав некоторых групп грибов на ДБР изучен далеко не полностью, хотя, несомненно, высоко общее число собранных видов и максимальное выявлен весь спектр ДБР развивающихся в естественных и антропогенных условиях Среднего Урала. Необходимы дальнейшие исследования, особенно макромицетов, а также ксилотрофных агарикоидных грибов.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 22-26-00228). Авторы признательны за помощь в работе: директору Ботанического сада УрО РАН И. В. Петровой, директору Ботанического сада Уральского федерального университета В. В. Валдайских, директору Сада лечебных культур им. проф. Л. И. Вигорова П. А. Мартюшову, а также сотруднику Ботанического сада УрО РАН О. А. Киселевой. Благодарим О. С. Ширяеву за определение агарикоидных грибов.

ЛИТЕРАТУРА

- Арефьев С. П., Казанцева М. Н. Изменение структуры сообществ ксилотрофных афиллофороидных грибов в системе комплексного экологического мониторинга г. Тюмени // Микология и фитопатология. 2016. Т. 50, вып. 1. С. 5–13.
- Беглянова Н. Ф., Кутафьева Н. П., Паршина Л. В. Афиллофороидные грибы Восточной Сибири, имеющие зубчатый, шиловидный и бугорчатый гименофоры // Биология дикорастущих и культурных растений Красноярского края. Красноярск, 1978. С. 26–44.
- Бондарцева М. А. Определитель грибов России. Порядок Афиллофоровые. Вып. 2. СПб.: Наука, 1998. 391 с.
- Бондарцева М. А., Пармасто Э. Х. Определитель грибов СССР. Порядок Афиллофоровые. Вып. 1. Л.: Наука, 1986. 192 с.
- Бурнацкий Д. П. Влияние полезащитных лесных полос на климат приземного слоя воздуха, почву и урожай сельскохозяйственных растений // Вопросы травополья системы земледелия. М.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 1. С. 24–57.
- Бухарина И. Л., Поварнищина Т. М., Ведерников К. Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
- Быков Б. А. Экологический словарь. Алма-Ата: Наука КазССР, 1983. 114 с.

- Власенко В. А., Власенко А. В. Дереворазрушающие грибы на древесных растениях города Новосибирска // Вестн. Алт. гос. агр. ун-та. 2018. № 1 (159). С. 93–97.
- ВНИИГМИ-МЦД. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2021. URL: <https://www.meteo.ru> (дата обращения: 17.08.2021).
- Говорухин В. С. Флора Урала. Определитель растений, обитающих в горах Урала и его предгорьях от берегов Карского моря до южных пределов лесной зоны. Свердловск, 1937. 536 с.
- Горбунова И. А. Новое о биоте агариковых и афиллофоровых базидиомицетов Республики Тува // Turczaninowia. 2015. Т. 18, № 4. С. 91–96.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2020. 97 с.
- Змитрович И. В., Фирсов Г. А., Бондарцева М. А., Волобуев С. В., Большаков С. Ю. Базидиомицеты – возбудители хронических гнилей деревьев Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В. Л. Комарова: диагностика, биология, распределение по территории // Hortus Botanicus. 2018. Т. 13. С. 182–204.
- Князев М. С. Бобовые (Fabaceae Lindl.) Урала: видообразование, географическое распространение, историко-экологические свиты: дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2014. Т. 1. 607 с.
- Копылова Л. В. Накопление тяжелых металлов *Caragana arborescens* Lam. в условиях антропогенного воздействия (Забайкальский край) // Уч. зап. ЗабГУ. Серия: Биол. науки. 2017. № 1. С. 20–25.
- Красная книга Челябинской области: животные, растения, грибы / отв. ред. А. В. Лагунов. 2-е изд. М.: Реарт, 2017. 504 с.
- Крючкова О. Е. Эколого-трофическая структура биоты макромицетов интродуцированных древесных пород зеленых насаждений г. Красноярска // Сиб. экол. журн. 2022. № 2. С. 233–247.
- Кутафьева Н. П., Кошелева А. П. Материалы к изучению макромицетов и миксомицетов Саяно-Шушенского государственного биосферного заповедника // Новости систематики низших растений. 2005. Т. 39. С. 155–162.
- Лашинский Н. Н., Ревякина М. П. Онтогенез караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) на Салаире // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1986. Т. 91, вып. 5. С. 125–136.
- Меркер В. В. О некоторых натурализовавшихся видах древесных растений в Челябинской области // Вестн. Челябинск. гос. ун-та. 2005. Т. 12, № 1. С. 43–47.
- Меркер В. В. Дендрофлора Челябинской области: дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2009. 613 с.
- Методы изучения лесных сообществ / Ред. Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков, И. В. Лянгузова, Е. А. Мазная, В. Ю. Нешатаев, В. Ю. Нешатаева, Н. И. Ставрова, В. Т. Ярмишко, М. А. Ярмишко. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Перова Н. В., Горбунова И. А. Макромицеты юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 158 с.
- Протасов М. А. Опыт разведения плодовых деревьев в Челябинске // Сб. материалов по изучению Челябинского округа. Челябинск, 1927. Кн. 1. С. 50–53.
- Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / гл. ред. И. Ю. Коропачинский, Е. В. Банаев. Новосибирск: ГЕО, 2014. 492 с.
- Рысин Л. П., Рысин С. Л. Урболесоведение. М.: КМК, 2012. 240 с.
- Сафонов М. А., Маленкова А. С., Русаков А. В., Ленева Е. А. Биота искусственных лесов Оренбургского Предуралья. Оренбург: ИПК Университет, 2013. 176 с.
- Состояние зеленых насаждений и парков центральной части города Екатеринбурга / сост. Л. П. Илюшин и др. Екатеринбург: Администрация г. Екатеринбург, 2019. 103 с.
- Степанова Н. Т. Эколого-географическая характеристика афиллофоровых грибов Урала: дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск: УФАН СССР, 1971. 680 с.
- Степанова Н. Т. Грибы порядка Aphyllophorales в лесах Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина // Микологические исследования на Урале. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. С. 3–22.
- Степанова Н. Т., Сирко А. В. К флоре сумчатых и несовершенных грибов Урала // Споры растения Урала: материалы по изучению флоры и растительности Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1970. С. 3–52.
- Томошевич М. А. Формирование патоккомплексов древесных растений при интродукции в Сибири: дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 2015. 462 с.
- Физико-географическое районирование СССР. Геогр. ф-т МГУ им. М. В. Ломоносова / сост. М. А. Гроздецкий и др. М.: Научно-редакционная картосоставительная служба ГУТК, 1966. М 1: 10 000 000.
- Шварцман С. Р. Флора споровых растений Казахстана. Т. IV. Гетеробазидиальные и автобазидиальные грибы. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1964. 716 с.
- Ширияев А. Г. Пространственная дифференциация биоты клавариоидных грибов России: эколого-географический аспект: дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. 304 с.
- Ширияев А. Г., Мухин В. А., Котиранта Х., Ставищенко И. В., Арефьев С. П., Сафонов М. А., Косолапов Д. А. Биоразнообразие афиллофоровых грибов Урала // Тр. Междунар. конф. “Биологическое разнообразие растительного мира Урала и сопредельных территорий”. Екатеринбург: Изд-во Уральск. ун-та, 2012. С. 311–313.
- Bulgakov T. S., Shiryaev A. G. Powdery mildews (Erysiphaceae) on wood plants in urban habitats of Sverdlovsk region (Russia) // Mycol. Phytopathol. 2022. Vol. 56, N 5. С. 323–331.
- Colwell R. K., Chao A., Gotelli N., Lin Sh.-Y., Xuan Mao Ch., Chazdon R., Longino J. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages // J. Plant Ecol. 2012. Vol. 5 (1). P. 3–21.
- Fick S. E., Hijmans R. J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // Int. J. Clim. 2017. Vol. 37. P. 4302–4315.
- Good I. J. Studies in the history of probability and statistics. XXXVII A. M. Turing's statistical work in World War II // Biometrika. 1979. Vol. 66. P. 393–396.
- IndexFungorum. CABI Database. London: The Royal Botanic Gardens Kew, 2023. URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 11.01.2023).
- Kotiranta H., Shiryaev A., Spirin V. Aphylloporoid fungi (Basidiomycota) of Tuva Republic, southern Siberia, Russia // Folia Cryptogamica Estonica. 2017. Fasc. 53. P. 51–64.

- Michalopoulos-Skarmoutsos H., Skarmoutsos G. Pathogenicity of fungi affecting black locust (*Robinia pseudoacacia*) in Greece // *Phytoparasitica*. 1999. Vol. 27. P. 239–240.
- Pem D., Jeewon R., Bulgakov T. S., Bondarenko-Boriso-va I. V., Doilom M., Elgorban A. M., Phookamsak R., Lumyong S., Hyde K. D. New host and distributional records for *Camarosporidiella* in Italy, Russia, and Ukraine // *Mycotaxon*. 2021. Vol. 136 (2). P. 451–489.
- Raunkiaer C. Plant life forms. Oxford: Oxford Univ. Publ., 1937. 135 p.
- Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Oslo: Fungi-flora, 2014. 455 p. (Synopsis Fungorum Vol. 31).
- Shiryayev A. G., Kotiranta H., Mukhin V. A., Stavishenko I. V., Ushakova N. V. Aphylophoroid fungi of Sverdlovsk region, Russia. Biodiversity, ecology and the IUCN threat categories. Ekaterinburg: Goschitskiy Publ., 2010. 304 p.
- Shiryayev A. G., Zmitrovich I. V., Shiryayeva O. S. Species richness of Agaricomycetes on hedge vines in Ekaterinburg city (Russia) // *Микология и фитопатология*. 2021. Т. 55, вып. 5. С. 340–352.
- Shiryayev A. G., Zmitrovich I. V., Bulgakov T. S., Shiryayeva O. S., Dorofeyeva L. M. Warming favors the development of rich and heterogeneous mycobiota on alien vines in a boreal city under continental climate // *For-ests*. 2022a. Vol. 13 (2). P. 323.
- Shiryayev A. G., Zmitrovich I. V., Shiryayeva O. S. New and rare New and Rare Agaricomycetes Species on Woody Alien Plants in Ekaterinburg City (Russia) // *Микология и фитопатология*. 2022b. Т. 56, вып. 5. С. 350–356.
- Shortt K. B., Vamosi S. M. A review of the biology of the weedy Siberian peashrub, *Caragana arborescens*, with an emphasis on its potential effects in North America // *Bot. Stud.* 2012. Vol. 53. P. 1–8.
- Vajna L. *Diaporthe oncostoma* causing stem canker of black locust in Hungary // *Plant Pathol.* 2002. Vol. 51 (3). P. 393–393.
- Vlasenko V. A., Vlasenko A. V. Diversity, distribution and ecology of the genus *Polyporus* south of Western Siberia (north Asia) // *Cur. Res. Environ. & Appl. Mycol.* 2015. Vol. 5 (2). P. 82–91.
- World Flora Online. An Online Flora of All Known Plants, 2023. URL: <http://www.worldfloraonline.org>. (обращение к ресурсу: 15.01.2023).

Fungal diversity of native and alien leguminous woody plants in the Middle Urals

A. G. SHIRYAEV¹, I. V. ZMITROVICH^{1, 2}, P. ZHAO³, S. A. SENATOR^{1, 4}, T. S. BULGAKOV^{1, 5}

¹*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202/3*

²*V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences
197022, St-Petersburg, Professor Popov str., 2*

³*Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences
100101, Beijing, Chaoyang District, N 1 Beichen West Road
E-mail: zhaopeng@im.ac.cn*

⁴*Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences
127276, Moscow, Botanicheskaya str., 4*

⁵*Federal Scientific Centre of Subtropical Research Centre of the Russian Academy of Sciences
354002, Sochi, Yan Fabritsius str., 2/28*

The biodiversity of wood-destroying fungi on leguminous woody plants (LWP) growing in the Middle Urals has been studied for the first time. In the model region – Sverdlovsk province, from 2002 to 2022, there are 136 species of wood-destroying fungi were collected: 127 species of Basidiomycota and 9 species of Ascomycota. Fungi develop on 12 out of 20 species of LWP. The largest number of fungal species was found on the alien *Caragana arborescens* (115 species / 84.5 % of the total number of species), while on *Caragana decorticans*, *C. ussuriensis*, *Laburnum alpinum* two each, and one on *Genista florida*. 122 species of fungi were found on nine alien species of the LWP, which is 4.1 times more than on three native species. The largest number of substrate-specific fungal species develops on *C. arborescens* (85/62.5 %), while four on *Chamaecytisus ruthenicus* (2.9 %), three on *Maackia amurensis* (2.2 %), two each on *Genista tinctoria* and *Robinia pseudoacacia* (1.5 %), and one species on *Caragana ussuriensis* (0.7 %). *Nectria cinnabarina* develops on seven species of LWP, on six

species – *Xylodon sambuci*, on four – *Peniophora cinerea* and *Schizophyllum commune*. In contrast, 71.3 % of fungal species were found on one LWP species, and 27.2 % of species are characterized by a single find. For the first time for Sverdlovsk province, 14 fungal species are indicated, of which 86 % were found in the parks of Ekaterinburg city, tree-lines along the roads, but only 14 % in natural conditions.

In order to reveal the latitudinal-zonal specificity for the distribution of species richness of the LWP associated mycobiota, we use Aphyllophoroids as the largest group of fungi among all analyzed (75 % of species), and *Caragana arborescens*, or Siberian pea tree, is the richest plant substrate. Changes in the fungal diversity were studied along a meridional transect stretching for 800 km. along 60° E, from the middle boreal subzone of Sverdlovsk province to the steppes of Chelyabinsk province (Russia) and Kostanay province (Kazakhstan). In each of the 5 vegetation zones/subzones, as well as in Ekaterinburg city, six sites were studied, the area of which varies from 0.9 to 6.8 ha. The aboveground phytomass of *C. arborescens* is maximal in the forest-steppe (8.9–11.7 t/ha), and minimal at the edges of transect (2.4–5.8 t/ha). A positive correlation was found between the aboveground plant phytomass and the species richness of mycobiota, while there was no correlation with climatic parameters. In Ekaterinburg city, where the Siberian pea tree phytomass is two times lower than in the forest-steppe, but the species richness of mycobiota is similar to the forest-steppe, is out of this pattern. A similar result was obtained for α -diversity (average number of fungal species on the sites and Shannon index) of mycobiota: an increase in indicators from the middle boreal subzone to the forest-steppe and a decrease in the steppe. The Whittaker and Czekanowski – Sørensen indices (β -diversity) increase towards the steppe, which is due to a strong relationship with the mean annual temperature and precipitation. A range of fungal species gravitating towards northern, southern and urbanized conditions has been revealed. In the north of transect, local species of fungi predominate, while in the south and in Ekaterinburg city, the role of biogeographically distant (alien) taxa is high. In this regard, the species composition of Siberian pea tree's mycobiota is divided into two clusters – northern (boreal) and southern (nemoral-steppe) including Ekaterinburg city. To the south, species richness of pathogenic fungi increases, but this parameter does not correlate with the *C. arborescens* phytomass. In plantings of invasive Siberian pea tree, species richness of Poroid fungi is similar to Corticioid fungi at the local and regional level, which differs significantly from natural conditions. A high level of pathogenic fungi was also revealed compared to natural conditions. The results obtained can be used to optimize the concept development of Greenway planning in Ekaterinburg city and can help prevent a number of environmental problems arising after the “rapid” implementation of the strategy for the city development and surrounding areas.

Key words: Russia, Kazakhstan, anthropogenic impact, biogeography, ecology, phytopathology, invasion, climate.