

МИКОБИОТА КНИГ В БИБЛИОТЕКАХ РОССИИ

© 2023 г. Е. А. Попихина^{1,*}, Е. С. Трепова^{1,**}, Т. Д. Великова^{1,***}, С. С. Хазова^{1,****}

¹Федеральный центр консервации библиотечных фондов, Российская национальная библиотека, 191069 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: popikhina@mail.ru

**e-mail: k.trepova@gmail.com

***e-mail: velikova@nlr.ru

****e-mail: seti_77@mail.ru

Поступила в редакцию 19.08.2022 г.

После доработки 01.12.2022 г.

Принята к публикации 21.12.2022 г.

Многочисленные исследования микроорганизмов, выделенных с поверхности объектов культурного наследия, в том числе библиотечных документов, регулярно проводятся в разных странах. С каждой коллекции книг в библиотеках изолируют определенный комплекс микромицетов, однако существуют виды, которые обнаруживаются постоянно. В 57 городах России, расположенных в семи федеральных округах (Северо-Западном, Центральном, Южном, Приволжском, Уральском, Сибирском, Дальневосточном) исследовали структуры сообществ микромицетов библиотечных документов. Выделено и идентифицировано 95 видов из 32 родов. Микобиота поверхности документов библиотек представлена отделами *Ascomycota*, на который приходится более 90% видового богатства, *Mucoromycota* – 3–9%, *Basidiomycota* – 3–4%. Семейство *Aspergillaceae* является лидирующим: на него приходилось от 48.5 до 67.3% всего видового богатства. Во всех регионах видовое разнообразие умеренное: индекс Шеннона варьировался от 2.7 до 3.3. Значения индекса видового богатства Макинтоша всюду были достаточно высокими (48–126), за исключением Уральского (15.3). Значения индексов доминирования Макинтоша (0.76–0.84) и Пиелоу (0.80–0.91) свидетельствовали о высоком уровне выровненности видов в микобиоте. Полученные величины характеризовали стабильность микобиоты документов в библиотеках различных регионов. С помощью расчета бинарных коэффициентов выявили значительное видовое сходство между регионами: коэффициент Жаккара составлял от 0.44 до 0.60; качественная мера сходства Сёрсенена – от 0.63 до 0.75; меры сходства Сёрсенена (количественная) – от 0.44 до 0.71, а Мориситы–Хорна – от 0.66 до 1.0. Группы доминантных видов в различных регионах достаточно схожи. Изучение экологического разнообразия микобиоты библиотечных документов позволило выявить умеренное видовое разнообразие и достаточную стабильность описываемого сообщества, установить высокую степень сходства таксономической структуры независимо от климатических условий обследуемых регионов и выявить типичных представителей изучаемой микобиоты. Космополиты с высокими значениями численности составили основное ядро микобиоты поверхности документов: *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor plumbeus* и *Penicillium aurantiogriseum*.

Ключевые слова: библиотеки, биоразнообразие, грибы, книги, культурное наследие, микобиота

DOI: 10.31857/S0026364823040098, **EDN:** VVAOYU

ВВЕДЕНИЕ

В мире хранится множество музейных, библиотечных и архивных коллекций, представляющих историческую и культурную ценность. Исследование микобиоты экспонатов и документов проводится с целью выявления и изучения микроорганизмов, представляющих опасность для материалов объектов культуры, и принятия мер для предотвращения или устранения их биоповреждения.

Многочисленные исследования микроорганизмов, выделенных с документов, проводятся в

разных странах, причем состав сообществ различен, хотя некоторые микромицеты обнаруживаются постоянно. В одной из первых монографий, посвященных повреждению бумаги, с книг выделено 288 видов микромицетов 167 родов (Nyuksha, 1994). В обзоре, охватывающем данные микробиологического обследования документов в 71 учреждении в 27 странах с 1997 по 2018 год, было выделено 580 видов из 207 родов грибов. С пергаменных переплетов выделено 299 видов грибов, принадлежащих к 100 родам, и 35 штаммов бактерий, принадлежащих к родам *Streptomyces*, *Bacillus*,

Pseudomonas, *Serratia* и др. (Barbara et al., 2009; Ciceroa et al., 2018; Zhang et al., 2022). При исследовании микробиоты 80 книг на пергамене, принадлежащих к пяти различным коллекциям, получено 230 изолятов микромицетов, принадлежащих к 42 видам из 22 родов. Наиболее часто встречались шесть видов – *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium cladosporioides*, *Epicoccum nigrum*, *Penicillium citrinum*, *P. glabrum* и *P. spinulosum* (de Carvalho et al., 2016). Этими авторами сделан вывод, что более старые коллекции содержали большее количество микромицетов.

В области диагностики уникального культурного наследия используются традиционные методы культивирования и отбора проб наряду с инновационными технологиями. Развитие современных молекулярных методов способствует выявлению новых видов микроорганизмов, которые колонизируют библиотечные материалы. Например, с книг выделено 85 родов грибов, причем 80 родов выделены с бумаги, 29 – с пергамена. Молекулярными методами идентифицированы дополнительно 40 родов грибов с бумаги и 15 – с пергамена (Pinzari et al., 2021). С поверхности поврежденной книги XVI века выделены восемь видов: *Penicillium commune*, *P. chrysogenum*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides* и *C. herbarum*. С использованием молекулярных методов по базе данных EMBL (Ensemble Fungi) провели филогенетическую идентификацию еще семи видов грибов: *Aspergillus versicolor*, *A. nidulans* (*Emericella nidulans*), *Penicillium pinophilum*¹, *Epicoccum nigrum* и *Rhizopus oryzae*² (da Silva et al., 2006).

Не все микромицеты, изолированные с документов, вызывают биоповреждение. Наибольшую опасность представляют виды, продуцирующие ферменты протеазы, амилазы, целлюлазы, разрушающие кожу и пергамен, связующие бумагу и деревянные крышки переплетов. С поврежденных рукописей из библиотеки Медины Феса был выделен 31 вид микромицетов, девять из которых способны разлагать карбоксиметилцеллюлозу. Наиболее частыми видами были *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger*, *A. oryzae* и *Mucor racemosus* (El-Bergadi et al., 2014). Целлюлолитическая активность и присутствие на книгах свидетельствует об участии в повреждении бумаги *Aspergillus niger* и *Penicillium citrinum* (da Silva et al., 2006), *Aspergillus tubingensis*, *Penicillium crustosum* (Martins et al., 2018). Высокую амилитическую и целлюлолитическую активность проявляли *Aspergillus versicolor*, выделенный со старинных книг (da Silva et al., 2006) и *A. flavus* и *Penicillium brasilianum* с документов XX в. (Okpalanozie et al., 2018); *Penicillium pinophilum* продуцирует целлюлазы и глюкозидазы (Krogh et al., 2004).

¹ Современное название – *Talaromyces pinophilus*.

² Современное название – *Rhizopus arrhizus*.

Представители грибов, изолированных из одной и той же коллекции документов, имеющих сходные повреждения, бывают ограничены несколькими видами, например, четыре вида: *Aspergillus fumigatus*, *Mucor spinosus*³, *Phoma herbarum* и *Penicillium funiculosum*, причем *A. fumigatus* и *P. funiculosum*⁴ присутствовали почти на всех исследованных документах и были выделены как из черных, так и из розовых пигментных пятен на бумаге. С пергамена выделены виды родов *Mucor*, *Phoma* и *Penicillium* (Kraková et al., 2012). С поврежденных журналов 1970–1984 гг. изолировано шесть видов: *Aspergillus niger*, *A. tamari*, *A. flavus*, *Penicillium georgiense*, *P. citrinum* и *Trichoderma atroviride*, причем *Penicillium georgiense* никогда не ассоциировался с бумагой, а *Aspergillus tamari* предположительно участвовал в деградации чернил (Okpalanozie et al., 2018). Иногда с поврежденных книг выделяли два-три вида: *Cladosporium cladosporioides* и *Penicillium chrysogenum* – единственные виды поврежденных книг 1870 г. (Dunca, 2014); *Aspergillus fumigatus*, *A. pseudoglaucus* и *A. amstelodami* – Кодекса Алеппо XV в. (Zilbersteina, 2020). *A. versicolor*, *A. nidulans* (*Emericella nidulans*) и *Penicillium pinophilum*⁵ являются активными биодеструкторами, повреждая бумагу книг (Michaelsen et al., 2009).

Редкие виды осмофильных грибов, растущие только на средах с низкой активностью воды (aw 0.675) – *Eurotium halophilicum* и *Diploospora rosea* – выделены с поврежденных корешков книг (Pinzari et al., 2021), *Eurotium halophilicum* – с белых пятен переплетов, хранящихся на мобильных стеллажах (Montanari et al., 2012), *Aspergillus versicolor* – с книги XVI в. (aw < 8) (da Silva et al., 2006).

Кроме того, многие микромицеты рассматриваются как случайные контаминанты: *Debaryomyces hansenii* и *Botryotinia fuckeliana*⁶ (Michaelsen et al., 2009), *Chloridium minutum*⁷, *Cladosporium apiculatum*, *Chaetostilum fresenii*⁸, *Mucor flavus*, *Syncephalastrum racemosum* (Nyuksha, 1994), *Hypocrea lixii*⁹, *Aspergillus melleus*, *Schizophyllum commune* (El-Bergadi et al., 2014) и др.

Известно свыше 90 видов микромицетов, образующих пигменты при росте на бумаге (Nyuksha, 1994). Фиолетовые пятна образуются при росте *Aspergillus nidulans*, оранжевые – *Aspergillus versicolor* (Michaelsen et al., 2009), черные, розовые – *A. fumigatus*, *Penicillium funiculosum*¹⁰ (Michaelsen, 2009), желтые – *Aspergillus terreus*, *A. ochraceus* (El Monssef

³ Современное название – *Mucor plumbeus*.

⁴ Современное название – *Talaromyces funiculosus*.

⁵ Современное название – *Talaromyces pinophilus*.

⁶ Современное название – *Botrytis cinerea*.

⁷ Современное название – *Chaetosphaeria innumera*.

⁸ Современное название – *Helicostylum pulchrum*.

⁹ Современное название – *Trichoderma lixii*.

¹⁰ Современное название – *Talaromyces funiculosus*.

et al., 2016). *A. versicolor* выделяет розово-оранжевый пигмент (versicolorine), цвет которого соответствовал пятнам на листах бумаги, что свидетельствует о его участии в биоповреждении книги XVI в. (da Silva et al., 2006). Описание пигментов и тем более их химический состав встречается в статьях редко, как и данные о количестве микромицетов (в КОЕ/дм²) на поверхности документов.

Таким образом, наиболее распространенные контаминанты документов принадлежат к родам *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Microsporium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Trichophyton* (Barbara et al., 2009; Michaelsen et al., 2009; Carvalho et al., 2016; El Monsséf et al., 2016; Pinheiro et al., 2019; Zhang et al., 2022). Наличие микроорганизмов на поврежденных участках книг в сочетании с выделением целлюлолитических штаммов, подтвержденных во многих исследованиях, убедительно указывает на то, что микромицеты представляют опасность для письменного наследия.

Цель данной работы – оценка видового богатства и таксономической структуры микромицетов, выделенных с документов библиотек различных регионов России, и выявление комплекса микромицетов, характерных для документов на бумаге независимо от региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Количество микроорганизмов на поверхности документов определяли методом отпечатков с использованием влажных стерильных дисков фильтровальной бумаги или хлопковых тампонов (Velikova, Khosid, 1994; Velikova, Popikhina, 2018). Отбор проб проводили на питательную среду Чапека–Докса. Культивировали в течение 5–14 сут при $29 \pm 2^\circ\text{C}$.

Выделенные с поверхности документов микромицеты изолировали и идентифицировали на основании культурально-морфологических признаков при помощи световой микроскопии и общепринятой техники микроскопирования в проходящем свете в светлом поле при прямом освещении на микроскопах Olympus BX 53M и Leica DM2000, используя определители отечественных и зарубежных авторов (Raper, Thom, 1968; Arx, 1974; Raper, Fennel, 1977; Egorova, 1986; Sutton et al., 1997; Domsh et al., 2007). Наименования таксонов представлены в соответствии с электронной базой данных Index Fungorum (2022).

Наличие видов грибов на поверхности документов характеризовали показателем частоты встречаемости (Mirchink, 1976). Для анализа микобиоты использованы следующие таксономические показатели: пропорции видов в семействе (В/С), родов в семействе (Р/С), видов в роде (В/Р) и видов в классе (В/К). Микобиоты исследуемых сообществ анализировали при помощи индекса видового разнообразия Шеннона, индексов вы-

ровненности Пилоу и Макинтоша (D_{Mc}), индексов доминирования Симпсона и Бергера–Паркера и видового богатства Макинтоша (U) и Менхника. Сравнение видового состава микромицетов, выделенных с поверхности документов в разных регионах, проводили с помощью качественных коэффициентов сходства Жаккара и Сёренсена, и количественных – Сёренсена и Мориситы–Хорна (Leontyev, 2008; Maggugan, 2013).

В работе представлены данные по микологическому состоянию областных и региональных библиотек России из 57 городов, расположенных в семи федеральных округах (ФО):

- из восьми городов Северо-Западного (СЗФО);
- из 11 городов Центрального (ЦФО);
- из шести городов Южного (ЮФО);
- из 11 городов Приволжского (ПФО);
- из Челябинска и Ханты-Мансийска, принадлежащих к Уральскому (УФО);
- из девяти городов Сибирского (СФО);
- из семи городов Дальневосточного (ДФФО).

Состав микобиоты документов в различных ФО России сравнивали с видовым составом микромицетов, выделенных с поверхности документов шести библиотек Санкт-Петербурга (СПб.).

При обследовании особое внимание обращали на состояние документов редких, краеведческих и национальных фондов. Пробы отбирали преимущественно с документов с затеками, следами пигментации, плесневыми налетами, фоксингами и с деструктурированной бумаги, но при этом стараясь получить данные о зараженности микромицетами фонда в целом.

Статистическая обработка результатов выполнена методами многомерной статистики в программах Microsoft Excel и Statistica Ultimate Academic 13.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количество проб, отобранных с поверхности библиотечных документов, во всех регионах составило 1551, а общее количество идентифицированных изолятов – 1997. Всего выделено 95 видов из 32 родов (табл. 1).

Во всех ФО отмечено умеренное видовое разнообразие: от 23 до 46 видов, индекс Шеннона варьировал от 2.7 до 3.2. Наибольшее количество видов (50) выделено с документов библиотек Санкт-Петербурга, а индекс Шеннона в этом случае составил максимальное значение (3.3), что также косвенно свидетельствует о наибольшей стабильности данной микобиоты. В табл. 2 приведены значения рассчитанных индексов разнообразия для каждой из выборок микромицетов, выделенных с поверхности библиотечных документов. Значения индекса разнообразия Макинтоша (U),

Таблица 1. Видовой состав микромицетов, выделенных с поверхности документов

Виды микромицетов	СПб.	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>Acromonium charticola</i> (Lindau) W. Gams								
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. brassicae</i> (Berk.) Sacc.	+	+	+					
<i>A. consortialis</i> (Thüm.) J.W. Groves et S. Hughes								
<i>A. tenuissima</i> (Kunze) Wiltshire	+	+						
<i>Aspergillus ochraceus</i> G. Wilh.								
<i>A. amstelodami</i> (L. Mangin) Thom et Church				+				
<i>A. flavipes</i> (Bainier et. R. Sartory) Thom et Church				+				
<i>A. flavus</i> Link	+	+	+					
<i>A. fumigatus</i> Fresen.								
<i>A. nidulans</i> (Eidam) G. Winter								
<i>A. niger</i> Tiegh.	+	+	+					
<i>A. ochraceus</i> G. Wilh.								
<i>A. repens</i> (Corda) Sacc.	+	+	+					
<i>A. sclerotiorum</i> G.A. Huber								
<i>A. silvaticus</i> Fennell et Raper								
<i>A. sulphureus</i> (Fresen.) Thom et Church								
<i>A. sydowii</i> (Bainier et. Sartory) Thom et Church	+	+	+					
<i>A. terricola</i> Marchal et É.J. Marchal								
<i>A. ustus</i> (Bainier) Thom et. Church	+	+	+					
<i>A. versicolor</i> (Vuill.) Tirab.	+	+	+					
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary et Löwenthal) G. Arnaud								
<i>Boeremia exigua</i> (Desm.) Aveskamp, Gruyter et Verkley		+						
<i>Botrytis cinerea</i> Pers.								
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	+	+	+					
<i>Chrysosporium</i> sp.								
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries	+	+	+					
<i>C. herbarum</i> (Pers.) Link								
<i>C. sphaerospermum</i> Penz.								
<i>Fusarium gibbosum</i> var. <i>acuminatum</i> (Ellis et Everh.) Bilal								
<i>F. incarnatum</i> (Desm.) Sacc.		+						
<i>F. roseum</i> Link								
<i>F. solani</i> (Mart.) Sacc.	+	+						
<i>F. sporotrichioides</i> Sherb.								

Таблица 1. Продолжение

Виды микромицетов	СПб.	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДФФО
<i>Gamsiella stylospora</i> (Dixon-Stew.) Vandepol et Bonito			+					
<i>Geotrichum asteroides</i> (Castell.) Basgal	+						+	
<i>Hyalocylindrophora rosea</i> (Petch) Réblová et W. Gams							+	
<i>Microascus brevicaulis</i> S.P. Abbott	+				+			
<i>Micor plumbeus</i> Bonord.		+	+					+
Муселиа sterilia светлоокрашенные						+		
Муселиа sterilia темноокрашенные						+		
<i>Neurospora sitophila</i> Shear et. B.O. Dodge			+		+			
<i>Ochroconis ishawytschae</i> (Doty et D.W. Slater) Kiril et Al-Achmed		+						
<i>Oospora lutea</i> Kamyschko			+		+			
<i>Paecilomyces variotii</i> Bainier	+	+	+	+	+			
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Dierckx	+	+	+		+			
<i>P. brevicompactum</i> Dierckx	+	+	+		+			
<i>P. camemberti</i> Thom			+		+			
<i>P. canescens</i> Sopp	+		+		+			
<i>P. chrysogenum</i> Thom	+		+		+			
<i>P. commune</i> Thom			+		+			
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling			+		+			
<i>P. granulatum</i> Bainier	+		+		+			
<i>P. griseofulvum</i> Dierckx	+		+		+			
<i>P. herquei</i> Bainier et Sartory	+		+		+			
<i>P. hirsutum</i> Dierckx	+		+		+			
<i>P. janczewskii</i> K.W. Zalesky	+		+		+			
<i>P. jensenii</i> K.W. Zalesky	+		+		+			
<i>P. lanosocoeruleum</i> Thom Dierckx	+		+		+			
<i>P. lanosum</i> Westling	+		+		+			
<i>P. meleagrinum</i> Biourge	+		+		+			
<i>P. miczynskii</i> K.W. Zalesky	+		+		+			
<i>P. nalgiovense</i> Laxa	+		+		+			
<i>P. ochrochloron</i> Biourge	+		+		+			
<i>P. oxalicum</i> Currie et Thom	+		+		+			
<i>P. resticulosum</i> Birkinshaw, Raistrick et G. Sm.	+		+		+			
<i>P. roseopurpureum</i> Dierckx	+		+		+			
<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom	+	+	+	+	+			+

Таблица 1. Окончание

Виды микромицетов	СПб.	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>P. solitum</i> Westling	+							+
<i>P. spinulosum</i> Thom	+							
<i>P. verrucosum</i> Dierckx	+							
<i>P. cycloporium</i> var. <i>echinulatum</i> Raper et Thom	+							
<i>P. janczewskii</i> K. W. Zalesky	+							
<i>Phanerodonia chrysosporium</i> (Burds.) Hjortstam et Ryvarden	+		+					
<i>Rectifusarium ventricosum</i> (Appel et Wollenw.) L. Lombard et Crous			+		+		+	+
<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	+		+					+
<i>Sarocladium strictum</i> (W. Gams) Summerb.				+				+
<i>Sporotrichum verticillatum</i> Spreng.								+
<i>Stachybotrys alternans</i> Bonord.	+							
<i>S. chartarum</i> (Ehrenb.) S. Hughes			+					
<i>Stemphylium botryosum</i> Wallr.							+	
<i>Talaromyces diversus</i> (Raper et Fennell) Samson, N. Yilmaz et Frisvad	+							
<i>T. funiculosus</i> (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert	+				+		+	
<i>T. purpureogenus</i> (Stoll) Samson, N. Yilmaz, Houbraeken, Spierenb., Seifert, Peterson, Varga et Frisvad	+		+		+		+	+
<i>T. variabilis</i> (Sopp) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert	+							
<i>Torula expansa</i> (Kunze) Pers.							+	
<i>T. herbarum</i> (Pers.) Link			+		+	+	+	
<i>T. lucifuga</i> Oudem.	+							
<i>Trichocladium griseum</i> (Traaen) X. Wei Wang et Houbraeken								
<i>Trichoderma aureoviride</i> Rifai	+							
<i>T. koningii</i> Oudem.	+		+				+	
<i>T. viride</i> Pers.	+		+				+	
<i>T. polysporum</i> (Link) Rifai	+		+		+		+	
<i>Trichosporiella cerebriiformis</i> (G.A. de Vries et Kleine-Natrop) W. Gams								
<i>Verticillium glaucum</i> Bonord.	+					+		

Таблица 2. Экологическое разнообразие микромицетов на поверхности библиотечных документов регионов России

Параметр	СПб.	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
Общее количество изолятов (N)	205	205	516	260	233	57	163	261
Всего проб	165	165	375	217	195	39	155	146
Всего видов	34	34	46	29	30	23	33	39
Индекс Симпсона (D)	0.05	0.05	0.06	0.09	0.08	0.06	0.08	0.07
Индекс выровненности Пиелу (E)	0.88	0.88	0.83	0.80	0.82	0.91	0.81	0.82
Индекс Шеннона (H)	3.12	3.12	3.19	2.70	2.79	2.86	2.83	3.04
Индекс Макинтоша (U)	48.9	48.9	126.2	66.9	67.8	15.3	48.2	72.1
Индекс выравнивания Макинтоша (D_{Mc})	0.82	0.82	0.79	0.79	0.76	0.84	0.76	0.77
Индекс Бергера–Паркера	0.11	0.11	0.14	0.16	0.16	0.14	0.18	0.18
Индекс Менхиника	2.37	2.37	2.03	1.80	1.97	3.05	2.58	2.41

зависящего от количества видов и образцов в выборке, свидетельствуют о наибольшем богатстве видов в сообществе грибов, выделенных с документов в ЦФО (126.2), тогда как наименьшее видовое богатство (15.3) отмечено в сообществе грибов УФО, очевидно, из-за недостаточного количества данных, полученных в этом регионе. В микобиотах других регионов видовое богатство находилось в пределах от 48.2 до 72.1. Для нивелирования влияния различий объема выборок использовали индекс Менхиника, рассчитав который получили значительно меньший разброс видового богатства: от наибольшего (3.05) в библиотеках СФО до наименьшего (1.80) – в ЦФО, что свидетельствует о высоком видовом богатстве в микобиоте поверхности документов во всех регионах.

В каждой выборке уровень доминирования микромицетов невысок, что подтверждается как низкими значениями индекса доминирования Симпсона, который не превысил 0.1 ни в одном из округов, так и альтернативным индексом доминирования Бергера–Паркера. Последний индекс показывает степень доминирования самого обильного вида, и в нашем случае также имеет достаточно невысокие значения (от 0.13 до 0.18).

О высоком уровне выровненности видового состава свидетельствуют индексы Пиелу ($E = 0.80–0.91$) и Макинтоша ($D_{Mc} = 0.76–0.84$), причем на последний не влияет размер выборки. Наибольшая выровненность видов была у сообщества УФО ($E = 0.84$ и $D_{Mc} = 0.91$), где отмечено наименьшее количество значимых видов, что подтверждается самым низким значением индекса Макинтоша ($U = 15.3$). Полученные коэффициен-

ты свидетельствуют об отсутствии конкуренции видов в каждом сообществе микромицетов, выделенных с поверхности документов при обычных условиях хранения.

С одной стороны, индексы разнообразия характеризуют достаточно стабильную экосистему видов на поверхности библиотечных документов за счет сходных условий хранения: при обследовании в летне-осенний период температура окружающего воздуха была в диапазоне 20–25°C, а относительная влажность не превышала 50% (Velikova et al., 2017; Тгерова et al., 2011a, 2011b). Ввиду отсутствия в большинстве библиотек климатического оборудования, нормализация температурно-влажностного режима осуществляется путем проветривания, при этом грибы извне неизбежно попадают с потоками воздуха в хранилища и оседают на поверхности документов. Не все из них могут адаптироваться к достаточно специфическим условиям, то есть сохранять жизнеспособность на поверхности бумаги с низким содержанием капиллярной воды, доступной для потребления грибами, что подтверждено сравнением видового состава микобиоты воздушной среды и документов (Тгерова et al., 2011a).

На разнообразие микромицетов, обитающих на поверхности документов, климат региона влияет слабо, что можно увидеть по результатам факторного анализа методом ординации главных компонент (РСА). Матрица различия составлена из количества видов, индексов видового богатства, доминирования, выравнивания и разнообразия (табл. 2). Расхождение по первой оси описывает 43.6% варьирования, а по второй оси –

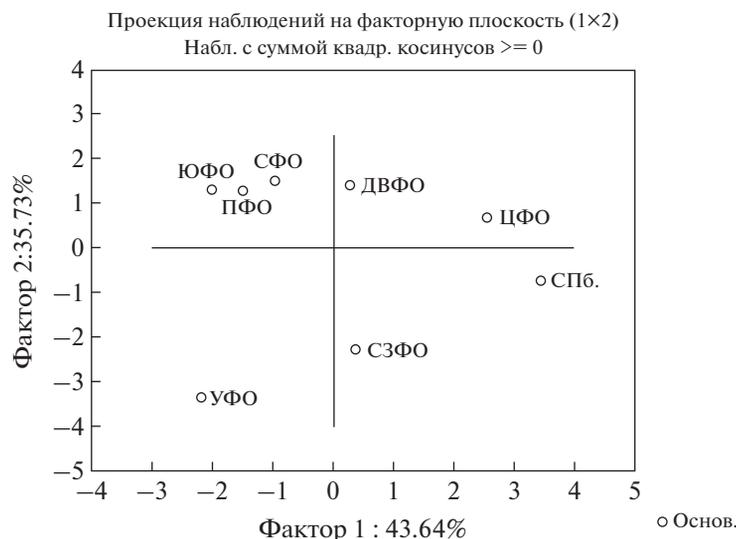


Рис. 1. Распределение комплексов микромицетов, выделенных с документов, в пространстве главных компонент.

35.7%. На долю остальных факторов пришлось 20.7% общей дисперсии, их в анализ не включили. Ординация полученных данных видового разнообразия показывает четкое разделение микобиот на две обособленные группы (рис. 1): 1) ЦФО и СПб и 2) ЮФО, ПФО, СФО и ДВФО, за исключением находящихся в обособленном положении СЗФО и УФО. Регионы ЮФО и ПФО, обладающие сходным умеренно-континентальным климатом, хотя и попали в одну группу, но не объединены с регионами со схожим климатом (УФО и ЦФО). В то же время ЮФО и ПФО образовали один кластер с регионом СФО, расположенным в умеренном и субарктическом климатических поясах, и с ДВФО, для южной части которого характерен муссонный, а для северной – резко континентальный (Якутск) и субарктический климат, с чертами морского муссонного (Магадан).

Таксономическая структура микобиоты поверхности документов библиотек представлена тремя отделами: *Ascomycota*, который представляет более 90% видового богатства, *Mucoromycota* – 3–9% и самый малочисленный отдел *Basidiomycota* – 3–4%, микромицеты из которого присутствовали только в трех обследованных округах – СФО, ДВФО и СПб.

Рассматривая таксономическую структуру микобиоты библиотечных документов в разных ФО России в среднем и в библиотеках СПб. в частности, выявлено, что соотношение видов в семействе (В/С) составляет 2.8 и 4.3 соответственно, родов в семействе (Р/С) – 1.4 и 1.3, видов в роде (В/Р) – 2.2 и 3.3, видов в классе (В/К) – 6.5 и 8.7 (табл. 3). Такие таксономические соотношения, как Р/С и В/Р в большинстве случаев стабильны и не меняются в зависимости от региона. Отсутству-

ет классическое увеличение количества видов в семействе с севера на юг. Большинство соотношений, рассчитанных для выборки микромицетов, выделенных с документов СПб., выше соотношений, полученных при обследовании региональных библиотечных фондов, что свидетельствует о более высоком таксономическом богатстве данной выборки.

Наиболее богаты по числу видов во всех библиотеках округов России (рис. 2) следующие классы грибов: *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes* и *Dothideomycetes*. Доля видов от общего числа у первых двух классов варьировалась в довольно узких интервалах: 51.5–60.9 и 12.8–20.7% соответственно, за исключением УФО, где видовое богатство класса *Sordariomycetes* не превышало 5.0%. Богатство класса *Dothideomycetes* варьировалось в более широком диапазоне: от 8.7 до 30.4% в зависимости от региона. Видовое богатство остальных классов не превышало 6.9%.

При сравнении видового богатства грибов в библиотеках разных округов отмечены следующие особенности: наибольшее количество видов класса *Eurotiomycetes* (60.9% от общего числа) выделено в ЦФО, *Sordariomycetes* (20.7 и 19.6%) – в ЮФО и ЦФО соответственно, наиболее богатый класс *Dothideomycetes* был в УФО (30.4%), а классы *Leotiomycetes* и *Mucoromycetes* – в ЮФО (по 6.9%).

Среди микромицетов, выделенных с поверхности поврежденных документов в СПб., на класс *Eurotiomycetes* также приходится наибольшее количество видов, причем их количество больше, чем количество видов данного класса, выделенных в любом из округов России. Виды класса *Saccharomycetes* обнаружены исключительно с доку-

Таблица 3. Таксономические соотношения микобиоты поверхности документов

Таксономические соотношения микобиоты	СПб	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
В/С	4.3	3.1	3.5	2.2	2.5	2.9	2.5	3.0
Р/С	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	2.3	1.2	1.3
В/Р	3.3	2.3	2.7	1.9	2.0	2.1	2.1	2.3
В/К	8.7	8.5	7.7	5.8	6.0	4.6	6.6	6.5

ментов СПб. и не встречались при обследовании библиотек в других округах.

Анализ таксономических групп выявил четыре ведущих семейства, виды которых встречались как во всех регионах России, так и в СПб. Подавляющим в спектре видового богатства было семейство *Aspergillaceae*, которое в зависимости от региона насчитывало от 48.5 до 67.3% всего видового богатства, богатство остальных семейств значительно скуднее. На втором месте, но с большим отрывом, находится семейство *Pleosporaceae*, включающее 4.3–10.0% видов, на третьем месте семейство *Cladosporiaceae* с 1.9–9.1% и на четвертом месте – семейство *Torulaceae*, насчитывающее от 1.9 до 8.7% всего видового богатства.

Микобиота некоторых регионов представлена семействами, характерными именно для этих регионов: представители *Didymellaceae* встречались исключительно в СЗФО, *Mortierellaceae* – в ЦФО, *Onygenaceae* – в ДВФО, *Dipodascaceae*, *Phanerochaetaceae* и *Plectosphaetrellaceae* – во время обследования библиотек СПб., но видовое богатство этих семейств невелико: на долю входящих в них видов приходилось всего от 1.9 до 3.8% от общего видового богатства. Представители редких семейств, обнаруженных в каждом регионе, не являются характерными видами для микобиоты поверхности документов.

В большинстве обследованных округов России у двух лидирующих родов *Penicillium* и *Aspergillus* из ведущего семейства *Aspergillaceae* соотношения видового богатства и степени доминирования близки к единице. На род *Penicillium* приходится 21.2–30.0% от общего числа видов, которые занимают от 20 до 34% суммарного количества изолятов, а на род *Aspergillus* – 16.7–26.5% видового богатства и от 23 до 31% общего количества изолятов. В ПФО род *Penicillium* преобладает над родом *Aspergillus* по сравнению с другими регионами значительно больше как по количеству видов (в два раза), так и изолятов (в 1.6 раза).

Сообщество микромицетов на поверхности документов библиотек СПб. имеет незначительные отличия: видовое богатство рода *Penicillium* составило 46% от общего числа видов, что в 1.5–2 раза

больше, чем в округах России; рода *Aspergillus* – 13.5%, что в 1.5 раза меньше. Степень доминирования видов по их численности для рода *Penicillium* составила 51.7%, что в 1.5–2.6 раза больше, чем на документах в библиотеках округов России; для рода *Aspergillus* – незначительно меньше – 21.2%. Видовое богатство и степень доминирования остальных родов во всех выборках варьировались от 2 до 10%.

Микромицеты, выделенные в библиотеках различных регионов, отличаются, поэтому их можно рассматривать как выборку из генеральной совокупности, а присутствующие различия отнести на счет пространственной и временной составляющей. Виды микромицетов *Alternaria alternata*, *A. consorsialis*, *Aspergillus niger*, *A. ustus*, *A. versicolor*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor plumbeus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. commune*, *Torula herbarum*, хотя и встречались повсеместно, но не все из них можно отнести к характерным представителям микобиоты поверхности документов из-за невысоких значений частоты встречаемости. Методом кластерного анализа на основании частот встречаемости и численности видов грибов для каждого региона сформирован комплекс, состоящий только из характерных для него видов (в табл. 4 эти ячейки выделены серым цветом). Чаще всего в полученные комплексы входили *Aspergillus niger* и *Cladosporium cladosporioides*. Космополиты с высокими значениями численности составили основное ядро микобиоты поверхности документов: *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor plumbeus* и *Penicillium aurantiogriseum*.

Большинство видов в описываемых сообществах малочисленны: частоты встречаемости видов, не включенных в комплексы, составленные при помощи кластерного анализа, варьировались от 1.4 до 6.5%, в этом случае их относили к редким или, если не превышали 1.2%, – к случайным. Представители семейств, встречающихся только в одном из регионов (*Boeremia exigua*, *Chrysosporium* sp., *Gamsiella stylospora*, *Geotrichum asteroides*, *Phanerochaetia chrysosporium*, *Sporotrichum verticillatum*, *Verticillium glaucum*), также относились к случайным видам.

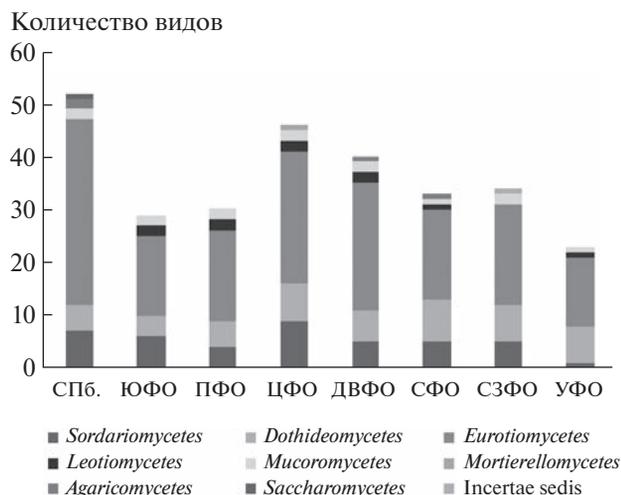


Рис. 2. Спектры наиболее крупных классов микромицетов, выделенных с документов.

Анализ и сравнение видового состава микромицетов, выделенных с поверхности документов библиотек регионов России и Санкт-Петербурга, позволил выявить особенности биологического разнообразия каждого отдельного исследуемого

региона и установить их сходство между собой с точки зрения видового состава или обилия видов.

Для анализа меры сходства микобиоты поверхности документов в библиотеках разных регионов между собой (β -разнообразии) использовали как бинарные коэффициенты, так и метрический коэффициент Мориситы–Хорна, так как значения мер разнообразия этих выборок отличались друг от друга. При сравнении с УФО из-за сильного различия объема выборки метрический коэффициент Мориситы–Хорна исключили из расчетов.

Рассчитав все коэффициенты для семи исследуемых федеральных округов, выявили достаточно высокое видовое сходство: коэффициент Жаккара составлял от 0.44 до 0.60; качественная мера сходства Сёренсена варьировалась от 0.63 до 0.75; количественная мера сходства Сёренсена – от 0.44 до 0.71, а Мориситы–Хорна – от 0.66 до 0.95.

Коэффициенты сходства, рассчитанные для сравнения микобиоты документов библиотек Санкт-Петербурга с микобиотой документов в регионах России, показали самую высокую степень различия. Минимальный коэффициент Жаккара был получен для пары СПб. и УФО (0.15), максимальный – для пары СПб. и ЦФО (0.34). Мера Сёренсена (количественные данные) показывают

Таблица 4. Представители микобиоты поверхности документов библиотек России

Виды микромицетов	Федеральные округа России							
	СПб.	СЗФО	ЦФО	ЮФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
<i>Alternaria alternata</i>	0.4	9.7	10.9	19.4	6.2	7.7	9.0	6.2
<i>A. consortialis</i>	0.0	1.2	0.8	0.5	1.0	5.1	1.3	2.7
<i>Aspergillus flavus</i>	1.5	6.1	2.9	5.5	3.6	0.0	5.8	4.8
<i>A. niger</i>	14.7	12.1	18.9	18.0	18.5	10.3	14.2	24.7
<i>A. ustus</i>	2.7	4.8	4.8	1.4	1.5	2.6	2.6	5.5
<i>A. versicolor</i>	1.5	4.2	5.6	1.4	3.1	2.6	1.3	11.6
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	3.5	11.5	12.3	15.2	9.7	17.9	7.7	10.3
<i>C. herbarum</i>	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	15.4	0.6	2.1
<i>Mucor plumbeus</i>	0.4	4.8	6.9	7.4	9.7	2.6	10.3	10.3
<i>Paecilomyces variotii</i>	3.1	7.3	4.5	7.4	5.6	0.0	3.9	10.3
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	13.9	7.3	7.5	11.5	15.4	10.3	6.5	10.3
<i>P. canescens</i>	8.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
<i>P. commune</i>	0.0	13.3	13.6	7.4	16.4	20.5	0.0	32.2
<i>Torula herbarum</i>	0.0	0.6	1.3	2.3	0.5	5.1	0.6	1.4

Примечание. Полужирным шрифтом выделены микроскопические грибы, отобранные в комплекс характерных представителей в результате кластерного анализа.

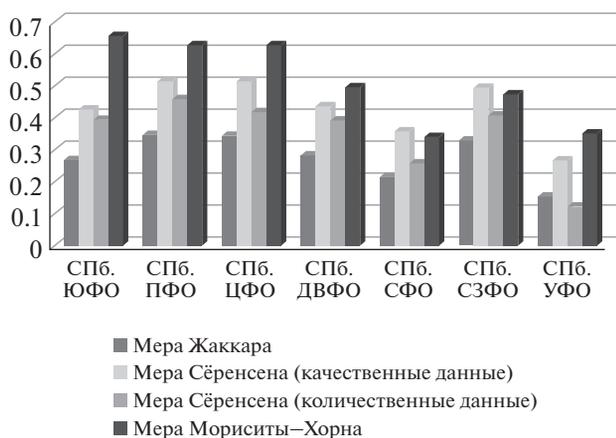


Рис. 3. Сравнение видового состава микромицетов, выделенных с документов в библиотеках Санкт-Петербурга, с микробиотой документов в различных регионах России.

высокую степень этого различия, тогда как для микробиоты поверхности документов библиотек некоторых регионов коэффициент Сёренсена (качественные данные) – уже большее сходство (рис. 3). Индекс Мориситы–Хорна имеет самые высокие значения сходства почти для всех сравниваемых регионов.

При вычислении индексов сходства учитывается только наличие или отсутствие вида в отобранных пробах. При этом как обнаружение одного изолята, так и большого количества изолятов интерпретируется одинаково, а виды, характерные для сообщества и случайные получают одинаковый статус. Для адекватного сравнения изучаемых комплексов микромицетов методом кластерного анализа использованы численность и частота встречаемости видов, что позволило объединить регионы со схожим составом микробиоты: на библиотечных документах даже географически отдаленных районов видовой состав микромицетов может быть однотипным. На основании этого проведено разделение на следующие кластеры: 1) ЦФО; 2) СПб.; 3) ЮФО, ПФО, и ДВФО и 4) СФО, СЗФО и УФО (рис. 4). Распределение регионов на группы по составу микробиоты поверхности документов, полученное методом кластерного анализа, и по ее разнообразию методом главных компонент, показывает сходство этих распределений и отсутствие влияния климата на формирование кластеров в обоих случаях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таксономическая структура сообщества микромицетов поверхности документов библиотек представлена в основном отделом *Ascomycota*, который представляет более 90% видового богат-

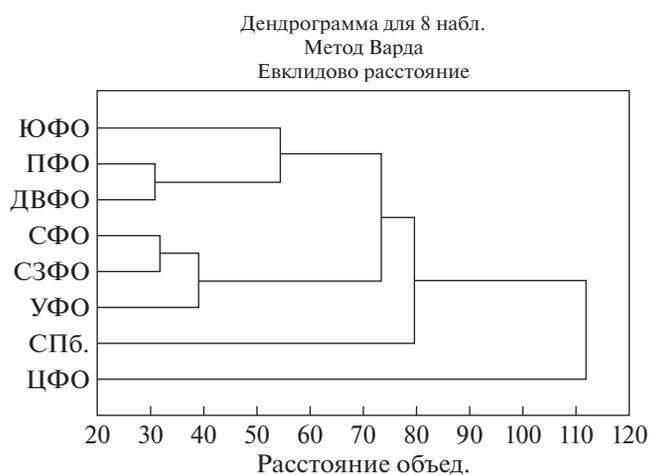


Рис. 4. Дендрограмма сходства комплексов микромицетов, выделенных с документов.

ства. Наиболее богатым по числу видов на поверхности документов во всех библиотеках округов России являлся класс *Eurotiomycetes*, подавляющим семейством – *Aspergillaceae*. Роды *Aspergillus* и *Penicillium* являются самыми многочисленными представителями изучаемой микробиоты. Анализ экологического разнообразия микробиоты библиотечных документов позволил продемонстрировать умеренное видовое разнообразие и достаточную стабильность описываемого сообщества, установить высокую степень сходства таксономической структуры независимо от климатических условий обследуемых регионов и выявить типичных представителей изучаемой микробиоты. Ядро микробиоты поверхности документов составляют виды *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor plumbeus* и *Penicillium aurantiogriseum*. Причина стабильности экосистемы – способность сохранять жизнеспособность у характерных для нее видов в условиях температурно-влажностного режима, сложившегося в книгохранилищах.

Обследования библиотек регионов выполнялось в рамках Национальной программы сохранения библиотечных фондов Российской Федерации (National program..., 2000) и Основных направлений развития деятельности по сохранению библиотечных фондов в Российской Федерации на 2011–2020 гг. (The main directions..., 2013). Обследования библиотек Санкт-Петербурга в 2021 г. выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России, Соглашение № 075-15-2021-1053.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Arx J.A.* The Genera of fungi. Sporulating in pure culture A.R. Gantner Verlag KG., Vaduz, 1974.
- Barbara B.* Fungi utilizing keratinous substrates. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2009. V. 63 (6). P. 631–653. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.02.006>
- Cicerio C., Pinzari F., Mercuri F.* 18th Century knowledge on microbial attacks on parchment: Analytical and historical evidence *Int. Biodeterior. Biodegradation*. V. 134. 2018. P. 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.08.007>
- de Carvalho H.P., Mesquita N., Trovao J. et al.* Diversity of fungal species in ancient parchments collections of the Archive of the University of Coimbra. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2016. V. 108. P. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.12.001>
- Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H.* Compendium of soil fungi. IHV-Verlag, Echingn, 2007.
- Dunca S.I., Tanase C., Padurariu C. et al.* Study of the contaminating microbiota of old paper supports. *Eur. Sci. J. Special edn*. 2014. V. 3. P. 237–251.
- Egorova L.N.* Soil fungi of the Far East. Hyphomycetes. Leningrad: Sience, 1986 (in Russ.).
- El Monssef R.A.A., Hassan E.A., Ramadan E.M.* Production of laccase enzyme for their potential application to decolorize fungal pigments on aging paper and parchment. *Ann. Agric. Sci*. 2016. V. 61 (1). P. 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.11.007>
- El-Bergadi F., Laachari F., Elabed S. et al.* Cellulolytic potential and filter paper activity of fungi isolated from ancient manuscripts from the Medina of Fez. *Ann. Microbiol*. 2014. V. 64. P. 815–822. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0718-6>
- Index Fungorum. CABI Bioscience, 2022. <http://www.indexfungorum.org>. Accessed 23.08.2022.
- Kraková L., Chovanová K., Selim S.A. et al.* A multiphasic approach for investigation of the microbial diversity and its biodegradative abilities in historical paper and parchment documents. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2012. V. 70. P. 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.01.011>
- Krogh K.B.R., Mørkeberg A., Jørgensen H. et al.* Screening genus *Penicillium* for producers of cellulolytic and xylanolytic enzymes. *Appl. Biochem. Biotechnol*. 2004. V. 114. P. 389–401. <https://doi.org/10.1385/ABAB:114:1-3:389>
- Leontyev D.V.* Floristic analysis in mycology. Kharkov, 2008 (in Russ.).
- Magurran A.E.* Measuring biological diversity. John Wiley et Sons, Hoboken, 2013.
- Martins C., Pereira C.S., Plechkova N.V. et al.* Mycobiota of silk-faced ancient Mogao Grottoes manuscripts belonging to the Stein collection in the British library *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2018. V. 134. P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.07.010>
- Michaelsen A., Pinar G., Montanari M. et al.* Biodeterioration and restoration of a 16th-century book using a combination of conventional and molecular techniques: A case study. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2009. V. 63. P. 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.08.007>
- Mirchink T.G.* Soil mycology. Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moscow, 1976 (in Russ.).
- Montanari M., Melloni V., Pinzari F. et al.* Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compact movable shelves. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2012. V. 75. P. 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.03.011>
- National Program for the Preservation of Library Collections of the Russian Federation. MK, Moscow, 2000 (in Russ.).
- Nyuksha Yu.P.* Biological deterioration of paper and books. Russian Academy of Science, SPb., 1994.
- Okpalanozie O.E., Adebuseyeb S.A., Troiano F. et al.* Assessment of indoor air environment of a Nigerian museum library and its biodeteriorated books using culture-dependent and independent techniques. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2018. V. 132. P. 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.003>
- Pinheiro A.C., Sequeira S., Macedo M.F.* Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health. *Critical Rev. Microbiol*. 2019. V. 45 (5–6). P. 686–700. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2019.1690420>
- Pinzari F., Gutarowska B.* Extreme colonizers and rapid profiteers: The challenging world of microorganisms that attack paper and parchment In: *Microorganisms in the deterioration and preservation of cultural heritage*. Springer, Cham, 2021, pp. 79–113.
- Popikhina E.A., Khazova S.S., Velikova T.D.* Mycobiota of newspaper storages. *Problemy meditsinskoy mikologii*. 2018. V. 2. P. 105 (in Russ.).
- Raper K.B., Fennel D.I.* The genus *Aspergillus*. Robert E. Krieger Publishing Company, N.Y., 1977.
- Raper K.B., Thom C.* A manual of the *Penicillia*. Hafner Publishing Company, N.Y., 1968.
- da Silva M., Moraes A.M.L., Nishikawa M.M. et al.* Inactivation of fungi from deteriorated paper materials by radiation. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2006. V. 57 (3). P. 163–167. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.02.003>
- Sutton D., Fothergill A., Rinaldi M.* Guide to clinically significant fungi. Williams et Wilkins, Baltimore, 1997.
- The main directions of development of activities for the preservation of library collections in the Russian Federation for 2011–2020. *Mezhregionalnyy tsentr bibl. sotrudnichestva*, Moscow, 2013 (in Russ.).
- Trepova E.S., Goryaeva A.G., Popikhina E.A. et al.* Micromycetes in libraries of various regions of Russia. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2011. V. 45. №. 5. P. 427–435 (in Russ.).

- Trepova E.S., Mamaeva N.Yu., Shulenkova E.I. et al.* Monitoring conditions of document storage in the Russian National Library. *Trudy laboratorii konservatsii i restavratsii dokumentov SPF ARAN*. 2011. № 2. P. 65–72 (in Russ.).
- Velikova T.D., Khosid E.G.* Study of the microflora of the collections of the Russian National Library. In: Storage of exhibits in small sealed volumes: 3rd annual seminar on the problems of preventive conservation and storage of cultural property. SPb., 1994, pp. 61–62 (in Russ.).
- Velikova T.D., Goryaeva A.G., Trepova E.S.* Storage of rare books in the collections of Russian libraries: positive and negative aspects. In: Theory and practice of preservation of cultural monuments. V. 25. SPb., 2017 (in Russ.).
- Velikova T.D., Popikhina E.A.* Instructions for taking microbiological samples from surfaces in storage facilities. SPb., 2019. P. 73–79 (in Russ.).
- Zhang M., Hu Y., Liu J. et al.* Biodeterioration of collagen-based cultural relics: A review. *Fungal Biol. Rev.* 2022. V. 39. P. 46–59.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.12.005>
- Zilbersteina G., Zilbersteina S., Maora U. et al.* Surface analysis of ancient parchments via the EVA film: The Aleppo Codex. *Anal. Biochem.* 2020. V. 604.
<https://doi.org/10.1016/j.ab.2020.113824>
- Великова Т.Д., Попихина Е.А. (Velikova, Popikhina)* Инструкция по отбору микробиологических проб с поверхностей в хранилищах // Лабораторные методики и технологические инструкции по практической консервации документов. СПб.: РНБ, 2019. С. 73–79.
- Великова Т.Д., Хосид Е.Г. (Velikova, Khosid)* Исследование микрофлоры фондов Российской национальной библиотеки // Хранение экспонатов в малых герметизированных объемах. Сб. докл. участников III ежегодного семинара по проблемам превентивной консервации и хранения культурных ценностей. СПб.: ГРМ, 1994. С. 61–62.
- Егорова Л.Н. (Egorova)* Почвенные грибы Дальнего Востока. Гифомицеты. Л.: Наука, 1986. 192 с.
- Леонтьев Д.В. (Leontyev)* Флористический анализ в микологии. Харьков, 2008. 108 с.
- Мирчинк Т.Г. (Mirchink)* Почвенная микология. Москва: Изд-во Московского ун-та, 1976. 205 с.
- Национальная программа сохранения библиотечных фондов Российской Федерации (National program). М.: МК, 2000. 77 с.
- Нюкша Ю.П. (Nyuksha)* Биологическое повреждение бумаги и книг. СПб.: БАН, 1994. 233 с.
- Основные направления развития деятельности по сохранению библиотечных фондов в Российской Федерации на 2011–2020 гг. (Main directions) М.: Межрегиональный центр библиотечного сотрудничества, 2013. 36 с.
- Попихина Е.А., Хазова С.С., Великова Т.Д. (Popikhina, Khazova)* Микобиота хранилищ газет // Проблемы медицинской микологии. 2018. Т. 2. С. 105.
- Третьякова Е.С., Горяева А.Г., Попихина Е.А. и др. (Trepova et al.)* Микробиоты в библиотеках различных регионов России // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 5. С. 427–435.
- Третьякова Е.С., Мамаева Н.Ю., Шуленкова Е.И. и др. (Trepova et al.)* Мониторинг условий хранения документов в Российской национальной библиотеке // Труды Лаборатории консервации и реставрации документов СПФ АРАН. № 2. СПб.: Изд. “Реликвия (реставрация, консервация, музей)”, 2011. С. 65–72.

Mycobiota of the Library's Books in Russia

E. A. Popikhina^{a,#}, E. S. Trepova^{a,##}, T. D. Velikova^{a,###}, and S. S. Khazova^{a,####}

^a*Federal Document Conservation Center. The National Library of Russia, St.-Peterburg, Russia*

[#]*e-mail: popikhina@mail.ru*

^{##}*e-mail: k.trepova@gmail.com*

^{###}*e-mail: velikova@nlr.ru*

^{####}*e-mail: seti_77@mail.ru*

Numerous studies of microorganisms isolated from the surface of cultural heritage objects, including library documents, are regularly carried out in different countries. Although the micromycetes composition in each case varies, some species are constantly isolated. The structure of micromycetes communities inhabiting library documents was studied in 57 cities of Russia located in seven federal districts (Northwestern, Central, Southern, Volga, Ural, Siberian, Far Eastern). Micromycetes of 95 species from 32 genera were isolated and identified. The mycobiota of the library documents represented by *Ascomycota* occupies more than 90% of the species richness, *Mucoromycota* – 3–9%, *Basidiomycota* – 3–4%. The *Aspergillaceae* family was the leading one: it accounted for

48.5–67.3% of the total species richness. In all regions, species diversity is moderate: the Shannon index ranged from 2.7 to 3.3. The McIntosh species richness index is sufficiently high everywhere (48.2–126.2), except the Ural (15.3). The McIntosh dominance indices (0.759–0.843) and Pielow (0.80–0.91) indicate a high level of species evenness in the mycobiota. The obtained values demonstrate the stability the documents' mycobiota in libraries from different regions. Significant species similarity between the districts was revealed by calculation of binary coefficients: the Jaccard coefficient was from 0.44 to 0.60; the Sørensen's qualitative measure of similarity was from 0.63 to 0.75; the quantitative similarity measure of Sørensen was from 0.44 to 0.71, and Morisita–Horn was from 0.66 to 1.0. Groups of dominant species in different regions are quite similar. The study of the ecological diversity of librarian books mycobiota demonstrates moderate diversity and sufficient stability of the community. A high degree of similarity of taxonomic structures was established regardless of the climatic conditions of the regions. Cosmopolitans characterized by high frequency of occurrence formed the major core of the library's book mycobiota: *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Mucor plumbeus* and *Penicillium aurantiogriseum*.

Keywords: biodiversity, books, cultural heritage, fungi, libraries, mycobiota