

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ» (ФГБНУ ВИЗР)

На правах рукописи

СЕРОВА ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА
**МИКОБИОТА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ
ЗДАНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**
Специальность: 03.02.12 – микология

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель: Титова Ю. А.
кандидат биологических наук

Санкт-Петербург
2015

Оглавление	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1. Грибы – биодеструкторы древесины.....	11
1.2. Биодеструкция древесины микро- и макромицетами.....	24
1.3. Состав и структура основных биополимеров древесины, подвергающихся биодеструкции.....	27
1.4. Свойства древесины, изменяющиеся при биодеструкции.....	30
ГЛАВА 2. Материалы и методы исследований.....	34
2.1. Материалы и объекты исследований.....	34
2.1.1. Объекты исследования.....	34
2.1.2. Материалы исследования.....	43
2.2. Методы исследований.....	47
2.2.1. Методы отбора проб.....	47
2.2.2. Методы выделения и идентификации грибов.....	48
2.2.3. Методы качественного и количественного учета макро- и микромицетов, характера их развития.....	58
2.2.4. Методы количественной оценки содержания определяющих механические свойства древесины биополимеров.....	59
2.2.5. Методы выявления изменений количества и качества экстрактивных веществ при биоконверсии древесины.....	61
2.2.6. Методы оценки фунгистатического и фунгицидного действий химических препаратов.....	63
2.2.7. Статистические методы и методы визуализации.....	64
ГЛАВА 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКОБИОТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	65
3.1. Таксономическая характеристика.....	65
3.2. Комплексы микобиоты, колонизирующие древесину конструкций исторических зданий.....	80

ГЛАВА 4. МИКОСИНУЗИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ.....	100
4.1. Микосинузии различных типов деревянных конструкций.....	100
4.2. Сукцессии микобиоты в процессе биодеструкции исторической древесины элементов конструкций.....	107
ГЛАВА 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ МИКОБИОТЫ НА ДРЕВЕСИНУ КОНСТРУКЦИЙ.....	117
5.1. Изменение количества основных биополимеров древесины и ее состояния в процессе биодеструкции.....	117
5.2. Изменение количества и качества экстрактивных веществ древесины в процессе биодеструкции.....	127
ГЛАВА 6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ БИОЦИДОВ И ПУТИ КОНСЕРВАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ...	145
6.1. Фунгицидное действие реставрационных биоцидов на тест-культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины.....	145
6.2. Фунгистатическое действие реставрационных биоцидов на тест- культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины.	159
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	173
ВЫВОДЫ.....	178
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	208
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема биоповреждений исторических и культурных ценностей – одна из центральных в системе мероприятий по их сохранению и умножению. Для ее решения привлекаются знания и средства самых различных областей человеческой деятельности и, тем не менее, они не всегда обеспечивают полную сохранность историко-культурного достояния. Для таких исторически значимых мест в мире как город Санкт-Петербург, где на душу населения приходится более чем где-либо исторических и культурных памятников, – проблемы их консервации от биоповреждений, общего сохранения и реставрации особенно актуальны.

Одна из групп историко-культурных ценностей – памятники архитектуры. Биоповреждения этих зданий и сооружений носят характер биодеструкции различных их частей. Наибольшую значимость в этой связи приобретает биodeградация древесины, которая издревле используется как строительный материал. Универсальность – главное качество этого материала – эксплуатировалось зодчими во все времена, поэтому древесина использовалась и используется почти во всех частях зданий (Дерево. Каталог строительных материалов и изделий, 1948; Физдель, 1970; Дунаев, 2010). Но поскольку древесина – материал растительного происхождения, представляющий собой, прежде всего, совокупность органических веществ, она чаще всего и активнее подвергается в зданиях и сооружениях биодеструкции микроорганизмами. В деле сохранности и реставрации культурных ценностей этот факт относят к основным недостаткам деревянных конструкций и сооружений в целом, так как при глубокой биодеструкции последних во времени никакие реставрационные мероприятия не имеют положительного значения, и исторические памятники могут очень сильно пострадать, или быть совсем утрачены (Физдель, 1970; Пособие по обследованию строительных конструкций зданий, 1997; Курьянова, 2010).

Степень разработанности темы. Древесина как материал содержит высокомолекулярные полимерные комплексы веществ, в основном

полисахаридов (лигнин и целлюлоза), обеспечивающие ее уникальные механические свойства, и глубокую биodeградацию древесины способны осуществлять лишь некоторые бактерии, живущие в кишечнике жвачных животных, а в большей мере – грибы. Микробицеты–биодеструкторы, разрушая в основном целлюлозу, способны отщеплять олигомеры от биополимеров древесины и усваивать компоненты различных ароматических соединений, входящих в состав лигнина, обеспечивая себя и других микроорганизмов трофической базой для развития (Беккер, 1963; Билай, 1977; Дьяков и др., 2001; Синцов и др., 2013). Но наиболее активные разрушители древесины – базидиальные макромицеты, способные разлагать труднодоступные полисахариды этого строительного материала вплоть до полной минерализации (Ванинская, 1955; Бисько и др. 1984; Бабицкая и др., 1994; Сеница и др., 1995; Решетникова, 1997; Змитрович и др., 2007). В строительстве издревле использовали хвойные породы деревьев, особенно сосну обыкновенную *Pinus sylvestris* L., которые достаточно устойчивы к биологическим поражениям вследствие значительного содержания в их древесине смол и эфирных соединений, а также вследствие обезвоживания и уплотнения клеток при высушивании. Соединения, содержащиеся в древесине хвойных, являются антисептиками, и составляют основную защиту кроме ее химической поверхностной обработки (Дерево. Каталог строительных материалов и изделий, 1948; Рядова и др., 2004; Дунаев, 2010). Тем не менее, строительные конструкции иногда попадают в неблагоприятные температурно-влажностные условия эксплуатации. Это происходит вследствие периодического проникновения влаги из отверстий в кровле и трубопроводах, путем поднятия ее за счет капиллярных сил от поверхности почвы, а также в целом из-за усиления антропогенного и негативного техногенного влияния. Все это ведет к возникновению очагов поражений. На конструкциях в таких случаях появляются различные признаки биоповреждений: пигментация наружных слоев; налеты мицелия, спороношения, гнили. Также в помещении с конструкциями, пораженными грибами, появляется спертый «грибной» запах; при простукивании конструкций слышен глухой стук,

свидетельствующий о нарушении механической прочности древесины (Смоленская и др., 1972). Способствует биохимической деструкции древесины и механическая коррозия субстрата. Механическое воздействие могут оказывать как микро-, так и макроорганизмы. Микроорганизмы (бактерии, микромицеты, микроскопические водоросли), попадая в трещины или микротрещины в древесине, в места сочленения различных конструкций, при благоприятных условиях начинают развиваться, накапливая биомассу. Мицелий многих грибов способен проникать в микротрещины на любую глубину. Увеличение объема и биомассы приводит к расширению заселенных трещин и появлению новых. Изменения абиотических параметров способствуют расширению трещин в конструкциях, заселенных микроорганизмами, и способствуют их дальнейшему развитию (РВСН, 2006).

Таким образом, для разработки эффективных мер по борьбе с биопоражением древесины конструкций необходимо знать, какие комплексы микро- и макромицетов развиваются на них и какие процессы происходят в субстрате при активном развитии последних. Сведения о скорости разложения структурных элементов древесины разными группами и видами грибов необходимы и для развития реставрационной микологии, т.к. позволяют прогнозировать изменение работоспособности конструкции и, соответственно, формулировать более точные рекомендации по реставрации деревянных элементов исторических зданий.

Из всего вышесказанного **цель работы:** охарактеризовать особенности микобиоты и ее воздействия в очагах поражения на деревянные конструкции исторических зданий г. Санкт-Петербурга. Для достижения поставленной цели необходимым было решение следующих **задач:**

1. Идентифицировать микобиоту в местах поражения деревянных конструкций исторических зданий г. Санкт-Петербурга.
2. Охарактеризовать особенности видового состава микро- и макромицетов очагов поражения в зависимости от места расположения конструкции в здании, ее состояния и микроклиматических особенностей помещений.

3. Выявить и охарактеризовать активно разрушающие комплексы грибов мест колонизации деревянных конструкций на разных стадиях их биодegradации.
4. Охарактеризовать особенности и определить степень разложения микро- и макромицетами в очагах поражения основных биополимеров древесины, определяющих ее механические свойства.
5. Определить эффективность воздействия микоцидных химических препаратов, применяемых в реставрации деревянных конструкций, на физиологически активные комплексы грибов.
6. Предложить подходы к консервации деревянных конструкций, препятствующие их биодegradации.

Научная новизна. В результате исследований выявлены комплексы поражающих древесину микро- и макромицетов, охарактеризованы их качественный и количественный составы и два вида смены микодеструкторов, развивающихся на пораженной древесине. Предложены постадийные схемы сукцессий от комплексов, осуществляющих первоначальную колонизацию древесины к комплексам, обуславливающим окончательное разложение субстрата. Продемонстрировано, что смены комплексов микодеструкторов проходят однотипно при сходных условиях не только на разных элементах конструкций, но и в разных зданиях, расположенных далеко друг от друга. Разработаны подходы к изучению пораженной древесины: наряду с классическими и молекулярно-генетическими методами, **впервые** для реставрации использованы химический, хроматографический (ВЭЖХ) и спектральные (УФ- и масс-спектрометрия) методы. Последние предложены в качестве адекватных экспресс-методов для выявления поражений деревянных конструкций, их интенсивности, направленности, а также доминирующих организмов и, на уровне предварительного диагноза, состава деструктурирующих древесину комплексов микобиоты.

Теоретическая и практическая значимость. Показана зависимость формирования комплексов микромицетов на деревянных конструкциях от

воздействия биотических и абиотических факторов, а также особенности развития различных групп представителей микобиоты на древесине конструкций (Приложение 1). Описаны группы доминирующих на каждой стадии разложения древесины микро- и макромицетов и характер взаимодействия разных групп представителей микобиоты друг с другом и с бактериями. Доказано сходство комплексов грибов-биодеструкторов во всех обследованных зданиях и раскрыты составы этих комплексов с указанием доминант наиболее активных в разрушении субстрата. Изложены механизмы поражения древесины конструкций микро- и макромицетами и причины возникновения биопоражения на деревянных элементах. Получены численные эквиваленты разрушенных в ходе биодеструкции биополимеров, скомпонованные в виде показателей количественного содержания целлюлозы и лигнина, зольности и влажности субстрата, соответствующих каждой степени разложения древесины. На основании полученных результатов, уже разработаны и разрабатываются конкретные рекомендации, применяемые в современной реставрации историко-культурного наследия г. Санкт-Петербурга (Приложения 2, 3). Рекомендованы экспресс-методы для быстрой оценки состояния древесины, для выявления поражений деревянных конструкций, их интенсивности, направленности, а также доминирующих биодеструкторов. Показаны краткосрочное фунгицидное и фунгистатическое воздействия химических препаратов, применяемых в современной реставрации на отдельные группы биодеструкторов. На основании полученных результатов разработаны схемы проведения реставрационных работ с деревянными элементами разной степени биодеградации древесины, представлены рекомендации по предохранению деревянных конструкций от биодеструкции (Приложения 2, 3). Результаты исследования позволяют расширить и конкретизировать нормативную базу по микологическому исследованию памятников архитектуры (Приложение 2).

Положения, выносимые на защиту:

- Представители микобиоты колонизируют и деструктурируют историческую древесину в местах систематического увлажнения в

несколько стадий со сменой комплексов вплоть до потери несущей способности элементами конструкций зданий.

- Качественный и количественный составы комплексов микро- и макромицетов, изменение механических и химических характеристик древесины под воздействием продуктов их метаболизма обуславливают скорость биодеструкции в местах поражений микобиотой.
- Эффективное предотвращение колонизации и биодеструкции исторической древесины возможно при сохранении ее влажности на уровне 8–12 % и постоянном анализе воздействия применяемых в реставрации препаратов на физиологически активные комплексы грибов.

Апробация результатов и исследований. Материалы диссертации доложены на конференциях: "Биотехнологии в решении экологических проблем природы, общества и человека в Евразии: взгляд молодых ученых и специалистов" (март 2013 г.); "Биология – наука XXI века" (апрель 2013 г.); "Актуальные проблемы архитектуры и строительства" (июнь 2013 г.); "Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке" (октябрь 2013 г.); "Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения" (октябрь 2013 г.); "Биологическое разнообразие как основа существования и функционирования естественных и искусственных экосистем" (июнь 2015 г.). Кроме того, апробация работы происходит по месту трудовой деятельности в ходе составления отдельных глав рабочих реставрационных планов для обеспечения консервации и реставрации элементов конструкций исторических зданий.

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 4 печатные работы в изданиях, рекомендованных ВАК.

Декларация личного участия автора. Диссертация содержит фактический материал, непосредственно полученный автором в период с 2007 по 2014 гг. Работа проведена на базе лаборатории микробиологической защиты растений

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР), а также исследовательской лаборатории при Отделе диагностики строительных материалов и конструкций ОАО «НИИ Спецпроектреставрация». Исследования по идентификации микобиоты с помощью молекулярно-генетических методов, по выявлению спектральными методами изменений количества и качества экстрактивных веществ исторической древесины при биодеструкции выполнены на базе Отделений экспресс-диагностики вредных организмов, химической лаборатории и спектрального анализа Центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБНУ ВИЗР «Инновационные технологии защиты растений». Все результаты исследований получены при непосредственном участии автора и отражены в отчетах за каждый год обучения в аспирантуре.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Грибы – биодеструкторы древесины

Вопросами биодеструкции целлюлозо-лигнинсодержащих материалов ученые занимаются уже более 100 лет. В многочисленных, особенно за последние 30 лет, исследованиях было показано, что именно микогенное поражение является основной причиной разрушения целлюлозосодержащих изделий и исторических ценностей: бумаги, строительных деревянных конструкций, холстов картин, соломы, коры, других растительных остатков (Макринова, 1920; Бахтин, 1928; Нюкша, 1955, 1960, 1968, 1976, 1979; Демидова, 1961, 1962; Бисько и др. 1963, 1984; Озолиня и др., 1979; Степанова и др., 1979; Низовская и др., 1984; Дудка, 1986; Свиридова, 2001; Воронин, 2007; Смоляницкая, 2007; Змитрович и др. 2007; Schmidt, 2007; Nicolotti et al., 2010; Горбань, Ямпольская, 2012).

Представители Царства Грибы, развивающиеся на деревянных конструкциях зданий и сооружений, – это зачастую те же виды, которые поселяются на мертвых древесных субстратах в лесу, на органических остатках лесной подстилки, а также и в стволах еще живых деревьев (Беломесяцева, 2004). Выполняя в природе важную функцию сапротрофов–редуцентов органического вещества, в реставрации памятников культуры и строительстве они становятся нежелательным явлением, от которого стремятся избавиться путем антисептирования древесины. Также большое значение для предотвращения биопоражения имеет сушка и консервация деревянных элементов в надлежащих условиях (Михалева, 2002).

Известно более 2000 видов грибов, вызывающих гнили древесины (Крейцберг, 1976). В строительстве и реставрации условно выделяют две группы по способу употребления древесины как субстрата: плесневые и дереворазрушающие грибы. Эти группы различаются по степени и скорости разложения основных компонентов древесины, обеспечивающих ее механическую прочность как строительного материала: лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз. Вышеупомянутые группы грибов способны увлажнять древесину

в процессе ее освоения за счет воды, образующейся при разложении целлюлозы, то есть сохранять метаболическую воду в субстрате (Семенкова, 2008).

Микромицеты входят в обе условные группы, колонизирующих древесину грибов. Макромицеты, причем в случае поражения исторической и строительной древесины – ксилотрофные базидиомицеты, относятся к группе типичных дереворазрушителей, обуславливая несколько типов гниения (биодеструкции ее основных компонентов): коррозионный, деструктивный и смешанный (совместно с микромицетами) (Крейцберг, 1976).

В систематическом отношении микромицеты–биодеструкторы принадлежат к отделам *Zygomycota*, *Oomycota*, анаморфам *Ascomycota* и *Anamorphic fungi (Deuteromycotina)* (Kirk et al., 2008). В экологическом плане они относятся к типичным мезофиллам с температурным оптимумом развития в диапазоне 24–30° С. При колонизации микромицеты используют компоненты древесины конструкций в качестве источника питания, что приводит к постепенному ее разрушению (Синица и др., 1995; Смирнов и др., 2011). Кроме того, плесени деструктируют кирпичную кладку, штукатурку, элементы декора и способны заметно ухудшить эстетическое восприятие исторических культурных ценностей в целом (Физдель, 1970; Кирцидели, Богомолова, 2008; Курьянова, 2010).

Микромицеты в качестве дереворазрушителей вызывают поверхностное и глубокое окрашивание древесины, а также мягкую (или тлеющую) гниль (Крейцберг, 1976; Чураков и др., 2013). Окрашивание древесины происходит за счет выделения вторичных метаболитов в субстрат и дальнейшего их распространения по трахеидам или сосудам. Глубокие окрасы проникают более чем на 2 мм вглубь древесины. Среди них различают сплошные, охватывающие всю заболонь (глубокая синева) и пятнистые, поражающие отдельные участки заболони. Глубина залегания окраски при послойной синеве зависит от вида гриба, размера свойственной ему зоны бесцветного молодого мицелия (зоны скрытой синевы), ширина которой колеблется от 5 до 12 мм. Основные возбудители синевы и поверхностной гнили на древесине хвойных пород – виды *Ophiostoma* (*O. coerulea*, *O. piceae*, *O. pini*), *Endoconidiophora*, *Hormonema*,

Trichosporium, Cladosporium, Stemphyllium, Alternaria, Sporodesmium, Phialophora, Aposhaeria, Discula, Burgoa, Leptographium, Sortaria, Verticillium, Fusarium, Aspergillus, Penicillium, Paecilomyces, Trichoderma, Chaetomium, Trichosporium, Pullularia (Михалева, 2002; Марьиновская, 2006).

Суть мягкой (или тлеющей) гнили, вызываемой микромицетами при колонизации древесины – деградация высокоупорядоченной формы целлюлозы, которая осуществляется благодаря синергическому действию комплекса целлюлолитических ферментов микромицетов. Было экспериментально выявлено в 90-х годах прошлого века, что при любой комбинации экзо- и эндоглюканаз *Trichoderma koningii*, *Fusarium solani* и *Penicillium funiculosum* отмечается выраженный синергизм. Не было выявлено синергизма между экзоглюканазами этих грибов и эндоглюканазами непродуцирующих экзоглюканазу видов (*Myrothecium verrucaria*) и эндоглюканазами рубцовых бактерий. То есть, выявлены существенные различия целлюлолитических систем грибов и бактерий (Паников, 1991). Целлюлолитические системы, продуцируемые различными микроорганизмами, состав и активность их отдельных компонентов варьируют в широких пределах (Низовская и др., 1984; Марьиновская, 2006; Змитрович и др., 2007; Горбань, Ямпольская, 2011). Скорость деградации содержащих целлюлозу продуктов определяется ферментативной активностью этих целлюлолитических систем грибов и бактерий. В настоящее время доказана более высокая ферментативная активность целлюлолитических систем макро-, микро- и миксомицетов следующих родов: *Aspergillus*, *Coriolus*, *Eupenicillium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Physarum*, *Sporotrichum*, *Trichoderma*, *Verticillium* (Марьиновская, 2006). Комплекс целлюлолитических ферментов грибов, осуществляющий деградацию высокоупорядоченной формы целлюлозы, приводящую к биодеструкции древесины, представлен карбогидразами, которые катализируют разложение с участием воды углеродсодержащих безазотистых соединений, в том числе различной степени сложности углеводов; оксидоредуктазами: пероксидазами и лакказами (последние наиболее эффективно разрушают лигнин). Часто это экзоферменты, выделяющиеся в окружающую среду (в субстрат) и

осуществляющие на первом этапе окисление, а затем гидролиз клетчатки по схеме: клетчатка→ целлодекстрины→ целлотетроза→ целлобиоза→ d-глюкоза. (Беккер, 1988; Марьиновская, 2006; Змитрович и др., 2007). Ферментные системы микромицетов мягкой гнили полностью разлагают упорядоченную целлюлозу в отсутствие кислорода, чем принципиально отличаются от ферментов возбудителей белой гнили, скорость действия которых на целлюлозу заметно снижалась при удалении растворенного кислорода (Болобова и др., 2002).

Микромицеты–биодеструкторы обладают, в основном, целлюлолитической активностью, но в то же время некоторые их представители способны разрушать и лигнин (Билай, 1977; Дьяков и др., 2001; Бондарцева, 2007; Синцов и др., 2013). То есть грибы мягкой гнили способны вырабатывать ферменты, разрушающие все основные биополимеры древесины. Деструкция лигнина грибом *Chaetomium globosum* до 12 %-ной потери общей массы древесины осуществляется деметилированием его ароматических колец. Виды *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Chaetomium* и др. – представители почвенной микробиоты и лесной подстилки – способны разлагать лигниноцеллюлозный комплекс и разрушать ароматические ядра лигнина. Они продуцируют ферулоилэстеразы – ферменты, гидролизующие сложноэфирные связи между остатками феруловой кислоты, присоединенной к полисахариду (например, к ксилану) и лигнином. С увеличением потери общей массы происходит дальнейшее разложение лигнина. Исследования показали, что при этом не происходит накопление ароматических соединений, следовательно, грибы мягкой гнили разрушают ароматические кольца и в самом лигнине, и в продуктах его частичного разложения (Дзедзюля, 2001).

Кроме ферментов, микромицеты-биодеструкторы способны выделять другие агрессивные по отношению к древесине вторичные метаболиты: кетоны, спирты, органические – щавелевую, гликолевую, янтарную, уксусную и др., и неорганические кислоты – азотную, серную и др., а также аммиак, сероводород, углекислый газ (Беккер, 1988; Александрова и др., 2011). Продукты их жизнедеятельности играют роль мощных катализаторов химических процессов,

ускоряя химические реакции в несколько раз. Некоторые микромицеты способны абсорбировать влагу из воздуха, выделять воду в качестве метаболита, что ведет к избыточному увлажнению древесины, растворению загрязнителей на ее поверхности и развитию других микроорганизмов (РВСН, 2006).

Тем не менее, глубина поражения микромицетами-биодеструкторами составляет 0.5–3 мм (Семенкова, 2008). То есть мягкая гниль древесины, вызываемая микромицетами, затрагивает только поверхностные слои деревянных элементов исторических и современных строительных конструкций. Ограниченное распространение микромицетов мягкой гнили вглубь древесины связано с низкой влажностью последней (8–12 % для строительной реставрационной древесины) и с задержкой их роста в результате подсыхания (Михалева, 2002; Рядова и др., 2004). Скорость разложения древесины этой группой организмов значительно ниже, чем дереворазрушающими макромицетами. Однако их развитие может нанести значительный ущерб деревянным конструкциям исторических зданий, а их присутствие свидетельствует о критических условиях содержания этих конструкций (повышенная влажность, плохая вентиляция, наличие протечек или периодических увлажнений) (Физдель, 1970; Дунаев, 2010).

Дереворазрушающие макромицеты, в основном, относятся к отделу *Basidiomycota*, к немногим порядкам и семействам афиллофоровых. Это представители порядка *Boletales*, семейств *Coniophoraceae* (*Serpula*, *Coniophora*, *Merulioporia*) и *Tapinellaceae* (*Tapinella*); порядка *Agaricales* (*Corpinus*), а также *Dacrymycetales* (*Cerinomyces*, *Dacrymyces*) (Schmidt, 2007). Они имеют многоклеточную грибницу в норме рыхлую, паутинистую или ватообразную. Мицелий ксилотрофных базидиомицетов может образовывать массу видоизменений в ответ на изменяющиеся условия его существования: пленки, стромы, тяжи, ризоморфы и склероции. На определенной стадии развития, а также в неблагоприятных условиях существования мицелий базидиомицетов образует плодовые тела с большим количеством спор, которые рассеиваются и способны переноситься капельной влагой и токами воздуха.

Наиболее полные сводки по видовому составу дереворазрушающих макромицетов составлены А. С. Бондарцевым (1953, 1956) и З. А. Демидовой (1961). Авторы приводят сведения о 50 и 80 видах базидиальных макромицетов, соответственно. В этих сводках даны характеристики биотопов, трофической базы дереворазрушителей, характер их распространения, типы вызываемых ими поражений древесины, а также условные классификации по имеющим хозяйственное значение признакам. Так, при обследовании ряда зданий на Урале, З. А. Демидовой (1961) были выявлены представители порядка *Aphyllorphorales*, которых автор разделяет на несколько групп. Первая группа – это находящие наиболее благоприятные условия для своего развития в закрытых конструкциях зданий при повышенной влажности древесины и окружающей среды (*Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schröt., *Coriolus vaporarius* (Fr.) Bond. et Sing., *Fibroporia vaillantii* (DC.) Parmasto, *Coniophora cerebella* Schrot, *Paxillus pannuoides* Fr., а также *Serpula minor* (Falck) Bond., *S. sclerotiorum* Falck, *Antrodia xantha* f. *crassa* Bond.). В благоприятных условиях эти виды осуществляют интенсивную биодеструкцию древесины. К другой группе относятся грибы, поражающие древесину в открытых конструкциях и сооружениях. Это в большинстве своем грибы ксерофитного типа, которые приспособились к условиям периодического увлажнения древесины и более медленно развиваются: *Lentinus lepideus* Fr., *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf. et Bond.) Karst., *Fomitopsis rosea* Karst и др. В благоприятных условиях для своего развития многие представители этой группы также интенсивно деструктурируют древесину. К третьей группе относятся грибы – типичные гигрофилы – характерные для лесных складов из семейств *Corticaceae*, *Peniophoraceae*, *Stereaceae*, которые заселяют свежесрубленную древесину с влажностью около 100 %. При попадании древесины в строительство они продолжают свое развитие в ней до высыхания материала (Демидова, 1961).

А. С. Бондарцев (1953, 1956) разделяет грибы на более сильных разрушителей (*Serpula lacrymans*, *Coriolus vaporarius*, *Fibroporia vaillantii*, *Coniophora cerebella*, *Paxillus pannuoides*, *Lentinus lepideus*, *Gloeophyllum sepiarium*), способных при благоприятных условиях разрушить элемент

конструкции за год-полтора, и более слабых разрушителей (*Serpula minor*, *S. sclerotiorum*, *Antrodia xantha* f. *crassa*, *Fomitopsis rosea*, *Phellinus nigrolimitatus*, *Coriolellus serialis* и др.).

Существуют и другие классификации выявляемых на древесине около 80 видов ксилотрофных базидиомицетов (Schmidt, 2007). В частности, три условные группы домовых грибов: *Serpula*, *Coniophora* и *Poria* (с представителем *Fibroporia vaillantii* (DC.) Parmasto). *Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schroet., представитель группы *Serpula*, считается наиболее сильным разрушителем древесины и наименее контролируемым грибом в Европе, в основном, за счет своей способности переносить по ризоморфам на большие расстояния не только вещества, но и воду (Schmidt, 2007). При развитии некоторых представителей этой условной группы домовых грибов происходит разложение только целлюлозы в древесине конструкций, то есть они вызывают деструктивный тип гниения (бурую гниль), а также могут совместно с микромицетами обуславливать и смешанный тип (Крейцберг, 1976). При деструктивном типе разложения древесины (целлюлозы и гемицеллюлоз без деструкции лигнина) грибами бурой гнили древесина принимает сначала красноватую, а затем и бурую или темно-бурую окраску, что связано с повышением удельного содержания в ней лигнина. В отсутствие связывающей лигнин целлюлозы материал становится хрупким, легко ломается и крошится, сильно сокращается в объеме и теряет в весе, часто призматически трескается (Физдель, 1970; Schmidt, 2007).

При коррозионном типе гниения дереворазрушающие грибы – ксилотрофные базидиомицеты – разлагают все компоненты древесины, обуславливающие ее механическую прочность. Она становится светлоокрашенной, мягкой и волокнистой, теряет в весе, но объем ее при этом не уменьшается (белая гниль). В большинстве своем для разрушения лигнина грибы белой гнили используют свой специфический лигнолитический комплекс ферментов: лакказу, пероксидазу, тирозиназу и другие. Процесс выработки ферментов различен в зависимости от того, используется фермент внутри или вне клеток мицелия. Но главная отличительная особенность грибов–ксилотрофов

белой гнили – способность к комбинированной деструкции всех компонентов древесины с помощью сложных и специфических лигноцеллюлолитических ферментных систем. Так, например, обнаружен фермент целлобиозохиноноксиредуктаза, который нуждается в целлобиозе (продукте разложения целлюлозы) для деструкции лигнина при совместном действии с лакказой (Бабицкая, Щерба, 1994). По составу лигнолитических ферментов выделяют несколько перекрывающихся ферментативной активностью групп ксилотрофных базидиомицетов. В одной группе оказываются представители, обладающие лакказной, лигнин- и марганецпероксидазной активностью: *Phellinus pini* (Thore et Fr.), *Trametes hirsuta* (Wulfen: Fr.) Pilat., *Bjerkandera adusta* (Willd.: Fr.) P. Karst., *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall. Во второй группе – марганецпероксидазной и лакказной активностью: *Lentinus edodes* (Berk.) Singer, *Panus tigrinus* (Fr.) Sing., *P. chrysosporium* Sing., *Dichomitus squalens* P. Karst. D.A. Reid. В третьей группе – лигнинпероксидазной и лакказной активностью: *Trametes versicolor* (L.) Pilát., *Phlebia radiata* Bres. Для грибов четвертой группы характерны лакказа, арилалкогольоксидаза и другие ароматические оксидазы: *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm., *P. eringii* (DC : Fr.) Quel. (Никифорова и др., 2010).

Под воздействием ферментного аппарата грибов белой гнили начинается сложный многоступенчатый процесс полимеризации лигнина с его последующим окислением и деструкцией. При использовании лигноуглеводных комплексов, выделенных из березы и сосны, в качестве субстратов для гриба, экспериментально выявлено, что на начальном этапе культивирования в лигнине преобладают полимеризационные процессы, а лишь затем идет деструкция полимера (Шутова, 2001). При окислении в лигнине увеличивается содержание карбонильных и карбоксильных групп. Отношение О/С увеличивается, а Н/С понижается. Конечный продукт метаболизма CO_2 образуется, главным образом, из метоксильных групп и, в небольшой степени, из углерода пропановых цепей и ароматических колец (Бисько и др., 1986). На лигнинолитический процесс у грибов белой гнили оказывает влияние рН среды: максимум лигнинолитической активности приходится на рН = 4.5 (Бухало, 1988; Рисина, 2007).

В зависимости от лимитирующих факторов и биологии гриба разрушение им лигнина и целлюлозы происходит с различной скоростью. Тем не менее, полное разложение лигнина с разрушением ароматического кольца могут осуществлять только ксилотрофные базидиомицеты белой гнили (например, *Coriolus versicolor* Linn., *Fomes fomentarius* (L.:Fr.) Gill, некоторые подстилочные базидиомицеты, такие, как виды родов *Collybria*, *Marasmius*, *Mycena*) (Коваль, 1989; Решетникова, 1997; Синцов и др., 2013).

В процессе разложения древесины происходит сукцессия грибов, т. е. смена грибных сообществ. В зависимости от степени разрушения мертвой древесины преобладают те или иные грибные ассоциации (Свиридова и др., 2001; Чураков и др., 2014). На первой стадии колонизации при поражении, на древесине появляются плесневые грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus*, живущие на поверхности. Затем на подготовленном плесневыми грибами субстрате в оптимальных условиях начинают размножаться деревоокрашивающие грибы. Разнообразие микромицетного комплекса, тем не менее, не является определяющим в скорости биodeградации древесины даже на ранних ее стадиях (Терехова, Трофимов, 2001). Оно определяет ход сукцессии на том качестве субстрата, в подготовке которого участвуют многие микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, в том числе антибиотические соединения, регулирующие активность микобиоты, ферменты, токсины т.п. (Сидорова, Великанов, 1997; Великанов, Сидорова, 1998; Шумилова и др., 2014). Затем формируются условия для колонизации субстрата дереворазрушающими видами. В большинстве случаев – это ксилотрофные макромицеты, которые, в свою очередь, определяют ход дальнейшей сукцессии. Выявление возможных механизмов регуляторного действия макромицета показали существенную роль трофической конкуренции (преимущественно за источники азота в условиях его дефицита) и образования макромицетом биологически активных веществ селективного действия, а также опосредованного действия в результате перестройки структуры биоты. То есть, макромицеты обуславливают структурно-функциональную и пространственно-временную организацию микобиоты (Великанов, Сидорова, 2002). Макромицеты

способны вызывать сильное гниение древесины, приводящее к появлению продольных и поперечных трещин, а затем и ее минерализацию. Заканчивается сукцессия гумификаторами и минерализаторами. В условиях разных помещений, на разных типах и материалах деревянных конструкций смена грибных сообществ может происходить разными путями. Например, после активного окисления органического субстрата протеолитическими и гуматразрушающими бактериями древесину начинают разрушать ксилотрофные макромицеты. Актиномицеты и микромицеты при достаточном азотном питании могут использовать в качестве источника углеродного питания продукты жизнедеятельности вышеперечисленных организмов (Стороженко и др., 2000; Свиридова и др., 2001).

Для купирования вышеописанных процессов, вмешательства в их ход, консервирования древесины в случаях ее непреходящей исторической ценности, важна наиболее ранняя и точная диагностика ответственных за процессы биоповреждений возбудителей. Более столетия используются классические микологические и популяционные методы диагностики, основанные на исследовании фенотипических морфолого-культуральных признаков обнаруживаемых на древесине представителей микобиоты, а также их количественных характеристик. В последнее десятилетие прошлого века начали набирать силу молекулярно-генетические методы диагностики, как наиболее точные, всегда выявляющие часть генетической программы колонизирующих древесину организмов (Schmidt, 2007; Nicolotti et al., 2009). С их помощью были успешно решены проблемы идентификации агентов биоповреждений наружных и внутренних каменных и деревянных элементов конструкций в Никольском соборе, г. Кронштадта, а также диагностированы основные биодеструкторы, такие как *Serpula lacrymans*, в деревянных конструкциях зданий Германии, США и других стран (Schmidt, Moreth 2000, 2003; Moreth, Schmidt, 2000, 2005; White et al., 2001; Hogberg, Land, 2004; Hogberg et al., 2006; Андронов и др., 2007; Andronov et al., 2007; Kauserud et al., 2007).

Успех молекулярной диагностики микобиоты, наносящей вред историческим памятникам, с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР), в ее

высокой специфичности и чувствительности, поскольку выявляются последовательности нуклеиновой кислоты, специфичные для определенного вида организма (Костюк и др., 2004; Остроумов и др., 2010). К ним относятся наиболее консервативные, а поэтому наиболее таксономически значимые гены субъединиц рибосом и, называемые внутренними транскрибируемыми спейсерами (ITS), межгенные участки, кодирующие фрагменты 5.8 S, 18 S и 28 S р-РНК. Эти отрезки ДНК представлены большим количеством копий и являются специфичными (Schmidt, 2007). При многократном копировании – амплификации – с помощью фермента ДНК-полимеразы этих маркерных фрагментов получают необходимое количество ДНК для визуализации с помощью электрофореза и идентификации определенного вида (Саики и др., 1990; Аксенов и др., 1995; Гинцбург, 1999; Скала, 1999; Херренигтон, Макгли, 1999; Лопухов, Эльдейштейн, 2000; Moreth, Schmidt, 2000, 2005). Вариабельные участки ITS были использованы при создании индивидуальных для каждого гриба профилей RFLP (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) и конструировании видоспецифичных праймеров – мощного инструмента при идентификации грибов, т.к. при их использовании не нужно проводить рестрикцию ампликонов, осуществлять секвенирование, использовать чистые культуры или соблюдать меры по предотвращению контаминации проб и образцов (Jasalavich et al., 2000; Schmidt, 2007). Наиболее продуктивно в настоящее время – конструирование ДНК-чипов на основе специфичных олигонуклеотидных зондов, созданных на основе сиквенсов ITS-региона, закрепляемых на стеклянной подложке в дубликатной последовательности (контрольные и специфичные зонды) с помощью чип-лигазной реакции (ALR). Такие ДНК-чипы используются для одномоментной диагностики большого числа видов (например, 27-и видов домашних грибов) (Schmidt, 2007; Рангно и др., 2010).

Времяпролётная масс-спектрометрия с лазерной ионизацией и десорбцией из жидкой матрицы (Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry –MALDI-TOF MS) – многообещающая альтернатива молекулярной диагностики. С ее помощью созданы и пополняются банки данных по масс-

спектрам активных микодеструкторов, которые рассматриваются как картины для сравнения полученных таким же способом отпечатков анализируемых образцов (finger printing techniques). Уже получены finger prints для самых агрессивных макромицетов-биодеструкторов (Schmidt, Kallow, 2005).

Совмещение разных подходов и методов в диагностике биоповреждений – путь к эффективному сохранению и реставрации объектов культурного достояния. И когда классические методы идентификации грибов оказываются недостаточно точными, молекулярно-генетические и спектральные методы позволяют сравнительно быстро произвести идентификацию основных биодеструкторов (Schmidt, 2007; Schmidt et al., 2010; Nicolotti et al., 2010). Применение молекулярных и спектральных методов оказывается более целесообразным для выявления наличия макромицетов, в то время как биологическое разнообразие микобиоты на древесине лучше характеризуется при помощи классических методов.

До настоящего времени работ по микогенному поражению исторической древесины конструкций памятников культуры опубликовано немного. Видовой состав микобиоты деструкторов исторической древесины и строительных материалов подробно не характеризовался (Коваль, 1989; Пособие по обследованию строительных конструкций зданий, 1997; Иванова и др., 2004; Schmidt, 2007).

Работы по изучению микобиоты строительных конструкций исторических памятников г. Санкт-Петербурга в начале XXI века проводились на Казанском и Троицком соборах, в Благовещенской церкви, в дворцовом комплексе "Ораниенбаум", в Эрмитаже, в Никольском соборе г. Кронштадта (Рядова и др., 2004; Андронов и др., 2007; Andronov et al., 2007; Titova, 2007). В каждом из исследованных объектов выявлялось более 20 видов макро- и микромицетов, осуществляющих ту или иную степень биодеструкции элементов конструкций. Наибольшее число видов относилось к порядкам *Eurotiales* и *Hypocreales*, по встречаемости доминировали представители порядков *Dothideales*, *Hypocreales* (сем. *Hypocreaceae*) и *Aphyllorphorales* (сем. *Polyporaceae* и *Meruliaceae*).

Последние характеризовались наибольшим обилием в микосинузиях на деревянных конструкциях Казанского и Троицкого соборов, Благовещенской церкви и дворцового комплекса "Ораниенбаум" (Рядова и др., 2004; Серов и др., 2004; Titova, 2007).

По итогам работ, проведенных в Никольском соборе, г. Кронштадта, на наружных каменных элементах именно молекулярно-генетическими методами были обнаружены грибы четырех родов (*Verticillium*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Acarospora*). На внутренних элементах – только род *Acremonium*, включающий несколько видов. Образцы, отобранные на стропильных конструкциях включали виды пяти родов *Phoma*, *Phialophora*, *Coniochaeta*, *Cephahtheca* и других аскомицетов. Популяционными методами семейство *Trichocomaceae* и виды *Acremonium* (*A. charticola* (J.Lindau) W.Gams, *A. kiliense* W. Gams) были определены как доминирующие таксоны на внутренней каменной кладке и стропилах. Обилие составило 92.6 % и 41.1 %, соответственно. Количество колониеобразующих единиц (КОЕ/г) достигло 1.7×10^7 в образцах. Классическими микологическими методами у изолятов *A. charticola* выявлено высокое фенотипическое разнообразие. Кроме того, на деревянных конструкциях крыши выявлены лигнинразрушающие представители сем. *Pleosporaceae* с обилием 10.3 %: *Phoma herbarum* – 5.1 %; *Phialophora fastigiata* – 5.1 %; *Cladosporium cladosporioides* – 5.1 %; *C. herbarum* – 5.1 %, *Coniochaeta* sp. – 2.6 %; *Capnobotrys neesii* – 2.6 %. (Андронов и др., 2007; Andronov et al., 2007). Таким образом, разрушение древесины в этом случае происходило в отсутствие «домовых» дереворазрушающих грибов за счет биодеструкции этого субстрата микроскопическими грибами.

При обследовании дома-музея В. И. Ленина в г. Казани было выявлено повсеместное распространение бактерий родов *Micrococcus* и *Pseudomonas*, причем отмечен очаговый характер процессов биодеструкции (грибного и бактериального происхождения). Обследование исторической наружной части здания и чердачных помещений показало, что основные очаги биодеструкции связаны лишь с нижними венцами сруба, фундаментом и деревянной обшивкой

кирпичной части, где отмечали значительное распространение биодеструкторов древесины – *Alternaria resedae*, *Acremoniella atra*, *Trichoderma viride*, *Alternaria tenuissima*. Исследование подвальной, современной части внутри здания выявило, что фундамент и наружные поверхности стен подверглись интенсивному воздействию различных видов грибов-биодеструкторов, как разрушающих преимущественно древесину (*Trichoderma viride* и *Chaetomium globosum*), так и отмеченных как биодеструкторы неорганических материалов (кирпича, штукатурки) – *Acremoniella* spp. На балках чердачных помещений, выявлено развитие биодеструкторов древесины – *Botriotrichum piluliterum*, *Acremonium murorum*, *Alternaria resedae*. В подвальных помещениях и, в меньшей степени, на первом этаже обнаружено значительное количество *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, а на поверхностях стен, обоях, деревянных деталях, в меньшем количестве, выявлены грибы рода *Alternaria*, в частности, *A. resedae* и *A. tenuissima* (Глушко и др., 2010).

1.2. Биодеструкция древесины микро- и макромицетами

Гниение или биодеструкция древесины под влиянием дереворазрушающих грибов и других микроорганизмов, как было описано выше, происходит в результате выделения ферментов, способствующих превращению трудноусваиваемых органических соединений в легкоусваиваемые вещества. Состав последних зависит от условий разложения, типа растительной массы, степени ее одревеснения и видов, участвующих в процессе разложения организмов. При одних и тех же условиях целлюлоза и гемицеллюлозы разрушаются обычно быстрее, чем лигнин.

В отличие от макромицетов гифы микромицетов растут внутри центрального слоя вторичной клеточной оболочки и образуют там ромбообразные рисунки разрушения. При действии на древесину макромицеты, вызывающие бурую гниль, выделяют в субстрат в качестве экзоэнзимов целлюлазы и гемицеллюлазы, способные гидролизовать углеводные компоненты. При инфицировании древесины мицелий распространяется сначала по сердцевинным лучам, причем в качестве источника питания используются легкодоступные

запасные вещества. После использования всех легкодоступных веществ гифы внедряются в трахеальные элементы древесины. Прохождение гиф из одной клетки в другую начинается через окаймленные поры и сопровождается разрушением пленки и торуса. Распространение проходит главным образом через каналы пор, что наиболее характерно для бурой гнили (Ванин, 1955; Ванинская, 1965; Крейцберг и др., 1976; Сафонов, 2012).

В случаях развития белой гнили гифы внедряются в клеточную оболочку древесины под прямым углом, проникая внутрь клеток. При соприкосновении гифы с клеточной оболочкой возникает маленькое отверстие за счет действия ферментов мицелия, куда и проникает гифа. При разрушении клеточных оболочек изменяется и характер мицелия. Гифы, которые находятся в полостях клеток, обычно толстые (1–3 мкм шириной) и темноокрашенные. Мицелий, внедряющийся в клеточную оболочку, с прозрачными и более тонкими гифами по сравнению с таковыми, располагающимися в полостях клеток. Гифы, проникшие в полости клеток, несут фибриллярные структуры, образующие густые переплетения шириной от 29 до 50 нм и длиной в несколько микрон, так называемые микофибриллы мицелия, которые можно рассматривать как остатки слизистой оболочки гиф. В зависимости от вида гриба, а также от субстрата микофибриллы могут иметь аморфную, гранулярную или фибриллярную формы (Дунаев, Афанасенкова, 2009). Исследования продольных срезов разрушенной древесины показали, что под действием целлюлозоразрушающих грибов во вторичной клеточной оболочке образуются пустоты в виде конусов или цилиндров с коническими концами. Проникновение ферментов, выделяемых гифами в лигнифицированную клеточную оболочку, обусловливается ее капиллярной системой. Тангенциальные стенки более устойчивы к энзиматическому воздействию, чем радиальные, что определяется различиями в морфологической структуре и химическом составе радиальных и тангенциальных клеточных стенок (Ванинская, 1955; Баранов, 2002).

Целлюлоза сначала удаляется из центрального слоя клеточной стенки S2, потом из ее наружного слоя S1 и, наконец, из внутреннего слоя S3. Слой S3 как в

древесине лиственных, так и хвойных пород устойчив к действию грибов бурой гнили. В древесине лиственных пород из трех слоев вторичной клеточной оболочки сильнее лигнифицирован слой S3, в меньшей степени – S2. В древесине хвойных пород слои вторичной клеточной оболочки S1 и S2 лигнифицированы одинаково. Слой S2 вторичной клеточной оболочки древесины хвойных пород более лигнифицирован, чем таковой лиственных. Частицы лигнина в центральном слое S2 вторичной клеточной оболочки более мелкие и слабо связаны друг с другом. Биодеструкция полимерной структуры углеводов начинается во внутренней части слоя S2 вторичной клеточной оболочки и постепенно продвигается к ее внешнему слою и срединной пластинке. При высокой степени биодеструкции древесины (80.6%) происходит все большее уплотнение лигнина, и начинаются изменения в его макромолекуле. По сравнению с образцами исходной и мало разрушенной древесины снижается выход ароматических альдегидов, что установлено нитробензольным окислением остатков сильно разрушенной древесины. Уменьшается растворимость биолигнинов, выделенных из сильно разрушенной древесины, что может свидетельствовать о протекании конденсационных процессов в лигнине. Лигнинные скелеты продольных срезов оболочек сосудов свидетельствуют об определенной упорядоченности лигнина в направлении целлюлозных микрофибрилл. Лигнин оболочек сосудов состоит из гваяцилпропановых единиц так же, как и лигнин трахеид древесины хвойных, а лигнин вторичных оболочек волокон либриформа построен в основном из сирингилпропановых единиц. Лигнинные скелеты волокон либриформа древесины березы, разрушенной на 40.6 % макромицетами, вызывающими бурую гниль, почти не отличаются от лигнинных скелетов исходных образцов. В образцах, разрушенных на 70.6 % наблюдается меньшая набухаемость по сравнению с исходными образцами и потеря механических свойств (Крейцберг, 1976; Дунаев, Афанасенкова, 2009).

1.3. Состав и структура основных биополимеров древесины, подвергающихся биодеструкции

К основным органическим веществам древесины относятся целлюлоза, лигнин, гемицеллюлозы, экстрактивные вещества. Содержание указанных компонентов в древесине варьирует в зависимости от породы дерева и условий произрастания. При сжигании древесины остается ее несгораемая неорганическая часть зола, в состав которой входят кальций Са, калий К, натрий Na, магний Mg, немного фосфора Р, серы S и других элементов. (Физдель, 1970; Боровиков, 1989).

Целлюлоза представляет собой высокомолекулярный линейный полимер, относящийся к классу полисахаридов со степенью полимеризации 10–14 тысяч единиц. Протяженная форма цепей 3–1.4–D-глюкана позволяет им очень точно взаимодействовать друг с другом, формируя жесткую структуру. В связи с этим, целлюлоза никогда не встречается в природе в виде отдельных молекул, а существует как комплекс нескольких десятков цепей, тесно взаимодействующих посредством как внутри, так и межцепочечных связей, которые упорядоченно связываются глюкозными остатками, образуя микрофибриллы – элементарные структурные единицы, в виде которых целлюлоза присутствует в древесине. Микрофибриллы составлены выстроенными параллельно друг другу фибриллами, длина цепей которых варьирует у различных древесных пород от 2 000 до 20 000 остатков глюкозы. Фибрилла – это цилиндрическое образование диаметром около 3.5 нм и длиной около 1 мкм, состоящая из 30–40 макромолекул. Внутри фибриллы присутствуют кристаллические участки, в которых части молекул связаны между собой водородными связями и расположены упорядоченно друг относительно друга, и аморфные, в которых участки макромолекул расположены, хотя и в направлении оси фибриллы, но беспорядочно. Элементарные фибриллы связаны лигнином и гемицеллюлозами. Целлюлоза входит в состав клеточных стенок в качестве волокнистого каркаса и обеспечивает прочность и гибкость древесины. (Пособие по обследованию строительных конструкций зданий, 1997).

Целлюлоза разрушается ферментами целлюлазами различного назначения. Всего выделяют 3 основных типа целлюлаз, которые катализируют различные типы реакций. Эндоцеллюлаза разрывает внутренние связи, нарушая

кристаллическую структуру целлюлозы. В результате образуются отдельные полисахаридные цепи целлюлозы. Экзоцеллюлаза отщепляет от концов 2 или 4 остатка, в результате образуются тетрасахара или дисахариды, состоящие из целлобиозы. Выделяют два основных типа экзоцеллюлаз (или целлобиозодегидрогеназ). Первый тип отщепляет от редуцирующего конца. Второй тип от нередуцирующего конца целлюлозы. Бета-глюкозидаза гидролизует продукты, полученные под действием экзоцеллюлаз, до моносахаров. Кроме того, оксидативные целлюлазы деполимеризуют целлюлозу радикальными реакциями. В случае акцептора может выступать целлобиоза (Chapin, 2002).

Наряду с целлюлозой, важным компонентом растительной ткани является лигнин. Лигнин представляет собой высокомолекулярное соединение ароматической природы. Это аморфный полимер более сложного, чем целлюлоза, строения с входящими в его структуру бензольными кольцами. Лигнин – один из самых устойчивых и широко распространенных органических полимеров в природе. Он накапливается в клеточной стенке в промежутках между целлюлозными волокнами, что придает древесине дополнительную прочность и устойчивость к химическим воздействиям. В состав древесины входит от 17.6 % (*Populus tremuloides* Michx.) до 39.8 % (*Lophira alata* Bauks. ex Gaertn.f.) лигнина (Шуберт, 1968). Содержание лигнина в различных тканях растений различно и варьирует от 5 до 30 % (Шарков и др., 1986; Репникова и др., 2004).

Структуру лигнина, в отличие от таковой целлюлозы, нельзя описать простой комбинацией одной или нескольких мономерных единиц с одним типом связи. Поэтому структура лигнина является предметом пространственного моделирования. Последняя модель, построенная на основе информации о строении соснового (*Pinus taeda* L.) лигнина, включает 94 единицы (общая молекулярная масса более 17 000). Основные соединения, из фрагментов которых построен лигнин, – спирты: транс-конифериловый, транс-синаповый, транс-паракумаровый. Различают три класса лигнинов: лигнин хвойной древесины, лиственной древесины и травянистых растений. Общей структурной единицей всех видов лигнина является фенилпропан. Различия связаны с разным

содержанием функциональных групп. В состав лигнина разных растений входят следующие оксифенилпропановые спирты: кониферилловый (в древесине хвойных деревьев), синановый (в древесине лиственных растений) и п-кумаровый (в травянистых растениях). В настоящее время существует концепция о случайном сочетании предшественников лигнина в его структуре (Бабицкая, Щерба, 1994).

Важнейшее свойство лигнина – вступление в реакцию конденсации. Образование лигнина из глюкозы в дереве (лигнификация) происходит через множество сложных стадий под действием ферментов.

На первом этапе из глюкозы формируются вышеуказанные спирты, которые перемещаются в места роста клеток, где под действием ферментов образуется лигнин, который является своего рода связующим между фибриллами целлюлозы, придавая прочность и жесткость клеточной стенке. Посредством ковалентных связей лигнин формирует с полисахаридными частями клеточной стенки лигноцеллюлозные или лигноуглеводные комплексы. Считается, что с лигнином химически связаны полиозы, хотя связь с целлюлозой полностью не исключается. Фрагменты полиоз в лигноуглеводных комплексах представлены остатками ксилана и маннана. Из древесины лиственных пород выделяли лигнин–ксилановые комплексы, а из древесины хвойных – лигнин–маннанные и лигнин–ксилановые. Электронные микрофотографии елового лигнин–полиозного комплекса визуализируют внедрение полиоз в лигнин, их сильную закрученность и перевитость с последним. Чаще всего с лигнином связаны боковые ответвления полиоз – звенья арабинозы, галактозы и 4–О–метилглюкуроновой кислоты. Показано, что лигноуглеводные комплексы богаты именно этими сахарами (Бабицкая, Щерба, 1994). При воздействии микроорганизмов на древесину лигнин, ассоциированный с полисахаридами клеточной стенки, является основным препятствием для действия микробных ферментов на целлюлозу растительных тканей.

Хотя лигнин является потенциально богатым энергией материалом, он не может служить единственным источником углерода и энергии, его деградация возможна при наличии в среде ростового субстрата, такого как целлюлоза или

глюкоза. Деградация лигнина является событием вторичного метаболизма и происходит, когда в субстрате исчерпываются источники углерода, азота или серы (Рисинова, 2007).

Предположительно, лигнинразрушающие ферменты выделяются мицелием и действуют на поверхности гиф, находящихся в контакте с клеточной стенкой. Вместе с тем, разложение наблюдается не только в местах контакта, но и по всей поверхности люмена, если там находятся всего одна–две гифы гриба, и даже в толще вторичной оболочки. Снижение выхода низкомолекулярных продуктов окисления лигнина (ароматических кислот и альдегидов) после обработки древесины лигнинразрушающими грибами объясняется их окислительным и конденсирующим действием. Причем разные грибы в различной степени окисляют и конденсируют остаточный лигнин (Рабинович, 2001).

Гемицеллюлоза состоит из относительно коротких макромолекул, наподобие крахмала, в состав которых входят различные, но типичные элементарные звенья. Первоначально предполагалось, что гемицеллюлозы образуются как промежуточные продукты при синтезе целлюлозы. Гемицеллюлозы входят в состав клеточной стенки, а также откладываются в клетках и служат запасными питательными веществами. Таким образом, гемицеллюлозы играют роль, как строительного материала, так и питательного компонента (Нюкша, 1976, 1979; Пособие по обследованию строительных конструкций зданий, 1997).

Содержание экстрактивных веществ в древесине составляет около 4–7 %. К ним относятся жиры, воска, терпены, танины (танниды), которые обладают дубящим действием и определяют "консервацию" древесины. (Нюкша, 1976).

1.4. Свойства древесины, изменяющиеся при биодеструкции

Механическими свойствами древесины называется ее способность сопротивляться внешним механическим воздействиям. К таким свойствам относятся: прочность, твердость, упругость, хрупкость, раскалываемость и гвоздимось.

Прочностью называется способность древесины сохранять свои качества в среде, в которой она находится, и противостоять внешним силам, стремящимся сжать, растянуть, изогнуть, сколоть или срезать ее. Прочность древесины не всегда одинакова и зависит от направления (вдоль или поперек волокон) и разновидностей (растяжение, сжатие или изгиб) действующих сил. Сопротивление древесины растяжению поперек волокон почти в 20 раз слабее, чем вдоль волокон; при сжатии вдоль волокон сопротивление примерно в 10 раз выше, чем при сжатии поперек волокон. Прочность разных пород древесины различна и на нее влияют влажность, возраст и пороки. Древесина старых деревьев прочнее молодых, сучки и трещины сильно снижают прочность древесины при изгибе. Скалыванию древесина сопротивляется меньше, чем срезающим нагрузкам. При скалывании происходит разрушение древесины вдоль волокон без их перерезания, а при срезывании волокна перерезаются.

Твердостью древесины называется способность сопротивляться разным видам обработки режущими инструментами, проникновению в нее гвоздей, шурупов и их выдергиванию. Твердость древесины зависит от породы, объемного веса и степени влажности. Сухая древесина тверже сырой и лучше обрабатывается, чем сырая. Упругость древесины характеризуется ее способностью принимать первоначальную форму после прекращения действия нагрузки. Упругость зависит от влажности породы, объемного веса и возраста древесины. Чем она суше и тяжелее, тем более упруга.

Пластичностью древесины называется ее способность гнуться и сохранять после определенной выдержки приданную ей при изгибании форму. Пластичность зависит от породы, возраста дерева, влажности и температуры древесины. Лиственные породы более пластичны, чем хвойные. Влажная древесина обладает более высокой пластичностью, чем сухая.

Хрупкость древесины – свойство противоположное ее упругости. Наибольшей хрупкостью обладает высушенная древесина.

Раскалываемость древесины зависит от степени сцепления волокон между собой. Наличие в дереве сучков затрудняет раскалывание.

Гвоздимость древесины, т. е. способность допускать забивку и удерживать в себе гвозди, костыли, скобы, шурупы и т. д., зависит от породы и влажности древесины. Более мягкие породы обладают лучшей гвоздимостью, чем твердые (Дерево. Каталог строительных материалов и изделий, 1948).

Для количественной характеристики содержания воды в древесине используют показатель влажности. Различают две формы воды, содержащейся в древесине: связанную и свободную. Связанная вода находится в клеточных стенках, а свободная содержится в полостях клеток и межклеточных пространствах. Связанная вода удерживается в основном физико-химическими связями, изменение её содержания существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая только механическими связями, удаляется легче, чем связанная вода, и оказывает меньшее влияние на свойства древесины. При испытаниях с целью определения показателей физико-механических свойств древесины её кондиционируют, приводя к нормализованной влажности в 12 %. На практике по степени влажности различают древесину: мокрую, $W > 100 \%$, длительное время находившуюся в воде; свежесрубленную, $W = 50\text{--}100 \%$, сохранившую влажность растущего дерева; воздушно-сухую, $W = 15\text{--}20 \%$, выдержанную на открытом воздухе; комнатно-сухую, $W = 8\text{--}12 \%$, долгое время находившуюся в отапливаемом помещении; абсолютно-сухую, $W = 0$, высушенную при температуре $t = 103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Влагопоглощение. Способность древесины вследствие её гигроскопичности поглощать влагу (пары воды) из окружающего воздуха называется влагопоглощением. Влагопоглощение практически не зависит от породы. Способность к поглощению влаги является отрицательным свойством древесины. Сухая древесина, помещённая в очень влажную среду, сильно увлажняется, что ухудшает её физико-механические характеристики, снижает биостойкость и т. д. Чтобы защитить древесину от влияния влажного воздуха, поверхность деревянных деталей и изделий покрывают различными лакокрасочными и плёночными материалами (Дерево. Каталог строительных материалов и изделий, 1948).

Плотность. Это свойство характеризуется массой единицы объёма материала, и имеет размерность в кг/м^3 или г/см^3 . Величина плотности древесины изменяется в очень широких пределах. По плотности древесины при 12 % влажности породы делят на 3 группы: с малой ($P_{12} < 540$), средней ($550 < P_{12} < 740$) и высокой ($P_{12} > 740$) плотностью древесины.

Проницаемость характеризует способность древесины пропускать жидкости или газы под давлением. Водопроницаемость древесины вдоль волокон значительно больше, чем поперёк волокон, при этом у древесины лиственных пород она в несколько раз больше, чем у хвойных (РВСН 20-01-2006, 2006).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу проводили на базе лаборатории микробиологической защиты растений Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР), а также исследовательской лаборатории при Отделе диагностики строительных материалов и конструкций ОАО «НИИ Спецпроектреставрация». Исследования по идентификации микобиоты деревянных конструктивных элементов с помощью молекулярно-генетических методов, по выявлению спектральными методами изменений количества и качества экстрактивных веществ исторической древесины при биодеструкции выполняли на базе Отделений экспресс-диагностики вредных организмов, химической лаборатории и спектрального анализа Центра коллективного пользования (ЦКП) ФГБНУ ВИЗР «Инновационные технологии защиты растений».

2.1. Материалы и объекты исследований

2.1.1. Объекты исследования

Объектами исследований были элементы деревянных конструкций с признаками биоповреждений всех этажей и стропильной системы Каменноостровского Императорского Театра; элементы чердачного перекрытия исторического здания Гостиницы «Михайловская»; конструктивные элементы подвального помещения и первого этажа деревянного корпуса Наркологического диспансера (3-х реставрационных исторических объектов); а также представители микобиоты, колонизирующие историческую древесину вышеупомянутых памятников архитектуры и обуславливающие ее биодеструкцию.

Степень биоповреждения конструкции при отборе образцов характеризовали согласно Региональным временным строительным нормам РВСН 20-01-2006 – единственному современному действующему в реставрационной практике документу, который, в самом общем смысле, стандартизирует симптоматику биопоражений и регламентирует оценку степени и объема вызванных ими повреждений в зависимости от материала строительных конструкций (РВСН 20-01-2006 Региональные временные строительные нормы.

Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2006. 55 с.).

В Таблице 1 приведены выдержки из РВСН 20-01-2006, касающиеся характеристик и степени биоповреждений деревянных конструкций.

Таблица 1

Степень биоповреждения деревянных строительных конструкций зданий и сооружений, вызванных действием биодеструкторов (по РВСН 20-01-2006)

Степень биоповреждения	Характеристика конструкции	Характеристика повреждения
I	Деревянные конструкции	Поверхностный плесневый налет без видимого разрушения.
II	Деревянные конструкции	Участки гнили локализованы. Также они могут сопровождаться поверхностным налетом. Глубина поражения деревянной конструкции не более 20 % сечения.
III	Деревянные конструкции	Глубина поражения деревянной конструкции более 20 % сечения.
IV	Деревянные конструкции	Биоповреждению II и III степени подвержено более 50–60 % всего количества деревянных конструкций.

Месторасположение Императорского Театра (ИТ) – Каменный остров. Одно из немногих деревянных театральных сооружений, сохранившихся в России. В мае 1827 г. было принято решение о строительстве Театра для выездных спектаклей императорских театров на участке у 1-го Елагина моста на Каменном острове. Полностью деревянное здание позднего классицизма было завершено уже через 40 дней под руководством зодчего Смарагда Шустова. Главный фасад украшен портиком из восьми коринфских колонн. Плафон трехъярусного зрительного зала и борта лож украшены орнаментальной росписью. Задняя стена деревянного здания имела специальный раздвижной механизм для показа спектаклей на открытом воздухе на фоне естественных парковых декораций. Сцена театра имела нетипично большие размеры и использовалась также для летних занятий и выступлений воспитанниц Театрального училища. Ежегодные

наводнения сильно разрушили здание к 1843 г. В 1844 г. обветшавшее деревянное здание Театра было разобрано и затем полностью восстановлено с сохранением первоначальных архитектурных форм под руководством А. Кавоса. Сохранив старую архитектуру, архитектор внес небольшие изменения, увеличив количество окон. В 1882 г. Каменноостровский Императорский Театр окончательно закрыли, устроив в нем склад декораций. В начале XX века архитектурный памятник был законсервирован и сохранен, не был разрушен во время Великой Отечественной войны. При создании на территории Каменного острова летнего Центра, парка культуры и отдыха в 1932 г., Императорский Театр был заново перестроен. В 1966–1967 гг. – новая реконструкция по проекту архитектора И. Н. Бенуа. Современное обследование проводили для составления реставрационного плана в рамках новой реконструкции исторического здания, которая была завершена в 2009 г.

Месторасположение здания Гостиницы «Михайловская» (Г) – исторический центр города, улица Садовая дом 4, в непосредственной близости от Михайловского замка. Здание было построено в 1872–1874 гг. как двухэтажный, на цокольном этаже и с антресолями, особняк военного министра (архитекторы Р. Б. Бернгард, О. Г. фон Гиппиус, военный инженер Д. В. Покотилов) с изящными художественно отделанными парадными и личными комнатами, который является примером городской архитектуры второй половины XIX века. Во всех комнатах были установлены голландские изразцовые печи, а в ряде помещений – камины. Полы были выложены штучным паркетом, в вестибюле и на лестничных площадках – мозаикой. В подлинном виде они сохранились до наших дней лишь в охотничьем зале. После 1917 г. резиденция военного министра перешла в ведение Петроградского военного округа и использовалась как служебное здание. В нем до 1925 г. размещалось инженерное управление округа. Значительный ущерб зданию был нанесен артобстрелами и бомбардировками в годы Великой Отечественной войны. В послевоенное время после восстановления и реконструкции в здании была размещена Гостиница Военного совета округа. Последние работы по реконструкции исторического

здания были проведены в 1999–2000 гг. Тем не менее, отделка верхних этажей уже в течение многих лет страдает от протечек кровли и нуждается в реставрации. Для составления ремонтного и реставрационного планов было предпринято обследование чердачного перекрытия и стропильной системы.

Месторасположение здания Наркологического диспансера (Д) – Васильевский остров. Историческое здание диспансера – одно из нескольких уникальных деревянных зданий города, пример городской архитектуры начала XX века – было построено как часть лечебницы психоневролога А. Э. Бари в 1910 г. (архитектор И. И. Яковлев). После 1917 г. лечебница была реорганизована в городскую психиатрическую больницу № 5. В современное время здание использовалось Городской наркологической больницей. Здание много лет страдает от протечек кровли, и находится в аварийном состоянии вследствие практически полного разрушения некоторых элементов конструкций и серьезного повреждения других. Для составления ремонтного и реставрационного планов было предпринято обследование первого этажа и подвала здания: второй этаж и чердак недоступны для обследования вследствие аварийного состояния.

Образцы пораженных деревянных конструкций во всех исторических зданиях отбирались на основании следующих принципов:

- Типичность поражения (образцы I-8, Ч-6, Ч-7, III-3, II-2 – здания Императорского Театра). Образцы отбирались на разных этажах в местах характерного поражения, наблюдавшегося на других элементах конструкций, находящихся на том же этаже, в тех же условиях: обшивка стены первого этажа (образец I-8), обрешетка кровли в месте периодического переувлажнения (образец Ч-6), элемент стропильной системы чердака в месте периодического переувлажнения (образец Ч-7), опорная стойка второго этажа (образец II-2), опорная стойка третьего этажа (образец III-3). (Образцы 1, 2, 4, 5 – Здания Гостиницы). Образцы отбирались в местах характерного поражения, наблюдавшегося на других элементах конструкций, находящихся в тех же условиях: балка чердачного перекрытия в зоне протечки между осями (м/о) 13'–14' и И'–Д' (образец 1); торец стропильной ноги над мауэрлатом по оси 14' м/о И'–

Д' (образец 2); стропильная нога ближе к мауэрлату м/о 2'–5' и И'–Д' (образец 4); балка чердачного перекрытия непосредственно под стропильной ногой, из которой был взят образец 4 (образец 5). (Образцы I, II, VII, IX – здания диспансера). Образцы отбирали на первом этаже и в подвале в местах характерного поражения, наблюдавшегося на других элементах конструкций, находившихся в тех же условиях: стены помещений первого этажа (образцы I, II); балка перекрытия первого этажа (образцы VII, IX) (Рисунок 1).

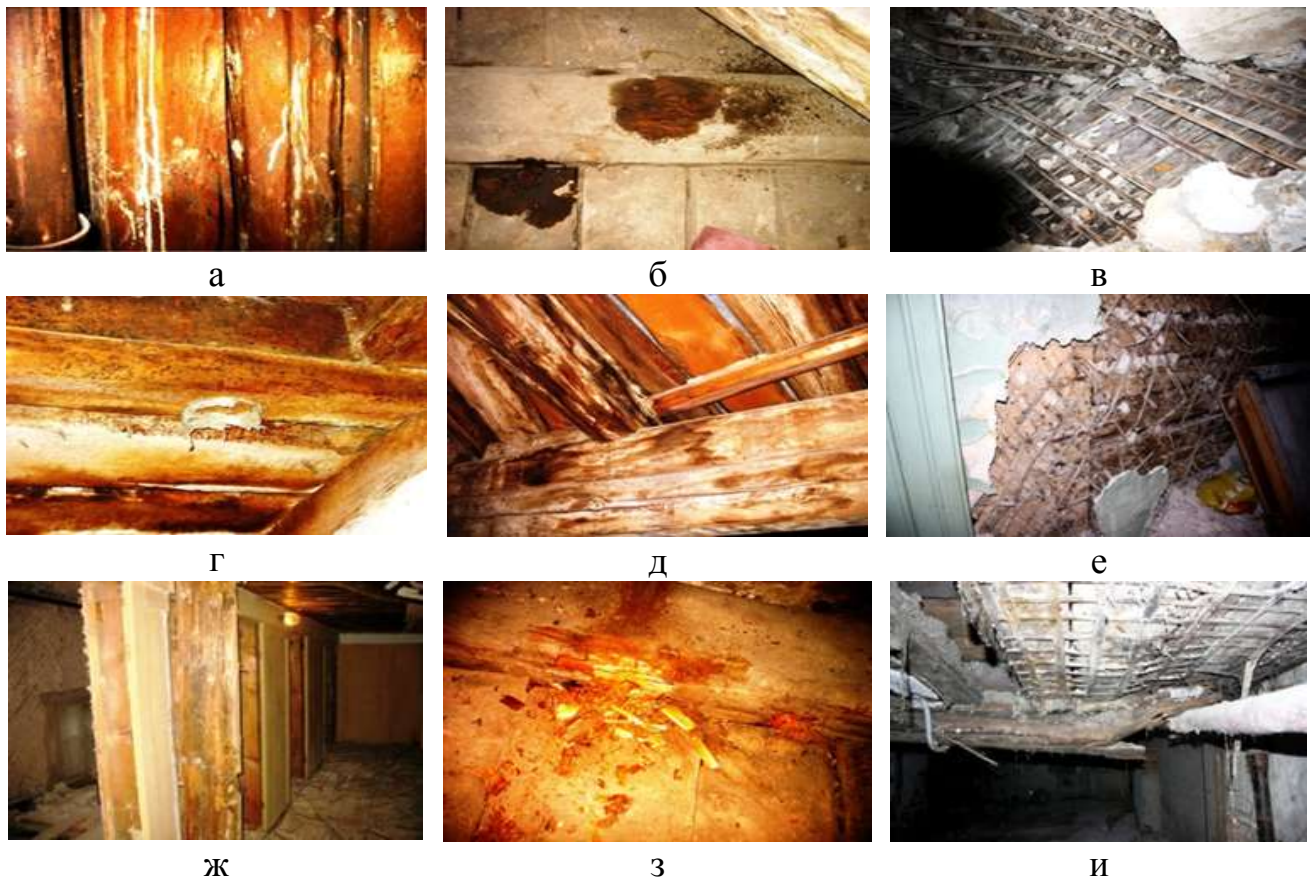


Рисунок 1. Микопоражения деревянных элементов конструкций исторических зданий Императорского Театра (ИТ) (а, г, ж); Гостиницы «Михайловская» (Г) (б, д, з); деревянного корпуса Наркологического диспансера (Д) (в, е, и), обуславливающие: а, б, в – I-ю; г, д, е – II-ю; ж, з, и – III-ю степени биодеструкции (согласно РВСН 20-01-2006).

- Объем и степень поражения (образцы II-1, III-4, IV-5 – здания Императорского Театра). Элементы конструкций, из которых были отобраны эти образцы, характеризовались наиболее сильным поражением микобиотой: опорная стойка второго этажа (образец II-1), опорная стойка третьего этажа (образец III-4),

опорная стойка четвертого этажа (образец IV-5). (Образцы 3 и 6 – здания Гостиницы). Элементы конструкций, из которых были отобраны эти образцы, характеризовались наиболее глубокой биодеструкцией: балка чердачного перекрытия м/о 5'–10' (образец 3), стропильная нога в центральной части чердака в зоне протечки кровли, м/о 2–3 и Д–Г (образец 6). (Образцы III, IV, V, VIII, X – здания диспансера). Элементы конструкций, из которых были отобраны эти образцы, характеризовались наиболее глубокой биодеструкцией: стена коридора первого этажа (образец III); торцевая стена здания в двух помещениях (образцы IV, V); балки перекрытия первого этажа (образцы VIII, X) (Рисунок 1).

Места отбора образцов из пораженных элементов деревянных конструкций трех исторических зданий Каменноостровского Императорского Театра, гостиницы «Михайловская», Наркологического диспансера, характеристика их биодеградации и присвоенная им степень биоповреждения согласно РВСН 20-01-2006 представлены в Таблицах 2–4.

Таблица 2

Характеристика образцов пораженных элементов деревянных конструкций здания Каменноостровского Императорского Театра

№ образ-ца	Место расположения конструкции	Степень биодест-рукции	Характеристика состояния элемента конструкции, описание характера биопоражения древесины
1	2	3	4
II-1	Опорная стойка второго этажа в «зрительской» части здания.	III	Поражение в виде волокнистой бурой гнили, уходящее в толщу стойки. Налеты светлого мицелия макромицета. Значительно разрушенный элемент (более 25 % объема стойки).
II-2	Опорная стойка второго этажа в «зрительской» части здания.	I	Поверхностное поражение древесины с налетами темноокрашенного мицелия микромицетов, равномерно покрывающими поверхность материала. Деструкция древесины незначительная.
III-3	Опорная стойка третьего этажа в «зрительской» части здания.	II	Поверхностное поражение древесины с налетами темноокрашенного мицелия микромицетов, равномерно покрывающими поверхность материала. Деструкция древесины средней степени.

Продолжение Таблицы 2

1	2	3	4
III-4	Опорная стойка третьего этажа в «зрительской» части здания.	III	Поражение в виде волокнистой бурой гнили, уходящее глубоко в толщу стойки. Налеты светлого мицелия макромицета. Значительно разрушенный элемент (более 40 % объема стойки).
IV-5	Опорная стойка четвертого этажа в «зрительской» части здания.	III	Поражение в виде волокнистой бурой гнили, уходящее глубоко в толщу стойки. Налеты светлого мицелия макромицета. Значительно разрушенный элемент (более 70 % объема стойки).
Ч-6	Обшивка кровли в нижней части ската кровли (рядом с мауэрлатом).	II	Сильное потемнение древесины вследствие частого намокания. Налеты мицелия визуально не отслеживаются. Деструкция древесины средней степени.
Ч-7	Элемент стропильной системы в его нижней части, рядом со входением его в мауэрлат.	II	Потемнение древесины вследствие частого намокания. Налеты мицелия визуально не отслеживаются. Деструкция древесины средней степени.
I-8	Обшивка стены первого этажа в «зрительской» части здания.	I	Поверхностное поражение древесины, представляющее собой налеты темноокрашенного мицелия микромицетов. Равномерно покрывает поверхность материала. Незначительная деструкция элемента.

Примечание. Образцы II-2 (I-й степени биодеструкции), III-4 и IV-5 (III-й степени биодеструкции) отобраны из опорных стоек, находящихся одна под другой в зоне протечки кровли, впоследствии отремонтированной. То есть проникающая через кровлю вода вертикально стекала по элементам конструкций, увлажняя их и создавая на них сходные условия для развития микобиоты. Причем процессы биодеструкции начались на 4-м этаже, далее по градиенту перманентного увлажнения микромицеты-биодеструкторы «спустились» на 3-й этаж, а потом и на 2-й в «зрительской» части здания, на котором регистрировали на момент обследования лишь I-ю степень биодеструкции. Купировать распространение представителей микобиоты не представлялось возможным из-за систематического увлажнения и сохранения грибами метаболической влаги при активном развитии в очаге на верхних 3-м и 4-м этажах.

Характеристика образцов пораженных элементов деревянных конструкций здания гостиницы «Михайловская»

№ образ-ца	Место расположения конструкции	Степень биодеструкции	Характеристика состояния элемента конструкции, описание характера биопоражения древесины
1	2	3	4
1	Балка чердачного перекрытия в зоне протечки м/о 13'–14' и И'–Л'.	I	Поверхностное поражение древесины, потемнение древесины вследствие частого намокания. Слабая деструкция элемента без видимого разрушения.
2	Торец стропильной ноги над мауэрлатом по оси 14' м/о И'–Л'.	II	Поверхностное поражение древесины, потемнение древесины вследствие частого намокания. Деструкция древесины средней степени (не более 20 % сечения).
3	Балка чердачного перекрытия м/о 5'–10' и И'–Л'.	III	Поражение в виде мелкопризматической бурой гнили, уходящее в толщу стойки. Сильно деструктированный элемент, потерявший механическую прочность (около 70 % сечения).
4	Стропильная нога ближе к мауэрлату м/о 2'–5' и И'–Л'.	I	Потемнение вследствие частого намокания с поверхностным поражением древесины без видимого разрушения. Деструкция слабая (не более 5–10 % сечения).
5	Балка чердачного перекрытия под стропильной ногой (образец № 4).	II	Сильное потемнение древесины вследствие частого намокания с поверхностным поражением. Деструкция средней степени (не более 15 % сечения).
6	Стропильная нога в центральной части чердака в зоне протечки кровли м/о 2–3 и Д–Г.	III	Поражение, уходящее глубоко в толщу элемента, представляющее собой волокнистую бурую гниль. На древесине видны тяжи и налеты светлого мицелия макромицета. Сильно деструктированный элемент (более 40 % сечения).

Примечание. Образцы 4 (I-й степени биодеструкции) и 5 (II-й степени биодеструкции) отобраны из элементов конструкций, опирающихся один на другой, то есть имеющих непосредственный контакт, обеспечивающий перезаражение деревянных элементов по градиенту влажности вследствие перманентного увлажнения сначала верхней конструкции (стропильной ноги) и далее нижней конструкции (балки чердачного перекрытия). Поскольку стропильная нога опирается на балку, в последней происходит накопление влаги и усиленное развитие представителей микобиоты, вследствие чего фиксировали при обследовании уже II-ю степень биодеструкции в образце 5.

Характеристика образцов пораженных элементов деревянных конструкций здания
Наркологического диспансера

№ образ-ца	Место расположения конструкции	Степень биодест-рукции	Характеристика состояния элемента конструкции, описание характера биопоражения древесины
1	2	3	4
I	1-й этаж. Помещение (п.) № 172. Стена.	II	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее в толщу элемента (около 20 % сечения).
II	1-й этаж. П. № 170. Коридор. Стена.	I	Поверхностное поражение древесины. Деструкция незначительная (не более 10 % сечения).
III	1-й этаж. П. № 177. Коридор. Стена.	III	Поражение в виде мелкопризматической бурой гнили, уходящее глубоко в толщу балки. Сильно деструктированный элемент, потерявший механическую прочность (около 70 % сечения).
IV	1-й этаж. П. № 175. Стена.	III	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее глубоко в толщу балки. Сильно деструктированный элемент, полностью утративший механические свойства (около 80 % сечения).
V	1-й этаж. П. № 172. Стена.	III	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее глубоко в толщу балки. Сильно деструктированный элемент, полностью утративший механические свойства (более 85 % сечения).
VII	Подвал под п. № 163 1-го этажа. Балка перекрытия.	III	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее глубоко в толщу балки. Сильно деструктированный элемент, с нарушенной механической прочностью (около 50 % сечения).
VIII	Подвал под п. № 168 1-го этажа. Балка перекрытия.	II	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее в толщу элемента (около 20 % сечения).
X	Подвал под п. № 173 1-го этажа. Балка перекрытия.	III	Поражение в виде призматической бурой гнили, уходящее глубоко в толщу балки. Сильно деструктированный элемент, потерявший механическую прочность (около 70 % сечения).
XI	Подвал под п. № 156 1-го этажа. Балка перекрытия.	I	Поверхностное поражение древесины, активный захват макромицетом окружающих конструктивных элементов. Деструкция древесины занимает не более 10 % сечения.

2.1.2. Материалы исследования

Для лабораторных опытов *in vitro* использовались агаризованные питательные среды, полу- и синтетические, общих целей и селективные для обнаружения определенных групп макро- и микромицетов (Бухало, 1988; Stamets, 1993; Гарибова и др., 1999; Смоляницкая, 2007):

- "голодный" агар: агар-агар – 20 г, вода – 1 л;
- синтетическая агаризованная среда Чапека: NaNO_3 – 2 г, KH_2PO_4 – 1 г, MgSO_4 – 0.5 г, KCl – 0.5 г, FeSO_4 – 0.01 г, сахароза (глюкоза, мальтоза, крахмал) – 20 г, агар-агар – 20 г, вода – 1 л;
- полусинтетические агаризованные среды на основе экстрактов различных растительных субстратов. Растительный субстрат предварительно измельчали и, в количестве 200 г/л, кипятили в течение часа, фильтровали, доводили водой до прежнего объема с добавлением агар-агара (20 г/л), а также в некоторых случаях с добавлением сахарозы (20 г/л): для выделения грибов рода *Fusarium* – K_2HPO_4 – 3–5 г/л, MgSO_4 – 0.5–1 г/л, сахароза – 5–20 г/л, агар-агара – 20 г/л, картофельный отвар до 1 л как основной источник N и дополнительный C, стрептомицин – 0.2–0.3 г/л, глицин – 0.03–0.06 г/л как дополнительный источник N, пентахлорнитробензол (ПХНБ) – 0.5–1 г/л, медицинская желчь – 8–10 мл/л; KH_2PO_4 – 3 г/л, MgSO_4 – 0.5 г/л, KCl – 0.5 г/л, сахароза – 5 г/л, мальтоза – 5 г/л, агар-агара – 20 г/л, капустный отвар до 1 л, ПХНБ – 0.5 г/л, медицинская желчь – 4 мл/л; для выделения и разделения микромицетов рода *Verticillium* – NaNO_3 – 2 г/л, K_2HPO_4 – 1 г/л, MgSO_4 – 0.5 г/л, FeSO_4 – 0.01 г/л, KCl – 0.5 г/л, сахароза (галактоза, мальтоза) – 20 г/л, агар-агара – 20 г/л, ПХНБ – 0.5–1 г/л, медицинская желчь – 15 мл/л, стрептомицин – 0.4 г/л;
- полусинтетическая агаризованная среда на основе экстракта древесины сосны обыкновенной: 200 г опилок растирали в ступке и замачивали холодной водой на 3 часа, затем 500 мл настоя вместе с опилками и с добавкой сахарозы – 15 г/л варили в два приема (по 3 и 4 часа) с промежуточным и окончательным доведением до первоначального объема, агар-агара – 18 г/л.

Режим стерилизации для всех сред, содержащих сахара в низкомолекулярной форме 30 мин. при 0.5–0.8 атм. В качестве ограничителей роста при начальных массовых выделениях микромицетов методами электростатическим и серийных разведений использовали фунгицид ПХНБ (пентахлорнитробензол) – 0.5–1 г/л, медицинскую желчь – 4–15 мл/л питательной среды. Для подавления роста бактерий применяли стрептомицин-сульфат – 0.2 г/л. Все ограничители роста добавляли в расплавленную и охлажденную до 40° С среду после автоклавирования, так как стерилизация среды приводит к разрушению молекулярной структуры ограничителя роста (Методы экспериментальной микологии, 1982).

Для молекулярно-генетической идентификации микобиоты исторической древесины использовали буферные смеси, растворители, праймеры и т.п., описанные в разделе 2.2.2, посвященном описанию всех использованных в работе методов по идентификации грибов, вызывающих поражения элементов конструкций исследованных памятников архитектуры.

Для характеристики особенностей и степени разложения основных биополимеров древесины, определяющих ее механические свойства, использовали неорганические и органические растворители (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) (Оболенская и др., 1955).

Для выявления изменений количества и качества экстрактивных веществ при биоконверсии исторической древесины использовали приборы для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и спектрального анализа (УФ- и масс-спектрометрии):

- хроматографическую tandemную систему UPLC WATERS ACQUITY H-класса, включающую диодноматричный детектор, спектрофотометрический детектор, термостатируемую систему управления колонками, термостат для анализируемых проб, автосемплер с системой градиентных насосов, обеспечивающих постоянный поток растворителя, систему подачи образцов с нагревателем колонки и инжектором для введения пробы в колонку, элеватор для подачи плашек. Детектор с проточной кюветой, в которой происходило

непрерывное измерение определенного свойства протекающего растворителя. Колонка ACQUITY UPLC 1.7 мкм для ВЭЖХ в виде толстостенной трубки из нержавеющей стали, заполненной сорбентом из ACQUITY BEH (Bridged Ethyl Hybrid) полимерных частиц размером 1.7 мкм особой прочности и способной выдерживать высокое давление, которое при хроматографическом разделении создается для ускорения процесса разделения веществ.

- масс-спектрометрический tandemный квадрупольный детектор проточного типа WATERS XEVO TQD с разрешением 150–2000 Da. Колонка ACQUITY UPLC BEH C18 (2.1×100) мм для масс-спектрометрии с размером частиц 1.7 мкм. Газ для удаления растворителя (desolvation gas) – N₂. Коллизионный газ для фрагментации веществ – Ar.
- Спектрофотометрические детекторы систем UPLC WATERS ACQUITY H-класса и WATERS XEVO TQD для определения оптической плотности раствора (УФ-спектры) при длине волны в ультрафиолетовой области (Семак и др., 2011; Околов и др., 2012).

Для проведения исследований фунгицидной и фунгистатической активностей химических препаратов, применяемых в настоящее время в реставрации, были использованы штаммы грибов, выделенные из древесины в ходе предыдущей работы: микромицеты *Alternaria solani* Sorauer, *Fusarium oxysporum* Schltdl. и *Trichoderma viride* Pers., а также макромицет *Serpula lacrymans* (Wulfen) P. Karst. Кроме того, в качестве положительного контроля использовали штаммы дереворазрушающих макромицетов *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. и *Lentinus edodes* (Berk.) Singer из коллекции ГНУ ВИЗР.

Анализировали воздействие 2-х рекомендованных Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП) фунгицидов в трех концентрациях на развитие тест-объектов.

Adolit M flussig (фирма Remmers)

1. Наименование действующих веществ по ИСО (ISO) – бензилалкилдиметил хлорид, натрийполиборат.

2. Наименование действующего вещества по ИЮПАК (IUPAC) – бензил- С-12–18 алкилдиметил хлорид, натрийтетраборат, борная кислота.
3. Концентрация д. в. – 32.0 г/л.
4. Препаративная форма – водорастворимый концентрат (ВРК).
5. Спектр действия – оказывает противогрибное действие на поверхности материалов.
6. Сфера применения (на каких материалах, вредный объект) – применяется на различных материалах, в т. ч. на древесине, бетоне, отделочных слоях против микро- и макромицетов.
7. Рекомендуемый регламент применения: норма расхода – 5.0 г/кв. м. Минимальная ингибирующая концентрация 16.0 г/л.
8. Способ применения – сплошная поверхностная обработка материала из распылителя или при помощи кисти. Расход водного раствора на 1 кв. м – 0.5 л.
9. Срок проведения обработки, кратность, интервалы между обработками. Одно- и двукратная поверхностная обработка материалов.
10. Срок ожидания – не регламентируется.
11. Период защитного действия – обеспечивает контроль биопоражения в течение 6-и месяцев.
12. Скорость воздействия: препараты подавляют рост и развитие микроорганизмов сразу после обработки и впитывания препарата в материал.

Impragnierung BFA (фирма Remmers)

1. Наименование действующих веществ по ИСО (ISO) – изотиазолон.
2. Наименование действующего вещества по ИЮПАК (IUPAC) – изотиазолон.
3. Концентрация д.в. – 0.75 г/л.
4. Препаративная форма – водный раствор (ВР).
5. Химический класс – изотиазолон.
6. Спектр действия – оказывает противогрибное действие на поверхности материалов.
7. Сфера применения (на каких материалах, вредный объект) – применяется на различных материалах, в т. ч. на бетоне, фиброцементе, кирпиче, камне, штукатурке против микромицетов.
8. Рекомендуемый регламент применения: норма расхода – 0.2 л/кв. м. Минимальная ингибирующая концентрация 0.375 г/л.
9. Способ применения – сплошная поверхностная обработка материала из распылителя или при помощи кисти. Расход водного раствора на 1 кв. м – 0.2 л.

10. Срок проведения обработки, кратность, интервалы между обработками. Одно- и двукратная поверхностная обработка материалов.
11. Срок ожидания – 6 часов.
12. Период защитного действия – обеспечивает контроль биопоражения в течение 1 года.
13. Скорость воздействия: препараты подавляют рост и развитие микроорганизмов через 6–12 часов после обработки и впитывания препарата в материал.

В работе использовали половинные, рекомендованные и удвоенные концентрации фунгицидов: Adolit M flussig – 16, 32 и 64 г/л; Impragnierung BFA – 0.375, 0.75, 1.5 г/л раствора.

Контролем в опытах по оценке воздействия различных действующих веществ фунгицидов служило воздействие на тест-объект стерильной дистиллированной воды.

Для оценки фунгистатической активности препаратов применяли полусинтетическую агаризованную среду на основе экстракта древесины сосны обыкновенной с добавлением соответствующих количеств фунгицидов. Для оценки фунгицидной активности препаратов применяли стерильные диски фильтровальной бумаги, смоченные в растворах соответствующих концентраций (Методы экспериментальной микологии, 1982).

2.2. Методы исследований

2.2.1. Методы отбора проб

Проводили общее обследование всех помещений Каменноостровского Императорского театра, содержащих внутренние деревянные конструкции; всего чердачного помещения здания Гостиницы «Михайловская» (стропильной системы и вскрытых элементов чердачного перекрытия); всех доступных по состоянию помещений первого и цокольного этажей, содержащих внутренние деревянные конструкции, деревянного корпуса Наркологического диспансера маршрутным методом с визуальной оценкой распространенности и степени интенсивности биоповреждений деревянных конструкций с помощью индивидуальных средств обзора (увеличительное стекло, бинокль, фонарь).

Образцы пораженных деревянных конструкций отбирали способами выпиливания, высверливания, выщепления и соскабливания с поверхности и на глубину до 20 см от поверхности с помощью инструментов (шило, нож, стамеска, молоток-гвоздодер, дрель) и стерильной тары для отбора образцов. Все пробы помещали в стерильные пакеты, и доставляли для анализа в лабораторию. Каждый контрольный образец представлял собой смешанный, составленный из образцов, отобранных в пяти точках элемента конструкции. При сборе материала давали описательную характеристику образца, имеющего те или иные повреждения – окрашенность древесины, налеты мицелия, наличие репродуктивных стадий грибов, деформации и т.п. Для отобранных образцов указывали степень развития макро- и микромицетов в баллах (1–3). (Великанов и др., 1980; Методы экспериментальной микологии, 1982; Мирчинк, 1988).

Образцы поверхностного поражения различных элементов конструкций отбирали модифицированным способом смыва с исследуемого объекта: путем накладывания с экспозицией в течение 1 мин. стерильной увлажненной фильтровальной бумаги площадью 63.6 см² на деструктурированные участки в характерных местах поражений и условий их развития. Отобранные образцы доставляли в лабораторию в стерильных чашках Петри для помещения на питательные среды.

2.2.2. Методы выделения и идентификации грибов

В работе использовали следующие стандартные способы выделения и идентификации грибов:

1. *метод модифицированной влажной камеры* (для выявления грибов и представителей *Mухомycota*). Для создания влажной камеры использовали чашки Петри. Кусок фильтровальной бумаги обрезают по размеру камеры и помещают в ее основание. Чашки Петри с фильтровальной бумагой стерилизовали при 132±2° С автоклавированием (2 атм. в течение 1 часа). Далее образцы (древесина) помещали поверх фильтровальной бумаги так, чтобы щепы закрыли основание, но не накладывались друг на друга. Добавляли достаточное количество стерильной дистиллированной воды, чтобы образец был погружен в воду. Затем

чашки закрывали и инкубировали 1 сутки при комнатной температуре для выпитывания образцами максимального количества воды. На следующий день остатки воды сливали, образцы инкубировали в течение 2–3-х недель при комнатной температуре и рассеянном свете. В последующие сутки воды не добавляли. Влажные камеры периодически просматривали в течение периода инкубации с использованием лупы с увеличением $\times 16$ –54 или бинокулярной лупы;

2. *метод прямого посева* кусочков пораженной древесины и плодовых тел на агаризованные питательные среды (при наличии хорошо развитых на поверхности субстрата базидиом высших грибов и спороношений). Для этой цели кусочки древесины со спороношением и базидиомы поверхностно стерилизовали 96° этиловым спиртом, разрезали стерильным скальпелем на максимально мелкие кусочки и высевали в стерильных условиях на питательные среды;

3. *метод тканевых культур* (для выделения макро- и микромицетов при деформациях структуры и разрушениях древесины, при выявлении на образцах мицелия, пронизывающего поверхностные и внутренние слои субстрата). Для этого образцы древесины измельчали до размеров не более 4 мм, промывали под струей водопроводной воды в течение 1 часа, стерилизовали в 0.1 % растворе AgNO_3 в течение 1 мин. для удаления привнесенной поверхностной инфекции, обрабатывали стерильной водой со стрептомицин-сульфатом (0.2 г/л) и без такового; высевали в стерильных условиях на агаризованные питательные среды;

4. *метод отпечатков* фильтровальной бумаги, заключающийся в прижимании к пораженному микобиотой участку древесины конструкции стерильным пинцетом стерильного увлажненного водой фильтра и дальнейшем переносе последнего на поверхность питательной среды в чашки Петри с инкубацией в течение 1 мин. до удаления фильтра с поверхности среды;

5. *метод смыва с отпечатка*, заключающийся в заливке агаризованной питательной средой чашки Петри, в которой находилась фильтровальная бумага с отпечатком пораженного участка элемента конструкции. После удаления фильтровальной бумаги из чашки в нее заливали остуженную до максимально

возможной температуры среду Чапека и, в условиях константной температуры, осуществляли культивирование в толще агара;

6. *метод серийных разведений* с последующим высевом наиболее оптимального для количественного и качественного учета макро- и микромицетов 1:10000 разведения на ряд селективных агаризованных питательных сред;

7. *методы очистки и выделения грибов* в чистую культуру;

8. *методы прямого микроскопирования* пораженного образца и микроскопирования чистых культур с проведением идентификации грибов с помощью определителей; (Thom et al., 1926; Raper et al., 1949, 1968; Бондарцев, 1953, 1956; Barnett, 1960; Демидова, 1963; Литвинов, 1967, 1969; Морочковський и др., 1969, 1971; Ellis, 1971, 1976, 1985; Билай, 1977; Пидопличко, 1977; Великанов и др., 1980; Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1980; Методы экспериментальной микологии, 1982; Великова, 2005; Thrane, 2005; Новожилов, 2006). Сокращения авторов видов грибов приводятся по П. М. Кирку и А. И. Анселлу (Kirk et al., 1992).

Для молекулярно-генетической идентификации микобиоты древесины конструктивных элементов проводили экстракцию ДНК из отобранных образцов. Перед ее проведением небольшие (до 1 г) фрагменты образцов (пробы древесины) деконтаминировали с помощью H_2O_2 и растирали в фарфоровой ступке с добавлением Al_2O_3 для улучшения механического размола до порошкообразного состояния. Полученный порошок распределяли в 1.5 мл пробирки по 200–300 мг в каждую для использования в качестве проб. В работе применяли следующие молекулярно-генетические методы:

1. *методы экстракции тотальной ДНК* из приготовленных проб: СТАВ/хлороформ-метод (Taylor et al., 1993; Wilson et al., 1987), модифицированный СТАВ/хлороформ-метод (Jasalavich et al., 2000), ацетатный метод (Ribeiro, Lovato, 2007), фенольный метод (Short protocols, 2002) и метод выделения ДНК с помощью магнитных частиц (коммерческий набор, ЗАО «Синтол», Москва).

Экстракция СТАВ/хлороформ-методом. К подготовленной пробе добавляли 600 мкл лизирующего буфера (2 % СТАВ; 1.4 М NaCl; 20 mM EDTA; 0.1 М tris-HCl, pH = 8.0), перемешивали на вортексе и инкубировали при 65° С в течение 1 ч. Далее к пробе добавляли 500 мкл смеси хлороформа с изоамиловым спиртом (24:1), перемешивали на вортексе 10–15 с и инкубировали при комнатной температуре 5–10 мин. Центрифугировали 2 мин при 12 000 об/мин. Отделяли приблизительно 90 % верхней фазы. Добавляли равный объём изопропанола и перемешивали 3–5 мин. Центрифугировали 2 мин при 12 000 об/мин, после чего удаляли надосадочную жидкость (супернатант). Добавляли 200 мкл 70 % этанола, выдерживали при комнатной температуре 5 мин, плавно помешивая. Повторяли центрифугирование, затем удаляли этанол. Подсушивали осадок в открытых пробирках при комнатной температуре в течение 30 мин. Растворяли полученную ДНК в 25 мкл ТЕ-буфера (10 mM tris-HCl, pH = 7.4; 1 mM EDTA, pH = 8.0) или 80 % ДМСО.

Экстракция модифицированным СТАВ/хлороформ-методом. К подготовленной пробе добавляли 600 мкл лизирующего буфера (10 % СТАВ; 0.7 М NaCl), перемешивали на вортексе и инкубировали при 64° С в течение 2 ч. Далее к пробе добавляли 600 мкл смеси хлороформа с изоамиловым спиртом (24:1), перемешивали на вортексе 10–15 с и инкубировали при комнатной температуре 5 мин при постоянном перемешивании. Центрифугировали 10 мин при 12 000 об/мин. Переносили верхнюю фазу в новую пробирку. К экстракту добавляли 0.1 объёма 10 %-го СТАВ. Перемешивали на вортексе 15 с, далее инкубировали при 65° С в течение 1 ч. Добавляли смесь хлороформа с изоамиловым спиртом (24:1) и аккуратно перемешивали, центрифугировали 10 мин при 12 000 об/мин. Переносили верхнюю фазу в новую пробирку (при необходимости последние два действия повторяли). Добавляли 0.6 объёма изопропанола и перемешивали 3–5 мин. Центрифугировали 2 мин при 12 000 об/мин, после чего удаляли супернатант. Инкубировали 30 мин при –20° С. Добавляли 150 мкл 70 % этанола, выдерживали при комнатной температуре 5 мин, плавно помешивая. Повторяли центрифугирование, затем удаляли этанол.

Подсушивали осадок в открытых пробирках при комнатной температуре в течение 30 мин. Растворяли полученную ДНК в 25 мкл ТЕ-буфера или 80 % ДМСО.

Экстракция ДНК ацетатным методом. К подготовленной пробе добавляли 600 мкл лизирующего буфера (100 mM ацетат натрия, pH = 4.8; 100 mM EDTA, pH = 8.0; 500 mM хлорид натрия, 10 mM дитиотреитол; 2 % PVP, pH = 5.5 с добавлением 100 мкг/мл протеиназы К перед использованием), далее нагревали до 62° С и выдерживали в течение 1 ч. К лизирующему буферу добавляли по 49 мкл 20 % SDS, доводя до конечной 1.5 %-й концентрации SDS. Аккуратно перемешивали пробирки вручную, затем инкубировали при 55° С в течение 1 ч при постоянном встряхивании. Центрифугировали в течение 10 мин при 12 000 об/мин. Переносили супернатант в новую пробирку. Добавляли 5 М ацетат калия ($\frac{1}{3}$ от объема супернатанта). Перемешивали вручную и инкубировали 30 мин при комнатной температуре. Центрифугировали в течение 10 мин при 12 000 об/мин, переносили супернатант в новую пробирку. Добавляли 0.6 объема изопропанола. Перемешивали вручную и инкубировали 14–16 ч при комнатной температуре. Центрифугировали в течение 10 мин при 12 000 об/мин и удаляли супернатант. Добавляли 180 мкл 70 % этанола, инкубировали при комнатной температуре 5 мин, плавно помешивая вручную. Центрифугировали в течение 2 мин при 12 000 об/мин и удаляли этанол. Осадок подсушивали при 50° С до полного испарения этанола. Растворяли полученную ДНК в 25 мкл ТЕ-буфера.

Экстракция ДНК магнитными частицами. Для экстракции использован коммерческий комплект для выделения ДНК «М-Сорб-ООМ» из проб окружающей среды (ЗАО «Синтол»). В основе метода выделения лежит экстракция и очистка ДНК с помощью неспецифической абсорбции нуклеиновых кислот на силиканизированных магнитных частицах в присутствии концентрированного раствора гуанидина тиоцианата, обладающего лизирующим и хаотропным свойствами. Для экстракции ДНК к подготовленной пробе добавляли 600 мкл лизирующего буфера (2 % СТАВ; 1.4 М NaCl; 20 mM EDTA; 0.1 М tris-HCl, pH = 8.0), далее встряхивали при 62° С в течение 2 ч на

термошейкере. Центрифугировали в течение 3 мин при 12 000 об/мин. Отбирали супернатант в новую пробирку. Доводили объем пробы в первой пробирке до 1 мл деионизованной водой ($\text{di H}_2\text{O}$) и перемешивали на вортексе 15 с. Центрифугировали в течение 3 мин при 12 000 об/мин. Отбирали надосадочную жидкость в пробирку с предыдущей порцией супернатанта. 1 мл супернатанта вносили в пробирку с 0.6 г гуанидина изотиоцианата, размешивали на вортексе в течение 15 с. Центрифугировали в течение 30 с при 4 000 об/мин. Суспензию магнитных частиц в водном растворе (раствор № 3) встряхивали на вортексе. В каждую пробирку добавляли по 40 мкл раствора № 3, размешивали на вортексе 15 с, далее инкубировали 5 мин при комнатной температуре. Центрифугировали в течение 3 мин при 4 000 об/мин. Пробирки помещали в магнитный штатив на 1 мин, чтобы позволить магнитным частицам собраться вместе, после этого удаляли жидкую фазу.

В каждую пробирку добавляли по 500 мкл водно-спиртового раствора А 4, размешивали на вортексе 15 с, далее центрифугировали в течение 3 мин при 4 000 об/мин. Помещали в магнитный штатив на 1 мин и отбирали жидкую фазу. В каждую пробирку добавляли по 500 мкл 70 % этанола, размешивали на вортексе 15 с, далее центрифугировали в течение 3 мин при 4 000 об/мин. Помещали в магнитный штатив на 1 мин и отбирали жидкую фазу. В каждую пробирку добавляли по 500 мкл ацетона, размешивали на вортексе 15 с, далее центрифугировали в течение 3 мин при 4 000 об/мин. Помещали в магнитный штатив на 1 мин и отбирали жидкую фазу. Нагревали в течение 5 мин при 62° С, постоянно перемешивая. В каждую пробирку добавляли 50 мкл ТЕ-буфера, размешивали на вортексе 15 с, нагревали в течение 10 мин при 62° С, постоянно перемешивая. Центрифугировали в течение 3 мин при 4 000 об/мин. Помещали в магнитный штатив на 1 мин. Переносили раствор с ДНК в новую пробирку.

Экстракция ДНК с фенолом. К подготовленной пробе добавляли 600 мкл лизирующего буфера (2 % СТАВ; 1.4 М NaCl; 20 mM EDTA; 0.1 М tris-HCl, pH = 8.0), перемешивали на вортексе и инкубировали при 62° С в течение 1 ч. Далее к пробе добавляли 500 мкл хлороформа, перемешивали на вортексе 10–15 с

и инкубировали при комнатной температуре 5–10 мин. Центрифугировали 2 мин при 12 000 об/мин. Отделяли приблизительно 90 % верхней фазы. Добавляли равный объём изопропанола и перемешивали 3–5 мин. Центрифугировали 2 мин при 12 000 об/мин, после чего удаляли супернатант. Добавляли 300 мкл деионизованной воды, инкубировали при 55° С и постоянном встряхивании. Добавляли 300 мкл смеси фенола, хлороформа и изоамилового спирта (25:24:1), размешивали на вортексе 15 с, центрифугировали в течение 30 с при 12 000 об/мин. Отбирали верхний слой жидкости в новую пробирку. Добавляли 0.1 объема 3 М ацетата натрия, размешивали на вортексе в течение 15 с. Добавляли двойной объем 96 % этанола, размешивали на вортексе 15 с, инкубировали 45 мин при температуре –20° С. Центрифугировали в течение 5 мин при 12 000 об/мин, удаляли супернатант. Добавляли 1 мл 70 % этанола. Центрифугировали в течение 5 мин при 12 000 об/мин, удаляли супернатант и просушивали при 62° С до полного испарения спирта. Растворяли осадок в 25 мкл ТЕ-буфера.

2. *метод полимеразной цепной реакции (ПЦР)* для подготовленных экстрактов. ПЦР проводили с использованием стандартных компонентов. Одну реакцию проводили в объеме 25 мкл и составе: 1 мкл экстракта ДНК, а также 200 мкМ dNTP, по 500 мкМ каждого праймера, 1 акт.ед. Taq-полимеразы, 10 % 10× буфера (750 мМ tris-HCl, pH = 8.8; 200 мМ (NH₄)₂SO₄; 20 мМ MgCl₂; 0.1 % Tween 20). Для амплификации участка рибосомального оперона были использованы пары праймеров:

✓ ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')

✓ ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et al., 1990).

Или:

✓ ITS1F (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') и

✓ ITS4B (5'-CAGGAGACTTGTACACGGTCCAG-3') (Gardes, Bruns, 1993).

Дополнительно для контроля эффективности экстракции ДНК из образцов древесины использовались праймеры:

- ✓ GPD1 (5'-CAACGGCTTCGGTCGCATTG-3') и
- ✓ GPD2 (5'-GCCAAGCAGTTGGTTGTGC-3') (Berbee et al., 1999).

После процедуры молекулярного клонирования для амплификации целевого фрагмента из вектора pAL-ТА плазмиды использовали праймеры:

- ✓ M13for (-46) (5'-GCCAGGGTTTTCCCAGTCACGA-3') и
- ✓ M13rev (-46) (5'-GAGCGGATAACAATTTTCACACAGC-3').

Для ПЦР с праймерами ITS 1/4 и GPD 1/2 использовали следующую программу амплификации: предденатурация – 95° С, 4 мин, денатурация – 92° С, 2 мин, отжиг – 55° С, 1 мин, элонгация – 72° С, 1 мин (последние три этапа повторялись 36 раз), финальная элонгация – 72° С, 5 мин, далее терминация охлаждением до 12° С. Программа амплификации в реакционной смеси, содержащей праймеры M13(-46) f/r отличалась параметрами предденатурации (95° С, 2 мин) и отжига (62° С, 30 с).

3. *методы визуализации и выделения продуктов ПЦР* после амплификации. Приготавливали 1 % гель на основе агарозы. Окрашивание геля производили бромистым этидием (0.2 мкг/мл). Выливали гель для застывания в подготовленную камеру прибора для электрофореза PowerPac™ Universal Power Supply (Bio-RAD). Раствор с продуктами амплификации помещали в специальные лунки в геле. Продукты ПЦР подвергали электрофорезу при 100 V 50 мин и фотографировали в ультрафиолетовом (УФ) свете УФ-камерой ChemiDoc™ MP System (Bio-RAD). В качестве шаблона для измерения молекулярной массы использовался маркер Generuler 100 bp DNA Ladder (Thermo Scientific). Фрагмент геля, содержащий целевой ампликон, расплавляли в соотношении 1:2 при 65° С в растворе 1 (3 М GITC (GTC); 20 мМ EDTA; 10 мМ tris-HCl, pH = 6.8; 40 мг/мл; Triton X-100). Добавляли 20–40 мкл раствора 2 (40 мг/мл Silica (Sigma S5631) в растворе). Инкубировали 5 мин при комнатной температуре, регулярно встряхивая. Центрифугировали 3 мин при 700 об/мин. Полностью убирали

надосадочную жидкость. Ресуспендировали осадок в 180 мкл раствора 3 (25 %этанол; 25 % изопропанол; 10 mM NaCl; 10 mM tris-HCl, pH = 8.0). Центрифугировали 3 мин при 700 об/мин. Убирали супернатант. Ресуспендировали осадок в 180 мкл 96 % этанола. Центрифугировали 3 мин при 700 об/мин. Убирали супернатант. Подсушивали 5 мин при 62° С. Ресуспендировали осадок в 15 мкл di H₂O. Инкубировали 5 мин при 62° С. Центрифугировали 5 мин при 12 000 об/мин. Переносили надосадочную жидкость (10–15 мкл) в новую пробирку.

4. *метод лигирования бактериальной плазмиды.* Для лигирования продуктов ПЦР изготавливали и аккуратно перемешивали реакционную смесь общим объемом 10 мкл: 1 мкл 10× лигазного буфера; 3–5 акт. ед./мкл ДНК-лигазы T4; 50 нг/мкл pAL-TA вектора и 15–20 нг/мкл ДНК. Инкубировали при температуре 14° С в течение 16 ч.

5. *метод трансформации компетентных клеток Esherichia coli.* В пробирки с компетентными клетками *E. coli* добавляли 10 мкл реакционной смеси, содержащей продукты лигирования, инкубировали на льду в течение 30 мин. Затем пробирки переносили в нагретый до 42° С твердотельный термостат на 1 мин (хит-шок), после чего перекладывали на лед и давали остыть в течение 10 мин. В стерильных условиях добавляли 900 мкл питательной среды SOC (20 г триптона; 5 г дрожжевого экстракта; 0.585 г NaCl; 10 mM MgSO₄; 20 mM глюкозы, pH = 7.5) и культивировали при 37° С в течение 1 ч на орбитальном шейкере. После этого пробирки центрифугировали при 4° С 5 мин при 2 000 об/мин. Удаляли 1 000 мкл надосадочной жидкости, в оставшемся объеме ресуспендировали осадок, представляющий собой трансформированные компетентные клетки. Содержимое пробирки переносили в чашку Петри с агаризованной средой для выращивания бактерий SOB (20 г триптона; 5 г дрожжевого экстракта; 0.585 г NaCl; 10 mM MgSO₄, pH = 7.5) с содержанием 0.02 % ампициллина, 0.002 % IPTG и 0.003 % X-gal. Суспензию клеток равномерно распределяли по поверхности среды стерильным шпателем

Дригальского и давали немного подсохнуть. Чашку заклеивали парафилом и инкубировали при 37° С в течение 14–16 ч.

6. *метод выделения плазмидной ДНК из бактерий.* Одну колонию бактерий из чашки Петри при помощи микробиологической петли асептически переносили в пробирку для ПЦР, содержащую 20 мкл $\text{di H}_2\text{O}$. Для каждого образца было отобрано по 24 колонии. Все колонии содержали лигированную плазмиду с ампликоном. Пробирки нагревали в амплификаторе до 92° С, затем выдерживали 10 мин при 80° С для термического разрушения оболочки бактерий и высвобождения плазмиды. После этого пробирки центрифугировали 10 мин при 2 000 об/мин. Основные характеристики реакционной смеси для амплификации плазмидной ДНК с праймером M13(-46) for/rev оставили без изменений. После окончания амплификации продукты ПЦР переосаждали описанным ниже способом и использовали для рестрикции.

7. *метод рестрикции фрагментов ДНК.* Перед рестрикцией проводили очистку продуктов ПЦР от остальных компонентов реакционной смеси. Для этого в каждую ПЦР-пробирку объемом 200 мкл, содержащую 25 мкл реакционной смеси и 20–50 нг/мкл продуктов ПЦР, добавляли 70 мкл изопропанола и осаждали на вортекс-центрифуге (Biosan Combi-Spin FVL-2400N) в течение 7 мин при 0.7 g (фиксированная характеристика). Затем, полностью удалив жидкую фазу, добавляли 100 мкл 96 % этанола и вновь осаждали на вортекс-центрифуге в течение 7 мин при 0.7 g. Из пробирок полностью удаляли жидкую фазу, а затем подсушивали в сушильном шкафу при 50° С до полного испарения влаги. Реакционную смесь объемом 20 мкл, содержащую 1 акт.ед. рестриктазы Msp I и 10 % 10× буфер Tango (33 mM tris-ацетат, pH = 7.9; 10 mM ацетат магния; 66 mM ацетат калия; 0.1 мг/мл BSA), вносили в высушенные пробирки с продуктами ПЦР. Рестрикцию проводили при 37° С в течение 5 ч, а затем ингибировали действие рестриктазы повышением температуры до 85° С на 15 мин. Далее при помощи электрофореза продукты рестрикции были разделены и визуализированы. Для электрофореза использовали 2 % агарозный гель, окрашенный бромистым этидием (0.2 мкг/мл); в качестве шаблона для измерения длин рестрикционных

фрагментов использовали маркер Generuler 100 bp DNA Ladder (Thermo Scientific). На основе полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (RFLP) судили о видовом разнообразии грибов, представленных в пробе.

8. *метод секвенирования* и определение таксономического положения последовательностей. В процессе анализа выявляли группы клонов с одинаковыми рестрикционными профилями. При формировании групп учитывали даже незначительные различия в размере рестрикционных фрагментов. Секвенирование проводили по классическому *методу обрыва цепи* и для каждой из групп рестрикционных профилей были получены прямой и обратный ITS-сиквенсы (Sanger, Coulson, 1975; Sanger et al., 1977). Полученные сиквенсы сравнивали с последовательностями, представленными в GenBank на сервере NCBI. Таксономическую принадлежность определяли (программа BLAST) на основании показателей «покрытие» (query coverage – процентное отношение количества нуклеотидов в запросе, находящихся в зоне перекрытия с последовательностью банка, к общему количеству нуклеотидов в запросе), и «сходство» (max identity – количество совпадений между нуклеотидами в последовательностях запроса и банка на протяжении всей зоны перекрытия, выраженное в процентах) (Zhang et al., 2000).

2.2.3. Методы качественного и количественного учета макро- и микромицетов, характера их развития

1. *показатель пространственной (частоты) встречаемости* $P_{пчв}$, %, вычисляли по формуле

$$P_{пчв} = n/N \times 100 \%, \quad (1)$$

где n – количество образцов, в которых обнаружен данный вид, N – общее количество исследованных образцов (Мирчинк, 1970, 1972, 1976, 1982, 1988; Великанов и др., 1980; Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1980; Озерская, 1980; Мирчинк и др., 1981; Озерская и др., 1981; Методы экспериментальной микологии, 1982; Бабьева и др., 1983);

2. *показатель обилия* P_o , %, определяли, исходя из формулы

$$P_o = q/Q \times 100 \%, \quad (2)$$

где q – общее число выделенных изолятов данного вида микромицета, Q – общее число выделенных изолятов всех видов;

3. *число КОЕ (колониеобразующих единиц) отдельных видов, содержащихся в 1 г воздушно-сухой массы* $A_{\text{КОЕ/г}}$, вычисляли по формуле

$$A_{\text{КОЕ/г}} = a \times b \times v/g, \quad (3)$$

где a – среднее количество колоний микромицета, выросших на чашках Петри, b – разведение, из которого сделан посев, v – масса влажного субстрата, g – масса воздушно-сухого субстрата;

4. *показатели общности видового состава (сходства комплексов)* оценивали при помощи коэффициента Жаккара K , %,

$$K = a \times 100 \% / [(b + c) - a] \quad (4)$$

где a – число общих видов, b – число видов в субстрате одного сообщества, c – число видов в субстрате другого сообщества;

5. *интенсивность, или степень биодеструкции* – качественный показатель, который определяли оценкой площади пораженной поверхности и глубины поражения и выражали в баллах от I до III согласно РВСН 20-01-2006 (Таблица 1).

2.2.4. Методы количественной оценки содержания определяющих механические свойства древесины биополимеров

Перед проведением химических анализов образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали на электрической мельнице и просеивали через сито с диаметром пор = 1 мм. Во всех образцах определяли содержание золы прокаливанием в муфельной печи при температуре 600° С.

1. *метод количественного определения лигнина* (с 72 %-й H_2SO_4 , модифицированный Комаровым). Навеску около 1 г, взвешенную с точностью до 0.0002 г, предварительно обессмоленной спирто-бензолом или серным эфиром измельченной древесины, влажность которой определяли в отдельной пробе, обрабатывали в колбочке с притертой пробкой 15 мл 72 %-й серной кислоты (уд. вес 1.64) в течение 2.5 ч при температуре 24–25° С (термостат), периодически размешивая содержимое колбочки во избежание образования комков. Затем смесь

лигнина с H_2SO_4 разбавляли 200 мл дистиллированной воды и кипятили в течение 1 ч в колбе с обратным холодильником. Давали лигнину осесть, после чего отфильтровывали его через предварительно высушенный до постоянного веса пористый стеклянный фильтр № 1. Лигнин промывали горячей водой до нейтральной реакции, высушивали до постоянного веса и взвешивали. Полученное количество лигнина рассчитывали в процентах от веса необессмоленной абсолютно сухой навески древесины;

2. *метод количественного определения целлюлозы по Кюршнеру и Хофферу.* Около 1 г измельченной древесины помещали в коническую колбу объемом 200–250 мл, добавляли 25 мл смеси, состоящей из 1-го объема концентрированной азотной кислоты (уд. вес 1.4) и 4 объемов этилового спирта, медленно кипятили в течение 1 ч в колбе с обратным холодильником в водяной бане. После кипячения и оседания опилок осторожно сливали жидкость через стеклянный фильтр, предварительно высушенный до постоянного веса, и взвешивали. Попавшую на фильтр древесину смывали 25 мл свежей смеси спирта с азотной кислотой, снова нагревали на водяной бане в колбе с обратным холодильником в течение 1 ч. Такую обработку проводили 3–4 раза. Признаком конца делигнификации древесины служило отсутствие красного окрашивания при воздействии на остаток образца солянокислого раствора фтороглицина. Также проводили микроскопическое исследование пробы с хлорцинкйодом, который окрашивал волокна древесной целлюлозы в фиолетовый цвет. Присутствие лигнина обнаруживали по желтому окрашиванию. После последней обработки целлюлозу отфильтровывали на стеклянном фильтре, промывали 10-ю мл свежей смеси спирта и азотной кислоты, затем горячей водой доводили до нейтральной реакции, высушивали при 105°C до постоянного веса и взвешивали. Содержание целлюлозы вычисляли в процентах от веса абсолютно сухой древесины;

3. *метод определения влажности* измельченной древесины путем высушивания. Взвешивали низкий бюкс с крышкой, затем 1 г измельченной древесины и пересыпали навеску в бюкс. Высушивали открытый бюкс с навеской в сушильном шкафу при $100\text{--}105^\circ \text{C}$ в течение 3–4-х часов. После высушивания

взвешивали бюкс с навеской в закрытом виде. Вычисляли влажность опилок ρ , %, по формуле

$$\rho = (m_2 - m_0/m_1) \times 100 \%, \quad (5)$$

где ρ – влажность древесины, m_2 – масса закрытого бюкса с навеской после сушки в г, m_0 – масса закрытого бюкса в г, m_1 – масса интактной древесины в г;

4. *метод определения зольности древесины.* Взвешивали фарфоровый тигель, затем 1 г измельченной древесины и пересыпали навеску в тигель. Прожигали навеску на огне горелки. Далее помещали тигель с навеской в муфельную печь с заданным нагревом до $575 \pm 25^\circ \text{C}$. Выдерживали тигель в печи не менее 3 ч (Анисимова, 2009). После извлечения из печи давали тиглю с золой остыть, затем взвешивали последний. Зольность i , %, высчитывали по формуле:

$$i = (m_2 - m_0/m_1) \times 100 \%, \quad (6)$$

где i – зольность древесины, m_2 – масса тигля с навеской после обработки в печи в г, m_0 – масса тигля в г, m_1 – масса интактной древесины в г;

5. *метод определения содержания целлюлозы и/или лигнина в процентах от веса исходной древесины (принимается, что содержание золы в образцах остается постоянным) C, %, основывается на расчётах по формуле:*

$$C = 100 \% \times m_i/m_0 - m_0 \times \rho, \quad (7)$$

где ρ – влажность образца древесины, m_i – масса искомого биополимера (целлюлоза, лигнин), m_0 – общая масса образца древесины (Оболенская и др., 1955; Schwanninger, Hinterstoisser, 2002).

2.2.5. Методы выявления изменений количества и качества экстрактивных веществ при биоконверсии древесины

Для выявления изменений количества и качества экстрактивных веществ при биоконверсии использовали методы высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ – ACQUITY UPLC), ультрафиолетовой (УФ) и масс-спектрометрии образцов интактной и пораженной исторической древесины сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., поскольку все элементы конструкций объектов исследования были выполнены из этой породы дерева.

При пробоподготовке к хроматографическим и спектрометрическим анализам отбирали по 0.4 г интактной (в качестве контроля – эталона) и деструктурируемой представителями комплексов микобиоты, высушенной до воздушно-сухого состояния исторической древесины различной степени биодеструкции. Контрольный образец интактной исторической древесины сосны обыкновенной представлял собой смешанный, отобранный из непораженных конструкций всех обследованных памятников культурного наследия на их поверхности, а также на 20 см вглубь конструктивного элемента. Каждый образец подвергали ультразвуковой экстракции 9-ю мл метанола, с добавлением 1-го мл деионизированной воды. Далее центрифугировали 5 мин при 3000 об/мин со сбором надосадочной жидкости в новую емкость. Таким образом, получили растворы экстрактивных веществ в 90 %-м метаноле в качестве проб.

1. *метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ)* осуществили с помощью хроматографической тандемной системы UPLC WATERS ACQUITY H-класса на колонке ACQUITY UPLC 1.7 мкм с сорбентом из ACQUITY BEH (Bridged Ethyl Hybrid) полимерных частиц размером 1.7 мкм. При анализе использовали следующие растворители: канал А – H_3PO_4 5 мкм, канал В – метанол. Применяли следующий градиент растворителей: с начала опыта – 95 % А, 5 % В; после 20 мин – 20 % А, 80 % В; после 35 мин – 95 % А, 5 % В. Задавали скорость потока 0.4 мл/мин. Время опыта: 40 мин., температура разогревания колонки 35 °С.

2. *метод масс-спектрометрии* осуществили с помощью масс-спектрометрического тандемного квадрупольного детектора проточного типа WATERS XEVO TQD с разрешающей способностью m/z 150–2000 Da на колонке ACQUITY UPLC BEH C18 (2.1×100) мм с размером частиц 1.7 мкм. При анализе использовали следующие растворители: канал А – ацетонитрил, канал В – 2 %-я муравьиная кислота. Применяли следующий градиент растворителей: с начала опыта – 0 % А, 100 % В; после 20 мин – 90 % А, 10 % В. Время опыта: 30 мин., температура разогревания колонки 35 °С.

3. *метод УФ-спектрометрии* осуществили с помощью спектрофотометрических детекторов систем UPLC Waters ACQUITY H-класса и Waters Xevo TQD. Определяли оптическую плотность растворов (УФ-спектры) при фиксированной длине волны в ультрафиолетовой области 200–800 нм и 200–500 нм, соответственно (Семак и др., 2011; Околов и др., 2012).

Полученные данные обрабатывали с помощью программного обеспечения EMPOWER для анализа и идентификации хроматографических пиков, УФ- и масс-спектров. При идентификации пиков учитывали их количество, площадь, высоту, а также время выхода соответствующего вещества и/или группы веществ. *Использованный метод внутренней нормализации* без введения в пробы стандартов, основанный на регистрации всех экстрагируемых компонентов по сигналам и соотношений между их концентрациями, позволил рассмотрение анализируемых спектров в качестве специфических профилей дериватов лигнина, целлюлозы и других компонентов деструктурируемой исторической древесины по типу Finger printing в сравнении с эталонными спектрами контроля – интактной исторической древесины сосны обыкновенной (Стыскин и др., 1986; Schmidt et al., 2005; Schmidt, 2007; Анисимова, 2009).

2.2.6. Методы оценки фунгистатического и фунгицидного действий химических препаратов

1. *метод оценки фунгистатического действия* различных доз химических фунгицидов заключался в культивировании тест-объектов на агаризованной среде, содержащей экстракт исторической древесины и соответствующую концентрацию химического препарата. Для этого добавляли в расплавленную и охлажденную до 50° С древесную питательную среду 16, 32 и 64 г/л Adolit M flussig; 0.375, 0.75 и 1.5 г/л Impragnierung BFA, соответственно. В контрольные чашки заливали среду без фунгицида. После застывания среды в чашки Петри уколом инокулировали тест-объект из маточной чистой культуры. Культивирование осуществляли в константных условиях термостата при 24±1° С. При появлении видимых колоний оценивали ежедневно их линейный рост, до полного заполнения чашки, измеряя взаимно перпендикулярные диаметры

колоний. Проводили обработку материала и высчитывали скорость роста тест-объекта. Повторность шестнадцатикратная.

2. *метод оценки фунгицидного действия* различных доз химических препаратов заключался в оценке зоны подавления роста мицелия тест-объектов. В чашки с чистой культурой грибов (по 4 чашки опыта + 1 чашка контроля) помещали при помощи пинцета бумажные диски, смоченные в растворах 16, 32 и 64 г/л Adolit M flussig; 0.375, 0.75 и 1.5 г/л Impragnierung BFA, соответственно. В качестве контроля использовали диски, смоченные в стерильной воде. Через определенные промежутки времени (1–2 суток) измеряли диаметр зоны подавления роста мицелия в двух взаимно перпендикулярных направлениях от края диска до конца зоны подавления. Повторность шестнадцатикратная.

2.2.7. Статистические методы и методы визуализации

Для статистической оценки результатов опытов применяли: расчеты производных, среднеквадратичных отклонений, стандартных ошибок, t-критерия Стьюдента (Плохинский, 1970, 1978; Доспехов, 1979). Расчеты и визуализация материала производили с помощью программных пакетов Excel 2010 и STATISTICA 6. Таксономическую принадлежность представителей микобиоты определяли с помощью программа BLAST (Zhang et al., 2000). Анализ и идентификацию хроматографических пиков, УФ- и масс-спектров проводили с помощью программного обеспечения EMPOWER (Семак и др., 2011; Околов и др., 2012).

ГЛАВА 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКОБИОТЫ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Таксономическая характеристика

Микологический анализ образцов пораженных деревянных конструкций, проведенный популяционными и молекулярными методами, позволил определить видовой состав и таксономические характеристики микро- и макромицетов – колонизаторов и биодеструкторов исторической древесины 3-х объектов культурного наследия г. Санкт-Петербурга.

В результате микологического анализа образцов пораженной древесины различных конструкций Императорского театра выявлено 57 видов микроорганизмов, из которых 4 вида бактерий (3 вида рода *Pseudomonas*, 1 вид рода *Streptomyces*) и 53 вида – представители микобиоты (52 вида микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 13 семействам, 16 родам (Таблица 5). Наибольшее число видов относится к порядку *Eurotiales* (32 вида), наименьшее – к порядкам *Microascales*, *Dothideales*, *Chaetothyriales*, *Sordariales* и *Polyporales* (по 1 виду) (Таблица 5).

Таблица 5

Микобиота пораженных деревянных конструкций здания Императорского театра

Отдел Порядок Семейство	Род (телеоморфа)	Вид (анаморфа)	Встреча- емость, %	Обилие, %
1	2	3	4	5
Zygomycota				
<i>Mucorales</i>				
<i>Mucoraceae</i>	<i>Mucor</i> Fresen.	<i>M. racemosus</i> Fresen. <i>M. hiemalis</i> Wehmer <i>Mucor</i> sp.	5.41 2.70 1.39	1.04 0.52 0.26
<i>Rhizopodaceae</i>	<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	<i>R. nigricans</i> Ehrenb.	1.39	0.26
Ascomycota				
<i>Pleosporales</i>	<i>Lewia</i> M.E. Barr et E.G. Simmons	<i>Alternaria gossypii</i> (Jacz.) Nisicado <i>A. alternata</i> (Fr.: Fr.) Keissl. <i>A. tenuissima</i> Pers. ex Fr.	1.39 4.05 1.39	0.26 0.78 0.26
<i>Mytilinidiales</i>	<i>Glyphium</i> Nitschke ex F. Lehm.	<i>Taeniolella scripta</i> (Karst.) Hughes	1.39	0.26

1	2	3	4	5
<i>Capnodiales</i>	<i>Davidiella</i> Crous et U. Braun	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.: Fr.) Link	8.11	1.83
<i>Cladosporiaceae</i>		<i>C. brevi-compactum</i> Pidopl. et Deni	1.39	0.26
<i>Eurotiales</i>	<i>Eupenicillium</i> F. Ludw.	<i>Penicillium</i>	12.16	2.61
<i>Trichocomaceae</i>		<i>brevicompactum</i> Dierckx.		
		<i>P. caseicola</i> Bainier	1.39	0.26
		<i>P. chrysogenum</i> Thom	1.39	0.26
		<i>P. citrinum</i> Thom	4.05	0.78
		<i>P. claviforme</i> Bainier	13.51	3.66
		<i>P. corymbiferum</i> Westl.	6.76	1.31
		<i>P. cyaneofulvum</i> Biourge	8.11	1.87
		<i>P. cyclopium</i> Westl.	9.46	2.09
		<i>P. digitatum</i> Sacc.	2.70	0.52
		<i>P. expansum</i> Link.	22.97	7.31
		<i>P. frequentans</i> Westl.	8.11	1.87
		<i>P. funiculosum</i> Thom	2.70	0.52
		<i>P. humuli</i> Raper et Thom	4.05	0.78
		<i>P. jenseni</i> Zaleski	4.05	0.78
		<i>P. lanosum</i> Westl.	8.11	1.87
		<i>P. martensii</i> Biourge	5.41	1.04
		<i>P. meleagrinum</i> Biourge	2.70	0.52
		<i>P. nalgolensis</i> Laxa	14.86	2.87
		<i>P. nigricans</i> (Bainier) Thom	10.81	15.14
		<i>P. oxalicum</i> Currie et Thom	1.39	0.26
		<i>P. roqueforti</i> Thom	2.70	0.52
		<i>P. rubrum</i> Thom	1.39	0.26
		<i>P. rugulosum</i> Thom	5.41	1.31
		<i>P. spinulosum</i> Thom	1.39	0.26
		<i>P. stoloniferum</i> Thom	1.39	0.26
		<i>P. terrestre</i> Jensen	1.39	0.26
		<i>P. urticae</i> Bainier	2.70	0.52
		<i>P. variable</i> Sopp	1.39	0.26
		<i>P. viridicatum</i> Westl.	9.46	1.83
	<i>Emericella</i> Berk	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	14.86	3.39
		<i>A. ustus</i> (Bainier) Thom et Church	2.70	0.52
		<i>A. fumigatus</i> Fresen.	8.11	1.83
<i>Microascales</i>	<i>Microascus</i> Zukal	<i>Scopulariopsis</i>	1.39	0.26
<i>Microascaceae</i>		<i>brevicaulis</i> (Sacc.) Bainier		

1	2	3	4	5
<i>Dothideales</i> <i>Sacrotheciaceae</i>	<i>Discosphaerina</i> Höhn.	<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arnaud	6.76	1.31
<i>Chaetothyriales</i> <i>Herpotrichiel-</i> <i>laceae</i>	<i>Coniochaeta</i> Damm et Crous	<i>Phialophora alba</i> V. Beyma	1.39	0.52
<i>Hypocreales</i> <i>Hypocreaceae</i> <i>Nectriaceae</i>	<i>Hypocrea</i> Fr. <i>Gibberella</i> Sacc.	<i>Trichoderma viride</i> Pers.: Fr. <i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. <i>F. aquaeductuum</i> (Radek et Rabenh.) Lagerh.	12.16 1.39 20.27	2.35 0.26 10.97
<i>Niessliaceae</i>	<i>Nectria</i> (Fr.) Fr. <i>Niesslia</i> Auersw.	<i>Acremonium charticola</i> (Lindau) Gams. <i>A. kiliense</i> Grutz <i>Monocillium indicum</i> S.B. Saksena	18.92 6.76 1.39	9.40 4.70 0.26
<i>Sordariales</i> <i>Chaetomiaceae</i>	<i>Chaetomium</i> Kunze	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze: Fr.	2.70	0.52
<i>Basidiomycota</i> <i>Polyporales</i> <i>Fomitopsidaceae</i>	<i>Antrodia</i> Fr.	<i>Antrodia xantha</i> (Fr.) Bond. et Sing.	14.86	3.92
Бактерии		4 вида (3 вида рода <i>Pseudomonas</i> , 1 вид рода <i>Streptomyces</i>)	8.11	2.61

В результате микологического анализа образцов пораженной древесины различных конструкций здания Гостиницы «Михайловская» с помощью классических микологических и молекулярно-генетических методов выявлен 51 вид микроорганизмов, из которых 2 вида бактерий (1 вид рода *Pseudomonas*, 1 вид рода *Streptomyces*) и 49 видов – представители микобиоты (48 видов микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 12 семействам, 17 родам (Таблицы 6, 7). Наибольшее число видов относится к порядку *Eurotiales* (23 вида), наименьшее – к порядкам *Dothideales*, *Sporidiobolales* и *Polyporales* (по 1 виду). Порядок *Sordariales* представлен в микобиоте, колонизирующей конструктивные элементы здания Гостиницы только двумя видами (Таблица 6).

Микобиота пораженных деревянных конструкций Гостиницы «Михайловская»

Отдел Порядок Семейство	Род (телеоморфа)	Вид (анаморфа)	Встреча- емость, %	Обилие, %
1	2	3	4	5
Zygomycota				
<i>Mucorales</i>	<i>Mucor</i> Fresen.	<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	<u>27.78</u>	<u>12.57</u>
<i>Mucoraceae</i>		<i>M. racemosus</i> Fresen.	<u>14.81</u>	<u>4.79</u>
<i>Rhizopodaceae</i>	<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	<i>Rhizopus</i> sp.	3.7	1.2
Ascomycota				
<i>Pleosporales</i>	<i>Lewia</i> M.E. Barr et E.G. Simmons	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.: Fr.) Keissl.	1.85	0.60
<i>Pleosporaceae</i>		<i>A. tenuissima</i> Pers. ex Fr.	7.41	2.99
		<i>A. carthami</i> Chowdhury	1.85	0.60
		<i>A. consortiale</i> (Thuem.) Hughes	9.26	3.59
	<i>Pleospora</i> Rabenh. ex Ces. et De Not	<i>Stemphylium solani</i> Weber	3.70	1.20
<i>Eurotiales</i>	<i>Eupenicillium</i>	<i>Penicillium brevi-</i>	3.70	1.20
<i>Trichocomaceae</i>	F. Ludw.	<i>compactum</i> Dierckx.		
		<i>P. caseicola</i> Bainier	7.41	2.99
		<i>P. cyclopium</i> Westling	1.85	1.20
		<i>P. cyaneofulvum</i> Biourge	3.70	1.20
		<i>P. expansum</i> Link	1.85	1.20
		<i>P. frequentans</i> Westling	5.56	2.40
		<i>P. funiculosum</i> Thom	9.26	2.40
		<i>P. implicatum</i> Biourge	1.85	0.60
		<i>P. multicolor</i> G.-M. et P.	1.85	0.60
		<i>P. notatum</i> Westling	1.85	0.60
		<i>P. purpurogenum</i> Stoll	1.85	0.60
		<i>P. restrictum</i> Gilman et Abbott	1.85	0.60
		<i>P. roseo-purpureum</i> Dierckx	1.85	0.60
		<i>P. rubrum</i> Stoll	1.85	0.60
		<i>P. steckii</i> Zalessky	3.56	1.80
		<i>P. tardum</i> Thom	<u>16.67</u>	<u>5.99</u>
		<i>P. variable</i> Sopp	5.56	1.8
		<i>P. verriculosum</i> Peyronel	5.56	2.99
	<i>Emericella</i> Berk	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	1.85	0.60
		<i>A. wentii</i> Wehmer	1.85	0.60
		<i>A. oryzae</i> (Ahlburg) Cohn	1.85	0.60
		<i>A. clavatus</i> Desm	7.41	3.59
		<i>A. ochraceus</i> Wilhem	1.85	0.60

Продолжение Таблицы 6

1	2	3	4	5
<i>Hypocreales</i> <i>Hypocreaceae</i> <i>Nectriaceae</i>	<i>Hypocrea</i> Fr.	<i>Trichoderma koningii</i> Oudem.	1.85	0.60
	<i>Gibberella</i> Sacc.	<i>Fusarium javanicum</i> Koord.	<u>20.37</u>	<u>4.79</u>
		<i>F. moniliforme</i> Sheld.	5.56	5.39
		<i>F. oxysporum</i> Schlecht	<u>12.96</u>	<u>4.79</u>
		<i>F. sambucinum</i> Fuckel.	3.70	0.60
		<i>F. solani</i> (Moort.) App. et Wr.	1.85	0.60
		<i>F. sporotrichioides</i> Bilai	<u>14.81</u>	<u>5.99</u>
	<i>Nectria</i> (Fr.) Fr.	<i>Acremonium charticola</i> (Lindau) Gams.	7.41	<u>4.79</u>
	<i>Bionectriaceae</i>	<i>Clonostachys rosea</i> f. <i>rosea</i> (Link) Schroers	3.7	1.20
		Schroers et Samuels		
<i>Sordariales</i> <i>Chaetomiaceae</i>	<i>Chaetomium</i> Kunze	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze: Fr.	3.70	1.20
		<i>Chaetomium</i> sp.	1.85	0.60
<i>Dothideales</i> <i>Sacrotheciaceae</i>	<i>Discosphaerina</i> Höhn.	<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arnaud	1.85	0.60
<i>Basidiomycota</i> <i>Polyporales</i> <i>Fomitopsidaceae</i>	<i>Antrodia</i> Fr.	<i>Antrodia xantha</i> (Fr.) Bond. et Sing.	11.11	3.59
Бактерии		2 вида (1 вид рода <i>Pseudomonas</i> , 1 вид рода <i>Streptomyces</i>)	<u>12.96</u>	<u>6.59</u>

Популяционные характеристики для видов микобиоты, выявленных и уточненных молекулярно-генетическим анализом образцов древесины конструктивных элементов, основанном на клонировании и секвенировании участка ITS ДНК грибов-биодеструкторов, не представлены вследствие единичной встречаемости. Таксономические характеристики и встречаемость, рассчитываемая из соотношения амплифицированных клонов ДНК, приведены в Таблице 7. Размер амплифицированного фрагмента варьировал от 600 до 700 пар нуклеотидов (пн), что соответствовало размеру ITS. Точная дифференцировка

клонов по размеру амплификата была выполнена с использованием рестрикционного анализа реамплифицированных фрагментов (Таблица 7).

Таблица 7

Микобиота пораженных деревянных элементов конструкций здания Гостиницы «Михайловская», выявленная молекулярно-генетическими методами

Отдел Порядок Семейство	Встреча- емость/об- щее кол- во клонов	Родство с таксонами, представленными в GenBank	Перекрытие/ сходство, %
Образец 4 с поверхности (I-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Pleosporales</i> <i>Pleosporaceae</i>	8/9	<i>Ochrocladosporium elatum</i> EU040233.1	100/98
<i>Chaetothyriales</i> <i>Herpotrichiel- laceae</i>	1/9	<i>Phialophora intermedia</i> AB190399.1 <i>Phialophora intermedia</i> JX847774.1	96/99 89/100
Образец 5 с поверхности (II-я степень биодеструкции)			
<i>Coniochaetales</i> <i>Coniochaetaceae</i> <i>Chaetothyriales</i> <i>Herpotrichiel- laceae</i>	9/9	<i>Lecythophora</i> sp. JX910080.1 <i>Phialophora</i> sp. AY618679.1 <i>Phialophora</i> sp. FR718460.1	98/99 89/99 84/99
Образец 6 с поверхности (III-я степень биодеструкции)			
Basidiomycota <i>Polyporales</i> <i>Fomitopsidaceae</i>	12/16	<i>Antrodia xantha</i> AJ415569.1 <i>A. xantha</i> JQ673049.1 <i>A. sitchensis</i> AY966451.1	100/99 98/99 95/99
<i>Sporidiobolales</i> <i>Sporidiobolaceae</i>	4/16	<i>Sporidiobolus salmonicolor</i> FJ914884.1 <i>S. salmonicolor</i> AY015434.1	100/100 100/100

Примечание. В результатах таксономического анализа приведены ближайшие атрибутированные гомологи проанализированных последовательностей.

Как следует из данных, представленных в Таблице 7, результаты таксономического анализа с использованием молекулярно-генетических методов дали несколько возможных видов для исследованных последовательностей ДНК, поскольку эти методы способствуют идентификации соответствующих телеоморфных стадий. Так обстоит дело с родами *Phialophora* и *Lecythophora*.

Виды *Phialophora* – полифилетическая группа, объединяющая анаморфы грибов со сходными (аналогичными) морфологическими характеристиками (Thomas et al., 2003).

Род *Lecythophora* включали в эту группу как близкородственный видам *P. hoffmannii* и *P. lignicola*, пока не было доказано, что это анаморфа рода *Coniochaete* (Weber et al., 2002; Huhndorf et al., 2004; Damm et al., 2010). Поэтому, значащийся в GenBank как *Phialophora* sp. гриб, можно справедливо отнести к роду *Lecythophora*. В образце древесины с III-й степенью биодеструкции переопределили с помощью молекулярно-генетических методов с высокой точностью (100/99 % – перекрытие/сходство) возбудителя бурой деструктивной гнили *Antrodia xantha*.

В результате микологического анализа образцов пораженной древесины, отобранных в здании Наркологического диспансера с использованием популяционных и молекулярных методов выявлено 105 видов микроорганизмов, из которых 6 видов бактерий (4 вида рода *Pseudomonas*, 2 вида рода *Streptomyces*), 99 видов – представители микобиоты (95 видов микромицетов и 4 вида макромицетов), относящихся к 3 отделам, 13 порядкам, 16 семействам, 24 родам. Наибольшее число (47 видов) относится к порядку *Eurotiales*, наименьшее (по 1 виду) – к порядкам *Microascales*, *Dothideales*, *Helotiales*, *Capnidiiales*, *Chaetothyriales*, *Microascales*, *Trechisporales* и *Polyporales* (Таблицы 8, 9).

Таблица 8

Микобиота пораженных деревянных элементов конструкций деревянного корпуса
Наркологического диспансера

Отдел Порядок Семейство	Род (телеоморфа)	Вид (анаморфа)	Встреча- емость, %	Обилие, %
1	2	3	4	5
<i>Zygomycota</i>				
<i>Mucorales</i>				
<i>Mucoraceae</i>	<i>Mucor</i> Fresen.	<i>M. hiemalis</i> Wehmer	7.41	0.70
		<i>M. racemosus</i> Fresen.	6.17	0.70
<i>Rhizopodaceae</i>	<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	<i>R. nigricans</i> Ehrenb.	1.23	0.12

1	2	3	4	5
Ascomycota <i>Pleosporales</i> <i>Pleosporaceae</i>	<i>Lewia</i> M.E. Barr et E.G. Simmons	<i>Alternaria solani</i> (Ell. et Mart.) Sorauer	<u>25.93</u>	0.47
		<i>Ulocladium consortiale</i> (Thüm.) E.G. Simmons	1.23	0.12
<i>Hypocreales</i> <i>Plectosphaerellaceae</i>	<i>Hypomyces</i> (Fr.) Tul. et C. Tul.	<i>Verticillium albo-atrum</i> Reinke et Berthold	1.23	0.12
		<i>V. album</i> Licop.	1.23	0.12
<i>Capnodiales</i> <i>Cladosporiaceae</i>	<i>Davidiella</i> Crous et U. Braun	<i>Cladosporium brevi-</i> <i>compactum</i> Pidopl. et Deni	14.81	1.40
		<i>C. griseo-olivaceum</i> Pidopl. et Deni	1.23	0.12
		<i>C. herbarum</i> (Pers.: Fr.) Link	11.11	1.74
<i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	<i>Eupenicillium</i> F. Ludw.	<i>Penicillium albicans</i> Bainier	3.70	0.12
		<i>P. atramentosum</i> Thom	2.47	0.12
		<i>P. brevicompactum</i> Dierckx	2.47	0.35
		<i>P. camamberti</i> Thom	8.64	0.23
		<i>P. canescens</i> Sopp.	2.47	0.23
		<i>P. caseicola</i> Bainier	1.23	1.28
		<i>P. charlesii</i> Smith	7.41	0.35
		<i>P. chermesium</i> Biourge	4.94	0.12
		<i>P. citrinum</i> Thom	7.41	1.86
		<i>P. claviforme</i> Bainier	3.70	0.47
		<i>P. corylophilum</i> Dierckx	2.47	1.28
		<i>P. corymbiferum</i> Westling	16.05	0.35
		<i>P. cyaneofulvum</i> Biourge	14.81	0.23
		<i>P. cyclopium</i> Westling	6.17	1.63
		<i>P. decumbens</i> Thom	1.23	1.40
		<i>P. digitatum</i> (Pers.) Sacc.	1.23	0.93
		<i>P. diversum</i> Raper et Fennell	4.94	1.74
		<i>P. expansum</i> Link	18.52	1.86
		<i>P. fellutanum</i> Biourge	2.47	0.23
		<i>P. frequentans</i> Westling	16.05	1.86
		<i>P. funiculosum</i> Thom	<u>20.99</u>	1.98
		<i>P. jenseni</i> Zaleski	14.81	2.21
		<i>P. italicum</i> Wehmer	1.23	0.12
		<i>P. humuli</i> v. Beyma	4.94	0.47
		<i>P. lanosum</i> Westling	7.41	1.05
		<i>P. lividum</i> Westling	1.23	0.12
		<i>P. martensii</i> Zaleski	2.47	0.23
		<i>P. meleagrinum</i> Biourge	4.94	0.47
		<i>P. melinii</i> Thom	8.64	0.81

1	2	3	4	5
Ascomycota <i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	<i>Eupenicillium</i> F. Ludw.	<i>P. multicolor</i> Grig.-Man. et Porad.	2.47	0.23
		<i>P. notatum</i> Westling	2.47	0.23
		<i>P. oxalicum</i> Currie et Thom	3.70	0.35
		<i>P. pallidum</i> Smith	2.47	0.23
		<i>P. paxilli</i> Bainier	1.23	0.23
		<i>P. purpurogenum</i> Stoll	3.70	0.35
		<i>P. purpurescens</i> (Sopp) Raper et Thom	1.23	0.12
		<i>P. restrictum</i> Gilman et Abbott	1.23	0.23
		<i>P. resticulosum</i> Birk.	6.17	0.93
		<i>P. roseopurpureum</i> Dierckx	1.23	0.12
		<i>P. rubrum</i> Stoll	4.94	0.93
		<i>P. rugulosum</i> Thom	7.41	1.16
		<i>P. simplicissimum</i> (Oud.) Thom	<u>23.46</u>	2.44
		<i>P. solitum</i> Westling	12.35	0.70
		<i>P. spinulosum</i> Thom	9.88	1.28
		<i>P. steckii</i> Zaleski	12.35	2.56
		<i>P. stoloniferum</i> Thom	4.94	0.70
		<i>P. tardum</i> Thom	7.41	0.70
		<i>P. terlikowski</i> Zaleski	2.47	0.23
		<i>P. terrestre</i> Jensen	3.70	0.58
		<i>P. variabile</i> Sopp	2.47	0.23
		<i>P. velutinum</i> v. Beyma	2.47	0.23
		<i>P. verruculosum</i> Peyronel	13.58	1.86
		<i>P. viridicatum</i> Westling	6.17	0.70
		<i>P. waksmani</i> Zaleski	9.88	1.05
	<i>Emericella</i> Berk	<i>Aspergillus candidus</i> Link	3.70	0.35
		<i>A. flavus</i> Link	1.23	0.12
		<i>A. fumigatus</i> Fresen.	7.41	0.70
		<i>A. niger</i> Tiegh.	<u>24.69</u>	3.02
		<i>A. ochraceus</i> Wilhem	4.94	0.47
		<i>A. oryzae</i> (Ahlburg) Cohn	1.23	0.12
		<i>A. tamari</i> Kita	1.23	0.12
		<i>A. ustus</i> (Bainier) Thom et Church	2.47	0.23
		<i>A. versicolor</i> (Vuill.) Tirab.	3.70	0.58
		<i>A. wentii</i> Wehmer	1.23	0.12
	<i>Byssochlamys</i> Westling	<i>Paecilomyces varioti</i> Bainier	14.81	2.67
		<i>Spicaria violacea</i> Petch	1.23	0.12
<i>Microascales</i> <i>Microascaceae</i>	<i>Microascus</i> Zukal	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> (Sacc.) Bainier	4.94	0.47

1	2	3	4	5
Ascomycota	<i>Hypocrea</i> Fr.	<i>Trichoderma asperellum</i>	3.70	0.70
<i>Hypocreales</i>		Samuels, Lieckf. et Nirenberg		
<i>Hypocreaceae</i>		<i>T. polysporum</i> (Link) Rifai	3.70	0.23
		<i>T. viride</i> Pers.	32.10	3.26
		<i>Gliocladium deliquescens</i>	9.88	2.09
		Sopp.		
<i>Nectriaceae</i>	<i>Gibberella</i> Sacc.	<i>Fusarium moniliforme</i> Sheld.	1.23	0.12
		<i>F. oxysporium</i> Schlecht.	1.23	0.12
		<i>F. sambucinum</i> Fuckel.	3.70	0.12
		<i>F. solani</i> (Moort.) App. et Wr.	6.17	0.81
	<i>Nectria</i> (Fr.) Fr.	<i>Acremonium charticola</i>	24.69	3.14
		(Lindau) Gams.		
		<i>A. kiliense</i> Grütz	25.93	5.47
<i>Neissliaceae</i>	<i>Niesslia</i> Auersw.	<i>Monocillium indicum</i> Saksena	2.47	0.23
<i>Bionectriaceae</i>	<i>Bionectria ochroleuca</i> (Schwein.)	<i>Clonostachys rosea</i> f. <i>rosea</i>	2.47	0.26
	Schroers et Samuels	(Link) Schroers		
<i>Capnidiales</i>	<i>Antennatula</i> Fr.	<i>Antennatula pinophila</i> Fr.	1.23	0.12
<i>Euantennariaceae</i>				
<i>Dothideales</i>	<i>Discosphaerina</i>	<i>Aureobasidium pullulans</i>	4.94	0.47
<i>Sacrotheciaceae</i>	Höhn.	(de Bary) Arnaud		
<i>Chaetothyriales</i>	<i>Coniochaeta</i>	<i>Phialophora alba</i> V. Beyma	1.23	0.12
<i>Herpotrichiellaceae</i>	Damm et Crous			
<i>Helotiales</i>	<i>Scytalidium</i>	<i>Scytalidium lignicola</i>	4.94	0.47
<i>Leotiomycetidae</i>	Pesante	Pesante		
Basidiomycota				
<i>Boletales</i>	<i>Coniophora</i> DC.	<i>Coniophora cerebella</i>	33.33	7.33
<i>Coniophoraceae</i>		(Pers.) Pers.		
<i>Serpulaceae</i>	<i>Serpula</i> Fr.	<i>Serpula lacrymans</i> (Wulfen)	22.22	4.88
		J. Schröt.		
<i>Polyporales</i>	<i>Coriolellus</i>	<i>Coriolellus serialis</i> (Fr.)	11.11	2.44
<i>Fomotopsidaceae</i>	Murrill	Murrill		
	<i>Fibroporia</i>	<i>Fibroporia vaillantii</i> (DC.)	22.22	4.88
	Parmasto	Parmasto		
<i>Insertae sedis</i>	<i>Zygodesmus</i>	<i>Zygodesmus</i> sp. Corda	1.23	0.12
	Corda			
Бактерии		6 видов (4 вида рода	43.21	4.88
		<i>Pseudomonas</i> , 2 вида рода		
		<i>Streptomyces</i>)	7.41	0.70

Таксономические характеристики и встречаемость, рассчитываемая из соотношения амплифицированных клонов ДНК для представителей микобиоты, идентифицированных молекулярно-генетическими методами, приведены в Таблице 9.

Таблица 9

Микобиота пораженных деревянных элементов конструкций здания Наркологического диспансера, выявленная молекулярно-генетическими методами

Отдел Порядок Семейство	Встреча- емость/об- щее кол- во клонов	Родство с таксонами, представленными в GenBank	Перекрытие/ сходство, %
1	2	3	4
Образец IV из глубины 20 см (III-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Helotiales</i> <i>Leotiomyetidae</i>	6/11	<i>Scytalidium lignicola</i> GQ272635.1 <i>S. lignicola</i> GU934579.1	84/99 100/91
<i>Coniochaetales</i> <i>Coniochaetaceae</i>	2/11	<i>Lecythophora</i> sp. HE998721.1 <i>Lecythophora</i> sp. AY781228.1 <i>Lecythophora</i> sp. GU062217.1	89/92 89/92 83/93
Basidiomycota <i>Dacrymycetales</i> <i>Dacrymycetaceae</i>	2/11	<i>Cerinosterus luteoalbus</i> AY618667.1 <i>Calocera cornea</i> FJ195752.1 <i>Dacrymyces subalpinus</i> AB712465.1	92/98 95/84 97/82
Ascomycota <i>Pleosporales</i> <i>Pleosporaceae</i>	1/11	<i>Lewia infectoria</i> AY154692.1 <i>L. infectoria</i> KC254057.1	99/100 100/99
Образец VII из глубины 20 см (III-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	13/13	<i>Aspergillus versicolor</i> EF125026.1 <i>A. versicolor</i> AJ937750.1	100/100 100/100
Образец VIII из глубины 20 см (III-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Helotiales</i> <i>Leotiomyetidae</i>	8/9	<i>Scytalidium lignicola</i> GQ272635.1 <i>S. lignicola</i> HM214453.1	93/99 92/97
Образец X с поверхности (III-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Helotiales</i> <i>Leotiomyetidae</i>	1/13	<i>Scytalidium lignicola</i> GQ272635.1 <i>Scytalidium lignicola</i> HM214453.1 <i>Scytalidium</i> sp. HQ631037.1	93/99 93/96 93/95

1	2	3	4
Образец X с поверхности (III-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Hypocreales</i> <i>Nectriaceae</i>	7/13	<i>Nectria pseudotrichia</i> EF121865.1 <i>N. balansae</i> JN995620.1 <i>N. sinensis</i> HM054139.1 <i>Nectria</i> sp. HQ130677.1 <i>N. sinopica</i> HM534900.1 <i>N. coryli</i> HM534895.1 <i>N. berolinensis</i> HM534893.1	99/89 99/89 99/89 99/89 99/89 99/89 99/89
<i>Hypocreales</i> <i>Nectriaceae</i>	1/13	<i>Nectria balansae</i> JN995620.1 <i>N. pseudotrichia</i> JN995626.1 <i>N. berolinensis</i> HM534893.1 <i>N. coryli</i> HM534895.1 <i>N. sinopica</i> HM534900.1 <i>Nectria</i> sp. HQ130677.1	99/89 99/89 99/89 99/89 99/89 99/89
<i>Chaetothyriales</i> <i>Herpotrichiellaceae</i>	2/13	<i>Phialophora</i> sp. HQ832997.1 <i>Phialophora</i> sp. HQ832998.1 <i>P. olivacea</i> AB190379.1	100/100 100/99 97/99
<i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	1/13	<i>Aspergillus versicolor</i> EF125026.1 <i>A. versicolor</i> AJ937750.1	100/100 100/100
Образец XI с поверхности (II-я степень биодеструкции)			
Ascomycota <i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	9/27	<i>Penicillium citreonigrum</i> JX171183.1 <i>P. citreonigrum</i> GU062216.1 <i>Penicillium</i> sp. HQ738282.1	100/99 100/99 100/99
<i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i>	6/27	<i>P. citreonigrum</i> EU497942.1 <i>P. citreonigrum</i> HQ380778.1	100/100 100/99
<i>Eurotiales</i> <i>Trichocomaceae</i> <i>Sordariales</i> <i>Cephalothecaceae</i>	3/27	<i>Paecilomyces inflatus</i> GU566291.1 <i>Paecilomyces</i> sp. DQ287247.1 <i>Cephalotheca sulfurea</i> AB278194.2 <i>C. sulfurea</i> EU823315.1	100/99 93/99 100/97 93/99
Basidiomycota <i>Boletales</i> <i>Serpulaceae</i>	8/27	<i>Serpula lacrymans</i> AM946629.1 <i>S. lacrymans</i> AJ536023.1 <i>S. lacrymans</i> AJ536022.1	100/99 100/99 100/99

Примечание. В результатах таксономического анализа приведены ближайшие атрибутированные гомологи проанализированных последовательностей. Неатрибутированные гомологи указываются в тех случаях, когда по отношению к ним была выявлена наибольшая степень сходства.

Как следует из данных, представленных в Таблице 9, результаты таксономического анализа с использованием молекулярно-генетических методов

не всегда являются однозначными и в некоторых случаях дают целый ряд возможных «родственников». В большинстве случаев, опираясь на максимальное перекрытие и сходство последовательностей ДНК с таковыми, представленными в GenBank, считали возможным установление таксономического положения последовательностей с точностью до рода, а, иногда, и до вида. С высокой точностью удалось выявить три вида макромицетов-биодеструкторов древесины принадлежащих к семейству *Dacrymycetaceae*, которые не были обнаружены в деструктурированных образцах классическими микологическими методами – это *Cerinosterus luteoalbus*, *Calocera cornea* и *Dacrymyces subalpinus*. По приведенным данным молекулярно-генетического анализа, наиболее вероятен вид *Cerinosterus luteoalbus*. Также удалось уточнить видовую принадлежность наиболее активного микодеструктора – *Serpula lacrymans*. Таким образом, на элементах конструкций здания диспансера выявлено 4 вида макромицетов, активно деструктурирующих древесину (Таблицы 8, 9). Выявленные молекулярно-генетическими методами в зданиях Гостиницы и Диспансера микромицеты (*Scytalidium lignicola*, *Aspergillus versicolor*, *Sporidiobolus salmonicolor*, *Penicillium citreonigrum*, *Phialophora* sp., *Lecythophora* sp.) встречаются на древесине и также служат причиной ее разрушения (Desai, Patel, 1982; Weber, 2002; Pitchairamu et al., 2008).

Следует отметить, что некоторые образцы древесины в поздней стадии разрушения имели более слабый амплификационный сигнал, чем образцы в наиболее ранней стадии. Возможно, это связано с увеличением содержания продуктов жизнедеятельности грибов, выделяющихся при разложении древесины и ингибирующих ПЦР, а также с деградацией ДНК на поздних стадиях разложения древесины (Jasalavich et al., 2000).

Проведение филогенетического анализа на небольшой выборке сиквенсов, представленных в GenBank, позволило идентифицировать с большей точностью *Raecilomyces inflatus*, а также выделить этот вид из возможных кандидатов в кластер *Cephalotheca sulfurea* (Рисунок 2).

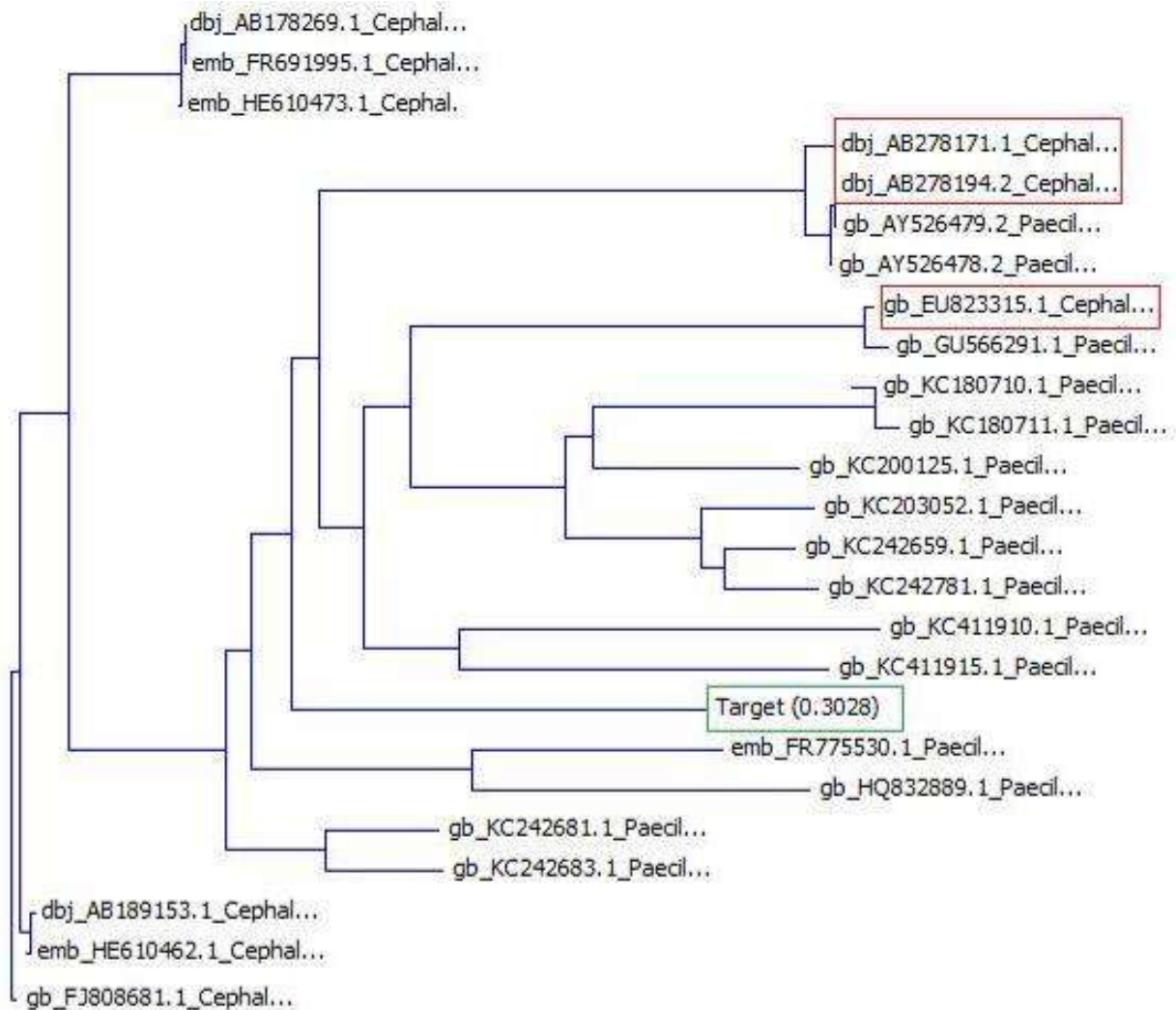


Рисунок 2. Филогенетический анализ выборки сиквенсов, представленных в GenBank последовательностей ДНК для видов *Cephalotheca* и *Paecilomyces* (целевая последовательность в зеленой рамке).

Представленные данные свидетельствуют о том, что *Cephalotheca*, не может кластеризоваться в одну группу с *Paecilomyces* (Рисунок 2). Следовательно, идентифицированные как *C. sulphurea* последовательности EU823315.1, AB278194.2 и т.п., выделенные на Рисунке 2 красным цветом определены, по крайней мере, не совсем точно, или неверно. В работе Честерса (Chesters, 1934) было показано, что *C. sulphurea* может образовывать *Paecilomyces*-подобную стадию, что доказывает принадлежность целевой последовательности к *P. inflatus* (Рисунок 2).

Таким образом, по показателю встречаемости во всех обследованных зданиях доминируют представители порядка *Eurotiales* (*Trichocomaceae*) и

Hypocreales (*Hypocreaceae*). Редко выделялись микромицеты, относящиеся к порядкам *Microascales*, *Dothideales*, *Chaetothyriales*, *Helotiales* и *Capnidiales*. Единично выделялись микромицеты семейств *Microascaceae*, *Niessliaceae*, *Herpotrichiellaceae*, *Dothioraceae*, *Leotiomyetidae*, *Euantennariaceae*. Наибольшим обилием характеризовались популяции микромицетов порядков *Hypocreales* и *Eurotiales*, наименьшим – порядков *Microascales*, *Chaetothyriales* для здания Императорского театра, порядка *Dothideales* – для здания гостиницы, *Dothideales*, *Capnidiales*, *Helotiales* и *Chaetothyriales* – для здания диспансера (Таблицы 5–9).

Обращает на себя внимание высокая встречаемость во всех зданиях представителей одних и тех же телеоморф *Eupenicillium*, *Eurotium*, *Neosartorya*, *Gibberella* и *Nectria* (Таблицы 5–9).

Глубокую деструкцию древесины конструкций исторических зданий осуществляли представители семейств *Polyporaceae* (*Antrodia xantha* – в зданиях Императорского театра и гостиницы), *Coniophoraceae* (*Coniophora cerebella* и *Serpula lacrymans* – в здании диспансера), *Fomotopsidaceae* (*Coriolellus serialis* – в здании диспансера) и *Hydnodontaceae* (*Fibuloporia vaillantii* – в здании диспансера). Вышеупомянутые базидиомицеты – эдификаторы формирования комплексов микромицетов-деструкторов целлюлозы и лигнина (виды *Fusarium*, *Chaetomium*, *Acremonium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Scytalidium* и др.) (Таблицы 5–9).

Обращает на себя внимание широкое видовое разнообразие микобиоты деревянных конструкций здания диспансера, что объясняется константными условиями температуры и повышенной влажностью в цокольном этаже этого исторического здания. Такие условия оптимальны для развития мезофилов-биодеструкторов древесины, поэтому большинство пораженных конструкций обследованных помещений этого здания были практически полностью разрушены. В целом, по своим таксономическим характеристикам микобиота исторической древесины различных зданий (Императорского театра, гостиницы «Михайловская» и наркологического диспансера) в значительной степени сходна.

3.2. Комплексы микобиоты, колонизирующие древесину конструкций исторических зданий

На основе анализа данных по встречаемости и обилию представителей микобиоты выявлены комплексы колонизаторов древесины различных конструкций обследованных объектов. Доля различных групп и видов микро- и макромицетов в общем пуле колонизаторов исторической древесины зданий Императорского театра (ИТ), гостиницы «Михайловская» (Г) и Наркологического диспансера (Д) представлена на Рисунке 3.

Из данных, представленных на Рисунке 3, становится очевидным, что от $\frac{1}{3}$ до $\frac{3}{4}$ выявленных колонизаторов исторической древесины способны к биодеструкции последней и осуществляют ее при благоприятных условиях, воздействуя на разрушаемый субстрат и создавая далее благоприятные условия и трофическую базу для дальнейшей биодеградации (Беккер, 1963; Билай, 1977; Дьяков и др., 2001).

Комплексы колонизаторов древесины различных конструкций обследованных объектов – зданий ИТ, Г и Д представлены в Таблицах 10–12. Из представленных данных видно, что доминирующий комплекс микобиоты весьма немногочисленен и составляет 3+7 – в здании ИТ, 3+4 – в здании Г и 3+6 – в здании Д видов макро- и микромицетов, соответственно (Таблицы 10–12). Доминировали в составе микобиоты с высокими встречаемостью и обилием микромицеты-космополиты, обладающие широчайшими трофическими возможностями и большой экологической пластичностью (виды *Penicillium* и *Fusarium*) (Свиридова и др., 2001; Коробова, 2007). В состав доминирующих включены виды с показателем встречаемости более 15 %, что связано с особенностью поражения локальных участков намокания древесины (этот субстрат осваивался случайным образом теми грибами, споры которых оказались непосредственно на его поверхности при увлажнении, к тому же данные грибы не являются специфичными деструкторами древесины), а также с тем, что, в целом, микобиота зданий беднее, чем таковая природных экосистем.

В здании диспансера в доминирующую группу входил макромицет *Coniophora cerebella* 33.33%/7.33%, формировавший условия для существования

микромицетов. Также трофическая база обеспечивалась жизнедеятельностью представителей микобиоты со значительными встречаемостью (В) и обилием (О) – (В/О), осуществляющих глубокую биодеструкцию древесины *Antrodia xantha* 14.86 %/3.92 % и 11.11 %/3.59% (для зданий театра и гостиницы, соответственно), а также *Fibuloporia vaillantii* 22,22%/4,88%, *Coriolellus serialis* 11,11%/2,44% и *Serpula lacrymans* 22.22%/4.88% (для здания диспансера) (Беккер, 1963; Билай, 1977; Дьяков и др., 2001).

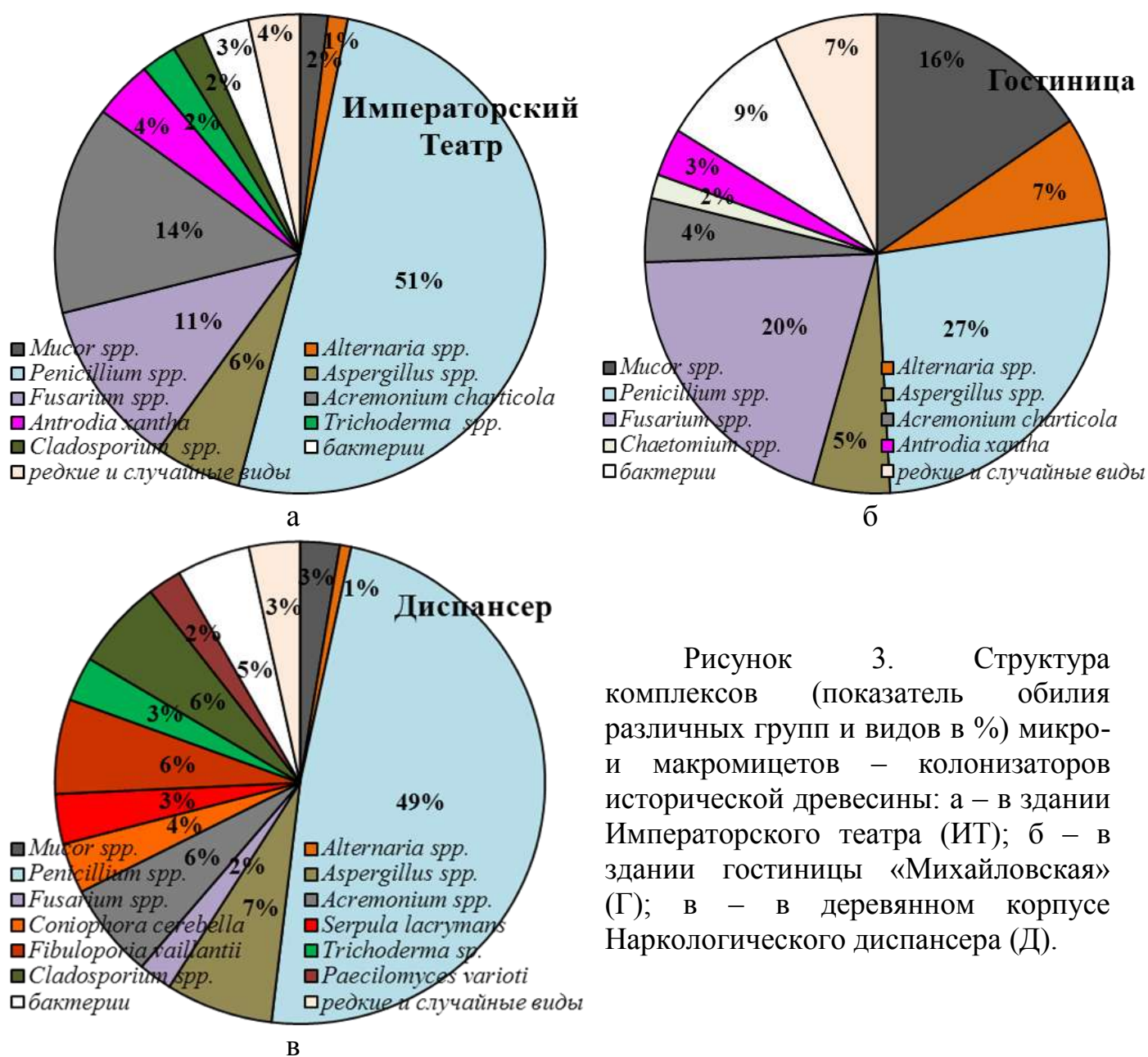


Рисунок 3. Структура комплексов (показатель обилия различных групп и видов в %) микро- и макромицетов – колонизаторов исторической древесины: а – в здании Императорского театра (ИТ); б – в здании гостиницы «Михайловская» (Г); в – в деревянном корпусе Наркологического диспансера (Д).

Комплексы редких и случайных видов, напротив, весьма многочисленны и составляют 4+26 (ИТ), 7+19 (Г) и 20+37 (Д) видов микромицетов, соответственно.

Комплексы микобиоты образцов пораженной древесины конструкций
здания Императорского театра

Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	<i>Penicillium expansum</i> 22.97/7.31; <i>Fusarium aquaeductuum</i> 20.27/ 10.97 ; <i>Acremonium charticola</i> 18.92/9.40
Типичные частые (В – 10–15 %)	<i>Antrodia xantha</i> 14.86/3.92 ; <i>Aspergillus niger</i> 14.86/3.39; <i>Penicillium nalgioleis</i> 14.86/2.86; <i>P. claviforme</i> 13.51/3.66; <i>P. brevi-compactum</i> 12.16/2.61; <i>Trichoderma viride</i> 12.16/2.35; <i>Penicillium nigricans</i> 10.81/ 15.14
Частые (В – 5–10 %)	<i>Penicillium cyclopium</i> 9.46/2.09; <i>P. viridicatum</i> 9.46/1.83; бактерии 8.11/2.61; <i>Cladosporium herbarum</i> 8.11/1.83; <i>Aspergillus fumigatus</i> 8.11/1.83; <i>Penicillium cyaneo-fulvum</i> 8.11/1.87; <i>P. frequentans</i> 8.11/1.87; <i>P. lanosum</i> 8.11/1.87; <i>Acremonium kiliense</i> 6.76/4.70; <i>Penicillium corymbiferum</i> 6.76/1.31; <i>Aureobasidium pullulans</i> 6.76/1.31; <i>Penicillium rugulosum</i> 5.41/1.31; <i>P. martensii</i> 5.41/1.04; <i>Mucor racemosus</i> 5.41/1.04
Редкие (В – 3–5 %)	<i>Penicillium humuli</i> 4.05/0.78; <i>P. citrinum</i> 4.05/0.78; <i>P. jensenii</i> 4.05/0.78; <i>Alternaria alternata</i> 4.05/0.78
Случайные (В – 1–3 %)	<i>Penicillium digitatum</i> 2.70/0.52; <i>P. funiculosum</i> 2.70/0.52; <i>P. meleagrimum</i> 2.70/0.52; <i>P. roqueforti</i> 2.70/0.52; <i>P. urticae</i> 2.70/0.52; <i>Aspergillus ustus</i> 2.70/0.52; <i>Chaetomium globosum</i> 2.70/0.52; <i>Mucor hiemalis</i> 2.70/0.52; <i>Phialophora alba</i> 1.39/0.52; <i>Fusarium oxysporum</i> 1.39/0.26; <i>Penicillium caseicola</i> 1.39/0.26; <i>P. chrysogenum</i> 1.39/0.26; <i>P. oxalicum</i> 1.39/0.26; <i>P. rubrum</i> 1.39/0.26; <i>P. spinulosum</i> 1.39/0.26; <i>P. stoloniferum</i> 1.39/0.26; <i>P. terrestre</i> 1.39/0.26; <i>P. variabile</i> 1.39/0.26; <i>Taeniolella scripta</i> 1.39/0.26; <i>Alternaria gossypii</i> 1.39/0.26; <i>A. tenuissima</i> 1.39/0.26; <i>Cladosporium brevi-compactum</i> 1.39/0.26; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 1.39/0.26; <i>Monocillium indicum</i> 1.39/0.26; <i>Rhizopus nigricans</i> 1.39/0.26; <i>Mucor</i> sp. 1.39/0.26

Примечание: цифрами около видового названия показаны значения его встречаемости/обилия (В/О, %).

Видовое разнообразие колонизаторов поддерживается именно за счет редких и случайных видов микобиоты, вместе с тем, их совокупная доля по встречаемости в общем пуле колонизаторов исторической древесины составляет 16 %, 15 % и 9%, соответственно (Рисунок 3). По-видимому, редкие и случайные виды используют уже деструктурированные компоненты субстрата в качестве трофической базы, заполняя формирующиеся в процессе биодеструкции

экологические ниши, продолжая на следующем этапе редукцию органического вещества элементов деревянных конструкций. Кроме того, видимо, подобные условия развития для данных видов являются крайне неблагоприятными, что не позволяет им конкурировать с более адаптированными видами.

Таблица 11

Комплексы микобиоты образцов пораженной древесины конструкций
здания Гостиницы «Михайловская»

Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	<i>Mucor hiemalis</i> 27.78/ 12.57 ; <i>Fusarium javanicum</i> 20.37/ <u>4.79</u> ; <i>Penicillium tardum</i> 16.67/ 5.99
Типичные частые (В – 10–15 %)	<i>Fusarium sporotrichioides</i> 14.81/ 5.99 ; <i>Mucor racemosus</i> 14.81/ <u>4.79</u> ; бактерии 12.96/ 6.59 ; <i>Fusarium oxysporum</i> 12.96/ <u>4.79</u> ; <i>Antrodia</i> <i>xantha</i> 11.11/3.59
Частые (В – 5–10 %)	<i>Alternaria consortiale</i> 9.26/ <u>3.59</u> ; <i>Penicillium funiculosum</i> 9.26/2.40; <i>Acremonium charticola</i> 7.41/ 4.79 ; <i>Aspergillus clavatus</i> 7.41/ <u>3.59</u> ; <i>Penicillium caseicola</i> 7.41/2.99; <i>Alternaria tenuissima</i> 7.41/2.99; <i>Fusarium moniliforme</i> 5.56/ 5.39 ; <i>Penicillium verrucosum</i> 5.56/2.99; <i>P. frequentans</i> 5.56/2.40; <i>P. variabile</i> 5.56/1.80; <i>P. steckii</i> 5.56/1.80
Редкие (В – 3–5 %)	<i>Chaetomium globosum</i> 3.70/1.20; <i>Penicillium brevi-</i> <i>compactum</i> 3.70/1.20; <i>P. cyaneo-fulvum</i> 3.70/1.20; <i>Rhizopus</i> sp. 3.70/1.20; <i>Verticillium foexii</i> 3.70/1.20; <i>Stemphyllium</i> <i>solani</i> 3.70/1.20; <i>Fusarium sambucinum</i> 3.70/0.60; <i>Ochrocladosporium elatum</i> 3.70/0.60; <i>Phialophora</i> <i>intermedia</i> 3.70/0.60; <i>Lecythophora</i> sp. 3.70/0.60; <i>Sporidiobolus</i> <i>salmonicolor</i> 3.70/0.60
Случайные (В – 1–3 %)	<i>Penicillium expansum</i> 1.85/1.20; <i>P. cyclopium</i> 1.85/1.20; <i>P. implicatum</i> 1.85/0.60; <i>P. multicolor</i> 1.85/0.60; <i>P. notatum</i> 1.85/0.60; <i>P. purpurogenum</i> 1.85/0.60; <i>P. restrictum</i> 1.85/0.60; <i>P. roseo-purpureum</i> 1.85/0.60; <i>P. rubrum</i> 1.85/0.60; <i>Alternaria alternata</i> 1.85/0.60; <i>A. carthami</i> 1.85/0.60; <i>Chaetomium</i> sp. 1.85/0.60; <i>Aureobasidium pullulans</i> 1.85/0.60; <i>Aspergillus niger</i> 1.85/0.60; <i>A. ochraceus</i> 1.85/0.60; <i>A. wentii</i> 1.85/0.60; <i>A. oryzae</i> 1.85/0.60; <i>Fusarium solani</i> 1.85/0.60; <i>Trichoderma koningii</i> 1.85/0.60

Примечание: цифрами около видового названия показаны значения его встречаемости/обилия (В/О, %).

Комплексы частых видов исторических зданий весьма сходны как по количеству видов, так и по представителям родов *Penicillium*, *Aspergillus*,

Acremonium и *Fusarium*. В комплексах редких и случайных видов нами также выявлены виды *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Scopulariopsis*, *Trichodrema* и *Fusarium*. В данные группы отнесены и виды, идентифицированные только молекулярно-генетическими методами.

Таблица 12

Комплексы микобиоты образцов пораженной древесины конструкций
здания Наркологического диспансера

Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	<i>Coniophora cerebella</i> 33.33/7.33; <i>Trichoderma viride</i> 32.10/0.23; <i>Acremonium kiliense</i> 25.93/5.47; <i>A. charticola</i> 24.69/3.14; <i>Aspergillus niger</i> 24.69/3.02; <i>Penicillium simplicissimum</i> 23.46/2.44; <i>Fibuloporia vaillantii</i> 22.22/4.88; <i>Serpula lacrymans</i> 22.22/4.88; <i>Penicillium funiculosum</i> 20.09/1.98; <i>P. expansum</i> 18.52/1.86; <i>P. cyclopium</i> 16.05/1.63; <i>P. frequentans</i> 16.05/1.86
Типичные частые (В – 10–15 %)	<i>Coriolellus serialis</i> 11.11/2.44; <i>Cladosporium herbarum</i> 11.11/1.74; <i>Penicillium verruculosum</i> 13.58/1.86; <i>P. solitum</i> 12.35/0.70; <i>P. steckii</i> 12.35/2.56; <i>Cladosporium brevcompactum</i> 14.81/1.40; <i>P. decumbens</i> 14.81/1.40; <i>P. jensenii</i> 14.81/2.21; <i>Paecilomyces varioti</i> 14.81/2.67
Частые (В – 5–10 %)	<i>Mucor racemosus</i> 6.17/0.70; <i>Penicillium digitatum</i> 6.17/0.93; <i>P. resticulosum</i> 6.17/0.93; <i>P. viridicatum</i> 6.17/0.70; <i>Fusarium solani</i> 6.17/0.81; <i>Mucor hiemalis</i> 7.41/0.70; <i>Penicillium citrinum</i> 7.41/1.86; <i>P. lanosum</i> 7.41/1.05; <i>P. corylophilum</i> 7.41/1.28; <i>P. rugulosum</i> 7.41/1.16; <i>P. tardum</i> 7.41/0.70; <i>Aspergillus fumigatus</i> 7.41/0.70; <i>Actinomyces spp.</i> 7.41/0.70; <i>Penicillium caseicola</i> 8.64/1.28; <i>P. melinii</i> 8.64/0.81; <i>P. spinulosum</i> 9.88/1.28; <i>P. waksmani</i> 9.88/1.05; <i>Gliocladium deliquescens</i> 9.88/2.09
Редкие (В – 3–5 %)	<i>Penicillium brevicompactum</i> 3.70/0.35; <i>P. corymbiferum</i> 3.70/0.35; <i>P. oxalicum</i> 3.70/0.35; <i>P. terrestre</i> 3.70/0.58; <i>Aspergillus candidus</i> 3.70/0.35; <i>A. versicolor</i> 3.70/0.58; <i>Trichoderma asperellum</i> 3.70/0.70; <i>T. polysporum</i> 3.70/0.23; <i>Fusarium sambucinum</i> 3.70/0.12; <i>Alternaria solani</i> 4.94/0.47; <i>Penicillium claviforme</i> 4.94/0.47; <i>P. diversum</i> 4.94/1.74; <i>P. humuli</i> 4.94/0.47; <i>P. meleagrimum</i> 4.94/0.47; <i>P. rubrum</i> 4.94/0.93; <i>P. stoloniferum</i> 4.94/0.70; <i>Aspergillus ochraceus</i> 4.94/0.47; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 4.94/0.47; <i>Aureobasidium pullulans</i> 4.94/0.47; <i>Scytalidium lignicola</i> 4.94/0.47; <i>Lecythophora sp.</i> 3.70/0.35; <i>Cerinosterus luteoalbus</i> 3.70/0.35; <i>Penicillium citreonigrum</i> 3.70/0.35; <i>Paecilomyces inflatus</i> .70/0.35

Случайные (В – 1–3 %)	<i>Rhizopus nigricans</i> 1.23/0.12; <i>Ulocladium consortiale</i> 1.23/0.12; <i>Verticillium albo-atrum</i> 1.23/0.12; <i>V. album</i> 1.23/0.12; <i>Cladosporium griseo-olivaceum</i> 1.23/0.12; <i>Penicillium</i> <i>albicans</i> 1.23/0.12; <i>P. atramentosum</i> 1.23/0.12; <i>P. chermesium</i> 1.23/0.12; <i>P. italicum</i> 1.23/0.12; <i>P. paxilli</i> 1.23/0.23; <i>P. restrictum</i> 1.23/0.23; <i>P. roseopurpureum</i> 1.23/0.12; <i>P. purpurescens</i> 1.23/0.12; <i>Spicaria</i> <i>violacea</i> 1.23/0.12; <i>Clonostachys rosea</i> f. <i>rosea</i> 1.23/0.12; <i>Fusarium oxysporium</i> 1.23/0.12; <i>Antennatula pinophila</i> 1.23/0.12; <i>Phialophora alba</i> 1.23/0.12; <i>Aspergillus flavus</i> 1.23/0.12; <i>A. oryzae</i> 1.23/0.12; <i>A. tamari</i> 1.23/0.12; <i>A. wentii</i> 1.23/0.12; <i>Penicillium camamberti</i> 2.47/0.23; <i>P. canescens</i> 2.47/0.23; <i>P. charlesii</i> 2.47/0.35; <i>P. cyaneofulvum</i> 2.47/0.23; <i>P. fellutanum</i> 2.47/0.23; <i>P. martensii</i> 2.47/0.23; <i>P. multicolor</i> 2.47/0.23; <i>P. notatum</i> 2.47/0.23; <i>P. pallidum</i> 2.47/0.23; <i>P. terlikowski</i> 2.47/0.23; <i>P. variabile</i> 2.47/0.23; <i>P. velutinum</i> 2.47/0.23; <i>Aspergillus</i> <i>ustus</i> 2.47/0.23; <i>Fusarium moniliforme</i> 2.47/0.23; <i>Monocillium</i> <i>indicum</i> 2.47/0.23
--------------------------	---

Примечание: цифрами около видового названия показаны значения его встречаемости/обилия (В/О, %).

В обследованных исторических зданиях деревянные конструкции имели признаки различной степени биодеструкции от поверхностной до глубокой, приводящей к полному нарушению механической прочности древесины: к превращению части элемента конструкции в порошкообразное состояние. Все степени биodeградации выявлены в полностью деревянном не отапливаемом здании театра на всех его этажах, на первом этаже и в подвале деревянного неотапливаемого корпуса диспансера, а также в деревянной стропильной системе гостиницы. По условиям консервации и эксплуатации крыша и этажи театра, первый этаж диспансера и стропильная система гостиницы весьма схожи резкими суточными и сезонными колебаниями температуры и влажности воздуха, наличием агрессивного длительного воздействия капельно-жидкой влаги в виде протечек кровли зданий, проходящих даже на этажи (ИТ, Д). При обследовании объектов нами выявлены участки элементов конструкций с разной степенью биodeградации древесины и отобраны образцы для анализа микобиоты. Комплексы микро- и макромицетов, колонизирующих древесину конструкций

различной степени биодеструкции представлены в Таблицах 13, 15, 17. При анализе данных, представленных в Таблице 13, обращает на себя внимание сходство показателей встречаемости и обилия для представителей комплексов колонизаторов поверхностных слоев древесины из конструкций разных зданий. Причем образец I-8 (ИТ) отобран из обшивки стены первого этажа в «зрительской» части здания, а образцы 1 (Г) и 4 (Г) из балки чердачного перекрытия и стропильной ноги, соответственно, в очагах разовых протечек кровли. Образец II (Д) был отобран на первом этаже из несущей стены, образец XI (Д) – в подвале с балки перекрытия. Тем не менее, как упоминалось выше, условия поверхностной колонизации весьма схожи в этих частях зданий резкими колебаниями суточных и сезонных температур и наличием конденсационной и капельно-жидкой влаги на поверхности элементов деревянных конструкций театра и гостиницы. Условия подвала резко отличаются тем, что колебания температуры и влажности здесь незначительны. Это отражается на видовом составе и количестве видов.

Таблица 13

Структура комплексов колонизаторов пораженной древесины различных конструкций I-й степени биодеструкции

Образцы	Виды микобиоты со встречаемостью/обилием, %
1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
I-8 (ИТ)	<i>Penicillium expansum</i> 75.0/25.9; <i>P. cyaneo-fulvum</i> 37.5/5.6; Бактерии 37.5/7.4; <i>Acremonium charticola</i> 25.0/3.7; <i>Penicillium frequentans</i> 25.0/3.7; <i>P. martensii</i> 25.0/3.7; <i>Aspergillus niger</i> 25.0/3.7; <i>Aureobasidium pullulans</i> 25.0/3.7
1 (Г)	<i>Mucor hiemalis</i> 44.4/23.5; <i>Alternaria consortiale</i> 22.2/1.8; <i>Penicillium funiculosum</i> 22.2/5.9; <i>Mucor racemosus</i> 22.2/5.9
4 (Г)	<i>Fusarium javanicum</i> 66.7/24.0; <i>F. sporotrichioides</i> 44.4/14.0; Бактерии 33.3/18.0; <i>Penicillium tardum</i> 33.3/6.0; <i>P. verrucosum</i> 33.3/6.0; <i>Alternaria consortiale</i> 33.3/4.0
II (Д)	<i>Aspergillus niger</i> 33.3/5.3; <i>Trichodrema viride</i> 22.2/3.5; <i>Mucor hiemalis</i> 22.2/3.5; <i>M. racemosus</i> 22.2/3.5; <i>Paecilomyces varioti</i> 44.4/6.0; <i>Penicillium cyclopium</i> 22.2/3.5; <i>P. decumbens</i> 33.3/3.5; <i>P. expansum</i> 22.2/3.5; <i>P. lanosum</i> 33.3/4.5; <i>P. simplicissimum</i> 22.2/3.5; <i>P. viridicatum</i> 22.2/3.5; <i>Acremonium charticola</i> 22.2/4.5; <i>Cladosporium herbarum</i> 33.3/7.0; Бактерии 22.2/3.5

1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
XI (Д)	<i>Serpula lacrymans</i> 100.0/19.8; <i>Penicillium rubrum</i> 33.3/6.6; <i>Acremonium kiliense</i> 22.2/9.4; <i>Paecilomyces varioti</i> 22.2/5.7; <i>Penicillium lanosum</i> 22.2/4.7; <i>P. cyclopius</i> 22.2/2.8; <i>P. verruculosum</i> 22.2/2.8; <i>Cladosporium brevi-compactum</i> 22.2/2.8; <i>Penicillium expansum</i> 22.2/1.9; <i>P. humuli</i> 22.2/1.9; <i>Gliocladium deliquescens</i> 22.2/1.9
Типичные частые (В – 10–15 %)	
I-8 (ИТ)	<i>Fusarium aquaeductuum</i> 12.5/9.3; <i>Acremonium kiliense</i> 12.5/7.4; <i>Penicillium brevi-compactum</i> 12.5/1.9; <i>P. citrinum</i> 12.5/1.9; <i>P. claviforme</i> 12.5/1.9; <i>P. cyclopius</i> 12.5/1.9; <i>P. jenseni</i> 12.5/1.9; <i>P. humuli</i> 12.5/1.9; <i>P. nalgioleis</i> 12.5/1.9; <i>P. urticae</i> 12.5/1.9; <i>P. viridicatum</i> 12.5/1.9; <i>Fusarium oxysporum</i> 12.5/1.9; <i>Trichoderma viride</i> 12.5/1.9; <i>Alternaria gossypii</i> 12.5/1.9; <i>Rhizopus nigricans</i> 12.5/1.9
1 (Г)	<i>Fusarium moniliforme</i> 11.1/8.8; <i>Aspergillus clavatus</i> 11.1/8.8; <i>Penicillium expansum</i> 11.1/5.9; <i>Fusarium oxysporum</i> 11.1/2.9; <i>Chaetomium globosum</i> 11.1/2.9; <i>Penicillium brevi-compactum</i> 11.1/2.9; <i>P. caseicola</i> 11.1/2.9; <i>P. implicatum</i> 11.1/2.9; <i>P. steckii</i> 11.1/2.9; <i>P. variabile</i> 11.1/2.9; <i>Aspergillus niger</i> 11.1/2.9; <i>A. ochraceus</i> 11.1/2.9
4 (Г)	<i>Fusarium sambucinum</i> 11.1/8.0; <i>Penicillium funiculosum</i> 11.1/4.0; <i>Fusarium solani</i> 11.1/2.0; <i>Acremonium charticola</i> 11.1/2.0; <i>Alternaria tenuissima</i> 11.1/2.0; <i>Trichoderma koningii</i> 11.1/2.0; <i>Aspergillus oryzae</i> 11.1/2.0; <i>A. clavatus</i> 11.1/2.0; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/2.0; <i>M. hiemalis</i> 11.1/2.0
II (Д)	<i>Penicillium digitatum</i> 11.1/1.8; <i>P. frequentans</i> 11.1/1.8; <i>P. funiculosum</i> 11.1/1.8; <i>P. melinii</i> 11.1/1.8; <i>P. oxalicum</i> 11.1/1.8; <i>P. purpurrescens</i> 11.1/1.8; <i>P. roseopurpureum</i> 11.1/1.8; <i>P. spinulosum</i> 11.1/1.8; <i>P. steckii</i> 11.1/1.8; <i>P. tardum</i> 11.1/1.8; <i>P. waksmani</i> 11.1/1.8; <i>Aspergillus fumigatus</i> 11.1/1.8; <i>A. wentii</i> 11.1/1.8; <i>A. oryzae</i> 11.1/1.8; <i>A. ustus</i> 11.1/1.8; <i>A. ochraceus</i> 11.1/1.8; <i>A. tamari</i> 11.1/1.8; <i>Trichoderma polysporum</i> 11.1/1.8; <i>T. asperellum</i> 11.1/1.8; <i>Fusarium solani</i> 11.1/1.8; бактерии 11.1/1.8
XI (Д)	Бактерии 11.1/4.7; <i>Acremonium charticola</i> 11.1/4.7; <i>Penicillium digitatum</i> 11.1/3.8; <i>Aspergillus fumigatus</i> 11.1/0.9; <i>Trichoderma viride</i> 11.1/0.9; <i>Mucor hiemalis</i> 11.1/0.9; <i>Penicillium citrinum</i> 11.1/0.9; <i>P. fellunatum</i> 11.1/0.9; <i>P. frequentans</i> 11.1/0.9; <i>P. corylophilum</i> 11.1/1.9; <i>P. jenseni</i> 11.1/1.9; <i>P. meleagrimum</i> 11.1/0.9; <i>P. multicolor</i> 11.1/0.9; <i>P. pallidum</i> 11.1/0.9; <i>P. paxilli</i> 11.1/1.9; <i>P. restrictum</i> 11.1/0.9; <i>P. simplicissimum</i> 11.1/0.9; <i>P. steckii</i> 11.1/0.9; <i>P. tardum</i> 11.1/0.9; <i>P. waksmani</i> 11.1/0.9; <i>Alternaria solani</i> 11.1/0.9; <i>Antennatula pinophyla</i> 11.1/0.9; <i>Botriophialophora</i> sp. 11.1/0.9; <i>Fusarium moniliforme</i> 11.1/0.9; <i>F. solani</i> 11.1/0.9; <i>Cladosporium herbarum</i> 11.1/1.9; <i>Zygodesmus</i> sp. 11.1/0.9

Примечание: цифрами около видового названия указывается встречаемость вида/обилие (В/О, %) для данного образца.

Наблюдается сходство по количеству видов в каждом комплексе колонизаторов поверхности древесины зданий, например, театра и гостиницы (4–8 типичных доминирующих видов и 10–15 типичных частых). Сходство составов комплексов по видам и родам для I-й степени биодеструкции оценивалось с помощью коэффициента Жаккара и представлено в Таблице 14.

Таблица 14

Сходство комплексов (%) микобиоты на пораженных деревянных элементах зданий I-й степени биодеструкции

Комплексы микобиоты	Номера образцов	I-8 (ИТ) виды	I-8 (ИТ) роды	1 (Г) виды	1 (Г) роды	4 (Г) виды	4 (Г) роды	II (Д) виды	II (Д) роды
Типичные доминирующие	1 (Г)	0	14.3	-	-	-	-	-	-
	4 (Г)	7.7	28.6	1.1	40.0	-	-	-	-
	II (Д)	22.2	44.4	12.5	22.2	5.9	20.0	-	-
	XI (Д)	5.6	22.2	0	12.5	6.25	11.1	19.0	40.0
Типичные частые	1 (Г)	8.0	25.0	-	-	-	-	-	-
	4 (Г)	0	62.5	4.4	37.5	-	-	-	-
	II (Д)	0	37.5	6.5	50.0	10.7	37.5	-	-
	XI (Д)	10.3	35.7	5.3	21.4	5.6	53.8	19.5	38.5

Анализ представленных данных позволяет говорить о невысоком сходстве видового состава микобиоты, представители которой формируют комплексы при поверхностной колонизации деревянных конструкций; очень мало общих видов даже в комплексах на древесине конструкций одного и того же здания гостиницы (1.1 % и 4.4 %). Сходство типичных доминирующих родов в комплексах, в целом, выше у двух образцов из одного здания (28.6–40.0 %). Достаточно высоко сходство типичных доминирующих комплексов в образцах, отобранных из элементов стен зданий театра и диспансера (22.2 % и 44.4 % для видов и родов) в связи со сходными абиотическими условиями, в которых обследованные элементы находились. Сходство родов типичных частых видов в этих образцах также значительно – 37.5 %, хотя сходства по видам комплекса типичных частых

представителей микобиоты не наблюдали. Комплексы типичных частых родов наиболее сходны (62.5 %) в бразцах разных зданий I-8 (ИТ) и 4 (Г), и находящихся на одинаковой стадии биодegradации увлажненной поверхности древесины конструкций (Таблицы 2, 3, 13).

Данные Таблицы 15 представляют значительный разброс показателей встречаемости и обилия для доминирующего комплекса колонизаторов исторической древесины по мере биодеструкции последней. Высокие значения обилия для представителей доминирующего и частого комплексов – показатель участия этих видов в обеспечении положительной динамики биодеструкции. Видовое разнообразие типичных доминирующих и частых видов значительно, что обеспечивало активные колонизацию и биодеструкцию древесины.

Таблица 15

Структура комплексов колонизаторов пораженной древесины различных конструкций II-й степени биодеструкции

Образцы	Виды микобиоты со встречаемостью/обилием, %
1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
II-2 (ИТ)	<i>Penicillium expansum</i> 37.5/10.8; <i>P. lanosum</i> 37.5/8.1; <i>Fusarium aquaeductuum</i> 25.0/ 27.0 ; <i>Acremonium charticola</i> 25.0/10.8
III-3 (ИТ)	<i>Acremonium charticola</i> 30.0/13.5; <i>Fusarium aquaeductuum</i> 30.0/10.8; <i>Aspergillus niger</i> 30.0/10.8; <i>Penicillium claviforme</i> 20.0/5.4; <i>Бактерии</i> 20.0/5.4
Ч-6 (ИТ)	<i>Fusarium aquaeductuum</i> 30.0/21.4; <i>Penicillium claviforme</i> 30.0/1.9; <i>Acremonium charticola</i> 20.0/14.3; <i>Penicillium expansum</i> 20.0/9.5; <i>Cladosporium herbarum</i> 20.0/7.2; <i>Penicillium nalgioleis</i> 20.0/4.8; <i>Aspergillus fumigatus</i> 20.0/4.8
Ч-7 (ИТ)	<i>Fusarium aquaeductuum</i> 40.0/15.4; <i>Penicillium claviforme</i> 40.0/1.8; <i>Acremonium charticola</i> 30.0/25.0; <i>A. kiliense</i> 20.0/1.8; <i>Aspergillus fumigatus</i> 20.0/5.8; <i>Penicillium expansum</i> 20.0/3.9; <i>Cladosporium herbarum</i> 20.0/3.9
2 (Г)	<i>Mucor hiemalis</i> 33.3/18.2; <i>Fusarium oxysporum</i> 33.3/13.6; <i>Penicillium funiculosum</i> 22.2/9.1; <i>Aspergillus clavatus</i> 22.2/9.1
5 (Г)	<i>Mucor hiemalis</i> 65.6/14.3; <i>Penicillium tardum</i> 44.4/1.9; <i>Бактерии</i> 33.3/23.8; <i>Fusarium oxysporum</i> 33.3/9.5; <i>Mucor racemosus</i> 33.3/7.7; <i>Fusarium sporotrichioides</i> 22.2/7.2; <i>Penicillium frequentans</i> 22.2/4.8

1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
I (Д)	<i>Coniophora cerebella</i> 100.0/13.5; <i>Penicillium funiculosum</i> 66.7/8.7; <i>P. simplicissimum</i> 66.7/8.7; <i>Acremonium kiliense</i> 33.3/8.7; <i>Aspergillus niger</i> 33.3/4.3; <i>Fusarium solani</i> 33.3/4.3; <i>Trichodrema viride</i> 22.2/2.9; <i>Mucor hiemalis</i> 22.2/2.9; <i>Paecilomyces varioti</i> 22.2/4.3; <i>Penicillium claviforme</i> 22.2/2.9; <i>P. solitum</i> 22.2/2.9; <i>P. steckii</i> 22.2/2.9; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 22.2/2.9; Бактерии 22.2/2.9
VIII (Д)	<i>Coriolellus serialis</i> 100.0/17.4; <i>Trichodrema viride</i> 66.7/5.8; <i>Acremonium kiliense</i> 33.3/6.6; <i>Gliocladium deliquescens</i> 33.3/10.7; <i>Penicillium citrinum</i> 33.3/9.1; <i>P. rugulosum</i> 33.3/5.8; <i>P. simplicissimum</i> 33.3/2.5; <i>P. funiculosum</i> 22.2/1.7; <i>P. spinulosum</i> 22.2/2.5; <i>P. verruculosum</i> 22.2/33.3; <i>P. waksmani</i> 22.2/2.5; Бактерии 22.2/4.1
Типичные частые (В – 10–15 %)	
II-2 (ИТ)	<i>Penicillium brevicompactum</i> 12.5/2.7; <i>P. citrinum</i> 12.5/2.7; <i>P. chrysogenum</i> 12.5/2.7; <i>P. corymbiferum</i> 12.5/2.7; <i>P. frequentans</i> 12.5/2.7; <i>P. jenseni</i> 12.5/2.7; <i>P. nalgioleensis</i> 12.5/2.7; <i>P. nigricans</i> 12.5/2.7; <i>P. variable</i> 12.5/2.7; <i>P. viridicatum</i> 12.5/2.7; <i>Trichoderma viride</i> 12.5/2.7; <i>Cladosporium herbarum</i> 12.5/2.7; <i>Aspergillus niger</i> 12.5/2.7; <i>Aureobasidium pullulans</i> 12.5/2.7; <i>Mucor racemosus</i> 12.5/2.7; Бактерии 12.5/2.7
III-3 (ИТ)	<i>Penicillium brevicompactum</i> 10.0/5.4; <i>P. corymbiferum</i> 10.0/2.7; <i>P. cyaneofulvum</i> 10.0/2.7; <i>P. expansum</i> 10.0/2.7; <i>P. funiculosum</i> 10.0/2.7; <i>P. lanosum</i> 10.0/2.7; <i>P. martensii</i> 10.0/2.7; <i>P. nalgioleensis</i> 10.0/2.7; <i>P. roqueforti</i> 10.0/2.7; <i>P. rugulosum</i> 10.0/2.7; <i>P. terrestre</i> 10.0/2.7; <i>P. viridicatum</i> 10.0/2.7; <i>Aspergillus fumigatus</i> 10.0/2.7; <i>Trichoderma viride</i> 10.0/2.7; <i>Cladosporium herbarum</i> 10.0/2.7; <i>C. brevicompactum</i> 10.0/2.7; <i>Alternaria alternata</i> 10.0/2.7; <i>A. tenuissima</i> 10.0/2.7; <i>Mucor racemosus</i> 10.0/2.7
Ч-6 (ИТ)	<i>Acremonium kiliense</i> 10.0/9.5; <i>Penicillium rugulosum</i> 10.0/4.8; <i>P. brevicompactum</i> 10.0/2.4; <i>P. lanosum</i> 10.0/2.4; <i>P. viridicatum</i> 10.0/2.4; <i>Aspergillus niger</i> 10.0/2.4; <i>Trichoderma viride</i> 10.0/2.4
Ч-7 (ИТ)	<i>Penicillium brevicompactum</i> 10.0/1.9; <i>P. corymbiferum</i> 10.0/1.9; <i>P. cyclopium</i> 10.0/1.9; <i>P. jenseni</i> 10.0/1.9; <i>P. nalgioleensis</i> 10.0/1.9; <i>P. rubrum</i> 10.0/1.9; <i>P. spinulosum</i> 10.0/1.9; <i>P. urticae</i> 10.0/1.9; <i>Aspergillus niger</i> 10.0/1.9; <i>A. ustus</i> 10.0/1.9; <i>Trichoderma viride</i> 10.0/1.9; <i>Taeniolella scripta</i> 10.0/1.9
2 (Г)	<i>Acremonium charticola</i> 11.1/9.1; <i>Alternaria tenuissima</i> 11.1/9.1; <i>Chaetomium</i> sp. 11.1/5.3; <i>Penicillium brevicompactum</i> 11.1/5.3; <i>P. notatum</i> 11.1/5.3; <i>P. steckii</i> 11.1/5.3; <i>P. tardum</i> 11.1/5.3; <i>Rhizopus</i> sp. 11.1/5.3; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/5.3
5 (Г)	<i>Penicillium cyclopium</i> 11.1/4.8; <i>P. variable</i> 11.1/2.4; <i>Fusarium moniliforme</i> 11.1/2.4; <i>Alternaria alternata</i> 11.1/2.4; <i>A. tenuissima</i> 11.1/2.4; <i>A. carthami</i> 11.1/2.4; <i>A. consortiale</i> 11.1/2.4; <i>Verticillium foexii</i> 11.1/2.4

1	2
Типичные частые(В – 10–15 %)	
I (Д)	<i>Acremonium charticola</i> 11.1/2.9; <i>Cladosporium herbarum</i> 11.1/2.9; <i>Aspergillus fumigatus</i> 11.1/1.4; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/1.4; <i>Rhizopus nigricans</i> 11.1/1.4; <i>Penicillium caseicolum</i> 11.1/1.4; <i>P. digitatum</i> 11.1/1.4; <i>P. frequentans</i> 11.1/1.4; <i>P. meleagrinum</i> 11.1/1.4; <i>P. melinii</i> 11.1/1.4; <i>P. purpurogenum</i> 11.1/1.4; <i>P. rugulosum</i> 11.1/1.4; <i>P. variabile</i> 11.1/1.4; <i>P. viridicatum</i> 11.1/1.4; <i>Cladosporium griseo-olivaceum</i> 11.1/1.4; бактерии 11.1/1.4
VIII (Д)	<i>Aspergillus candidus</i> 11.1/0.8; <i>A. ochraceus</i> 11.1/0.8; <i>A. versicolor</i> 11.1/0.8; <i>Trichodrema polysporum</i> 11.1/0.; <i>Trichodrema asperellum</i> 11.1/0.8; <i>Paecilomyces varioti</i> 11.1/3.3; <i>Penicillium atramentosum</i> 11.1/0.8; <i>P. brevicompactum</i> 11.1/0.8; <i>P. camamberti</i> 11.1/0.8; <i>P. canescens</i> 11.1/1.7; <i>P. cyclopium</i> 11.1/0.8; <i>P. decumbens</i> 11.1/0.8; <i>P. fellutanum</i> 11.1/0.8; <i>P. melinii</i> 11.1/0.8; <i>P. multicolor</i> 11.1/0.8; <i>P. pallidum</i> 11.1/0.8; <i>P. resticulosum</i> 11.1/0.8; <i>P. stoloniferum</i> 11.1/0.8; <i>P. tardum</i> 11.1/0.8; <i>P. terlikowski</i> 11.1/0.8; <i>P. terrestre</i> 11.1/0.8; <i>Acremonium charticola</i> 11.1/0.8; <i>Botriophialophora</i> sp. 11.1/4.1; <i>Fusarium oxysporium</i> 11.1/0.8; <i>Monocillium indicum</i> 11.1/0.8; бактерии 11.1/0.8

Примечание: цифрами около видового названия указывается встречаемость вида/обилие (В/О, %) для данного образца.

Сходство составов комплексов по видам и родам при II-й степени биодеструкции также оценивалось с помощью коэффициента Жаккара и представлено в Таблице 16.

Анализ представленных данных позволяет говорить о невысоком сходстве видов микромицетов, формирующих комплексы при биодеструкции деревянных элементов в различных зданиях. Максимальное сходство типичных доминирующих и типичных частых комплексов микромицетов выявлено в образцах Ч-6 и Ч-7 здания театра (100.0 % и 60.0 %, соответственно). Такая же закономерность прослеживается для большинства образцов одного здания (28.6, 33.3, 37.5, 60.0, 66.7 и 75.0 %). Видовой состав грибов-биодеструкторов элементов конструкций здания диспансера несколько ближе к таковому образца III-3 здания театра (16.7–18.8 % для видов, 37.5–50.0% для родов), чем гостиницы (3.0–12.5 %, 11.1-44.4 % для видов и родов, соответственно). Это связано с тем, что, по абиотическим условиям, места отбора указанных образцов в зданиях диспансера и театра ближе: это неотопливаемые помещения, конструкции которых

увлажняются систематическими протечками кровли. Соответственно, доминирующие виды, определяющие, в основном, ход сукцессии, практически одинаковы в сходных условиях обоих зданий.

Таблица 16

Сходство комплексов (%) микобиоты на пораженных деревянных элементах зданий II-й степени биодеструкции

Комплексы микобиоты	Номера образцов	II-2 виды	II-2 роды	III-3 виды	III-3 роды	Ч-6 виды	Ч-6 роды	Ч-7 виды	Ч-7 роды	2 виды	2 роды	5 виды	5 роды	I виды	I роды
Типичные доминирующие	III-3 (ИТ)	28.6	60.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ч-6 (ИТ)	37.5	60.0	3.3	66.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ч-7 (ИТ)	37.5	60.0	3.3	66.7	<u>75.0</u>	<u>100.0</u>	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 (Г)	0	40.0	0	5.0	0	5.0	0	5.0	-	-	-	-	-	-
	5 (Г)	0	40.0	7.7	5.0	0	28.6	0	28.6	3.3	60.0	-	-	-	-
	I (Д)	0	30.0	18.8	50.0	5.0	36.4	10.5	36.4	12.5	40.0	10.5	40.0	-	-
	VIII (Д)	0	28.6	16.7	37.5	0	15.4	5.6	22.2	6.7	11.1	5.6	25.0	23.8	33.3
Типичные частые	III-3 (ИТ)	25.0	62.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ч-6 (ИТ)	21.1	37.5	23.8	42.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ч-7 (ИТ)	27.3	37.5	14.8	42.9	18.8	60.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 (Г)	8.7	18.2	7.7	3.3	6.7	25.0	5.0	1.1	-	-	-	-	-	-
	5 (Г)	4.4	10.0	3.9	25.0	0	14.3	5.3	14.3	1.1	25.0	-	-	-	-
	I (Д)	14.3	40.0	12.9	44.4	6.5	37.5	0	22.2	8.7	44.4	4.3	10.0	-	-
	VIII (Д)	3.1	23.1	2.3	25.0	3.1	44.4	6.3	30.0	9.4	18.2	3.0	14.3	7.7	33.3

Для типичных частых видов и родов комплексов II-й степени биодеструкции древесины конструкций Императорского театра характерны более высокие показатели коэффициентов сходства составов (14.8–27.3 % и 37.5–

62.5 %, соответственно) при сравнении этих образцов с таковыми из здания гостиницы (для видов и родов 1.1 и 25.0 %, соответственно) и диспансера (7.7 и 33.3 %, соответственно). По составу видов типичных частых видов микобиоты наиболее сходны образцы II-2 (ИТ) и Ч-7 (ИТ) (27.3 %). Сходство видового состава биодеструкторов здания диспансера и двух других зданий сопоставимо (0.0–14.3 % и 3.0–9.4 % для театра и гостиницы, соответственно). Сходство состава родов колонизирующей микобиоты в зданиях диспансера и театра несколько выше (22.2–44.4 %), чем в зданиях диспансера и гостиницы (10.0–44.4 %). Максимальное сходство комплексов родов микромицетов отмечено для пар образцов II-2 – III-3 и Ч-6 – Ч-7 (62.5 % и 60.0 %, соответственно) деревянных элементов здания Императорского театра II-й степени биодеструкции. Сходство комплексов микромицетов существенно выше в образцах, отобранных из конструктивных элементов одного здания и находящихся в сходных условиях, обуславливающих одинаковую степень биодеструкции древесины конструкций (Таблицы 2–4, 15). Структура комплексов макро- и микромицетов – колонизаторов пораженной древесины различных конструкций с III-й степенью биодеструкции представлена в Таблице 17.

Таблица 17

Структура комплексов колонизаторов пораженной древесины различных конструкций III-й степени биодеструкции

Образцы	Виды микобиоты со встречаемостью/обилием, %
1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
II-1(ИТ)	<u><i>Penicillium nigricans</i> 50.0/8.2</u>
III-4 (ИТ)	<u><i>Penicillium cyclopium</i> 50.0/7.9; <i>Antrodia xantha</i> 50.0/6.4; <i>Penicillium frequentans</i> 37.5/4.8; <i>P. viridicatum</i> 37.5/4.8; <i>P. corymbiferum</i> 25.0/3.2; <i>P. digitatum</i> 25.0/3.2; <i>P. humuli</i> 25.0/3.2; <i>P. meleagrinum</i> 25.0/3.2; <i>P. nalgioleensis</i> 25.0/3.2; <i>Trichoderma viride</i> 25.0/3.2</u>
IV-5 (ИТ)	<u><i>Antrodia xantha</i> 62.5/2.2; бактерии 25.0/2.2; <i>Penicillium brevicompactum</i> 25.0/6.9; <i>P. nalgioleensis</i> 25.0/6.9; <i>Aureobasidium pullulans</i> 25.0/6.9</u>
3 (Г)	<u><i>Antrodia xantha</i> 33.3/37.5</u>
6 (Г)	<u><i>Fusarium javanicum</i> 55.6/10.4; <i>Penicillium caseicolum</i> 33.3/8.3; <i>Antrodia xantha</i> 33.3/6.3; <i>Fusarium sporotrichioides</i> 22.2/12.5; <i>Acremonium charticola</i> 22.2/12.5; <i>Penicillium cyaneofulvum</i> 22.2/4.2</u>

1	2
Типичные доминирующие (В – 15–100 %)	
III (Д)	<u>Serpula lacrymans 100.0/10.6;</u> <i>Penicillium expansum</i> 55.6/5.8; <i>P. simplicissimum</i> 55.6/5.8; <i>P. frequentans</i> 44.4/8.1; <i>P. funiculosum</i> 44.4/4.7; <i>Acremonium charticola</i> 33.3/3.5; <i>Cladosporium brevicompactum</i> 33.3/3.5; <i>C. herbarum</i> 33.3/7.0; <i>Aspergillus niger</i> 22.2/2.3; <i>Penicillium claviforme</i> 22.2/2.3; <i>P. decumbens</i> 22.2/2.3; <i>P. jenseni</i> 22.2/2.3; <i>P. melinii</i> 22.2/2.3; <i>P. verruculosum</i> 22.2/2.3; <i>P. waksmani</i> 22.2/2.3; Бактерии 22.2/2.3
IV (Д)	<u>Fibuloporia vaillantii 100.0/33.3;</u> Бактерии 55.6/18.5; <i>Trichoderma viride</i> 22.2/7.4
V (Д)	<u>Fibuloporia vaillantii 100.0/19.6;</u> <i>Penicillium jenseni</i> 44.4/8.7; <i>Acremonium charticola</i> 44.4/8.7; <i>Cladosporium brevicompactum</i> 44.4/8.7; <i>Penicillium caseicolum</i> 33.3/6.5; <i>P. corymbiferum</i> 33.3/6.5; <i>P. cyaneofulvum</i> 22.2/4.3; <i>P. cyclopium</i> 22.2/4.3; <i>P. expansum</i> 22.2/4.3; Бактерии 22.2/4.3
VII (Д)	<u>Coniophora cerebella 100.0/20.6;</u> Бактерии 66.7/6.9; <i>Trichoderma viride</i> 44.4/3.9; <i>Aspergillus niger</i> 33.3/9.8; <i>Trichoderma asperellum</i> 22.2/3.9; <i>Penicillium steckii</i> 33.3/12.7; <i>P. frequentans</i> 33.3/2.9; <i>P. caseicolum</i> 22.2/5.9; <i>P. citrinum</i> 22.2/3.9; <i>P. decumbens</i> 22.2/3.9; <i>P. simplicissimum</i> 22.2/2.0; <i>P. solitum</i> 22.2/2.0
XI (Д)	<u>Coniophora cerebella 100.0/21.6;</u> <i>Acremonium kiliense</i> 77.8/7.2; Бактерии 66.7/6.2; <i>Acremonium charticola</i> 55.6/5.2; <i>Aureobasidium pullulans</i> 33.3/3.1; <i>Aspergillus fumigatus</i> 33.3/3.1; <i>A. versicolor</i> 33.3/3.1; <i>Trichoderma viride</i> 33.3/4.1; <i>Penicillium stoloniferum</i> 33.3/4.1; <i>P. corylophilum</i> 22.2/2.1; <i>P. cyclopium</i> 22.2/2.1; <i>P. frequentans</i> 22.2/2.1; <i>P. jenseni</i> 22.2/6.2; <i>P. steckii</i> 22.2/4.1; <i>P. verruculosum</i> 22.2/3.1; <i>Aspergillus niger</i> 22.2/2.1; <i>Cladosporium brevi-compactum</i> 22.2/2.1
Типичные частые (В – 10–15 %)	
II-1 (ИТ)	<u>Antrodia xantha</u> 16.7/8.7; Частые (встречаемость – 5-10%): <i>Aspergillus niger</i> 8.3/2.9; <i>Penicillium brevi-compactum</i> 8.3/1.8; <i>P. expansum</i> 8.3/1.8; <i>P. nalgioleensis</i> 8.3/1.8; <i>Trichoderma viride</i> 8.3/1.8
III-4 (ИТ)	<i>Fusarium aquaeductum</i> 12.5/7.9; <i>Acremonium charticola</i> 12.5/7.9; <i>A. kiliense</i> 12.5/6.4; <i>Phialophora alba</i> 12.5/3.2; <i>Chaetomium globosum</i> 12.5/1.6; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 12.5/1.6; <i>Penicillium brevicompactum</i> 12.5/1.6; <i>P. caseicolum</i> 12.5/1.6; <i>P. cyaneofulvum</i> 12.5/1.6; <i>P. expansum</i> 12.5/1.6; <i>P. funiculosum</i> 12.5/1.6; <i>P. lanosum</i> 12.5/1.6; <i>P. martensii</i> 12.5/1.6; <i>P. nigricans</i> 12.5/1.6; <i>P. oxalicum</i> 12.5/1.6; <i>P. rugulosum</i> 12.5/1.6; <i>P. roquefortii</i> 12.5/1.6; <i>P. stoloniferum</i> 12.5/1.6; <i>Aspergillus niger</i> 12.5/1.6; <i>A. fumigatus</i> 12.5/1.6; <i>A. ustus</i> 12.5/1.6; <i>Alternaria alternata</i> 12.5/1.6; <i>Mucor racemosus</i> 12.5/1.6; <i>M. hiemalis</i> 12.5/1.6
IV-5 (ИТ)	<i>Fusarium aquaeductum</i> 12.5/3.5; <i>Acremonium charticola</i> 12.5/3.5; <i>Penicillium citrinum</i> 12.5/3.5; <i>P. cyaneo-fulvum</i> 12.5/3.5; <i>P. cyclopium</i> 12.5/3.5; <i>P. expansum</i> 12.5/3.5; <i>Chaetomium globosum</i> 12.5/3.5; <i>Aspergillus niger</i> 12.5/3.5; <i>Trichoderma viride</i> 12.5/3.5; <i>Monocillium indicum</i> 12.5/3.5; <i>Alternaria alternata</i> 12.5/3.5; <i>Mucor</i> sp. 12.5/3.5; <i>M. hiemalis</i> 12.5/3.5

1	2
	Типичные частые (В – 10–15 %)
3 (Г)	<i>Penicillium restrictum</i> 11.1/12.5; <i>P. roseo-purpureum</i> 11.1/12.5; <i>Alternaria tenuissima</i> 11.1/12.5; <i>Stemphyllium solani</i> 11.1/12.5; <i>Aureobasidium pullulans</i> 11.1/12.5; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/12.5; <i>M. hiemalis</i> 11.1/12.5
6 (Г)	<i>Fusarium moniliforme</i> 11.1/10.4; <i>Penicillium frequentans</i> 11.1/4.2; <i>P. verruculosum</i> 11.1/4.2; <i>Fusarium sambucinum</i> 11.1/2.1; <i>Chaetomium globosum</i> 11.1/2.1; <i>Penicillium multicolor</i> 11.1/2.1; <i>P. purpurogenum</i> 11.1/2.1; <i>P. rubrum</i> 11.1/2.1; <i>P. steckii</i> 11.1/2.1; <i>P. tardum</i> 11.1/2.1; <i>P. variabile</i> 11.1/2.1; <i>Aspergillus wentii</i> 11.1/2.1; <i>Stemphyllium solani</i> 11.1/2.1; бактерии 11.1/2.1; <i>Verticillium foexii</i> 11.1/2.1; <i>Mucor hiemalis</i> 11.1/2.1
III (Д)	<i>Acremonium kiliense</i> 11.1/4.7; <i>Penicillium purpurogenum</i> 11.1/2.3; <i>P. chermesinum</i> 11.1/1.2; <i>P. corylophilum</i> 11.1/1.2; <i>P. cyclopium</i> 11.1/1.2; <i>P. diversum</i> 11.1/1.2; <i>P. italicum</i> 11.1/1.2; <i>P. humuli</i> 11.1/1.2; <i>P. lanosum</i> 11.1/1.2; <i>P. lividum</i> 11.1/1.2; <i>P. martensii</i> 11.1/1.2; <i>P. meleagrinum</i> 11.1/1.2; <i>P. restrictum</i> 11.1/1.2; <i>P. spinulosum</i> 11.1/1.2; <i>P. tardum</i> 11.1/1.2; <i>P. terlikowski</i> 11.1/1.2; <i>P. variabile</i> 11.1/1.2; <i>P. viridicatum</i> 11.1/1.2; <i>Alternaria solani</i> 11.1/1.2; <i>Fusarium solani</i> 11.1/1.2; <i>F. sambucinum</i> 11.1/1.2; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 11.1/1.2; <i>Aureobasidium pullulans</i> 11.1/1.2; бактерии 11.1/1.2
IV (Д)	<i>Aspergillus niger</i> 11.1/3.7; <i>A. ochraceus</i> 11.1/3.7; <i>Penicillium decumbens</i> 11.1/3.7; <i>P. digitatum</i> 11.1/3.7; <i>P. expansum</i> 11.1/3.7; <i>P. frequentans</i> 11.1/3.7; <i>P. melinii</i> 11.1/3.7; <i>P. oxalicum</i> 11.1/3.7; <i>P. simplicissimum</i> 11.1/3.7; <i>P. spinulosum</i> 11.1/3.7; <i>P. verruculosum</i> 11.1/3.7; <i>Acremonium kiliense</i> 11.1/3.7; <i>A. charticola</i> 11.1/3.7; <i>Alternaria solani</i> 11.1/3.7; <i>Phialophora alba</i> 11.1/3.7
V (Д)	<i>Aspergillus flavus</i> 11.1/2.2; <i>A. niger</i> 11.1/2.2; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/2.2; <i>Penicillium decumbens</i> 11.1/2.2; <i>P. notatum</i> 11.1/2.2; <i>P. solitum</i> 11.1/2.2; <i>P. spinulosum</i> 11.1/2.2; <i>P. tardum</i> 11.1/2.2; <i>P. velutinum</i> 11.1/2.2; <i>Acremonium kiliense</i> 11.1/2.2; <i>Cladosporium herbarum</i> 11.1/2.2
VII (Д)	<i>Aspergillus candidus</i> 11.1/1.0; <i>A. ochraceus</i> 11.1/1.0; <i>A. versicolor</i> 11.1/1.0; <i>Mucor hiemalis</i> 11.1/1.0; <i>M. racemosus</i> 11.1/1.0; <i>Penicillium corylophilum</i> 11.1/1.0; <i>P. cyclopium</i> 11.1/1.0; <i>P. digitatum</i> 11.1/1.0; <i>P. funiculosum</i> 11.1/1.0; <i>P. restrictum</i> 11.1/2.9; <i>P. stoloniferum</i> 11.1/1.0; <i>P. viridicatum</i> 11.1/2.0; <i>P. waksmani</i> 11.1/1.0; <i>Spicaria violaceae</i> 11.1/1.0; <i>Acremonium kiliense</i> 11.1/1.0; <i>A. charticola</i> 11.1/1.0; <i>Alternaria solani</i> 11.1/1.0; <i>Fusarium moniliforme</i> 11.1/1.0; <i>F. solani</i> 11.1/1.0; <i>Verticillium albo-atrum</i> 11.1/1.0
XI (Д)	<i>Aspergillus ustus</i> 11.1/1.0; <i>Mucor racemosus</i> 11.1/1.0; <i>Paecilomyces varioti</i> 11.1/2.1; <i>Gliocladium deliquescens</i> 11.1/1.0; <i>Penicillium caseicolum</i> 11.1/1.0; <i>P. rubrum</i> 11.1/1.0; <i>P. martensii</i> 11.1/1.0; <i>P. solitum</i> 11.1/1.0; <i>P. decumbens</i> 11.1/1.0; <i>P. expansum</i> 11.1/1.0; <i>P. brevi-compactum</i> 11.1/1.0; <i>P. funiculosum</i> 11.1/2.1; <i>P. meleagrinum</i> 11.1/1.0; <i>P. resticulosum</i> 11.1/1.0; <i>P. waksmani</i> 11.1/1.0; <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> 11.1/1.0; <i>Monocillium indicum</i> 11.1/1.0

Примечание: цифрами около видового названия указывается встречаемость вида/обилие (В/О, %) для данного образца.

Доминируют в комплексах этой стадии биодеградациии древесины представители ксилотрофных базидиомицетов – эдификаторов, определяющих состав микромицетов, способных к существованию в их гифосфере (виды *Penicillium*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Aspergillus* и др.). Это комплексы с эдификатором *Antrodia xantha* в зданиях Императорского театра и гостиницы, *Serpula lacrymans*, *Coniophora cerebella*, *Fibuloporia vaillantii*, *Coriolellus serialis* в здании диспансера. По мере усиления биодеструкции элементов конструкций видовое разнообразие комплексов снижается; при полной биодеградациии, разрушении древесины и превращении ее в порошкообразную массу видовое разнообразие доминирующих комплексов невелико (1–3 вида). Невысокие значения обилия микромицетов доминирующего и частого комплексов – показатель значительного обеднения трофической базы как результата успешного развития макромицетов на древесине конструкций.

Сходство составов комплексов по видам и родам при III-й степени биодеструкции элементов деревянных конструкций исторических зданий также оценивалось с помощью коэффициента Жаккара и представлено в Таблице 18.

Анализ представленных данных по коэффициентам сходства позволяет говорить об отсутствии такового в процессе активной биодеструкции деревянных конструкций ксилотрофами–макромицетами, а также о весьма невысоком сходстве видового состава микромицетов, входящих в состав комплексов последней степени биодеградациии древесины элементов в различных зданиях (Таблица 18). Максимальное сходство типичных доминирующих и частых видов микобиоты выявлено между образцами из здания диспансера – 62.5, 57.1 и 55.6 %, соответственно, а также между образцами из здания Императорского театра (40.0 % и 63.6 %, соответственно). Эти образцы характеризуются высокой степенью биодеструкции древесины конструкций. Сходство вышеупомянутых комплексов с таковыми образца 3 (Г) невелико (0–16.7 для видов и 0–33.3 % для родов), в большинстве случаев сходства не наблюдали, поскольку глубокая биодеструкция осуществлялась в здании гостиницы другим видом макромицета–эдификатора.

Сходство комплексов (%) микобиоты на пораженных деревянных элементах зданий III-й степени биодеструкции

Оразцы	Сходство	II-1	III-4	IV-5	3	6	III	IV	V	VII
Типичные доминирующие										
III-4 (ИТ)-	видов	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	родов	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-
IV-5 (ИТ)	видов	0	15.4	-	-	-	-	-	-	-
	родов	25.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-
3 (Г)	видов	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	родов	0	0	0	-	-	-	-	-	-
6 (Г)	видов	0	0	0	16.7	-	-	-	-	-
	родов	25.0	16.7	14.3	25.0	-	-	-	-	-
III (Д)	видов	0	4.0	5.0	0	4.8	-	-	-	-
	родов	0	12.5	25.0	0	11.1	-	-	-	-
IV (Д)	видов	0	8.3	0	0	0	5.6	-	-	-
	родов	0	20.0	0	0	0	12.5	-	-	-
V (Д)	видов	0	11.1	7.1	0	23.1	23.8	18.2	-	-
	родов	20.0	14.3	28.6	0	28.6	57.1	33.3		
VII (Д)	видов	0	10.0	6.3	0	6.3	16.7	15.4	10.0	-
	родов	20.0	33.3	28.6	0	12.5	37.5	33.3	42.9	-
X (Д)	видов	0	12.5	10.0	0	4.5	26.9	11.1	22.7	24.0
	родов	12.5	22.2	33.3	0	20.0	55.6	22.2	44.4	62.5
Типичные частые										
III-4 (ИТ)	видов	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	родов	0	-	-	-	-	-	-	-	-
IV-5 (ИТ)	видов	0	27.6	-	-	-	-	-	-	-
	родов	0	63.6	-	-	-	-	-	-	-
3 (Г)	видов	0	3.3	5.3	-	-	-	-	-	-
	родов	0	27.3	27.3	-	-	-	-	-	-
6 (Г)	видов	0	2.6	7.1	9.5	-	-	-	-	-
	родов	0	4.7	4.7	30.0	-	-	-	-	-
III (Д)	видов	0	11.8	2.8	6.9	11.1	-	-	-	-
	родов	0	45.5	33.3	33.3	15.4	-	-	-	-
IV (Д)	видов	0	14.7	12.0	0	6.9	8.3	-	-	-
	родов	0	55.6	40.0	25.0	18.2	33.3	-	-	-
V (Д)	видов	0	9.4	4.3	5.9	3.8	9.4	18.2	-	-
	родов	0	40.0	40.0	25.0	30.0	20.0	42.9	-	-
VII (Д)	видов	0	15.8	10.0	12.5	5.9	18.9	16.7	6.9	-
	родов	0	54.5	54.5	18.2	45.5	36.4	44.4	44.4	-
X (Д)	видов	0	20.6	11.1	4.3	3.1	7.9	6.7	0	8.8
	родов	0	33.3	33.3	20.0	25.0	16.7	20.0	33.3	25.0

Следует отметить, сходство доминирующих и типичных частых видов в образцах III-4 и IV-5 с видами в образцах из здания диспансера в 3 раза выше. Возможно, это объясняется сходством условий развития представителей микобиоты, формирующихся под непосредственным влиянием абиотических факторов в зданиях театра и диспансера, как это уже отмечалось в случае с элементами деревянных конструкций обоих зданий со II-й степенью биодеструкции.

Таким образом, в систематическом отношении выявленные микромицеты–биодеструкторы принадлежали к отделам *Zygomycota*, анаморфам *Ascomycota* и *Anamorphic fungi (Deuteromycotina)*, в экологическом плане – это мезофильные виды, способные к сапротрофному существованию на древесных субстратах и в почве (Kirk et al., 2008). Обнаруженные дереворазрушающие макромицеты, в основном, относились к отделу *Basidiomycota*, к порядкам *Polyporales* и *Boletales* (Schmidt, 2007). При этом видовое разнообразие в здании диспансера было почти вдвое выше, чем в других зданиях, что объяснялось относительным постоянством абиотических условий подвала, позволяющим представителям микобиоты более активно осваивать субстрат, чем при колеблющемся температурно-влажностном режиме.

Высокое видовое разнообразие представителей микобиоты на деревянных конструкциях во всех обследованных зданиях поддерживалось за счет представителей порядка *Eurotiales*, имеющих различную встречаемость, обладающих большими адаптационными возможностями и широким трофическим диапазоном, способных колонизировать такой трудноразлагаемый субстрат, как древесина (Свиридова и др., 2001; Коробова, 2007).

Доминировали в комплексах микобиоты в основном микромицеты – виды *Penicillium*, *Acremonium* и *Fusarium*, а также некоторые виды макромицетов: *Coniophora cerebella*, *Fibuloporia vaillantii*, *Serpula lacrymans*. Видовое разнообразие колонизаторов поддерживалось именно за счет редких и случайных видов микобиоты.

Сходство комплексов типичных видов биодеструкторов было невысоким на начальной стадии разложения древесины в разных зданиях и даже на конструктивных элементах одного здания. Это связано с тем, что поражение древесины в небольших очагах увлажнения конструктивных элементов вызывали неспецифические биологические агенты, попавшие на данный участок древесины случайным образом. С возрастанием интенсивности биодеструкции и, особенно, при появлении макромицета-эдификатора количество общих видов биодеструкторов на конструктивных элементах возрастало и обуславливало более высокое сходство формировавшихся комплексов.

В целом, по видовому составу биодеструкторов деревянные конструкции неотопливаемых помещений деревянного корпуса Наркологического диспансера и Императорского театра были более близки, также наблюдали сходство составов микобиоты в образцах, отобранных со стропильных систем разных зданий. Кроме того, как уже было отмечено, эдификатор-макромицет при его включении в процесс биodeградации древесины определял видовой состав и разнообразие микромицетов в качестве ядра консорции. Таким образом, сходство комплексов микромицетов было выше в образцах, отобранных из элементов конструкций одного здания и находившихся в сходных условиях, обуславливавших одинаковую степень биодеструкции древесины конструкций.

ГЛАВА 4. МИКОСИНУЗИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ОСОБЕННОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ

4.1. Микосинузии различных типов деревянных конструкций

Микро- и макромицеты в природе и при колонизации деревянных конструкций образуют микосинузии – совокупности представителей микобиоты, формирующиеся вокруг детерминанта (ядра) консорции при совместном развитии компонентов, в сходных биотических и абиотических условиях и относительно стабильные при неизменности условий (Ипатов, Кирикова, 1997; Арефьев, 2010).

Некробионтная консорция, в которую входят микозинузии, включает в себя субстрат, определяющие ее структуру виды биодеструкторов и различные таксономические группы, как прокариот, так и эукариот (Беломесяцева, 2004). Состав и структура микосинузии определяются абиотическими и биотическими факторами. Последние выражаются во взаимодействии всех компонентов микосинузии в консорции, при этом определяющую роль играет чаще всего макромицет-эдификатор, если он участвует в процессе разложения древесины (Смоляницкая, 2007). Абиотические факторы, такие как степень биодеструкции древесины и микроклиматические условия нахождения элементов конструкций, также определяют формирование различных комплексов колонизаторов на разных стадиях биодеструкции древесины.

Для всех микосинузий исследованных зданий было характерным присутствие видов *Penicillium* с высокими значениями встречаемости и обилия (Рисунки 4–6). Начало микодеструкции характеризовалось преобладанием видов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Fusarium* (Рисунок 4). Максимальный пул этих микромицетов в образцах древесины конструкций $\times 10^5 - 10^6$ КОЕ/г свидетельствовал об их участии в биодеструкции древесины (Рисунок 6).

Вторая стадия микодеструкции также характеризовалась преобладанием видов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Fusarium*, совокупная доля которых в микосинузиях элементов II-й степени биодеструкции составляла 43–76 %, то есть более половины колонизирующих элемент микромицетов. Кроме вышеперечисленных микромицетов в образцах из элементов конструкций здания

гостиницы "Михайловская" наблюдали присутствие в микосинузиях типичных сапротрофов – видов *Mucor* spp. с обилием 22–23 %. Эти организмы не способны к непосредственному разрушению древесины, а их выявление свидетельствовало об активности деструкционных процессов в элементах конструкций обследованных исторических зданий и накоплении продуктов жизнедеятельности биодеструкторов, служащих доступной трофической базой для развития сапротрофов (Рисунок 5).

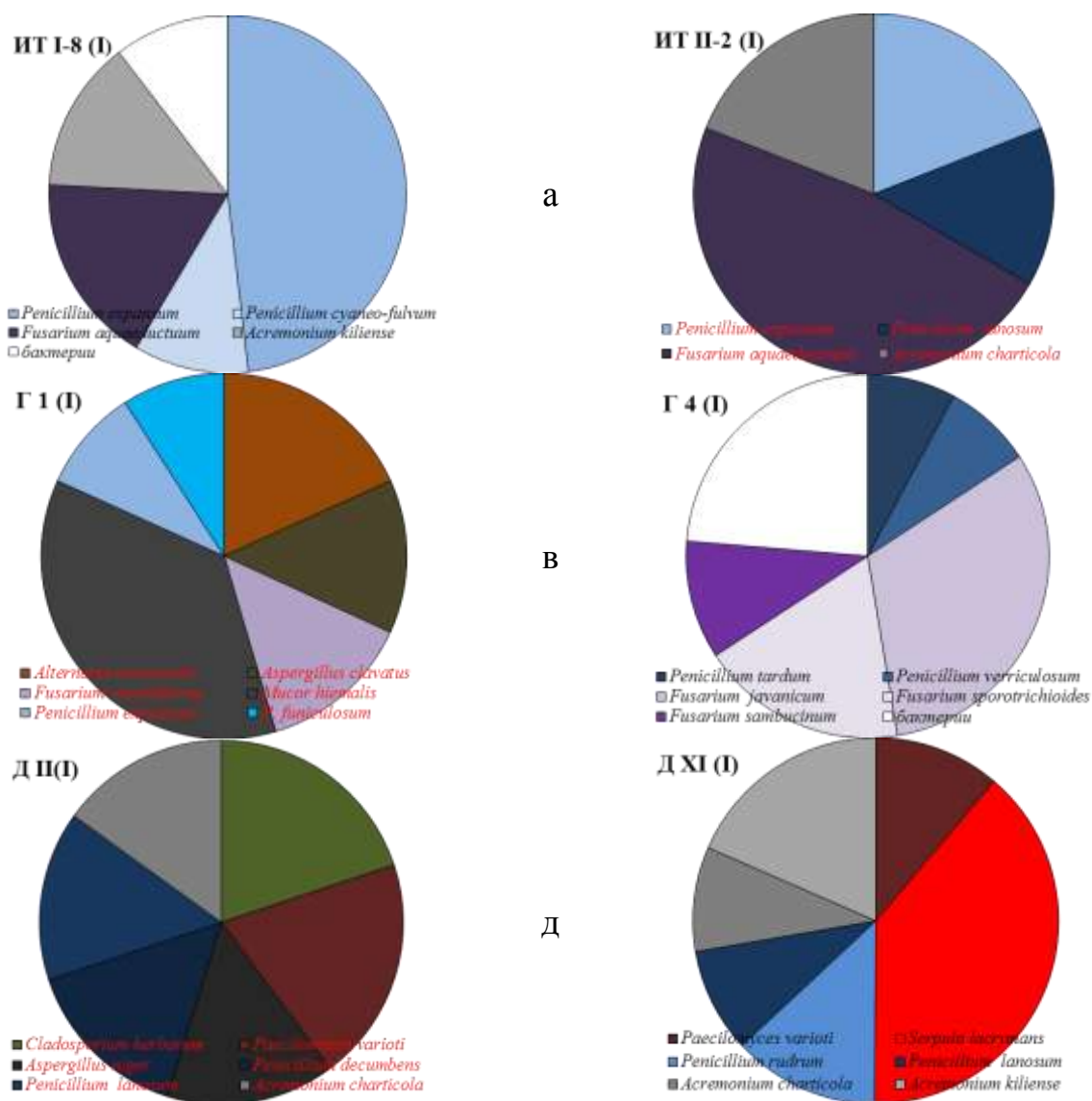


Рисунок 4. Структура микосинузий на пораженной исторической древесине I-й степени биодеструкции: а, б – в здании Императорского театра (ИТ); в, г – в здании Гостиницы (Г); д, е – в здании Диспансера (Д).

Кроме высокого обилия в образцах древесины II-й степени биодеструкции виды *Penicillium* и *Fusarium* преобладают в количественном отношении по показателю КОЕ/г деградированного субстрата: количество только этих видов в некоторых образцах достигало $\times 10^6$ КОЕ/г, что свидетельствует об их активном участии в биодеструкции древесины (Рисунок 6).

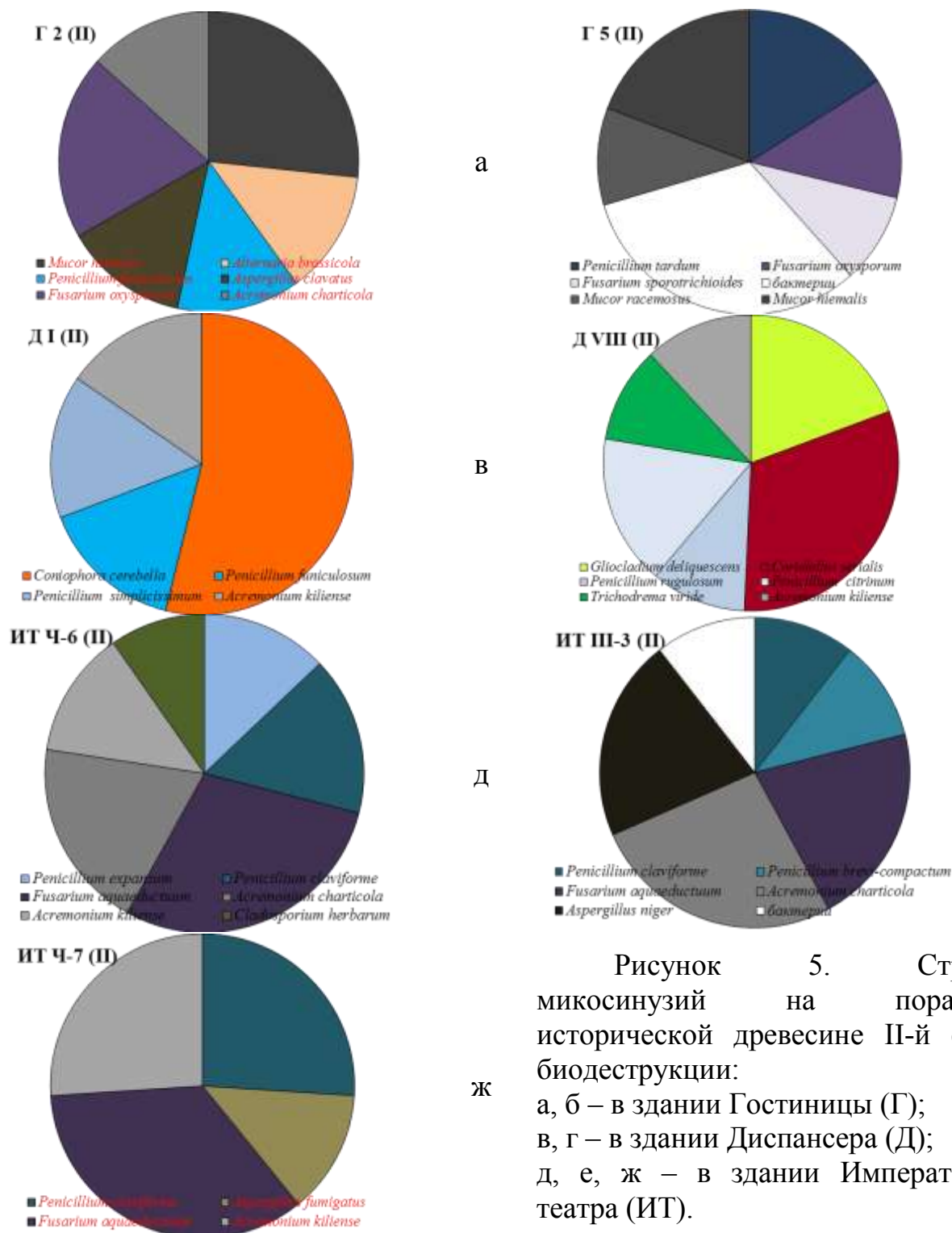


Рисунок 5. Структура микосинузий на пораженной исторической древесине II-й степени биодеструкции:
а, б – в здании Гостиницы (Г);
в, г – в здании Диспансера (Д);
д, е, ж – в здании Императорского театра (ИТ).

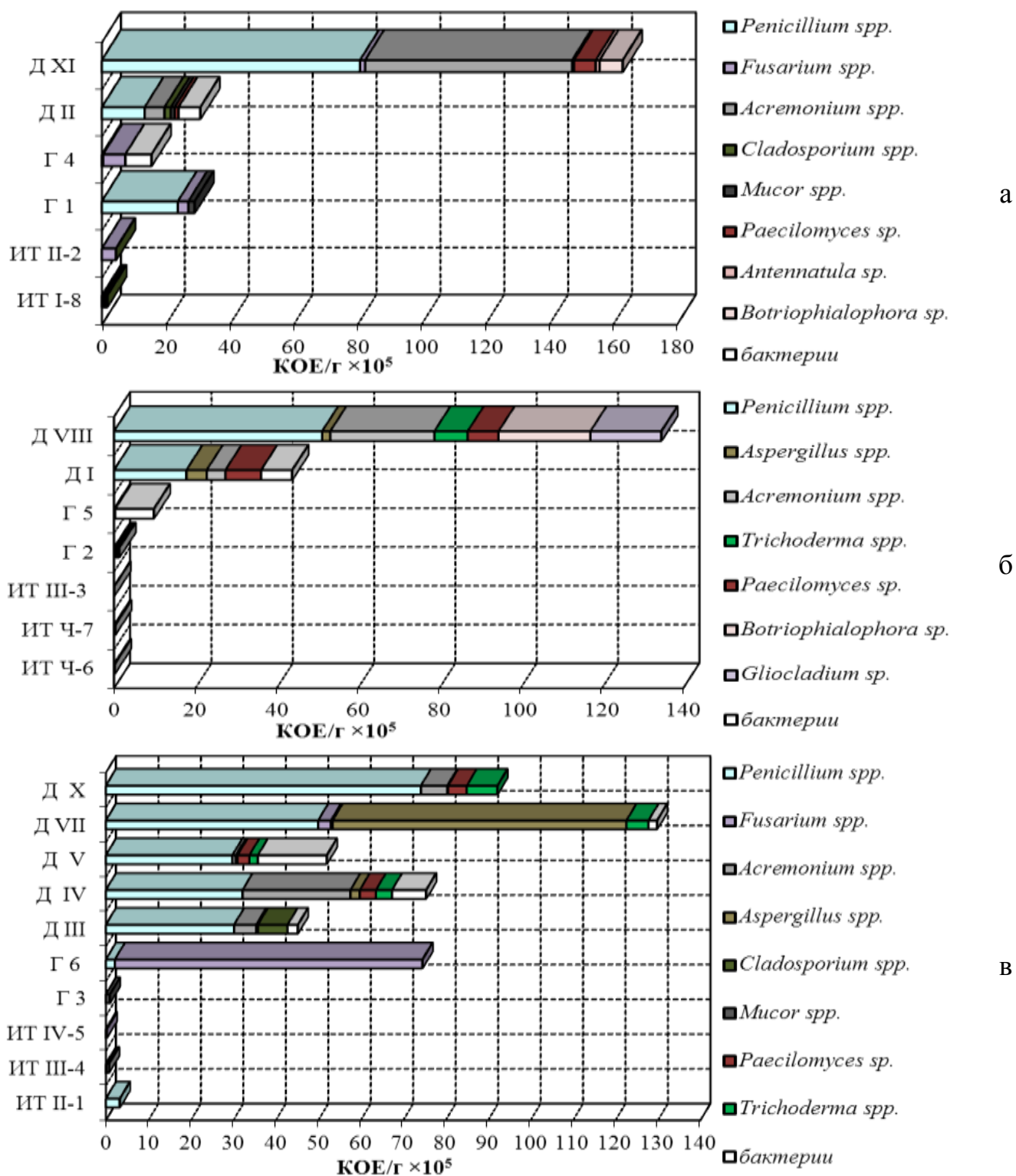


Рисунок 6. Численность микромицетов ($\times 10^5$ КОЕ/г) в образцах разной степени биодеструкции древесины исторических зданий Императорского Театра (ИТ), Гостиницы (Г) и Диспансера (Д): а – в образцах с I-й степенью; б – в образцах со II-й степенью; в – в образцах с III-й степенью биодеструкции.

При поверхностной колонизации в благоприятных для этого условиях складываются микосинузии микромицетов–биодеструкторов, которые, сохраняя

влажность поверхностных слоев древесины на достаточном для дальнейшей колонизации уровне за счет собственных метаболических процессов, продолжают свое развитие и колонизацию доступной и подготовленной для этого части элементов, активно деструктурируя поверхностные и более глубокие слои последних (Вакин и др., 1968; Гашкова, 1968; Свиридова и др., 2001; Серов и др., 2004; Семенова, 2008).

Из данных, представленных на Рисунке 6, следует, что на всех стадиях биодеградации деревянных конструкций микромицеты родов *Acremonium*, *Fusarium* и *Penicillium* имели значительную количественную представленность, достигавшую $\times 10^6$ КОЕ/г деструктурируемого субстрата. Наличие этих организмов в образцах II-й степени биодеструкции в значительных количествах ($\times 10^5$ КОЕ/г) указывало на их непосредственное участие в глубокой микодеструкции древесины без участия макромицетов. Только при полной деструкции древесины конструкций ксилотрофными базидиомицетами, количественные показатели этих микромицетов были низкими (Рисунок 6, в) и мы описывали их наличие в подобных образцах лишь весьма низкими относительными количественными показателями обилия (Рисунок 5, а, ж). Высокие количественные показатели присутствия бактерий в пораженных образцах здания гостиницы – частный случай, связанный с систематическим переувлажнением образцов 4 (Г) и 5 (Г) (Рисунок 6, а, б). Указанные элементы конструкций располагались один под другим и, в целом, сходство их микосинузий было достаточно велико. Повышенная влажность стимулирует рост и развитие бактерий, которые начинают вступать в антагонистические отношения с грибами (Васильев, 1968, Гашкова, 1966, Ньюкша, 1967, Соколов, Щедрова, 1968, Тобиас, Тихомирова, 2001), что приводит к подавлению развития грибов и увеличению КОЕ/г бактерий (Рисунок 6, а, б, в).

В процессе разложения древесины с участием макромицета структура микосинузий была несколько иная. Показатель обилия макромицета-эдификатора составлял 6–40 %, поскольку на деструктурируемом элементе и даже на нескольких элементах обитала одна особь базидиомицета (Рисунок 7).

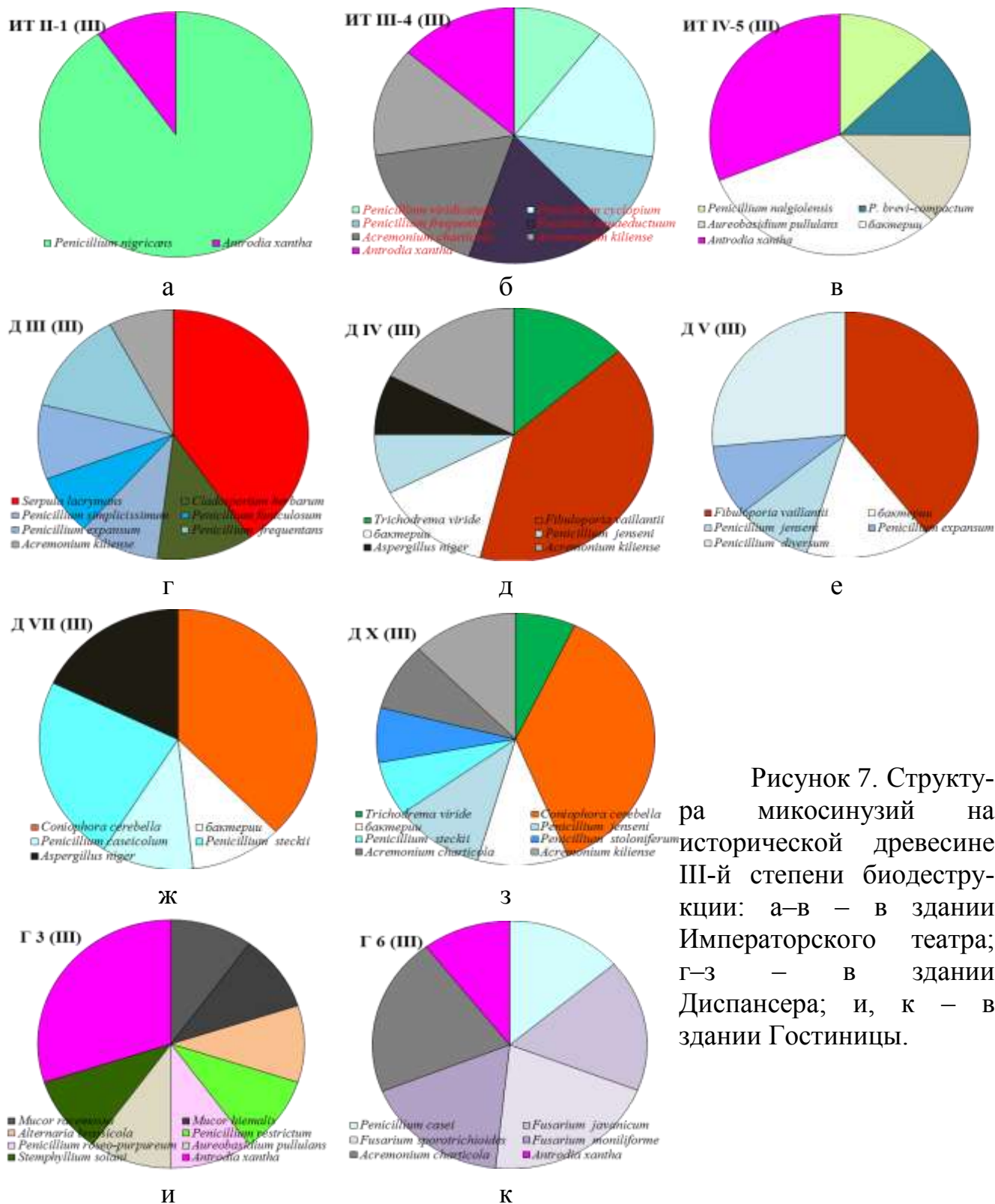


Рисунок 7. Структура микосинусий на исторической древесине III-й степени биодеструкции: а–в – в здании Императорского театра; г–з – в здании Диспансера; и, к – в здании Гостиницы.

По обилию лидировали виды *Penicillium* (20–75 %). Кроме того, отмечали присутствие микромицетов, непосредственно не участвующих в разложении древесины (виды *Mucor*, *Alternaria*, *Acremonium* и др.), с обилием в 2–30 %.

Видовое разнообразие микромицетов существенно изменялось в процессе развития биодеструкции с участием макромицета. На начальном этапе III-й степени биодеструкции (Рисунок 7, а) видовое разнообразие было невелико в связи с тем, что макромицет активно разрушая древесину конструкции, вступал в конкурентные отношения с микромицетами.

В структуре микосинузий остаются с достаточным обилием лишь конкурентоспособные виды микромицетов, ограничивающиеся поверхностной колонизацией деструктурируемых частей элементов, сохраняющих и приобретающих биологическое увлажнение за счет жизнедеятельности ксилотрофного макромицета. При биодеструкции последним древесины конструкций формируется трофическая база для нового увеличения разнообразия и численности микромицетов (Рисунок 7, а). Это явление фиксировалось нами в процессе глубокой деструкции макромицетами древесины конструкций всех обследованных исторических зданий (Рисунок 7). Видовое разнообразие микосинузий на этой стадии биодеградациии существенно увеличивалось (22–24 вида) при незначительном обилии каждого из видов. Деструктурированная древесина – доступный для вторичной колонизации субстрат как для микромицетов, не принимающих непосредственного участия в биодеструкции компонентов конструкций, так и для грибов, способных к ее осуществлению. Это проявлялось в увеличении обилия видов *Fusarium*, *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus* и *Mucor* в образцах деструктурированных элементов конструкций зданий. Количество видов грибов снижалось (до 8–18) в образцах из различных зданий на последней стадии разрушения древесины, когда полностью теряется ее механическая прочность и пораженные части элементов конструкций превращаются в порошкообразную массу. На такой трофической базе со значительной минерализацией органических компонентов субстрата способны развиваться немногие виды и группы микромицетов (Вакин и др., 1968; Соловьев, 1968; Бондарцева и др., 1976; Schmidt, 2007).

Таким образом, можно говорить о сходстве микосинузий деревянных конструктивных элементов, находящихся на одной и той же стадии

биодegradации, не только в одном здании, но и в разных зданиях, расположенных достаточно далеко друг от друга. Это означает, что сукцессия на древесине протекает однотипно, со сменой видов одних и тех же родов микромицетов (Гашкова, 1968, Ньюша, 1956, Свиридова, 2001, Стороженко и др., 2000). Колонизируя древесину с поверхности при благоприятных условиях, микромицеты подготавливают ее и для колонизации макромицетом, выделяя продукты жизнедеятельности и сохраняя метаболическую воду в субстрате. Поэтому макромицет может поселиться не только в местах агрессивного воздействия влаги на древесину (протечек, систематического конденсирования, перепада температуры по длине и объему элемента конструкции), но и в тех местах, где происходит интенсивная колонизация субстрата и успешное развитие микромицетов на нем.

4.2. Сукцессии микобиоты в процессе биодеструкции исторической древесины элементов конструкций

Сукцессии грибов на древесине прослеживаются в ряде работ, касающихся предохранения ее запасов от колонизации и поражения дереворазрушителями (Макринова, 1920; Бондарцев, 1953, 1956; Ванинская, 1955; Демидова, 1962; Вакин и др., 1968 б; Бондарцева и др., 1976; Макарова, Минкевич, 1977; Михалева, 2002; Семенова, 2008). Ход сукцессии, описываемый в этих работах, — всегда направленный процесс, начинающийся с поверхностных слоев деревянных элементов, затем захватывающий толщу древесины — ее заболонную часть как самую подверженную биодеструкции — приводящий к ее полной деградации (Бондарцев, 1956; Крейцберг, 1976; Михалева, 2002; Семенова, 2008). Завершение этого процесса происходит при участии миксомицетов, обладающих в отличие от осмотрофного питания грибов фаго- и пиноцитозом (Titova, 2007).

В литературе, касающейся операций со строительной древесиной, сохранения и реставрации деревянных конструкций зданий и сооружений, сукцессии микобиоты описываются более причудливым образом как типы и стадии разложения древесины в зависимости от особенностей биохимических процессов. Различают мягкий, коррозионный, деструктивный и смешанный типы

гниения, каждому из которых соответствует поражение определенными видами микромицетов и ксилотрофных базидиомицетов, и три стадии гниения (Бондарцев, 1953, 1956; Крейцберг, 1976; Михалева, 2002; Семенова, 2008). В первой стадии изменяется только цвет зараженной древесины, а твердость ее не снижается. Во второй стадии пораженная древесина приобретает неравномерную окраску в виде бурых пятен, полос, белых выцветов. Механические свойства ее ухудшаются. В третьей стадии древесина теряет прочность и легко расщепляется на волокна, призматические образования или растирается в порошок (Ванинская, 1955; Вакин и др., 1968 а; Бондарцев, 1953; Бондарцева и др., 1976; Крейцберг, 1976; Макарова, Минкевич, 1977; Михалева, 2002; Семенова, 2008).

Все вышеописанные явления происходят на фоне различных типов увлажнения и сохранения влажности древесины: *непосредственного* – капельно-жидкой влагой (атмосферной эксплуатационной, бытовой); *биологического* – происходящего в процессе жизнедеятельности грибов, *капиллярного* – путем засасывания влаги из грунта или из каменной кладки; *конденсационного* – при осаждении влаги из окружающего воздуха на материалы, имеющие температуру ниже «точки росы» этих паров. Причем конденсационное увлажнение, при наличии перепада температуры внутри конструкций и на их поверхности, может быть *систематическим*, происходящим непрерывно длительное время, и *дифференциальным*, многократно повторяющимся, связанным с сезонными и суточными колебаниями температуры (Пособие..., 1997; Михалева, 2002; Семенова, 2008). Кроме того, при неравномерном распределении влаги по объему материала происходит ее перемещение в конструкциях. Это движение проходит в сторону пониженной температуры и более низкого давления в конструкции (Михалева, 2002; РВСН, 2006; Семенова, 2008).

То есть в литературе описываются сукцессии микобиоты на древесине при благоприятных абиотических факторах как первоначальная разноцветная мягкая тлеющая гниль поверхностных слоев, вызываемая микромицетами, переходящая в деструктивную гниль с разрушением целлюлозы, вызываемую возбудителями бурой гнили – базидиомицетами, или коррозию с разрушением целлюлозы и

лигнина, вызываемую возбудителями белой гнили – базидиомицетами, а чаще, в смешанную, вызываемую микро- и макромицетами. Причем каждому типу гниения свойственна своя структура гнили. Для мягкого типа гнили – ямчатая мягкая, для коррозионного типа гнили – волокнистая, для деструктивного типа гниения характерна призматическая, кубическая или порошкообразная (пылевая) структура, для смешанного – слоистая (пластинчатая) и слоисто-волокнистая гниль. Общеизвестно, что влажность и капельно-жидкая влага – основные лимитирующие факторы развития биоты. А микобиота проявляет высочайшую чувствительность к уровню и колебаниям этих факторов. Для большинства видов высокие и низкие значения относительной влажности воздуха приводят к замедлению и прекращению роста гриба, переходу в репродуктивную стадию развития. То есть недостаток или избыток влаги – факторы, ограничивающие рост представителей микобиоты, причем со временем действие их усугубляется. Определенные сочетания температуры и влажности, а также продолжительность их совместного действия обуславливают для микобиоты возможности контакта с субстратом, степень развития патологического процесса, продуктивность макро- и микромицетов, скорость рассеивания спор, степень проявления поражения (Лилли и др., 1953; Методы экспериментальной микологии, 1982; Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений, 1987; Balazs et al., 1998).

Сухая древесина, предохраненная от воздействия влажности, может, не изменяя своих свойств, не поддаваясь биодеструкции, сохраняться неопределенно долгое время. Находясь под водой, древесина также способна сохраняться неопределенно долго вследствие недостатка кислорода в связи с избыточной влажностью. Наиболее активно колонизируется и подвергается воздействию дереворазрушающих грибов слабоувлажненная с градиентом влажности древесина, находящаяся в условиях плохой вентиляции или даже совсем без доступа воздуха (Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002). В этих случаях наблюдается очень быстрая сукцессия биодеструкторов древесины, так как поверхностная биодеградация, запускаемая и поддерживаемая оптимальными

абиотическими факторами, сама служит оптимальным биотическим фактором глубокой и широкой биодеструкции древесины ксилотрофными базидиомицетами (Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002; Рядова и др., 2004; Schmidt, 2007).

Обработка древесины различными фунгицидами в таких условиях не эффективна, так как ксилотрофные макромицеты способны разрушать как необработанную мертвую древесину, так и обработанную (Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002).

Оптимальные условия для лавинообразной сукцессии на древесине – температура 18–22° С, *систематическая* и *дифференциальная* влажность древесины 20–70 %, низкая плотность (широкие годовичные кольца, низкое содержание смолы для хвойных), наличие распространяющих споры насекомых-деревоуничтожителей (Макринова, 1920; Бондарцев, 1953, 1956; Михалева, 2002; Schmidt, 2007). Фунгистатические условия, способствующие купированию сукцессии на какой-либо стадии – температура 3–4° С или 35–40° С, *систематическая* 95–100 %, *систематическая* и *дифференциальная* влажность древесины 8–18 %, высокая плотность (узкие годовичные кольца, высокое содержание смолы для хвойных), отсутствие распространяющих споры насекомых-деревоуничтожителей (Макринова, 1920; Макарова, Минкевич, 1977; Михалева, 2002; Рядова и др., 2004).

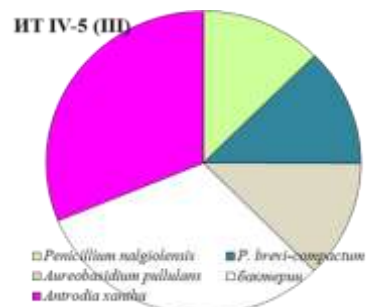
Большинство из вышеописанных в литературе явлений было отмечено нами при обследовании исторических зданий. Наблюдалась поверхностная деструкция микромицетами, увеличение агрессивности абиотических факторов: дифференциальная влажность на фоне суточных и сезонных колебаний температуры воздуха и деревянных конструкций, все стадии деструктивной и смешанной гнилей с участием ксилотрофных базидиомицетов – прямые указания на два типа сукцессий микроорганизмов, происходящих в исторических зданиях. Один тип выявлен при биодеструкции древесины конструкций макромицетом, второй тип – микодеструкция, осуществляемая микромицетами без участия базидиомицетов. Эти сукцессии имеют ряд специфических особенностей, определяемых доминирующим биодеструктором и условиями биодеградации

древесины. К последним относятся объем элемента конструкции, подвергшийся поражению и биодеструкции, а также наличие конкурентов в этом процессе.

Сукцессии комплексов микро- и макромицетов, формирующих микосинузии на древесине конструкций зданий, в процессе биодеструкции последних представлены на Рисунке 8. Необходимо отметить, что полной деградации древесины конструкций с потерей механических свойств при сукцессиях с участием микромицетов не наблюдали. Биодеструкция достигала лишь II-й степени, симптоматически – в виде упомянутой выше ямчатой мягкой гнили поверхностных слоев элементов конструкций (Рисунок 8, а, г, д, ж). В отсутствие макромицета биодеструкция идет, по всей видимости, медленнее, особенно крупнообъемных элементов и осуществляется устойчивым комплексом видов *Penicillium*, *Fusarium*, *Acremonium* и *Aspergillus*, характерным для всех обследованных исторических зданий. В процессе биодеструкции несколько увеличивается доля доминантных деструктирующих видов при сохранении разнообразия комплекса микромицетов (Рисунок 8, а, г, д, ж).

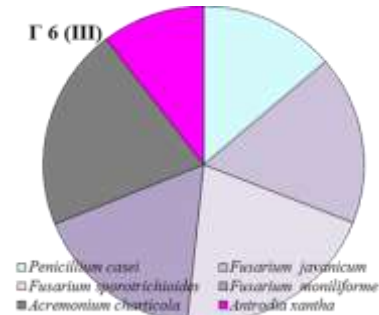
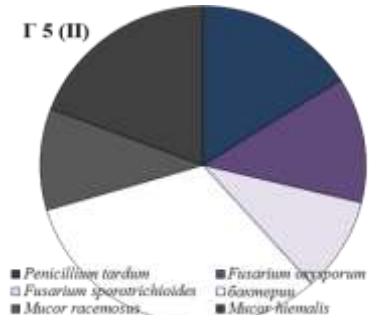
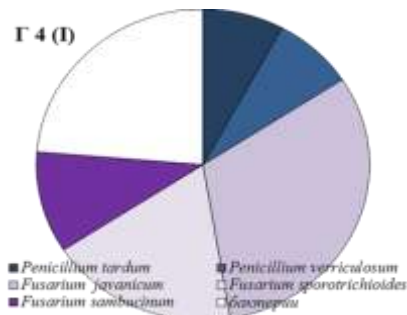
При появлении макромицета в ходе сукцессии биодеградация древесины происходит значительно быстрее и достигает последней степени потери материалом своих механических свойств. Причем усиленная биодеструкция осуществляется именно макромицетом, нежели комплексом микромицетов, поскольку при этом типе биодеструкции мы наблюдали и анализировали очень сильно деструктурированные крупнообъемные элементы деревянных конструкций исследованных зданий уже при I-й степени, подлежащие полной замене при реставрации. По мере захвата объема древесины и ее деградации макромицетом происходит замещение им части микромицетов-деструкторов, увеличение доли этого доминанта в микосинузиях и уменьшение разнообразия (Рисунок 8, б, в, е, з–н).

Нами выявлена также способность комплекса видов *Penicillium*, *Fusarium*, *Acremonium* и *Aspergillus* осуществлять биодеструкцию совместно с макромицетами, особенно при средней степени деградации древесины конструкций (Рисунок 8, б, в, е, з–н).



6

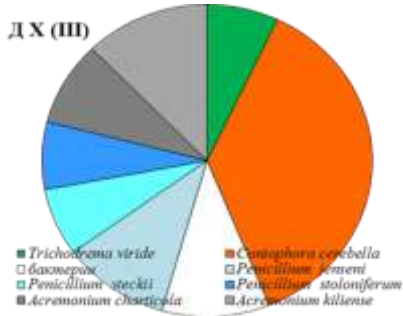
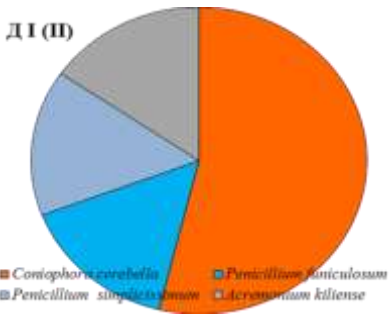
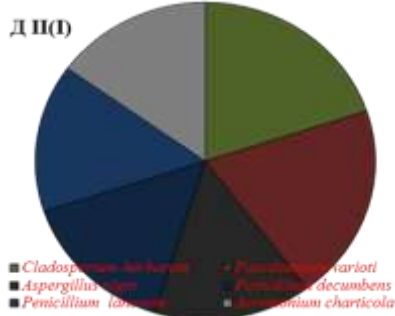
B



Γ

Д

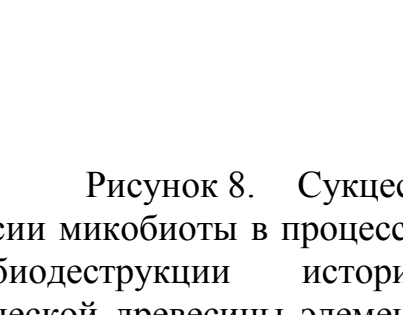
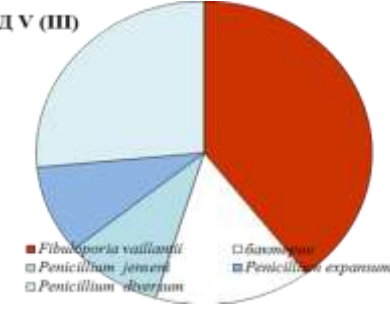
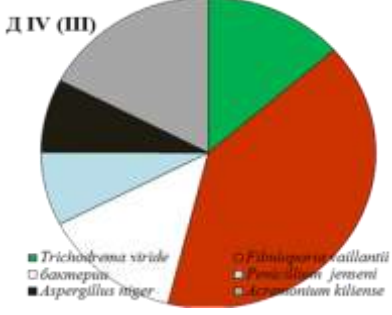
e



Ж

3

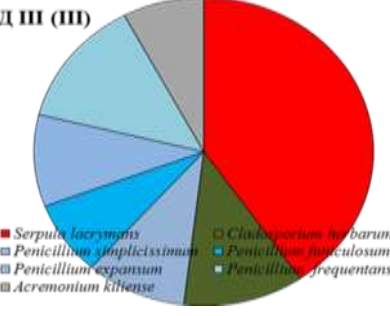
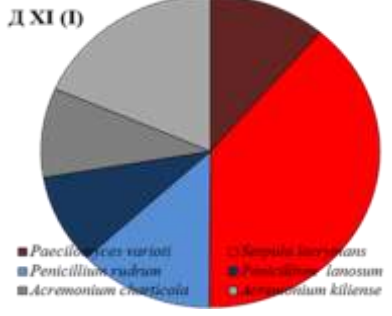
И



K

Л

CC
LCI



M

H

Рисунок 8. Сукцессии микобиоты в процессе биодеструкции исторической древесины элементов конструкций: а–в – в здании Императорского театра; г–е – в здании Гостиницы; ж–н – в здании Диспансера.

Мы проследили за изменением численности колонизаторов древесины и основных биодеструкторов при сукцессии в разные фазы биодеградации элементов конструкций в зданиях Императорского театра, диспансера и гостиницы (Рисунок 9).

В отсутствие макромицета выявлена очень активная колонизация элементов, нарастание численности доминирующих видов в комплексе микромицетов-биодеструкторов (Рисунок 9, а, б). Высокая доля последних по численности сохраняется при появлении макромицета и развитии глубокой деструкции элементов конструкций (Рисунок 9, б, в).

По мере деградации макромицетом основных компонентов древесины, определяющих ее механическую прочность, численность и доля участия микромицетов в биодеструкции значительно уменьшается (Рисунок 9, г, д). То есть при развитии макромицета на древесине конструкций происходит активное конкурентное за субстрат с находящимися на нем как осуществляющими, так и не осуществляющими биодеструкцию микромицетами, захват и активная колонизация поверхности элемента, наращивание количества мицелия при проникновении внутрь древесины и ее разложении.

Активный процесс биодеструкции в зависимости от деградированного объема древесины конструкции может сопровождаться формированием комплекса конкурентоспособных видов микромицетов, которые осуществляют биодеструкцию совместно с макромицетом не колонизированных последним участков конструкции (Рисунок 9, б, в).

Поскольку биодеструкция древесины осуществляется макромицетами вплоть до полной потери основных биополимеров, определяющих ее механические свойства (Бисько и др., 1984; Дудка, 1986; Свиридова, 2001; Змитрович и др., 2007, Бисько и др., 1986, Никифорова и др., 2010), микромицеты-биодеструкторы могут оказаться практически лишенными трофической базы, и, как численность их, так и доля участия в деструктивных процессах снижается (Рисунок 9, г, д).

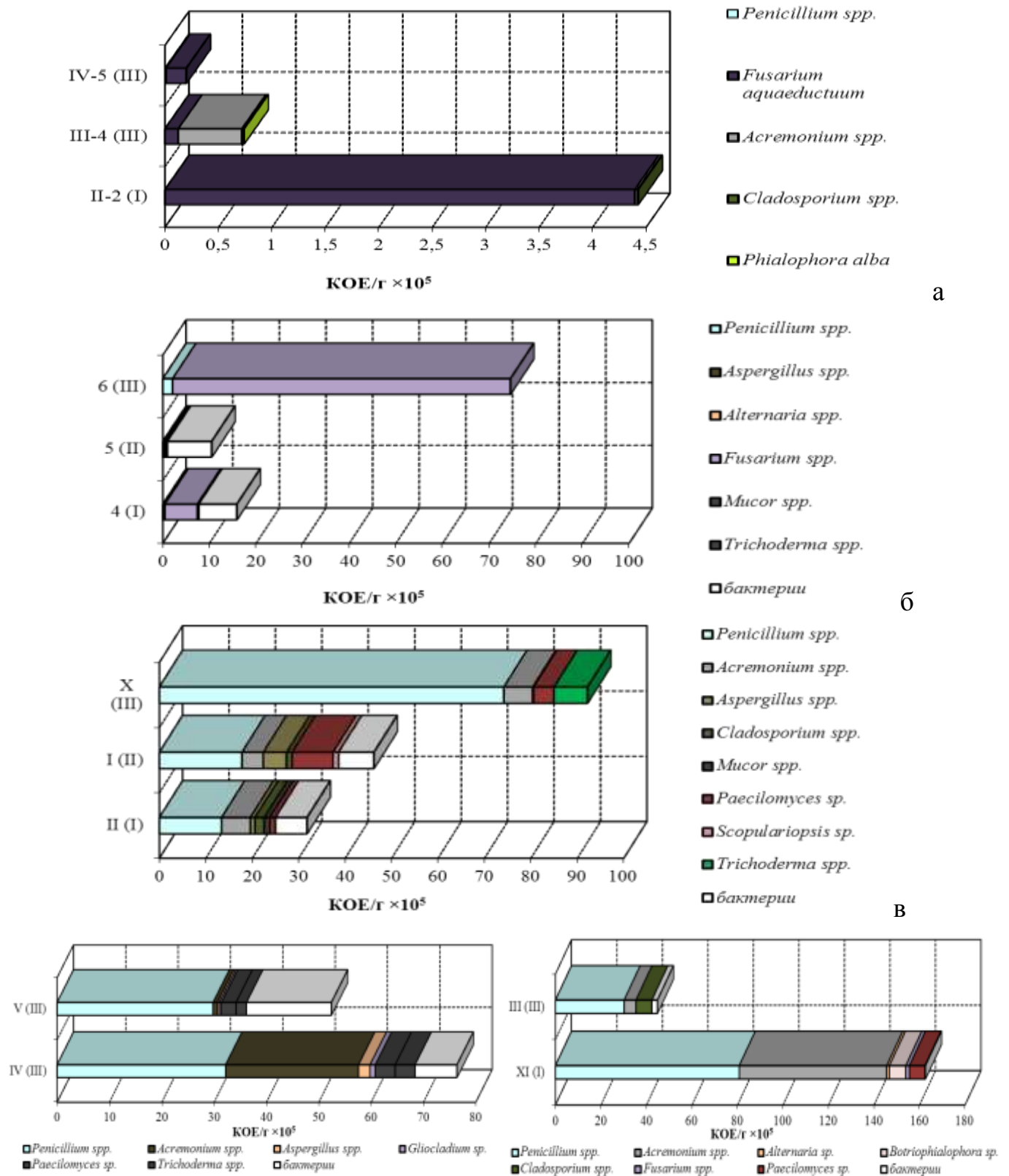


Рисунок 9. Численность микромицетов ($\text{KOE}/\text{г} \times 10^5$) при сукцессии в образцах разной степени биodeградации древесины исторических зданий Императорского театра (а), гостиницы (б) и диспансера (в–д).

Таким образом, начало микодеструкции характеризуется преобладанием видов *Penicillium*, *Aspergillus* и *Fusarium*, присутствующих во всех образцах пораженной древесины и в значительных количествах. В ходе биодеструкции с накоплением продуктов жизнедеятельности этих организмов в доминирующей группе оказываются и сапротрофы, не участвующие в непосредственном разложении древесины (виды *Mucor*). Микромицеты разлагают поверхностный слой древесины и подготавливают субстрат для колонизации макромицетом. При появлении последнего численность микромицетов начинает колебаться в зависимости от появления в субстрате и потребления дериватов основных биополимеров древесины, а также от антагонистического воздействия макромицета-эдификатора. Изменяется, соответственно, и видовой состав микромицетов.

То есть на деформируемой древесине конструкций исторических зданий наблюдаются различные сукцессии микроорганизмов, активно (с участием в биодеструкции), или пассивно (сопутствующая микробиота) вовлеченных в процессы биодеструкции.

Сукцессии могут протекать с незначительной скоростью (многие годы) и оканчиваться стабилизацией комплекса микромицетов-биодеструкторов по обилию и численности на уровнях, обеспечивающих их жизнедеятельность, или редукцией микосинузий до отдельных видов с невысокой численностью при неблагоприятных для биодеградации древесины условиях.

При включении ксилотрофных базидиомицетов в процессы биодеструкции (определенный пул инокулюма и благоприятные для заражения древесины сочетания абиотических факторов) наблюдаются лавинообразные (1–3 года) сукцессии с замещением макромицетом значительной доли участия в деградации древесины микромицетов-биодеструкторов, сокращением биоразнообразия колонизирующих комплексов, уменьшением численности деформирующих и сопутствующих представителей микобиоты.

Подобные сукцессии заканчиваются полным распадом древесины, обрушением конструктивных элементов, уменьшением размеров таллома

макромицета, образованием базидиом и/или ресупинатных плодовых тел, т.е. переходом в репродуктивную стадию развития, отмиранием и автолизом гиф макромицета, появлением миксомицетов (Titova, 2007).

ГЛАВА 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ МИКОБИОТЫ НА ДРЕВЕСИНУ КОНСТРУКЦИЙ

5.1. Изменение количества основных биополимеров древесины и ее состояния в процессе биодеструкции

Гниение древесины под влиянием микобиоты происходит в результате выделения ферментов, способствующих превращению трудноусваиваемых органических соединений в легкоусваиваемые вещества (Ванин, 1955; Ванинская, 1965; Крейцберг и др., 1976). Основные источники питания при разложении древесины макро- и микромицетами – целлюлоза и лигнин, т.е. полимеры, определяющие механические свойства материала и его несущую способность.

Для понимания процесса биодеструкции макро- и микромицетами и того, как изменяется содержание в древесине основных биополимеров, определяющих ее механические свойства, нами оценены с помощью химических методов показатели влажности и общей зольности древесины, количества целлюлозы и лигнина. Динамика выбранных показателей оценивалась как на поверхности, так и в толще деструктурированных и контрольных элементов различных конструкций обследованных исторических зданий (Рисунки 10, 11).

Контрольные образцы, взятые на поверхности элемента конструкции и из глубоко лежащих слоев, были практически сходны по своим показателям, что указало на возможность использования единого контроля (Рисунки 10, 11).

Выявили градиент показателей содержания компонентов, определяющих механические свойства древесины, от поверхности на глубину 15–20 см (в середину элементов конструкций) или на возможно максимальную глубину (для мелкоразмерных элементов) (Рисунки 10, 11). В каждом из обследованных памятников культуры по мере биодеструкции исторической древесины конструкций наблюдали снижение содержания целлюлозы и лигнина, уменьшение зольности и увеличение влажности, как на поверхности, так и в глубине пораженного субстрата (Рисунки 10, 11). В здании Императорского театра выявили большее снижение содержания целлюлозы на поверхности древесины пораженных конструкций по сравнению с равномерным снижением данного показателя в зданиях гостиницы и диспансера (Рисунки 10, 11).

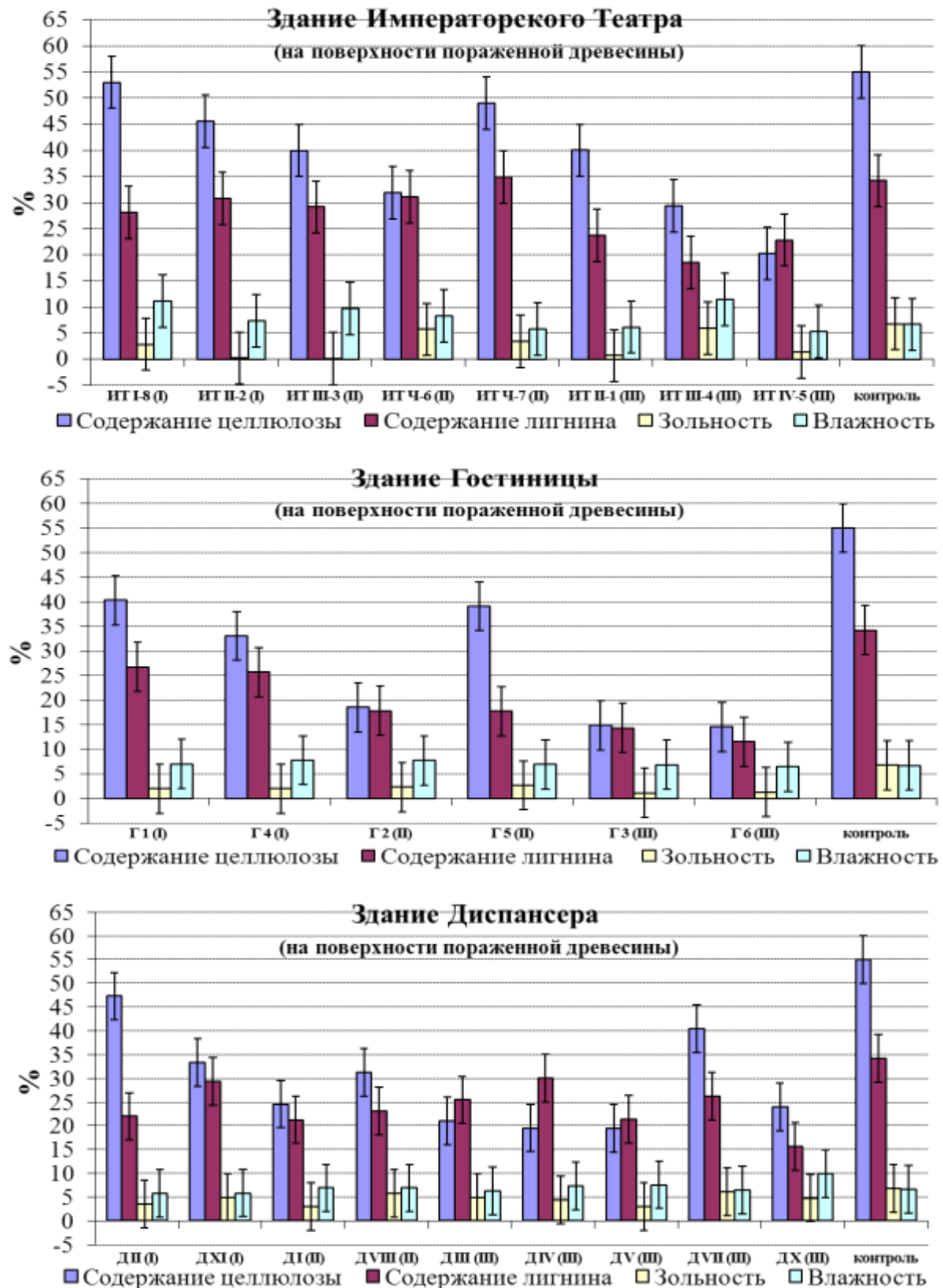
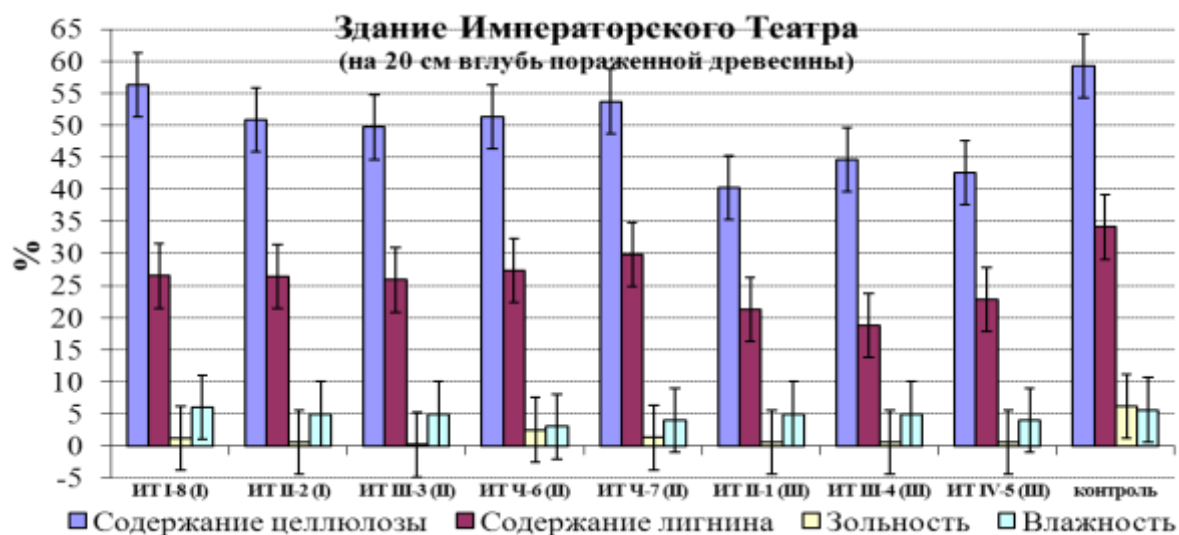
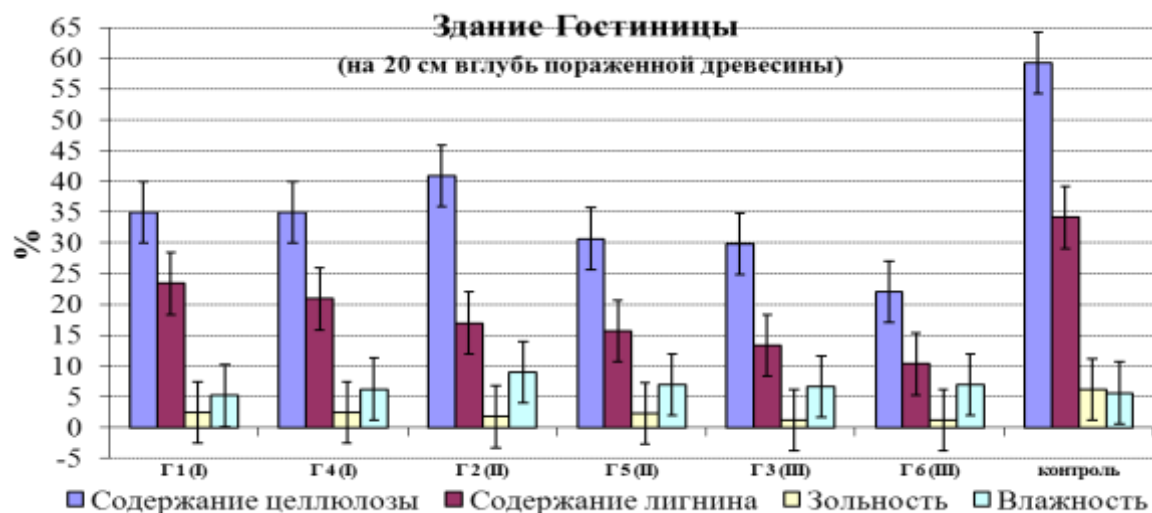


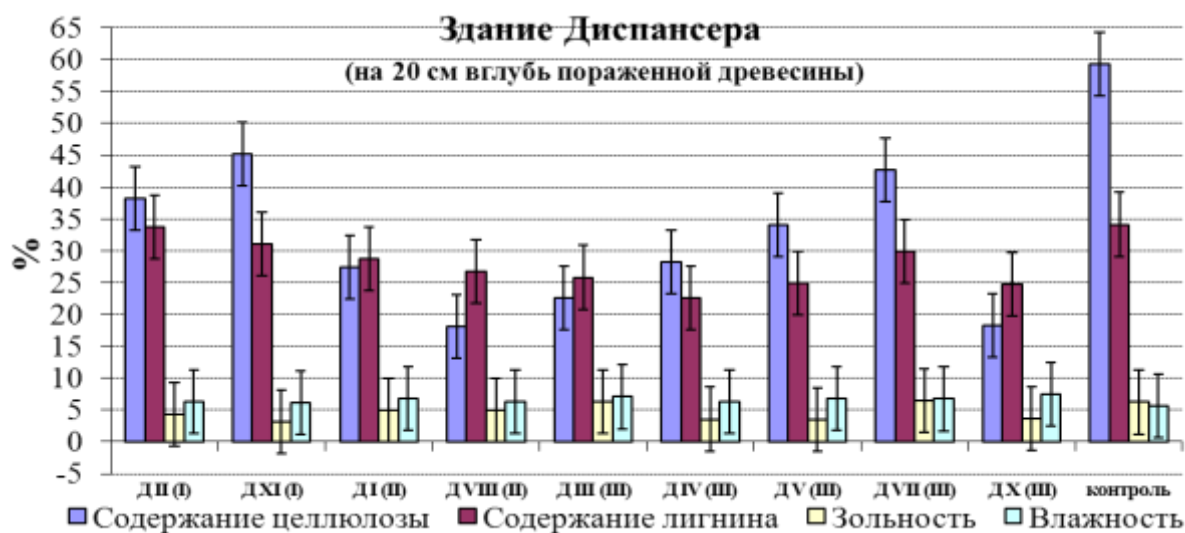
Рисунок 10. Степень биodeградации поверхностных слоев пораженной древесины в образцах различных элементов конструкций: а – здания Императорского театра (ИТ); б – здания гостиницы (Г); в – здания Наркологического диспансера (Д).



а



б



в

Рисунок 11. Степень биodeградации глубоких слоев пораженной древесины в образцах различных элементов конструкций: а – здания Императорского театра (ИТ); б – здания гостиницы (Г); в – здания Наркологического диспансера (Д).

При поражении и биодеструкции исторической древесины в здании театра наибольшее снижение содержания целлюлозы и повышение влажности субстрата наблюдали на поверхности пораженных конструкций. Наибольшее снижение содержания лигнина и общей зольности выявили в толще пораженной древесины конструкций. Общее снижение содержания целлюлозы и лигнина в процессе биодеструкции древесины в здании Императорского театра достигло 1.4 и 1.3 раза, соответственно, а зольность упала в 6.8 раза, что вполне соответствовало разрушению основных полимеров древесины грибами бурой деструктивной гнили (Дьяков и др., 2001; Змитрович и др., 2007). Подобную же картину наблюдали и в 2-х других обследованных зданиях, но с менее значительной разницей в показателях для поверхностных и глубоких слоев пораженной древесины. Так общее снижение содержания целлюлозы и лигнина в процессе биодеструкции древесины в зданиях гостиницы и диспансера достигло 2.1 и 2.0 раза, 1.9 и 1.4 раза соответственно, а зольность упала в 3.6 и 1.5 раза (Рисунки 10, 11).

При биодеградации древесины элементов конструкций с участием макромицетов-биодеструкторов и формируемых ими комплексов микромицетов происходили значительные изменения в состоянии древесины, обусловленные изменением содержания основных ее биополимеров, определяющих механические свойства. Эти изменения приводили к сукцессии комплексов микромицетов, описанной в предыдущей главе. Выявляющие ход сукцессии показатели представлены на Рисунках 10, 11.

Процесс колонизации макромицетами деревянных конструкций здания Императорского театра начался в четвертого этажа (IV-5), далее перешел к третьему (III-4) и далее ко второму (II-1) этажам. Соответственно, содержание целлюлозы в древесине элементов было наиболее низким в образце IV-5 и наименее низким – в образце II-1. Содержание лигнина было в пределах контроля – наблюдался деструктивный тип гниения, обусловленный макромицетом бурой гнили древесины, относящимся к слабым разрушителям (Бондарцев, 1956). Колонизация древесины макромицетами бурой гнили в образцах 3 и 6 здания гостиницы находилась приблизительно в одной стадии. Образец 3 был отобран из

балки чердачного перекрытия, образец 6 – из наклонной стропильной ноги (большого по объему древесины элемента стропильных конструкций). В связи с наличием угла наклона благоприятные условия для развития макромицета создавались в нижней части элемента, поэтому поражение охватило не весь элемент. Влажность участка наклонной стропильной ноги (образец 6) была чуть выше, чем балки (образец 3), что повлияло на интенсивность биодеструкции (Рисунки 10, 11). Биодеструкция конструктивных элементов диспансера происходила в различных температурно-влажностных условиях и начиналась не одновременно. Однако в связи с тем, что здание не отапливалось, а кровля в последнее десятилетие сильно протекала, практически все элементы были поражены биодеструкторами в значительной степени. При поражении макромицетами за несколько лет произошло разрушение большей части структурных компонентов древесины, поэтому показатели их содержания в материале снижены во всех образцах: в 1.5–2.8 раза целлюлоза и в 1.1–1.5 раза лигнин. Лишь в образце VII (Рисунки 10, 11) показатели содержания основных биополимеров древесины снижены только в 1.2–1.5 раза (целлюлоза в глубине и на поверхности) и в 1.1–1.3 раза (лигнин в глубине и на поверхности). Показатели содержания лигнина и целлюлозы, в основном, как и в других зданиях, сильнее снижены в поверхностных слоях, чем в глубоких, т.к. биодеструкция начиналась с поверхностных слоев при колонизации материала микромицетами. Содержание целлюлозы снижено в большей степени, чем содержание лигнина, т.к. на элементах выявлены, в основном, грибы бурой гнили. Зольность образцов в 3.0–9.0 раз ниже, чем контрольного образца, и на поверхности, и в толще элемента. Влажность образцов в пределах или чуть выше контрольной (Рисунки 10, 11).

Образцы исторической древесины I-й степени биодеструкции во всех обследованных памятниках культуры характеризовались наибольшими в 1.2 раза увеличением влажности и снижением в 2.6 раза зольности субстрата (Рисунок 12). Снижение количества целлюлозы и лигнина в среднем в 1.3 раза отмечали для всех образцов I-й степени биодеструкции во всех обследованных зданиях, как на поверхности, так и в глубине конструкций вне зависимости от таксономической

принадлежности биоконвертантов, что связано со способностью последних усваивать лигнин (Билай, 1977; Дзедзюля, 2001; Змитрович и др., 2007). Первичная колонизация древесины макромицетами бурой гнили (образец XI I-й степени биодеструкции в здании диспансера) также приводила к значительной биодegradации целлюлозы и лигнина в поверхностных слоях конструкций (в 1.6 и 1.2 раза, соответственно). Начало проникновения в глубокие слои древесины конструкций возбудителями бурой гнили сопровождалось снижением содержания целлюлозы и лигнина уже на I-й стадии биодеструкции в 1.3 и 1.1 раза, соответственно (Рисунок 12). Увеличения влажности глубоких слоев древесины на I-й стадии биодеструкции практически не выявлено (Рисунок 12).

Для II-й и III-й степеней биодеструкции исторической древесины характерны снижение зольности более чем 2.3 раза, как на поверхности, так и в глубине пораженных конструкций, а также близкие к контрольным значения влажности конструкций, т.е. биодеструкция протекала с сохранением биоконвертантами метаболической влаги в деформируемом субстрате (Рисунок 12). Наибольшее снижение в 3.0 раза содержания целлюлозы наблюдали при II-й степени биодеструкции древесины микромицетами в здании гостиницы (образец 2) и комплексом микромицетов с макромицетами бурой гнили в здании диспансера (образцы I, VIII), 2.2, 3.3 раза, соответственно, при развитии грибов, как на поверхности, так и в глубоких слоях образцов (Рисунок 12). Наибольшее снижение в 2.1 раза содержания лигнина наблюдали при II-й степени биодеструкции древесины микромицетами в здании гостиницы (образец 5), что связано со способностью выявленных микромицетов усваивать лигнин при колонизации древесины (Билай, 1977; Бабицкая, Щерба, 1994; Дзедзюля, 2001; Дьяков и др., 2001; Змитрович и др., 2007). Значительное снижение содержания лигнина наблюдали при II-й степени биодеструкции древесины макромицетами бурой гнили в здании диспансера (образцы I, VIII), 1.6, 1.5 раза, соответственно, при развитии грибов, как на поверхности, так и в глубоких слоях образцов (Рисунок 12).

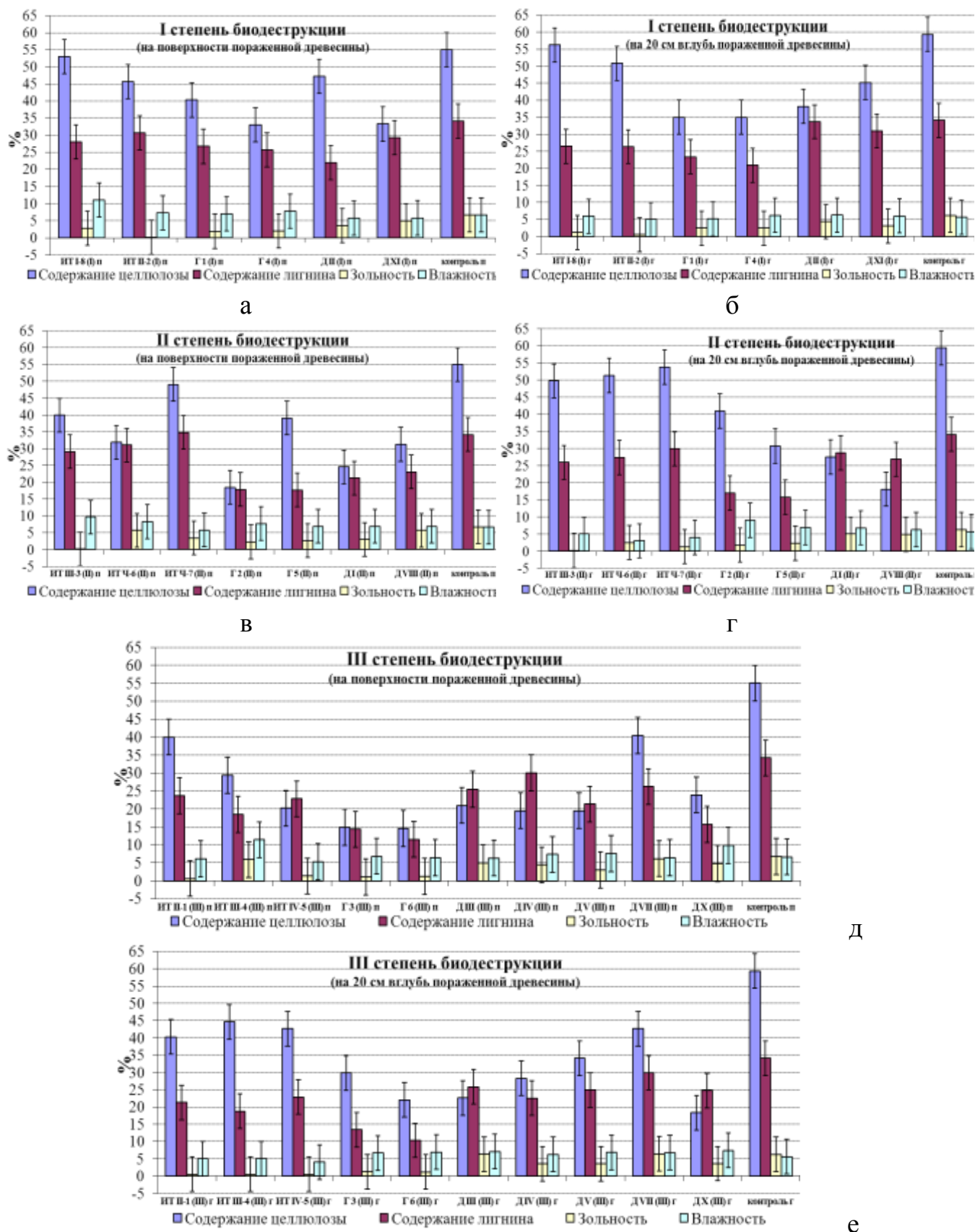


Рисунок 12. Степень биодеградации поверхностных (а, в, д) и глубоких (б, г, е) слоев древесины в образцах различных пораженных элементов конструкций зданий Императорского театра (ИТ); гостиницы (Г) и Наркологического диспансера (Д): а, б – I-й; в, г – II-й; д, е – III-й степеней биодеструкции.

Наиболее сильные изменения количества структурных компонентов древесины, как правило, затрагивали поверхностный слой древесины, где и развивались микро- и макромицеты-биодеструкторы.

Итак, в образцах различных зданий II-й степени биодеструкции выявлено снижение, как зольности в 1.1–10.0 раз, так и содержания целлюлозы в 1.1–3.1 раза и лигнина в 1.1–1.7 раза в поверхностных и глубоких слоях элементов конструкций, соответственно, на фоне стойкого повышения влажности последних от поверхности в 1.2–1.5 раза вглубь элемента в 1.1–2.0 раза (Рисунок 12).

Для образцов древесины с III-й степенью биодеструкции было характерно стабильное в 1.2 раза увеличение влажности, значительное в 2.3 раза уменьшение зольности, как на поверхности, так и в глубоких слоях пораженных конструкций. Наблюдали наибольшее разрушение целлюлозы, особенно в поверхностных слоях пораженной древесины (1.4–3.8 раза на поверхности, 1.4–3.2 раза в глубоких слоях). Содержание лигнина в образцах III-й степени биодеструкции было самым низким, как на поверхности, так и в глубине древесины (снижение содержания в 1.6 раза). Характерная черта III-й степени биодеструкции основных полимеров исторической древесины макромицетами (образец III здания диспансера) – активное разрушение целлюлозы и лигнина практически одинаковое на поверхности и в глубоких слоях образцов (Рисунок 12).

Во всех образцах исторической древесины всех обследованных объектов культурного наследия III-я степень биодеструкции обусловлена, прежде всего, жизнедеятельностью ксилотрофных макромицетов-эдификаторов, а также комплексом сопутствующих микромицетов, использующих как собственно биополимеры, так и их дериваты в виде олиго- и мономеров. Поэтому во всех образцах III-й степени биодеструкции выявили наименьшее содержание целлюлозы и лигнина (Рисунки 10–12).

Итак, в образцах элементов конструкций с III-й степенью биоповреждения выявлено максимальное для каждого из зданий – объектов 3-х летних исследований – снижение содержания целлюлозы в 1.4–3.8, 1.3–2.8 раза, лигнина в 1.1–2.4, 1.1–2.5 раза и зольности древесины в 1.2–7.0, 1.1–9.0 раз, как на

поверхности, так и в глубоких слоях деструктурированных элементов, соответственно, по сравнению с контрольными образцами древесины, не подвергшейся биодеструкции. Влажность образцов сильно деструктурированных элементов также достигала максимальных значений, в 1.2–2.1 раза превышая контрольные (Рисунки 10–12).

Наименьшее содержание лигнина выявлено в образцах глубоко деструктурированной древесины (II-1, III-4, IV-5 – в здании Императорского театра; 3, 6 – в здании гостиницы; I, V, X – в здании диспансера) (Рисунки 10–12).

Содержание целлюлозы во всех пораженных образцах отличалось от контроля в 1.2–3.7 раза в сторону уменьшения ее содержания при поражении. Наиболее глубокая биодеструкция макромицетами характеризовалась снижением содержания целлюлозы в 1.5–3.8 раза; при поверхностном поражении элементов конструкций происходило менее значительное снижение содержания целлюлозы, вызванное жизнедеятельностью микромицетов (Рисунки 10–12).

Зольность как показатель общего содержания органики субстрата (Комаров, 1934; Оболенская, 1955) при биодеструкции древесины практически во всех случаях была значительно ниже контрольных значений (в зданиях гостиницы в 2.1–4 раза, театра в 2.2–10.5 раз, диспансера в 1.1–2.3 раза). Снижение этого показателя свидетельствовало о глубокой биодеструкции элементов конструкций, минерализации основных компонентов древесины и потере части углерода в виде CO_2 в атмосферу. Поэтому, чем ниже зольность исследованного образца, тем большей деградации подверглись его компоненты (Ивановский, 1968).

Влажность пораженной с поверхности древесины практически во всех случаях была выше контрольных значений (Рисунки 10–12), что также служило показателем возникновения биопоражений древесины и развития сначала поверхностной биодеструкции. Чем выше этот показатель, тем активнее происходила колонизация субстрата, его деградация и обводнение (Бондарцев, 1956; Физдель, 1970; Nilsson, 1974; Desai, Patel, 1982; Бабицкая, Щерба, 1994; Марьиновская, Севастьянова, 2006; Andronov et al., 2007; Schmidt, 2007; Арефьев, 2010).

Содержание лигнина в глубоких слоях при высоких баллах поражения в 1.3–2.5 раза отличалось от контроля (Рисунок 12). Образцы с поражением макромицетами (балл III) отличались пониженным содержанием лигнина в глубоких слоях древесины, что свидетельствовало о биодegradации практически всей толщи элемента. Кроме того, возможно колебание содержания в рамках процентных соотношений макромолекулярных соединений в составе древесины сосны (Комаров, 1934, Дерево..., 1948, Ванин, 1955).

Биодegradация во всех случаях сопровождалась увеличением влажности, снижением зольности древесины и содержания целлюлозы. По этим показателям можно судить о начале биодеструкции элементов конструкций и о I-й степени биодegradации материала, причем вышеуказанные тенденции выявлены как для поверхностных, так и для глубоких слоев древесины, подвергающейся воздействию ее колонизаторов. По мере развития микогенной деструкции уменьшалось содержание целлюлозы в 1.5–3.7 раза, лигнина в 1.1–2.4 раза, золы в 1.2–9.0 раз, при этом влажность увеличивалась в 1.1–2.1 раза (Рисунки 10–12).

В среднем, влажность пораженной древесины при разных степенях интенсивности биодеструкции увеличивалась в 1.2 раза. Зольность деструктурируемой древесины уменьшалась при первой степени интенсивности биодеструкции в 2.5 раза, на второй стадии – в среднем, в 1.9 раз, на третьей – в 2.7 раза. Количество целлюлозы снизилось при первой степени интенсивности биодеструкции в 1.3 раза, далее показатель снижался в 1.7–2.1 раза при III-й степени. Количество лигнина при I-й степени интенсивности биодеструкции снижалось в 1.1 раз, при II-й степени снизилось в 1.3 раза, при III-й степени происходило снижение данного показателя в 1.6 раз.

Таким образом, выявлены сходные тенденции изменения содержания основных биополимеров древесины при близких уровнях биодеструкции элементов деревянных конструкций обследованных зданий. Весь процесс биодegradации древесины элементов конструкций сопровождался стойким повышением влажности последней. Биологический смысл данного явления в том, что, во-первых, для колонизации древесины грибами необходимо повышение

влажности последней, а во-вторых, грибы, колонизируя древесину конструкций при благоприятных условиях, повышают влажность подвергшихся их метаболизму слоев субстрата. Деструктурируя древесину с поверхности, грибы удерживают влажность в зонах своего произрастания на оптимальном для их жизнедеятельности уровне, тем самым создавая благоприятные условия для дальнейшего проникновения вглубь элементов конструкций и продолжения биодеструкции субстрата.

Что особенно важно, с практической точки зрения, показатели содержания целлюлозы и лигнина в древесине, а также показатели влажности и зольности можно использовать для оценки степени биодegradации древесины.

5.2. Изменение количества и качества экстрактивных веществ древесины в процессе биодеструкции

Состав интактной древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) широко исследован, подробно описан в различных источниках и представлен: целлюлозой в количестве 35–52 % от массы абсолютно сухой древесины, лигнином – 25–30 %, гемицеллюлозами – 22–30 % (в том числе пентозанами в количестве 5–11 % и гексозанами – 9–13 %), входящими в состав клеточных оболочек. Кроме основных органических веществ в полостях клеток древесины сосны содержится сравнительно небольшое количество экстрактивных веществ (таннинов, смол, камедей, пектинов, жиров, эфирных масел, алкалоидов и др.), растворимых в воде, спиртах или эфирах. Целлюлоза в клеточной оболочке находится в прочном химическом соединении с лигнином. (Оболенская и др., 1967; Казарцев, 2010; Серков и др., 2011). Выделение лигнина и целлюлозы из подобного рода лигноцеллюлозного субстрата, которым является интактная древесина, без изменения их физических и химических свойств практически невозможно (Решетникова, 1997). Хотя в некоторых научных источниках имеются данные о расщеплении лигнина до молекулярной массы в 5000 Da при экстрагировании полярными органическими растворителями и переходе этих комплексов олигомеров с углеводами в растворитель без образования производных (Košíková et al., 1969; Сажин, 2004). Вышеприведенные данные

позволяют использовать УФ-спектры проб интактной исторической древесины в качестве эталона-Finger print в области максимума поглощения лигнина 280 нм и анализировать пробы различных степеней биодеструкции в УФ-области (Майер и др., 2001; Анисимова, 2009; Буров и др., 2009; Овчинников и др., 2014).

Поскольку лигнолитическая система грибов не субстрат-специфична и не индуцируется лигнином, биodeградация последнего – ферментативный окислительный процесс, протекающий по ион-молекулярному механизму, приводящий к деметилированию, расщеплению сложноэфирных связей, С–С-связей, ароматических колец и окислению боковых цепей (Kirk, 1981; Решетникова, 1997; Попова и др., 2011).

Все вышеперечисленные реакции относятся к вторичному метаболизму грибов и приводят к постепенной биодеструкции лигнина до спиртовых и фенольных структур, альдегидных и кислотных фрагментов, деметилированных и гидроксильных ароматических дериватов, а также алифатических карбоновых кислот при расщеплении ароматических колец, причем на часть олигомеров грибы практически не влияют, тогда как мономер – конифериловый спирт – подвергается наиболее глубоким превращениям (Холькин, 1976; Решетникова, 1997).

Таким образом, в процессе биодеструкции исторической древесины происходит накопление биоконверсионных экстрактивных веществ: высоко- и низкомолекулярных дериватов лигнина, целлюлозы, хитина из клеточной стенки микодеструкторов, а также поли- и олигопептидов, БАВ и др. Причем повышение степени биодеструкции полисахаридных компонентов древесины приводит к повышению относительного содержания высокомолекулярных фракций (Холькин, 1976; Решетникова, 1997; Феофилова, 2010) (Рисунки 13–15).

Анализ хроматограмм выхода экстрактивных веществ при исследовании контрольных образцов интактной исторической древесины, отобранных на поверхности и в толще конструктивных элементов зданий выявил очень большое сходство их профилей (Рисунки 13–15 а, б).

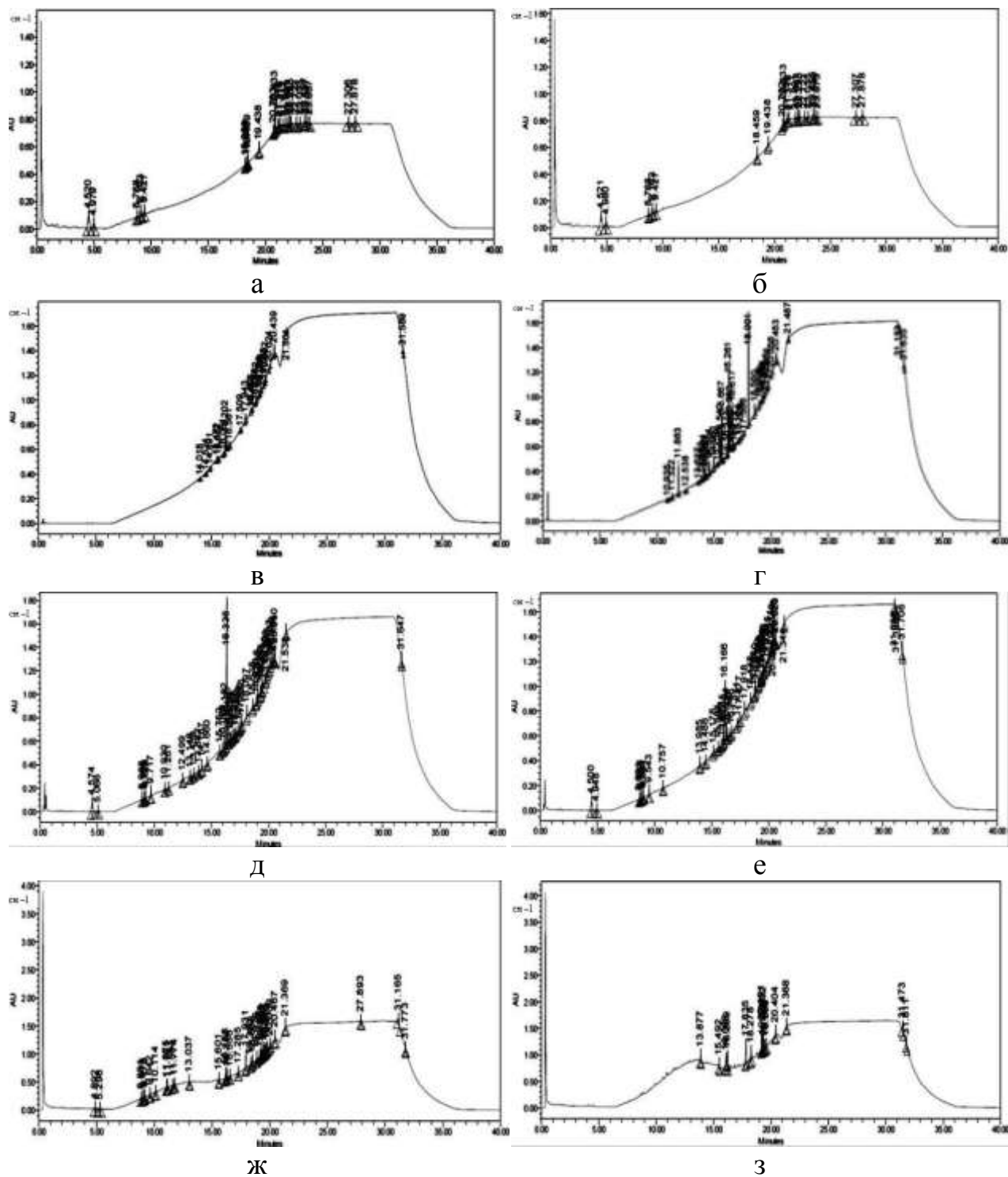


Рисунок 13. Динамика выхода экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из поверхностных (а, в, д, ж) и глубоких (б, г, е, з) слоев древесины в образцах пораженных элементов конструкций здания гостиницы (Г): а, б – контроль-эталон; в, г – I-й; д, е – II-й степени биодеструкции с доминированием микромицетов; ж, з – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Antrodia xantha*.

Полученные данные позволили использовать пробы контроля в качестве эталона в системе Finger printing для сравнения образцов древесины различной

степени биодеструкции разными комплексами микобиоты, тем более что все образцы, отобраны из элементов конструкций, выполненных из древесины одной породы – сосны обыкновенной.

Хроматограммы выхода экстрактивных веществ из проб образцов, взятых на поверхности и из глубоких слоев пораженной древесины I-й и II-й степеней биодеструкции с доминированием микромицетов очень похожи, что свидетельствует об однонаправленности процессов биодеградации компонентов древесины, происходящей под влиянием представителей микобиоты со сходным метаболизмом (Лилли и др., 1953; Беккер, 1988; Казарцев, 2010).

Вместе с тем, данные, представленные в вышеупомянутых хроматограммах, значительно отличаются от таковых, выявленных в контроле-эталоне (Рисунок 13 в, г, д, е). В экстрактах присутствовали в значительных количествах высокомолекулярные олигомеры, разнообразие и количество которых возрастали по мере разрушения компонентов древесины (Рисунок 13 в, г, д, е). Кроме того, появились, отсутствующие в контрольных образцах, низкомолекулярные продукты биодеструкции, накопление которых фиксировали и при III-й степени биодеструкции комплексом микромицетов с доминированием макромицета *A. xantha* (Рисунок 13).

Сходную картину накопления высокомолекулярных дериватов мажорных и минорных компонентов древесины в качестве экстрактивных веществ при биоконверсии последней наблюдали в образцах различных степеней биодеструкции с доминированием макромицетов (Рисунки 14, 15 в–е).

При воздействии на древесину комплекса микодеструкторов с эдификаторной функцией *S. lacrimans* наблюдали значительное накопление экстрактивных веществ в поверхностных слоях древесины конструкций при начале биодеградации и их утилизацию по мере микодеструкции комплексом колонизаторов (Решетникова, 1997; Беломесяцева, 2004) (Рисунок 14 в, г, д, е).

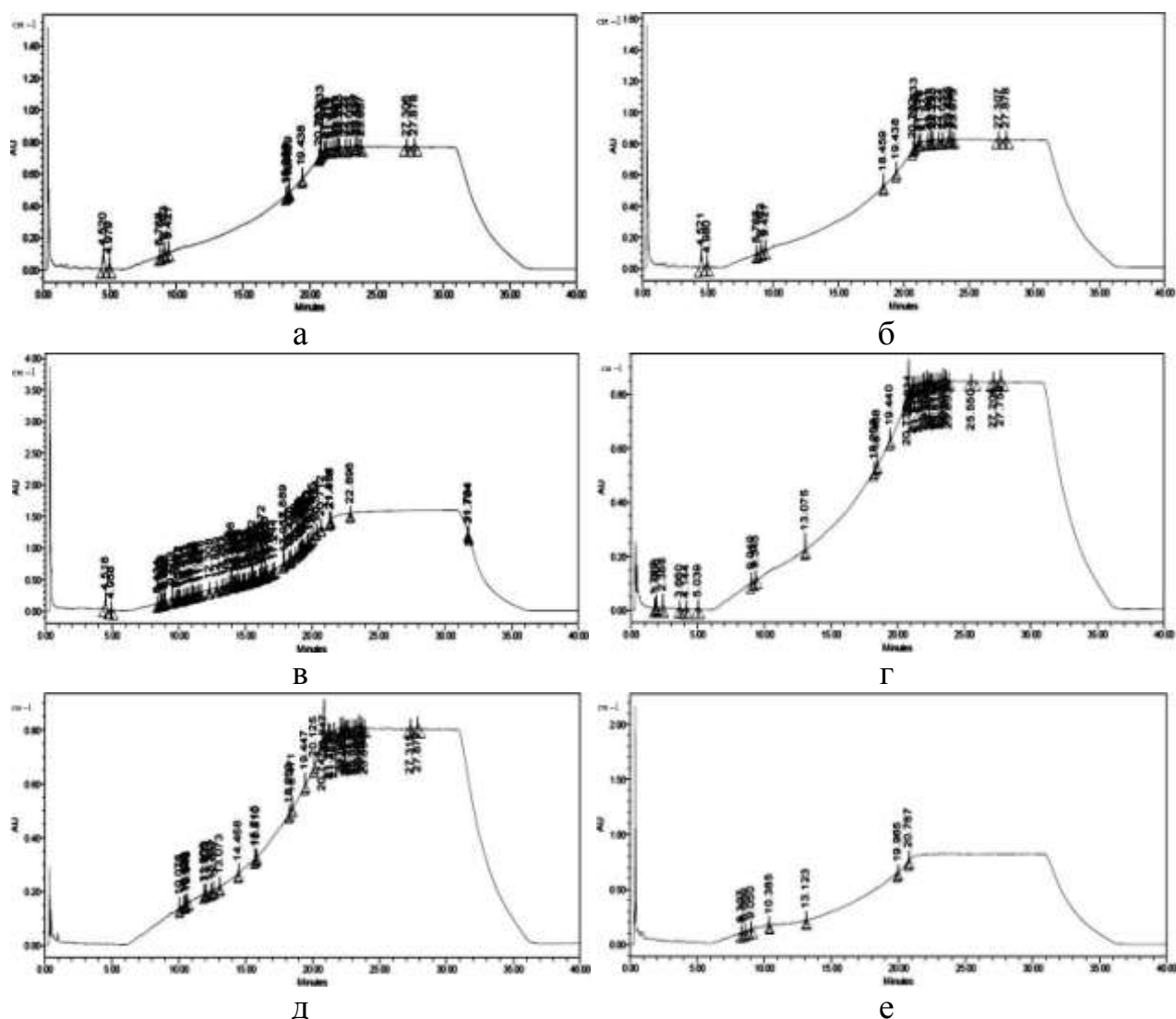


Рисунок 14. Динамика выхода экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из поверхностных (а, в, д) и глубоких (б, г, е) слоев древесины в образцах пораженных элементов конструкций здания диспансера (Д): а, б – контроль-эталон; в, г – I-й; д, е – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans*.

Значительное накопление продуктов разложения исторической древесины при воздействии макромицетов наблюдали при развитии на деревянных конструкциях комплексов микобиоты с доминированием *Coriolellus serialis* и *Coniophora cerebella* (Рисунок 15 в, г, д, е).

Следует отметить уменьшение разнообразия и количества экстрактивных веществ по мере биодеструкции исторической древесины комплексами микро- и макромицетов, обусловленное их биоконверсией при сукцессиях последних (Решетникова, 1997; Беломесяцева, 2004; Воронин, 2007) (Рисунки 13 з; 14–15 е).

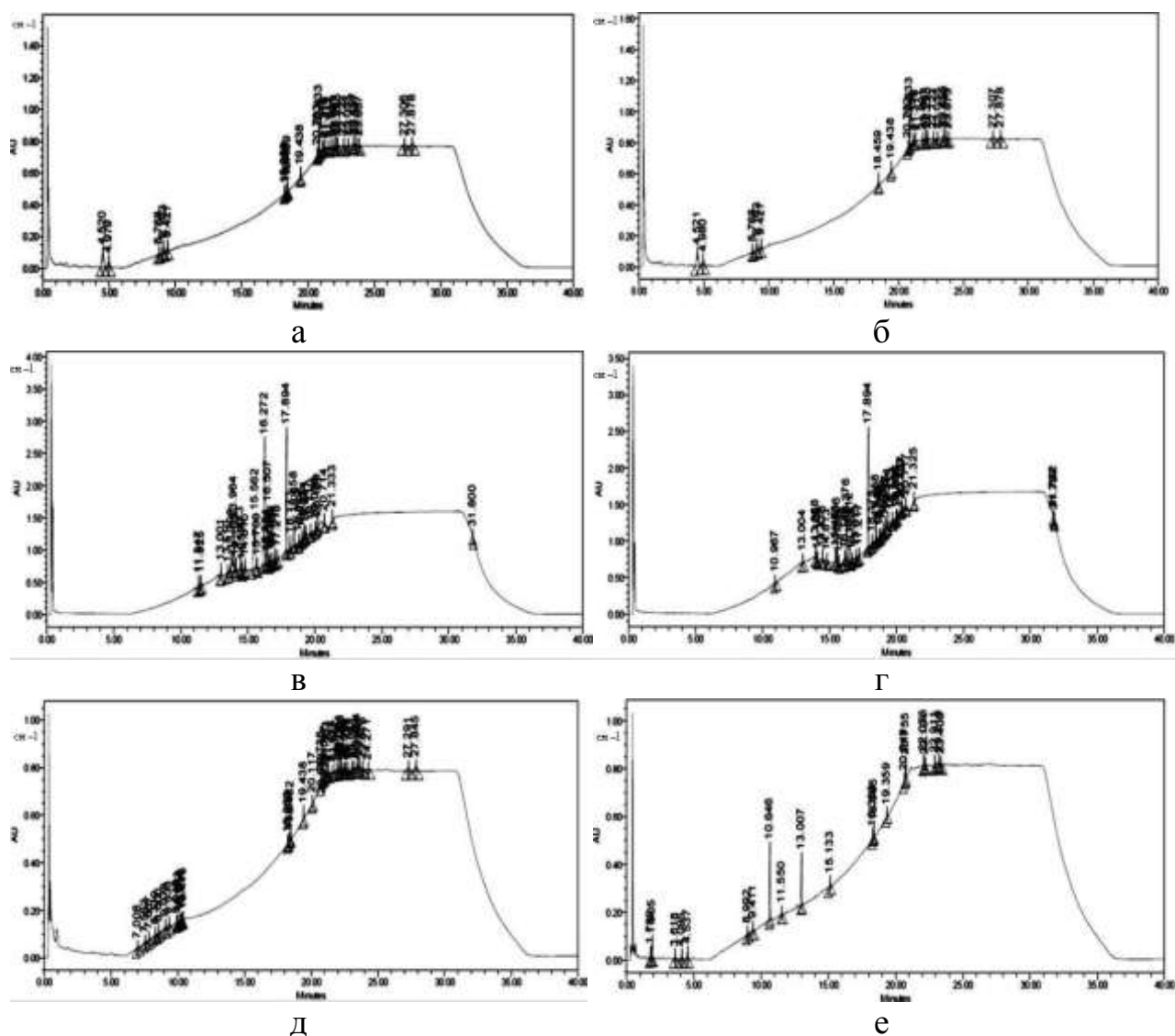


Рисунок 15. Динамика выхода экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из поверхностных (а, в, д) и глубоких (б, г, е) слоев древесины в образцах пораженных элементов конструкций здания диспансера (Д): а, б – контроль-эталон; в, г – II-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Coriolellus serialis*; д – II-й; е – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Coniophora cerebella*.

Для выявления особенностей биодеструкции исследовали УФ-спектры, полученные во время выхода высокомолекулярных компонентов исторической древесины – 0.3–2 мин, перешедших в раствор при обработке проб полярным растворителем (Рисунки 16–18). В процессе анализа УФ-спектров контроля-эталона, полученных при обработке проб в системе фосфорная кислота/метанол, выявили наличие в значительном количестве интактного лигнина (максимум поглощения – 280.7 нм, оптическая плотность 2.8 см^{-1}) и в качестве экстрактивных веществ достаточное количество высокомолекулярных лигнанов

(максимум поглощения – 210–239.2 нм, оптическая плотность 3.1–3.5 см⁻¹)
(Рисунки 16–18 а).

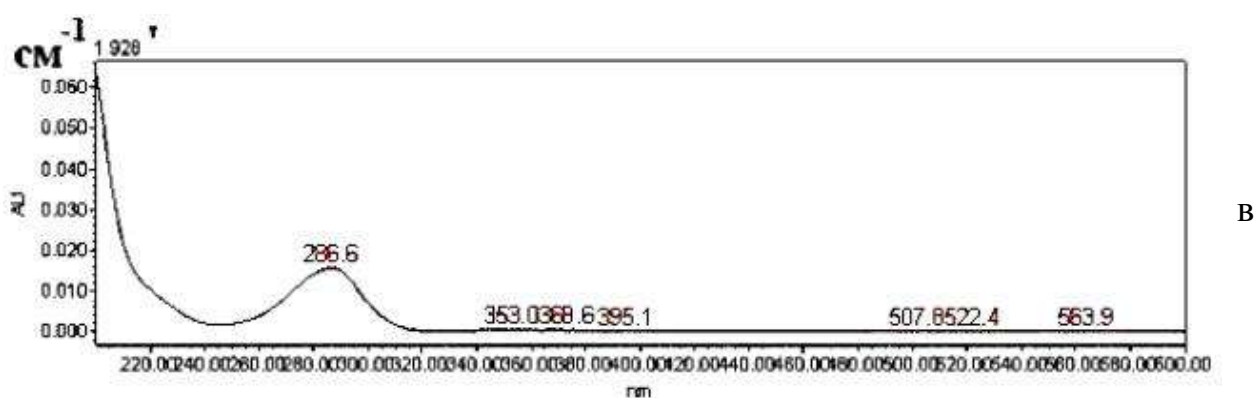
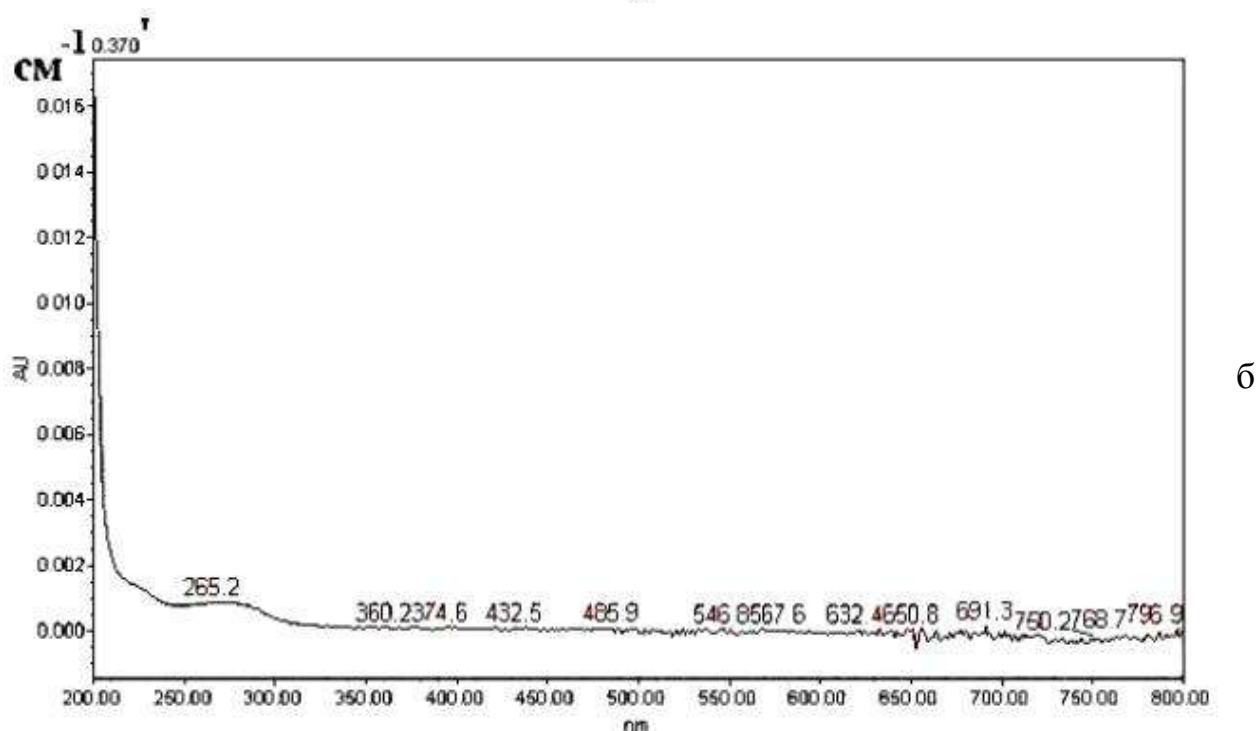
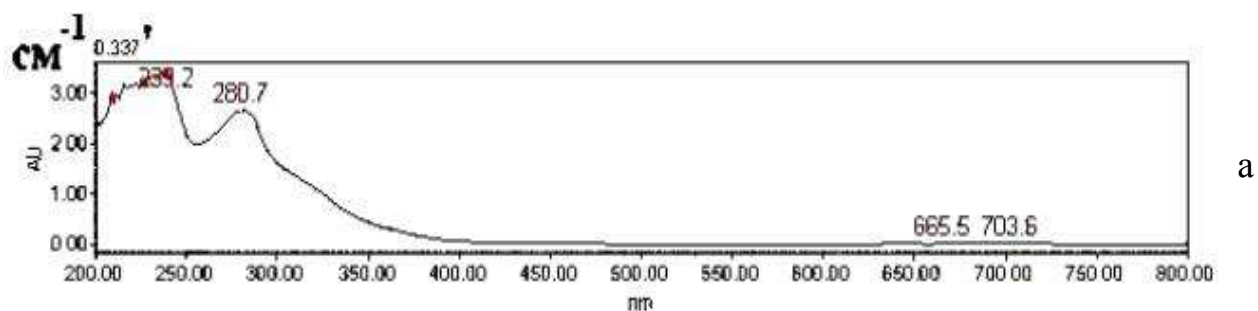


Рисунок 16. УФ-спектры высокомолекулярных экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из образцов исторической древесины контроля-эталона (а); I-й степени биодеструкции с доминированием микромицетов (б), макромицета *Serpula lacrimans* (в).

Начало биодеструкции исторической древесины микромицетами характеризовалось уменьшением количества высокомолекулярных олигомеров лигнина и увеличением на порядок разнообразия экстрактивных веществ различной природы (Рисунок 16 б).

При анализе УФ-спектров, полученных при исследовании проб древесины I-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *S. lacrimans* в системе фосфорная кислота/метанол, в начале процесса выявили наличие в незначительных количествах продуктов разложения лигнина – предельных альдегидов или кетонов (275–290 нм), а также увеличение в 3.5 раза разнообразия экстрактивных веществ (Анисимова, 2009) (Рисунок 16 в).

Усиление биодеструкции исторической древесины (II-я степень с доминированием микро- и макромицетов) сопровождалось появлением высокомолекулярных дериватов лигнина в виде одно- и многоядерных производных бензола (230–265 нм), а также увеличением разнообразия высоко- и низкомолекулярных экстрактивных веществ (Анисимова, 2009) (Рисунки 17, 18).

Наблюдали специфичное воздействие различных комплексов микобиоты с доминированием макромицетов: при биодеструкции с эдификатором *C. serialis* выявили разнообразие как высоко- так и низкомолекулярных экстрактивных веществ; доминирование *C. cerebella* в комплексе микромицетов привело к накоплению разнообразных низкомолекулярных компонентов на фоне отсутствия интактного лигнина в обоих случаях (Рисунки 17 в, г).

При III-й степени биодеструкции макромицетами наблюдали выход, в основном, продуктов распада лигнина (Рисунок 18). При доминировании в микосинузиях *A. xantha* – предельных альдегидов или кетонов (1 максимум поглощения – 278.3 нм) (Рисунок 18 б).

Доминирование в микосинузиях *Fibroporia vaillantii* приводило к деструкции лигнина до непредельных карбоновых кислот или их производных (1 максимум поглощения – 208.5 нм), а также полиенов с 3–6-ю сопряженными двойными связями (1 максимум поглощения – 295.0 нм); *S. lacrimans* –

циклических диенов (1 максимум поглощения – 265.2 нм) (Анисимова, 2009) (Рисунок 18 б–г).

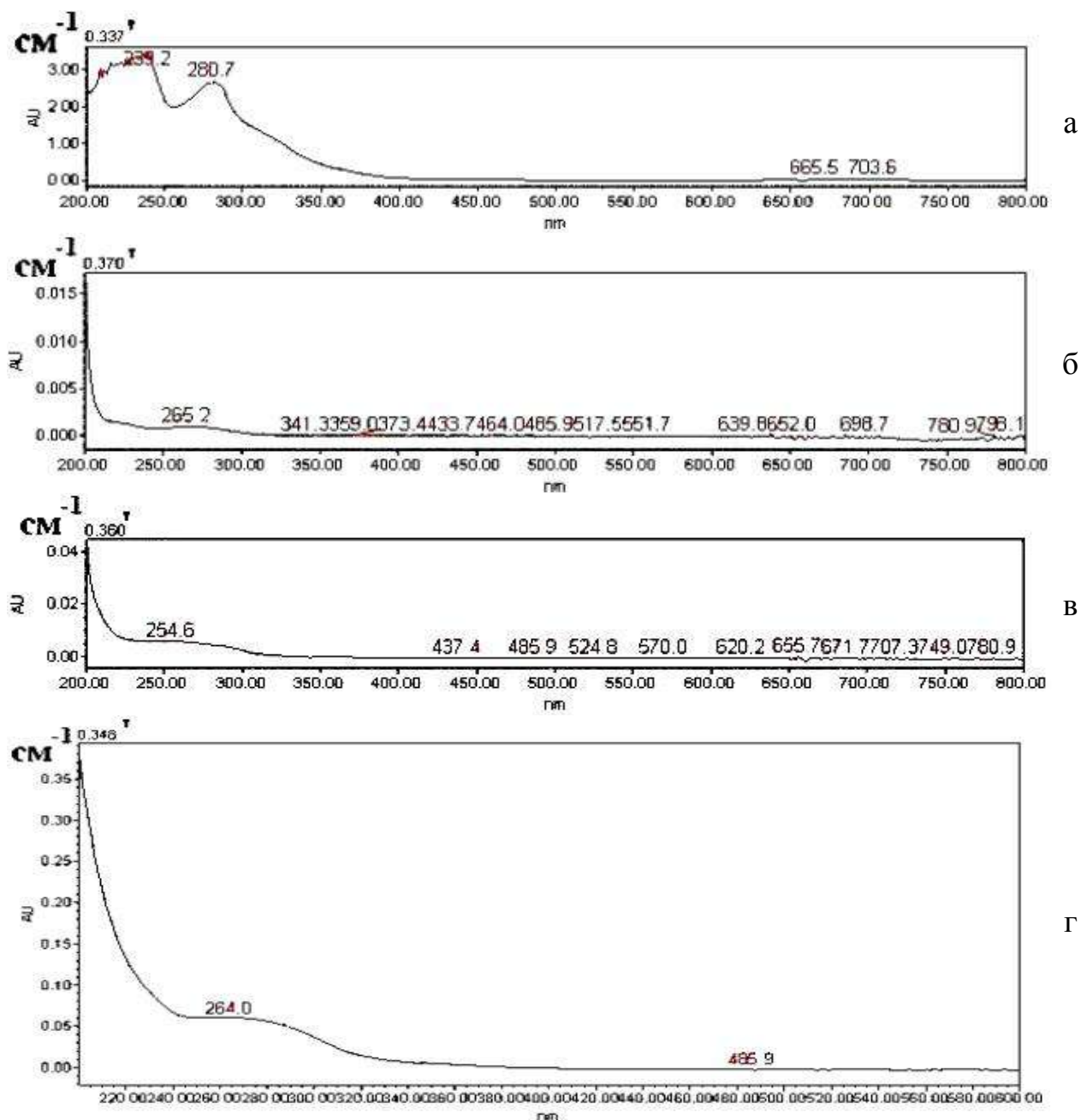


Рисунок 17. УФ-спектры высокомолекулярных экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из образцов исторической древесины контроля-эталона (а); II-й степени биодеструкции с доминированием в микосинузиях микромицетов (б), макромицетов *Corirolellus serialis* (в) и *Coniophora cerebella* (г).

Экстракция другими растворителями для проведения УФ- и масс-спектрометрии проб пораженной исторической древесины различной степени биодеструкции также выявила серьезные различия в количестве и качественных

характеристиках экстрактивных веществ (Рисунки 19, 20). Как следует из представленных данных при биодegradации древесины разными видами микодеструкторов происходит накопление различного рода веществ, в различной степени экстрагируемых растворителями (Рисунки 13–20).

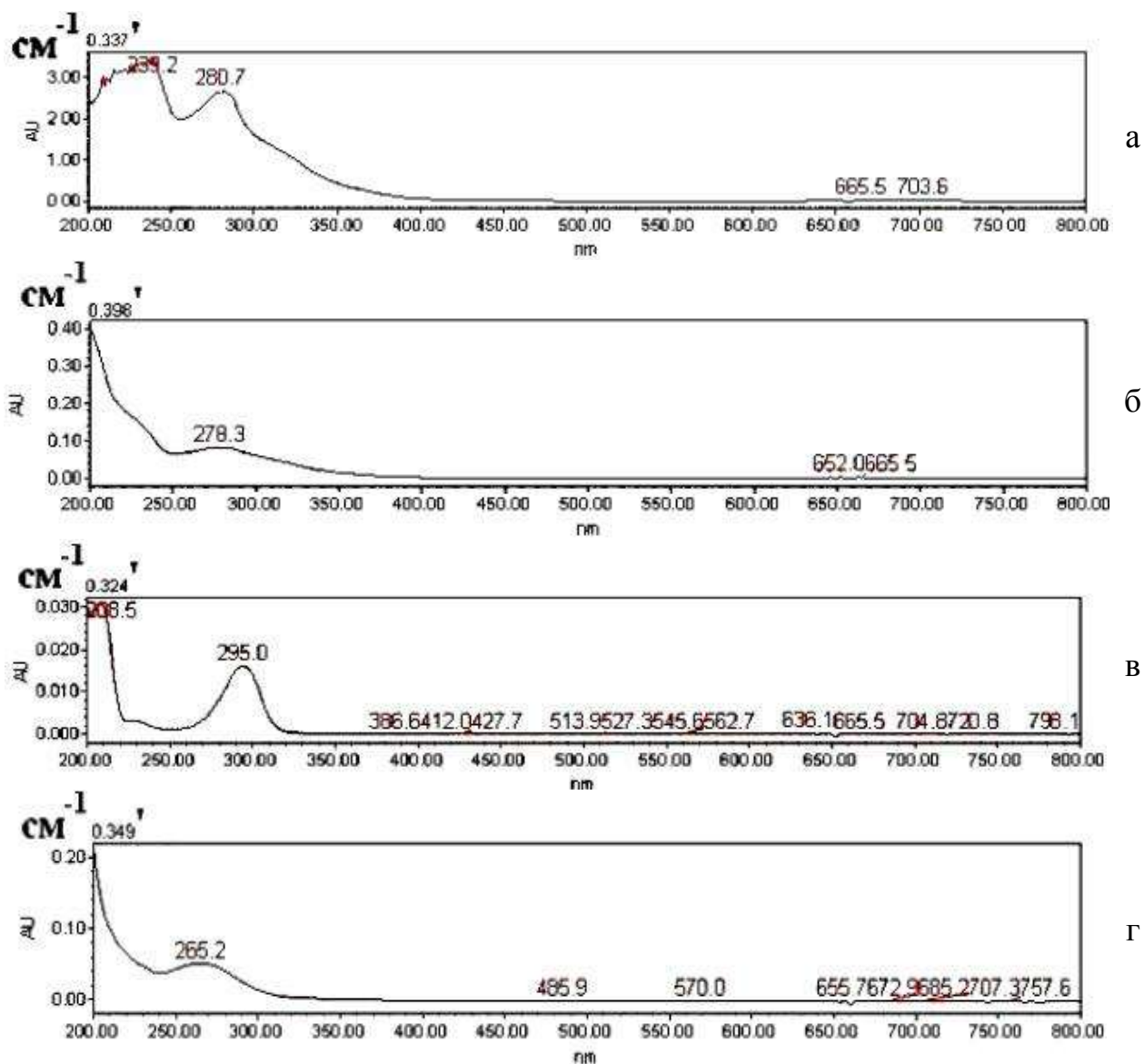


Рисунок 18. УФ-спектры высокомолекулярных экстрактивных веществ в системе фосфорная кислота/метанол из образцов исторической древесины контроля-эталона (а); III-й степени биодеструкции с доминированием в микосинузиях макромицетов *Antrodia xantha* (б), *Fibroporia vaillantii* (в) и *Serpula lacrimans* (г).

Близкое время выхода свидетельствует в большинстве случаев о сходстве химической структуры и состава экстрактивных веществ: практически одинаковые УФ-спектры контроля и образца III-й степени биодеструкции с

доминированием макромицета *S. lacrimans* со временем выхода – 9.2 мин (Рисунок 19 б, з).

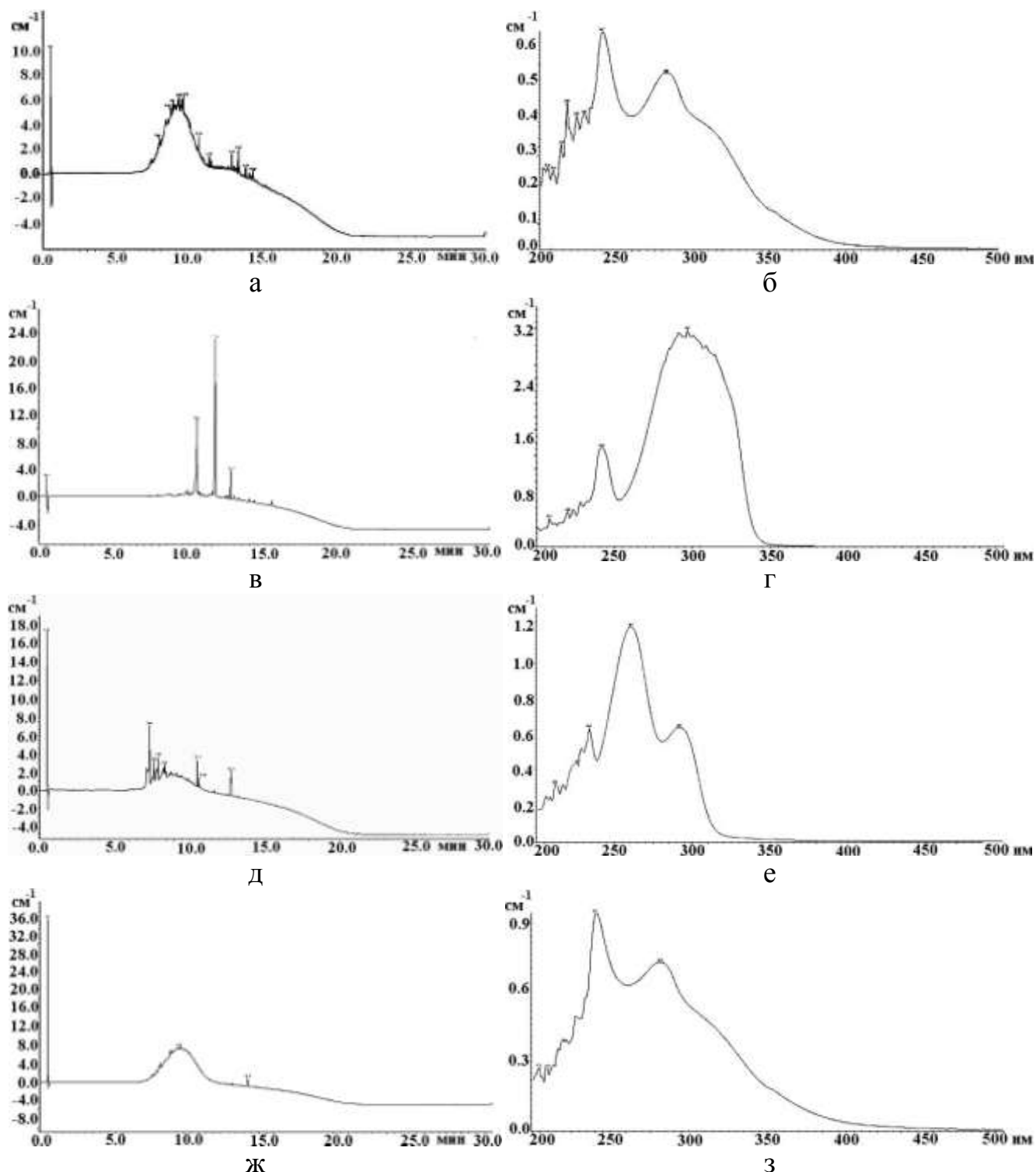


Рисунок 19. Динамика выхода (а, в, д, ж) в системе ацетонитрил/муравьиная кислота из образцов исторической древесины и УФ-спектры (б, г, е, з) экстрактивных веществ с наибольшей оптической плотностью: а, б – контроль-эталон (время выхода – 9.2 мин); в, г – I-й степени (11.7 мин); д, е – II-й степени биодеструкции с доминированием микромицетов (7.4 мин); ж, з – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans* (9.2 мин).

Хотя молекулярные ионы этих веществ, как показано ниже с использованием масс-спектрометрии, сильно отличались в количественном и в качественном отношениях (Рисунки 21, 22).

Динамика выхода экстрактивных веществ и их относительные количественные характеристики, исследованные масс-спектрометрически представлены на Рисунке 20. Динамический спектр контроля-эталона образца интактной исторической древесины сосны обыкновенной, представленный на Рисунке 20 черным цветом, рассматривали как эталонный *finger-print* для сравнения полученных адекватным гармонизированным методом опытных "отпечатков" (*finger-prints*) из проб древесины различной степени биодеструкции, обозначенных красным цветом. При сравнении *finger-print*-спектров выявили отличия в составе и количестве экстрагируемых веществ опытных образцов и контроля-эталона (Рисунок 20).

Обусловленные микромицетами I-я и II-я степени биодеструкции характеризовались накоплением высокомолекулярных олигомеров по сравнению с контролем, причем с большим их разнообразием и количеством при I-й степени биодеструкции (Рисунок 20 а, б). При II-й степени эти показатели были ниже, чем при I-й степени разложения древесины, но появились низкомолекулярные дериваты веществ в более значительных, чем в контроле количествах (Рисунок 20 б).

Несмотря на выявленные отличия, в целом *finger-print*-спектры контрольного и опытных образцов I-й и II-й степеней биодеструкции близки по времени выхода и количествам, а значит и по составам экстрактивных веществ (Холькин, 1976; Стыскин и др., 1986).

Напротив, для III-й степени биодеструкции исторической древесины с доминированием макромицета *S. lacrimans* выявили совершенно специфический *finger-print*-спектр, имеющий сходство с контрольным лишь в динамике выхода небольшого количества экстрактивных веществ (Рисунок 20 в). При III-й степени биодеструкции наблюдали накопление как высоко- так и низкомолекулярных олигомеров и их высокое разнообразие (Рисунок 20 в).

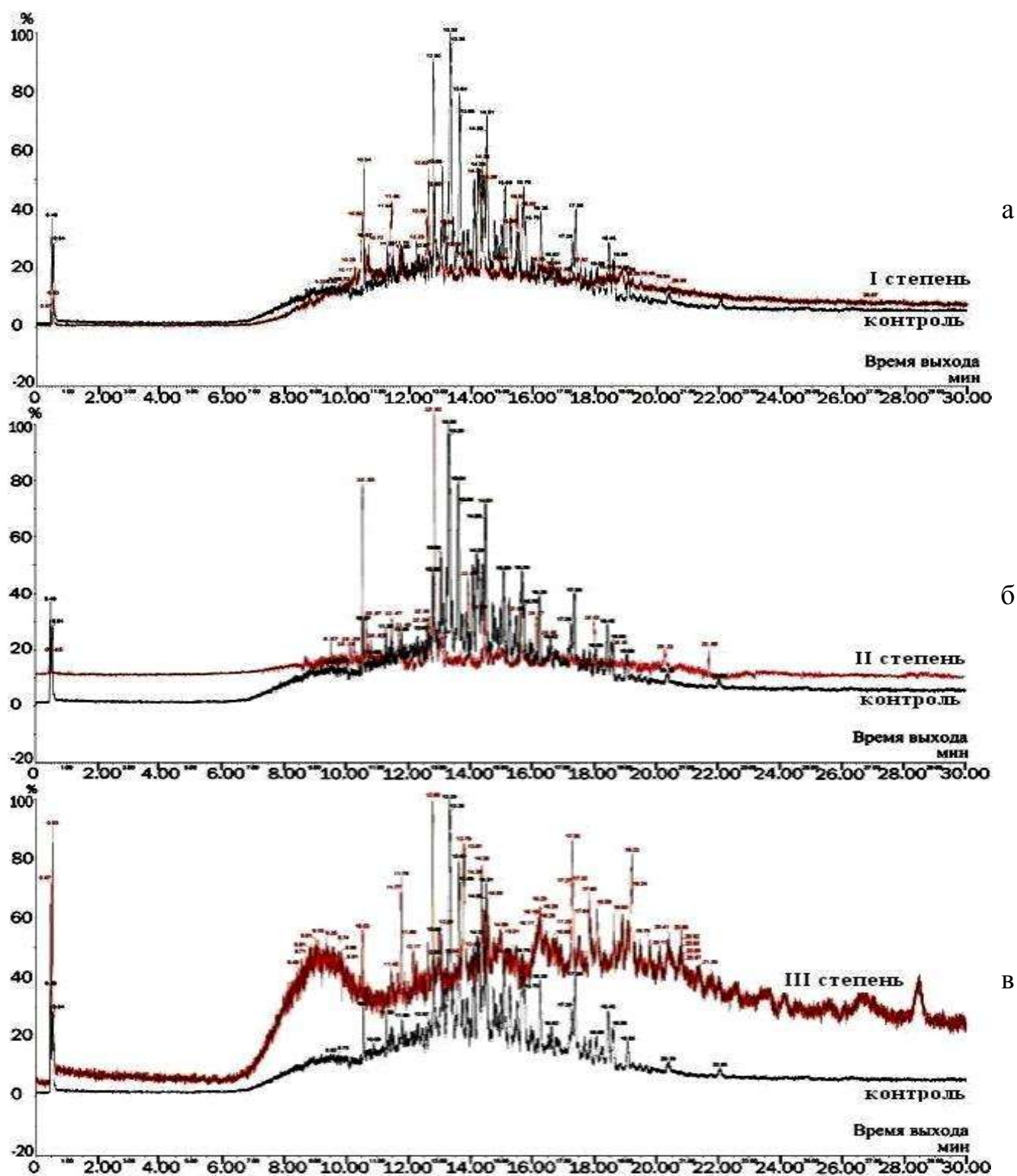


Рисунок 20. Динамика выхода из образцов пораженной исторической древесины экстрактивных веществ и их относительные количества (%) в системе ацетонитрил/муравьиная кислота: а – I-й степени; б – II-й степени биодеструкции с доминированием микромицетов; в – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans* в сравнении с контролем-эталонном.

Сравнение УФ- и масс-спектров экстрактивных веществ с наибольшей оптической плотностью и одинаковым временем выхода ≈ 10.5 мин в системе ацетонитрил/муравьиная кислота выявило значительные изменения их качественного и количественного составов (Рисунок 21).

Так наблюдали значительные отличия в количестве веществ с близкими максимумами поглощения в УФ-области как между контролем и вариантами опыта, так и между образцами различной степени биодеструкции (Рисунок 21 а, в, д, ж). Эта же тенденция выявлена при анализе масс-спектров: различные профили молекулярных ионов в исследуемом диапазоне и их количественные характеристики (Рисунок 21 б, г, е, з; 22).

Сравнивая масс-спектры экстрактивных веществ с одинаковым временем выхода и наибольшей в этот момент оптической плотностью в системе ацетонитрил/муравьиная кислота (например, на ≈ 13.0 и 19.2 мин выхода, Рисунки 21, 22), наблюдали различные вещества в невысоких относительных количествах, иногда сходные в преобладающих комплексах с контролем-эталоном (Рисунок 21 б, г, е, з) и/или между образцами с различной степенью биодеструкции (Рисунок 22 г, е, з), но чаще совершенно различные по качественному и количественному составам (Рисунок 22 а, в, д, ж).

Таким образом, снижение количества вещества в области максимума поглощения интактного лигнина при 280 нм по сравнению с контролем-эталоном свидетельствует о биодеградационных процессах этого мажорного полисахарида древесины в процессах его ферментативного окисления, деметилирования, гидроксирования и т.п. Отсутствие максимума поглощения при 280 нм и наличие 1-го, 2-х или 3-х максимумов в других УФ областях свидетельствуют о распаде интактного лигнина и биодеструкции его дериватов с разрушением С–С-связей и расщеплением ароматического кольца (Решетникова, 1997; Анисимова, 2009).

Кроме того, это свидетельствует о наличии других экстрактивных веществ полипептидной, липидной и др. природы, вовлеченных в биоконверсию при сукцессии комплексов микобиоты на древесине памятников культурного

наследия (Холькин, 1976; Стыскин и др., 1986; Решетникова, 1997; Анисимова, 2009).

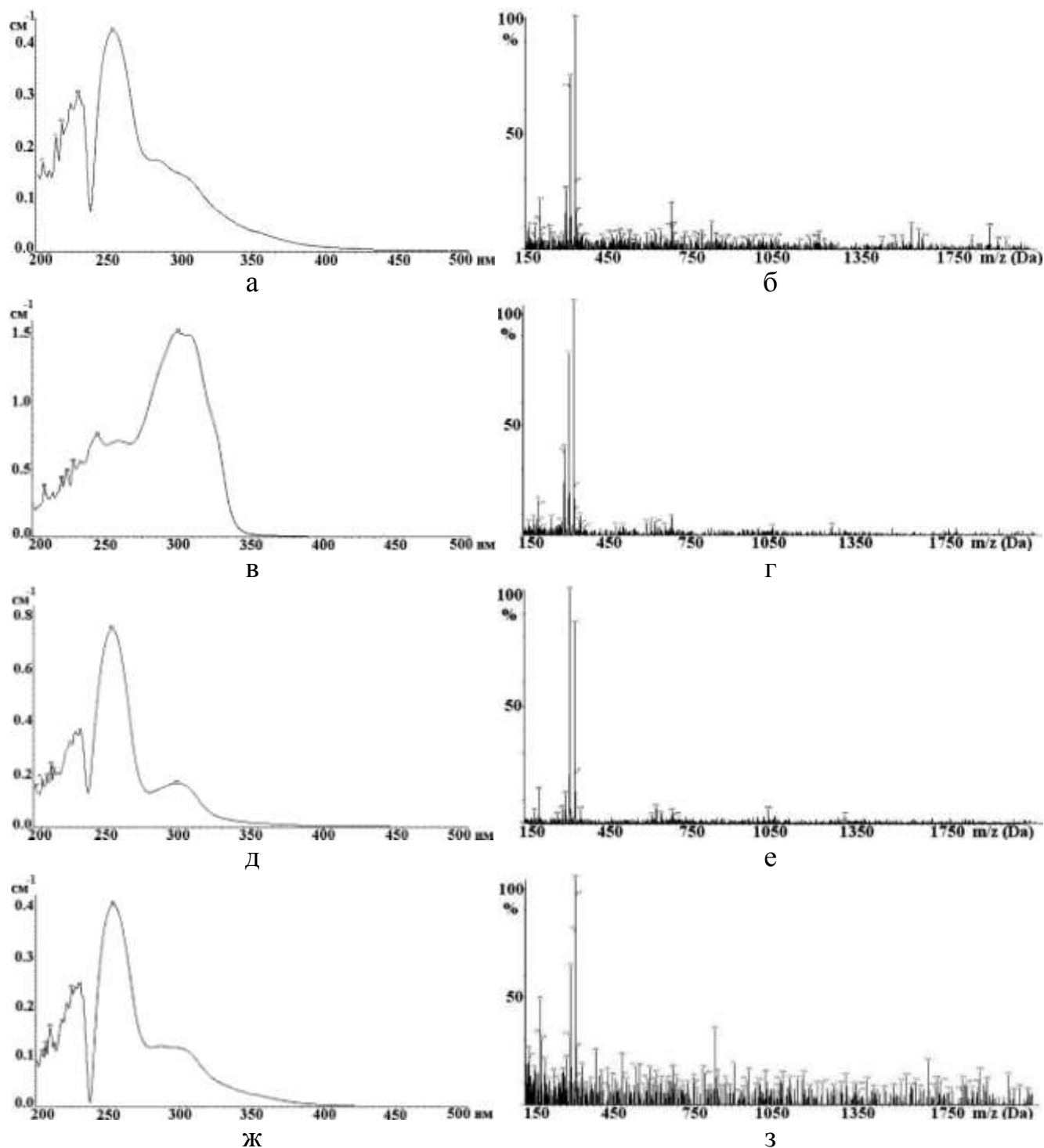


Рисунок 21. УФ- (а, в, д, ж) и масс-спектры (б, г, е, з) экстрактивных веществ с наибольшей оптической плотностью в ≈ 10.5 мин выхода в системе ацетонитрил/муравьиная кислота: а, б – контроль-эталон; в, г – I-й и д, е – II-й степеней биодеструкции с доминированием микромицетов; ж, з – III-й степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans*.

Таким образом, хроматограммы выхода экстрактивных веществ из проб образцов, взятых на поверхности и из глубоких слоев пораженной древесины конструкций, I-й и II-й степеней биодеструкции с доминированием микромицетов очень сходны (Рисунок 20).

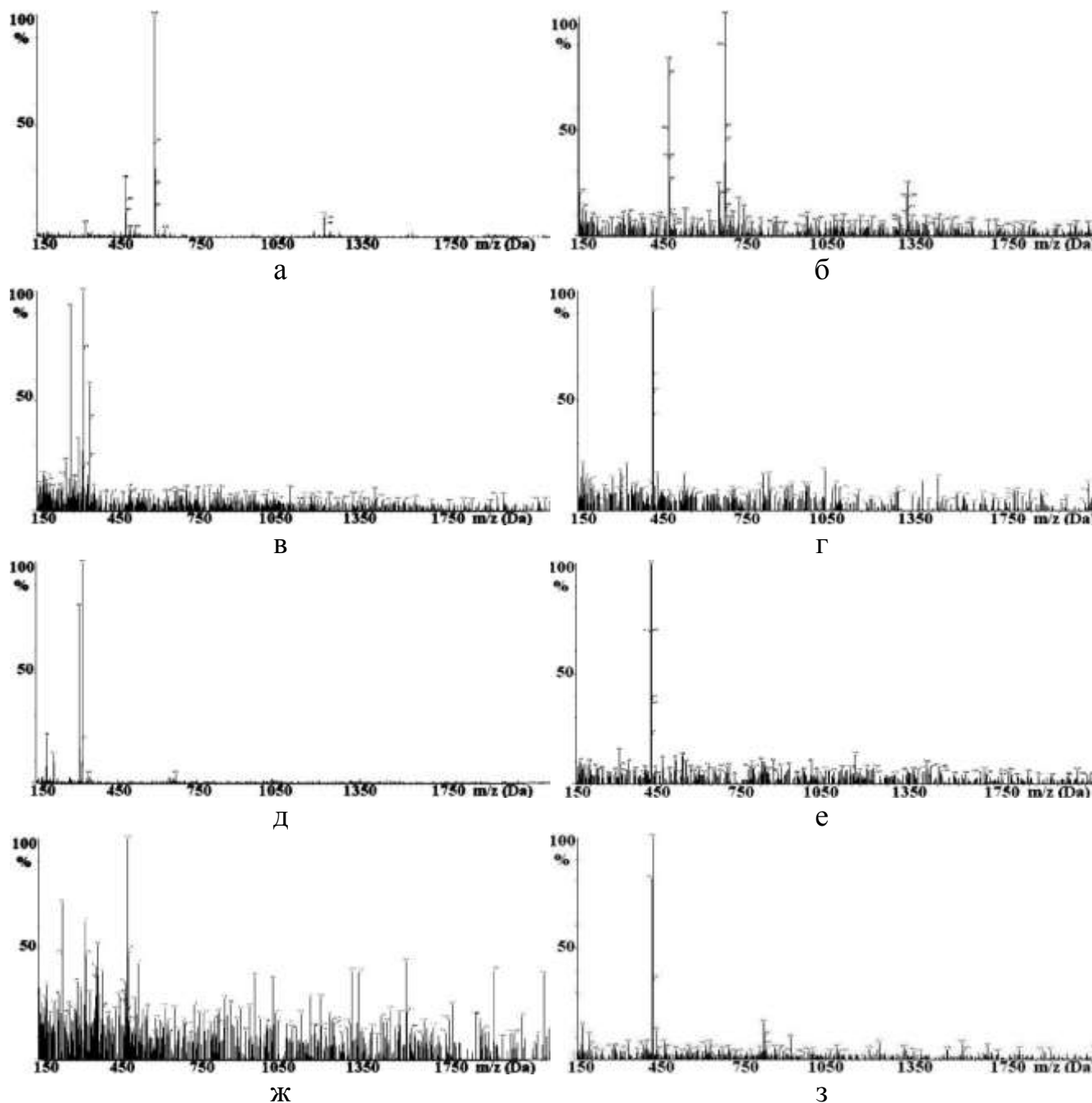


Рисунок 22. Масс-спектры экстрактивных веществ с наибольшей оптической плотностью в ≈ 13.0 мин (а, в, д, ж) и ≈ 19.2 мин (б, г, е, з) выхода в системе ацетонитрил/муравьиная кислота: а, б – контроль-эталон; в, г – I-ой и д, е – II-ой степеней биодеструкции с доминированием микромицетов; ж, з – III-ей степени биодеструкции с доминированием макромицета *Serpula lacrimans*.

При этом результаты отличались от контроля в связи с присутствием в экстрактах высокомолекулярных олигомеров, разнообразие и количество которых возрастали по мере разрушения компонентов древесины, а также в связи с появлением группы низкомолекулярных веществ, отсутствовавших в контроле. Отличие от эталонной хроматограммы контроля наиболее значительно при III-й степени биодеструкции, когда расщепление мажорных компонентов происходит с участием макромицетов. В целом, количество пиков при этом снижается, меняется их расположение, что отражает сильное разрушение составляющих древесину веществ. При этом характер биодеструкции различен для разных видов ксилотрофных базидиомицетов (Рисунок 20).

С использованием УФ-спектрометрии при сравнении определенных по времени выхода экстрактивных веществ наблюдали разложение лигнина с появлением его большого количества его экстрагируемых дериватов.

Полученные масс-спектры также сравнивали с контролем по принципу *finger-print*, отмечая изменения в характере распределения, высоте пиков, соответствующие процессам разложения основных компонентов древесины. Наиболее значительное и достаточно характерное изменение наблюдали для III-й степени биодеструкции древесины с участием макромицета.

Масс-спектрометрия может быть использована в качестве экспресс-метода анализа образцов древесины по типу *Finger printing* на предмет нахождения известных включенных в банки данных комплексов веществ, характеризующих организмы, ее колонизирующие и конвертирующие, например, виды *Serpula*, *Coniophora* и др. (Schmidt et al., 2005; Schmidt, 2007).

Любые отличия *Finger-prints* (хроматограмм, УФ- и масс-спектров) от эталонных, обусловленные различными качественными и количественными составами веществ, указывают на процессы биоконверсии исторической древесины, сопровождающиеся ее биодеструкцией и сукцессией определяющих вышеназванные процессы организмов, и могут быть использованы как экспресс-методы характеристики последних (Свиридова и др., 2001; Беломесяцева, 2004; Воронин, 2007; Коробова, 2007).

Таким образом, как было показано с использованием современных методов высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), УФ- и масс-спектрометрии, возможно выявление различий в качественном и количественном составах экстрактивных веществ интактной и разрушаемой комплексами микобиоты исторической древесины. Эти различия однозначно указывают на протекание и глубину процессов биоразрушения, что делает ВЭЖХ, УФ- и особенно масс-спектрометрию при их скорости и результативности адекватными экспресс-методами для выявления поражений деревянных конструкций памятников архитектуры, их интенсивности, направленности, а также доминирующих грибов и на уровне предварительного диагноза состава разрушающих историческую древесину комплексов микобиоты.

ГЛАВА 6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ БИОЦИДОВ И ПУТИ КОНСЕРВАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. Фунгицидное действие реставрационных биоцидов на тест-культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины

Воздействие рекомендуемых КГИОПом реставрационных биоцидов Adolit M flussig и Impragnierung BFA в половинных, рекомендуемых к применению и удвоенных концентрациях на микодеструкторов древесины микро- и макромицетов в качестве мицелиальных тест-культур характеризовалось достаточно высокой специфичностью (Рисунки 23–34). Отмечали фунгицидное действие препарата Adolit M flussig на культуру *Serpula lacrymans*, выражающееся в появлении зоны подавленного роста мицелия макромицета (Рисунок 23).

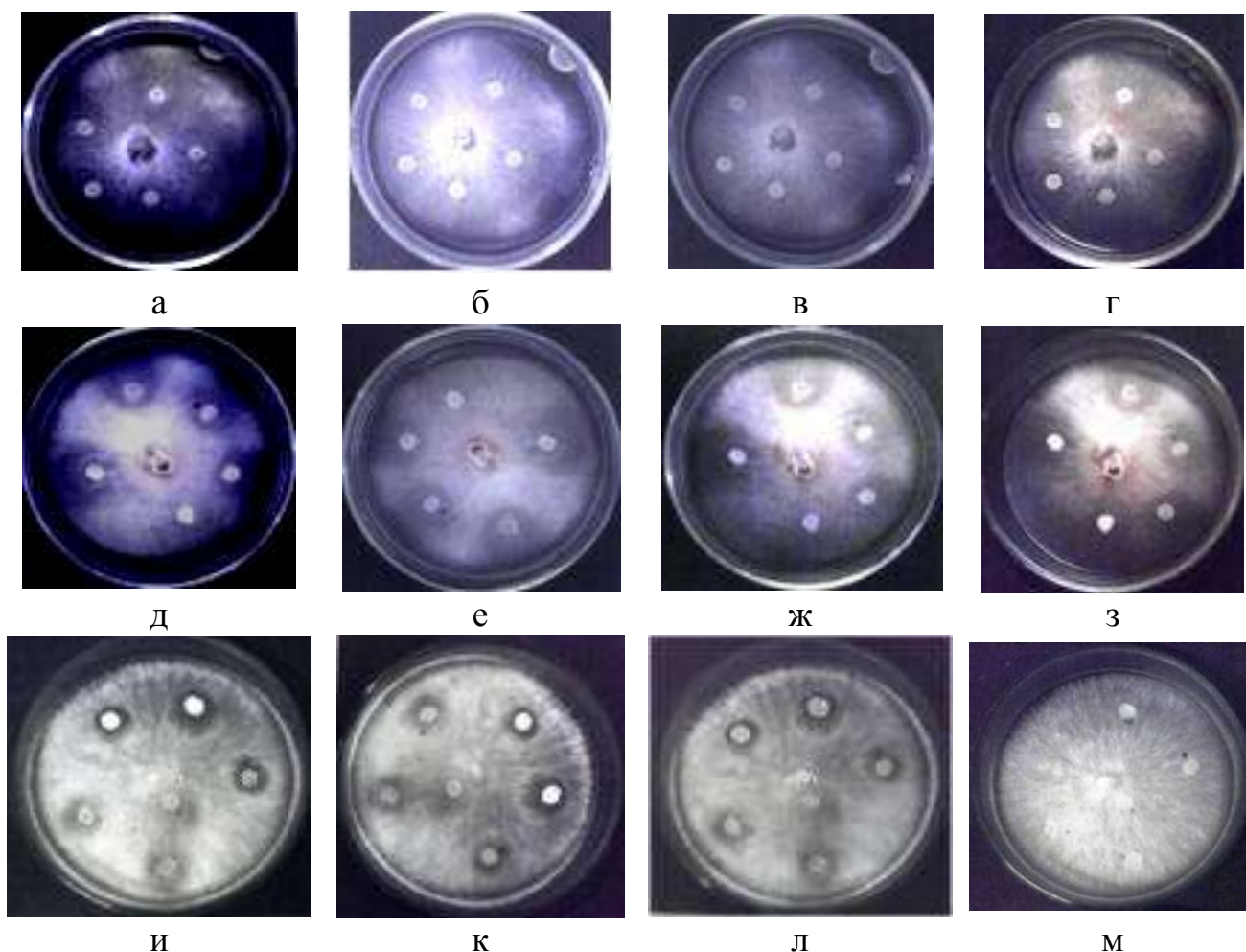


Рисунок 23. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–ж) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Serpula lacrymans*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Вместе с тем, эта зона преодолевалась макромицетом в течение недели, после чего бумажный диск покрывался гифами гриба. Наиболее четкую зону подавления (барража гиф) наблюдали при использовании препарата в удвоенной концентрации – 64 г/л (Рисунок 23, ряд и–м). При воздействии других концентраций наблюдали лишь зону частичного подавления роста с наличием тонкого паутинистого мицелия макромицета. Барража гиф при использовании концентраций 16 и 32 г/л в зоне частичного подавления роста не наблюдали (Рисунок 23, ряды а–г, д–з).

Отмечали фунгицидное действие Adolit M flussig и на культуру *Lentinula edodes* – ксилотрофного искусственно культивируемого съедобного базидиомицета, используемого в качестве тест-организма (Рисунок 24).

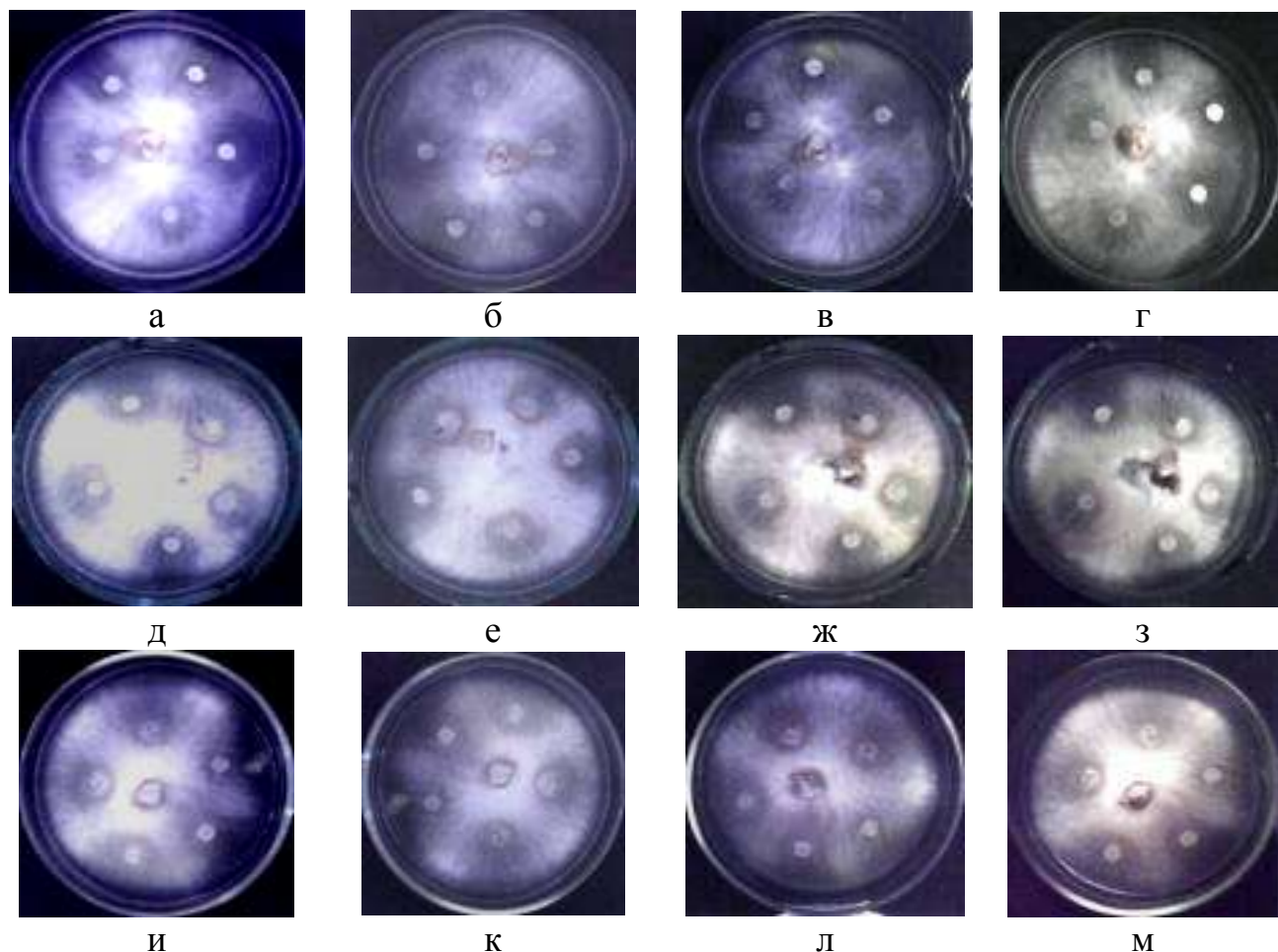


Рисунок 24. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Lentinula edodes*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Фунгицидное действие проявилось в виде зоны частичного подавления роста, которая преодолевалась мицелием тест-организма в течение недели, после чего бумажный диск с препаратом покрывался гифами гриба. Наибольшее подавление роста *L. edodes* наблюдали при воздействии рекомендованной к применению концентрации препарата – 32 г/л. Барража гиф при использовании всех исследованных концентраций не наблюдали (Рисунок 24).

Совершенно сходную картину наблюдали при воздействии всех исследованных концентраций препарата Adolit M flussig на рост колоний *Pleurotus ostreatus* – другого дереворазрушающего тест-организма, возбудителя белой гнили древесины, искусственно культивируемого ксилотрофного макромицета (Рисунок 25).

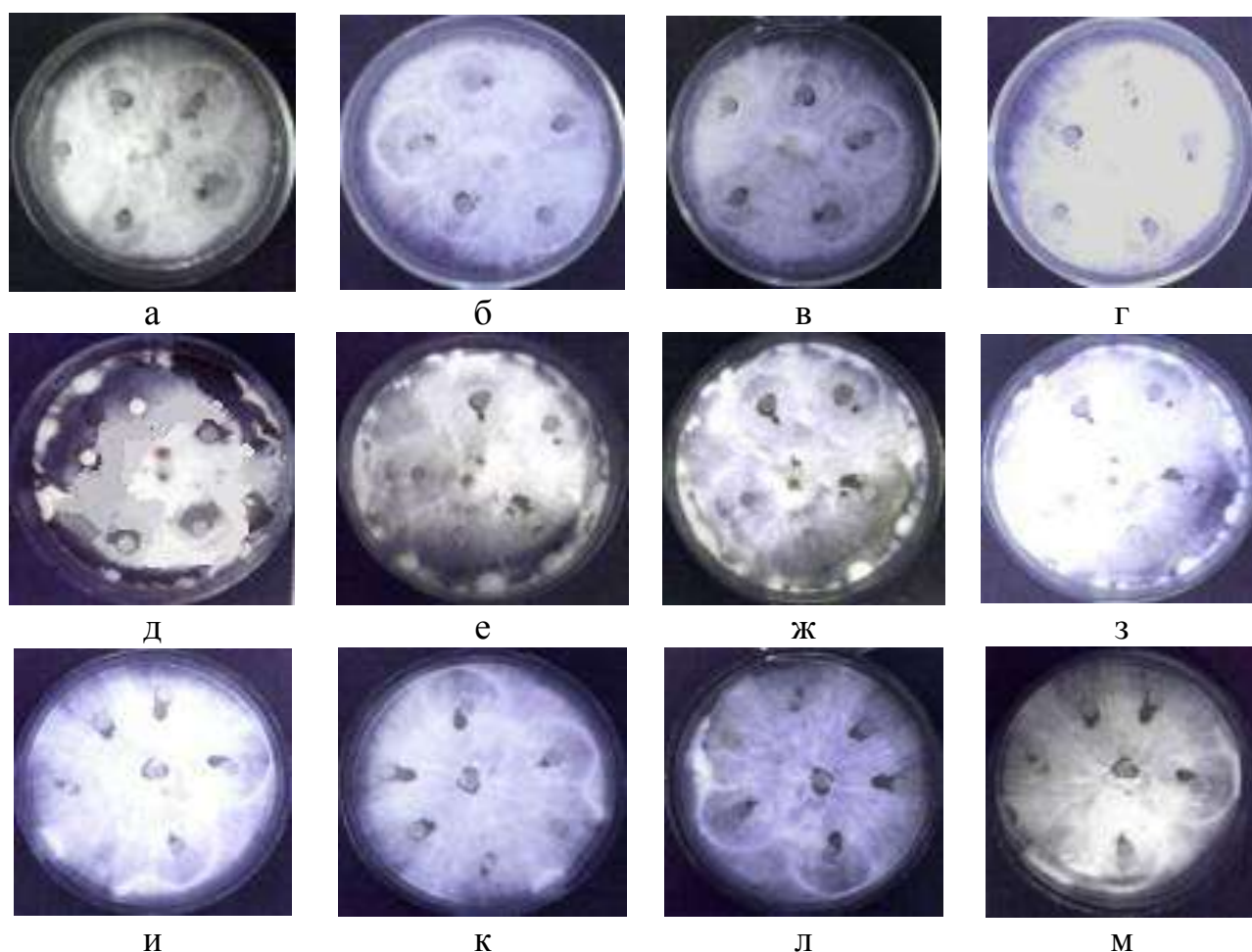


Рисунок 25. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Pleurotus ostreatus*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Зона подавления роста мицелия тест-культуры *Alternaria solani* при использовании концентрации 16 г/л препарата Adolit M flussig была минимальной (Рисунок 26). При этом зоны барража мицелия *A. solani* для концентраций 32 г/л и 64 г/л были вполне сопоставимы. Размер зон барража мицелия тест-культуры *A. solani* практически не менялся на всем протяжении опыта (14-и суток) (Рисунок 26).

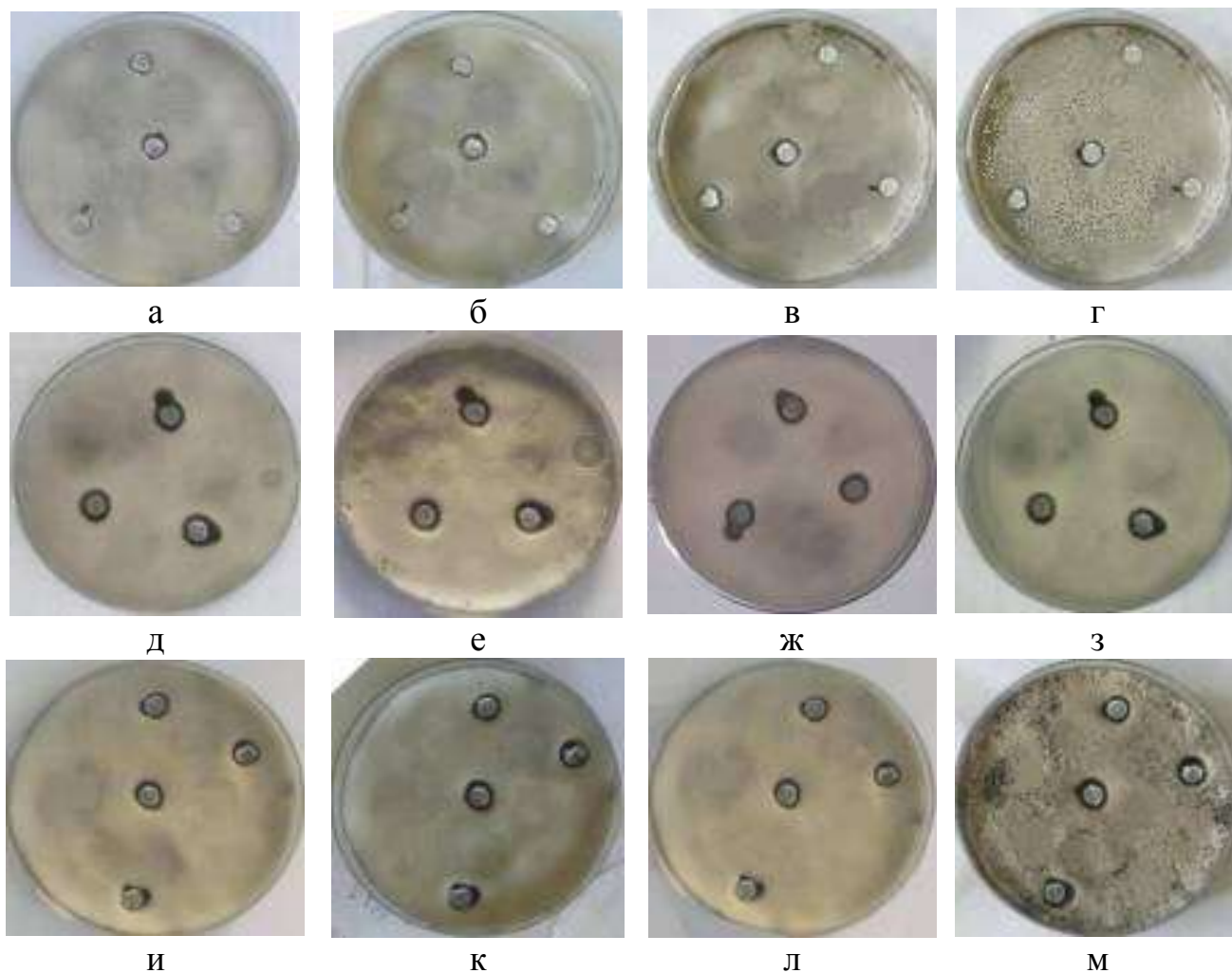


Рисунок 26. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Alternaria solani*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Зоны подавленного роста мицелия тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum* под воздействием концентраций 32 г/л и 64 г/л (рекомендованной и удвоенной) препарата Adolit M flussig сопоставимы и в 2–3 раза больше, чем под влиянием половинной концентрации – 16 г/л (Рисунок 27).

Это зоны истинного барража мицелия микромицета, которые ни обрастали с формированием мицелиального валика, ни зарастали в отличие от мицелия тест-культур макромицетов (Рисунки 23–25). То есть в случае с *F. oxysporum* наблюдали истинное фунгицидное действие препарата Adolit M flussig во всех исследованных концентрациях (Рисунок 27).

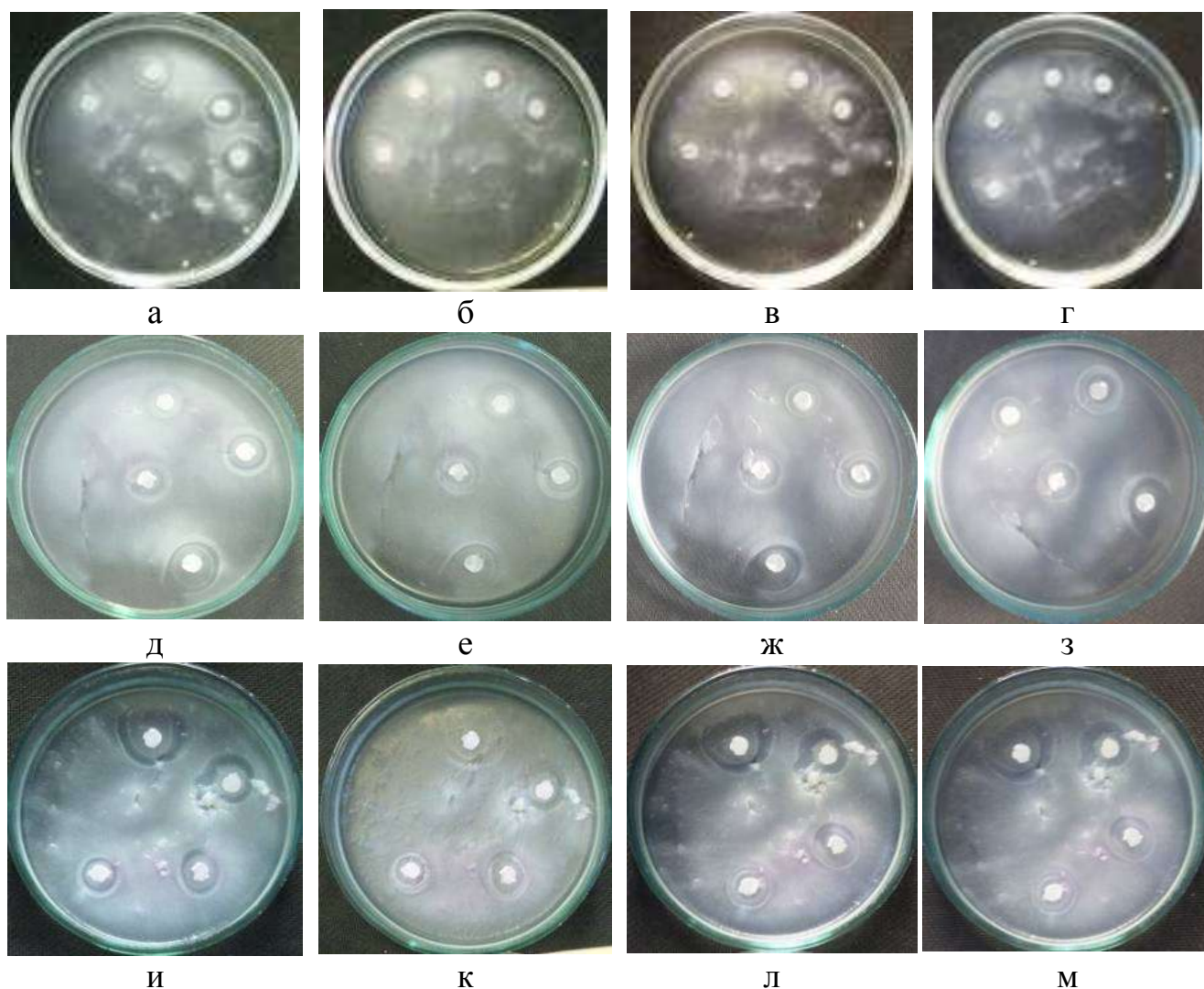


Рисунок 27. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Зоны подавленного роста тест-культуры микромицета *Trichoderma viride* под воздействием всех исследованных концентраций препарата Adolit M flussig были очень незначительными, в отличие от менее быстросрастающих конкурентоспособных микромицетов, и имели приблизительно одинаковый

размер (Рисунок 28). Кроме того, как сама зона частичного подавления роста, так и бумажный диск с препаратом на 11–13-е сутки опыта зарастали мицелием микромицета, наблюдали также в этих местах обильное спороношение тест-организма – микромицета *T. viride* (Рисунок 28).

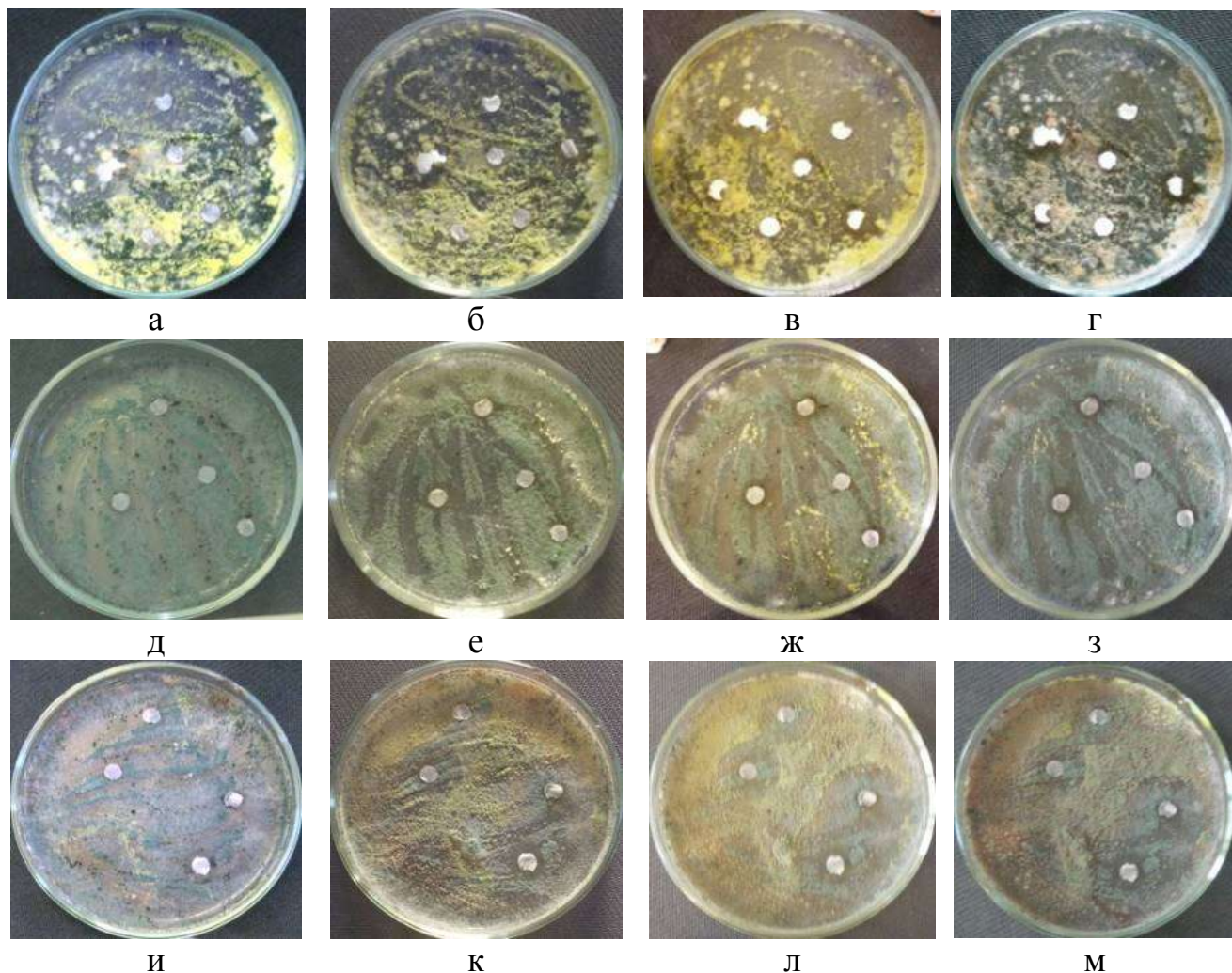


Рисунок 28. Фунгицидное действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Trichoderma viride*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Воздействие препарата Impragnierung BFA оценивали на том же наборе тест-культур макро- и микромицетов, что и препарата Adolit M flussig, в концентрациях 0.375 г/л (половинная); 0.75 г/л (рекомендованная) и 1.5 г/л (удвоенная).

На культуре *S. lacrymans* выраженное фунгицидное действие отмечали только в одном случае, причем для удвоенной концентрации 1.5 г/л (Рисунок 29). Помещенный в центральную часть культуры диск с препаратом вызвал лизис мицелия. Необходимо отметить, что эта зона затянулась гифами на 7-е сутки опыта (Рисунок 29).

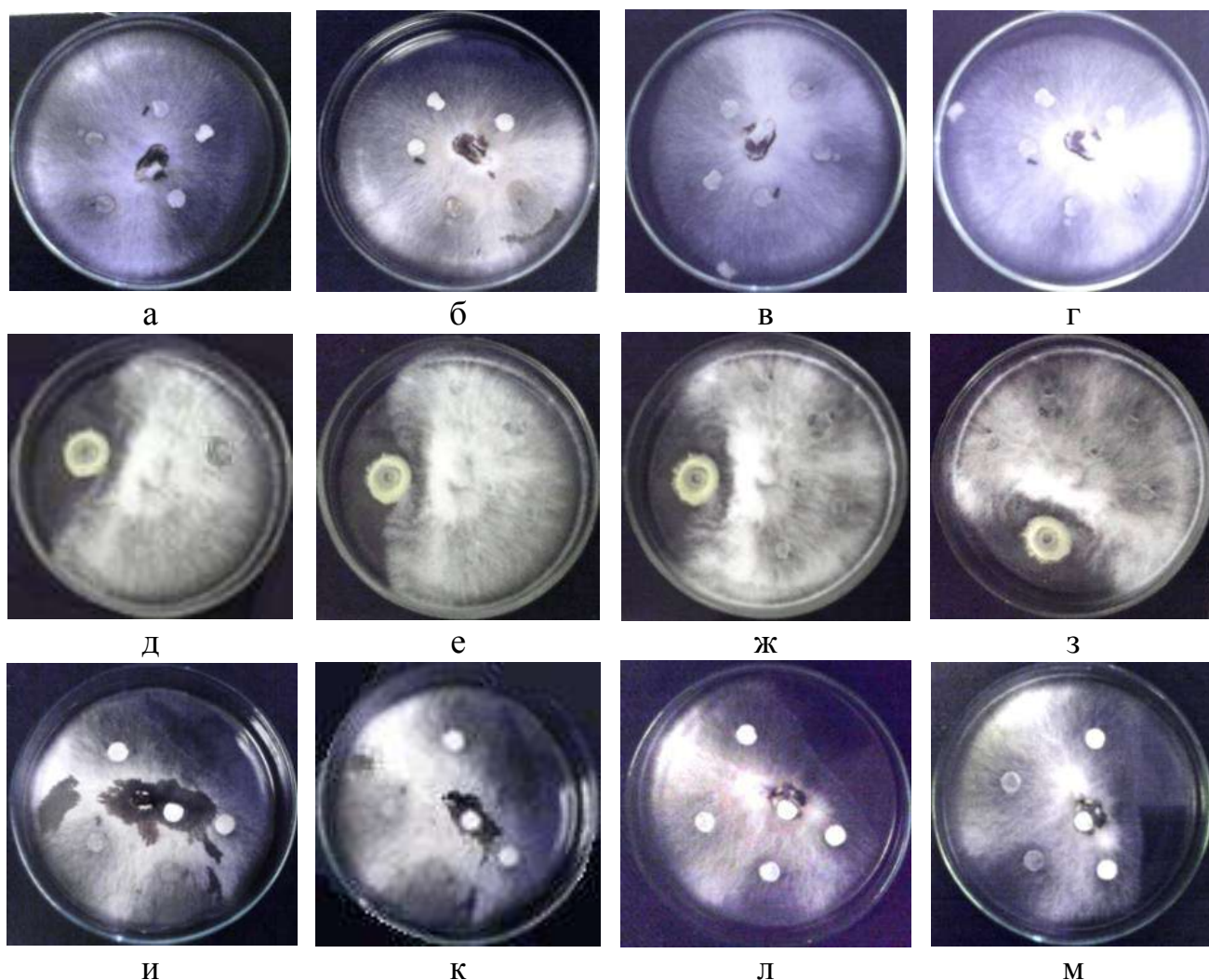


Рисунок 29. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Serpula lacrymans*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Все бумажные диски, пропитанные препаратом Impragnierung BFA в концентрации 1.5 г/л, к концу опыта оказались покрытыми сетью гиф макромицета. Наблюдали некоторое угнетение роста мицелия при воздействии

препарата в концентрации 1.5 г/л, однако, для всех концентраций истинного барража гиф в зоне подавленного роста не отмечали (Рисунок 29).

Весьма сходную картину наблюдали при воздействии препарата Impragnierung BFA на развитие тест-культуры *L. edodes*. Выявили некоторое угнетение роста мицелия при воздействии любой из исследованных концентраций, хотя истинного барража гиф макромицета в зоне подавленного роста не отмечали (Рисунок 30).

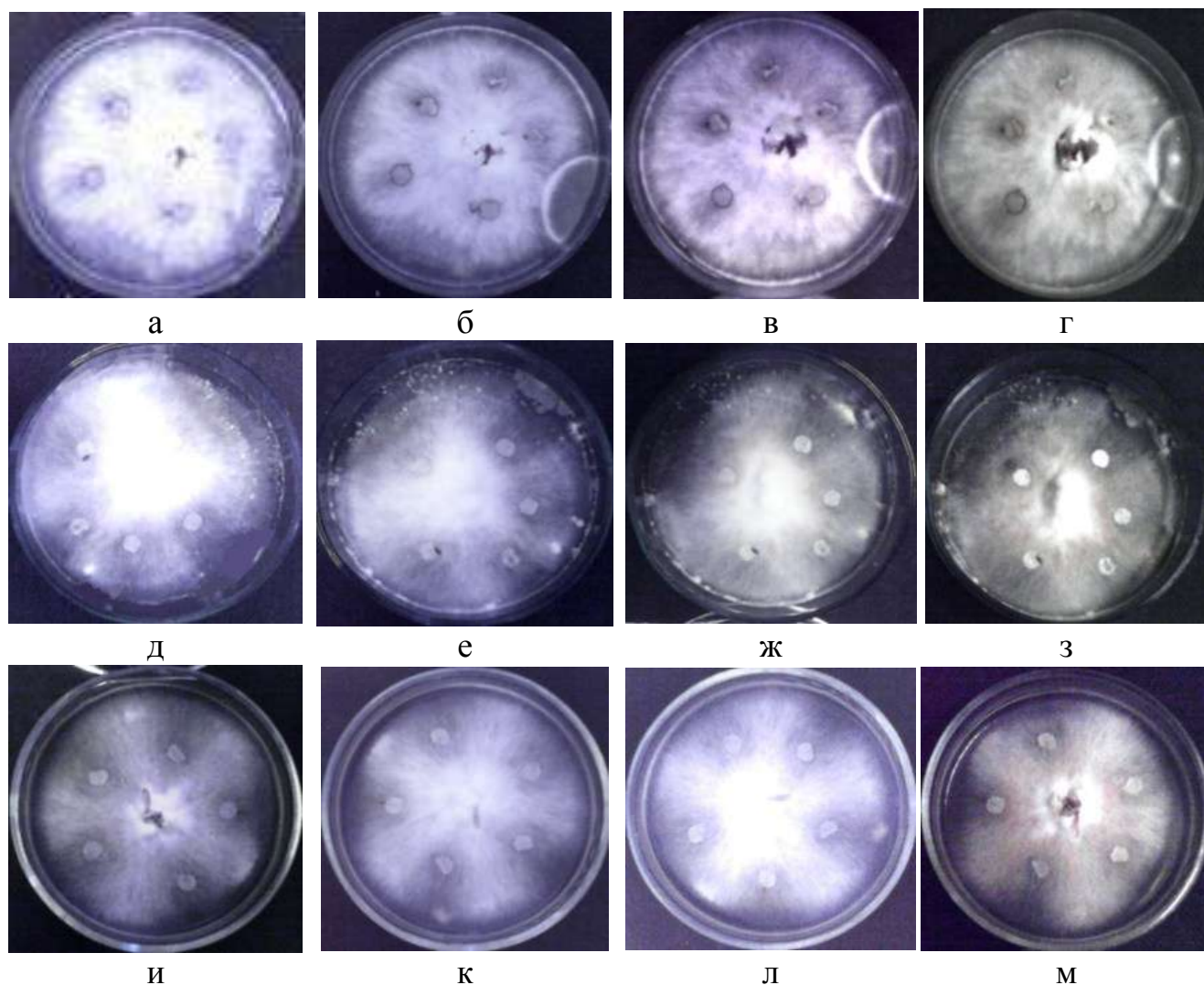


Рисунок 30. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Lentinula edodes*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Для наименьшей концентрации отмечали зоны подавленного роста в 1.5–3 раза меньшие, чем для других концентраций. Все бумажные диски с препаратом к концу опыта покрывались гифами базидиомицета (Рисунок 30).

Для всех концентраций препарата Impragnierung BFA отмечали небольшие зоны подавленного роста *Pleurotus ostreatus*. Визуальные отличия в размере зоны подавленного роста наблюдали при воздействии удвоенной концентрации 1.5 г/л на культуру тест-организма (Рисунок 31, и–м), однако, лизиса мицелия или существенного изменения интенсивности роста гиф не фиксировали (Рисунок 31).

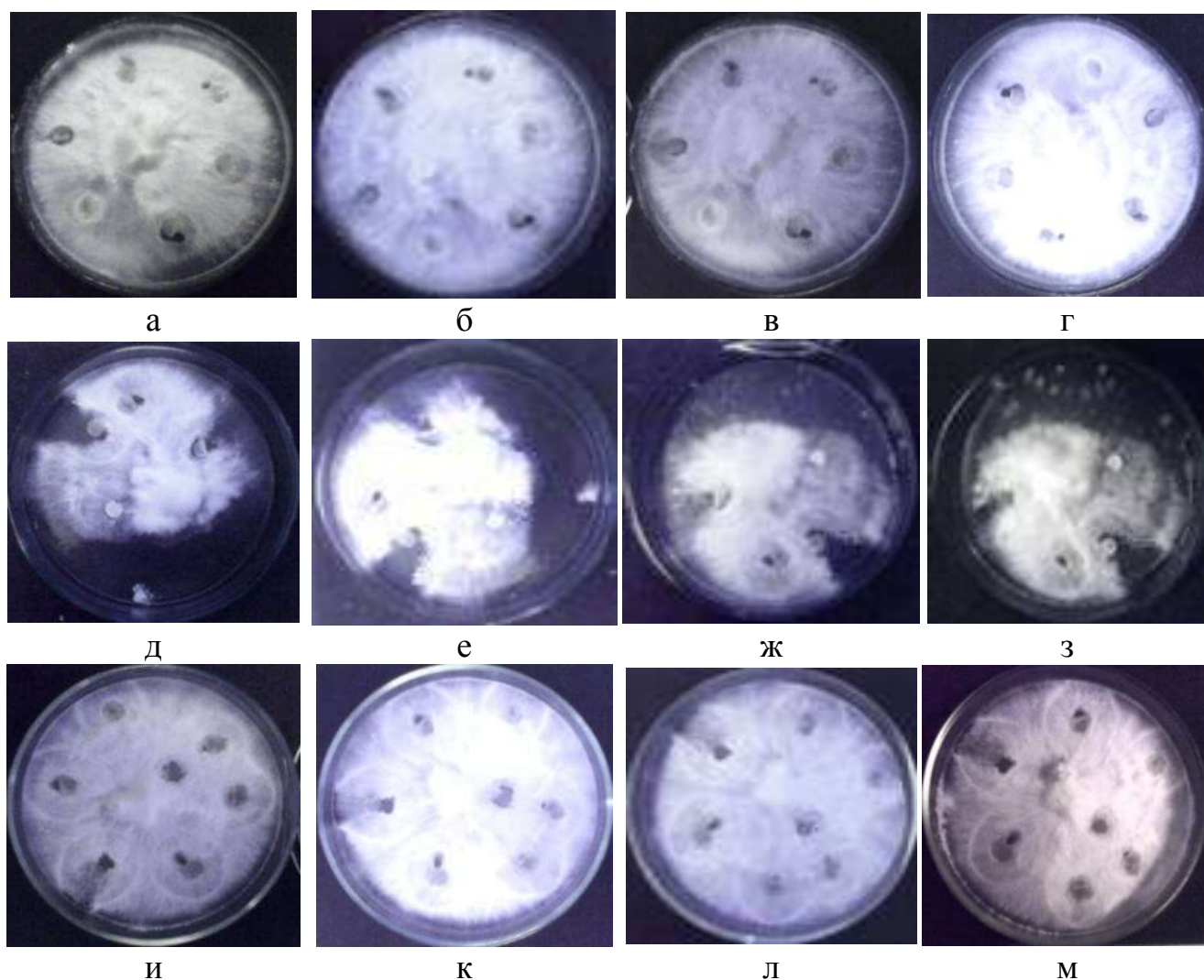


Рисунок 31. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Pleurotus ostreatus*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Все зоны подавления роста тест-культуры *Alternaria solani*, обусловленные воздействием всех исследованных концентраций препарата Impragnierung BFA, были участками истинного барража гиф тест-объекта и оказались вполне сопоставимыми по своим размерам (Рисунок 32).

Выявили лишь незначительное отличие в 1.1–1.5 раза между воздействием наименьшей (0.375 г/л) и наибольшей (1.5 г/л) концентраций (Рисунок 32).

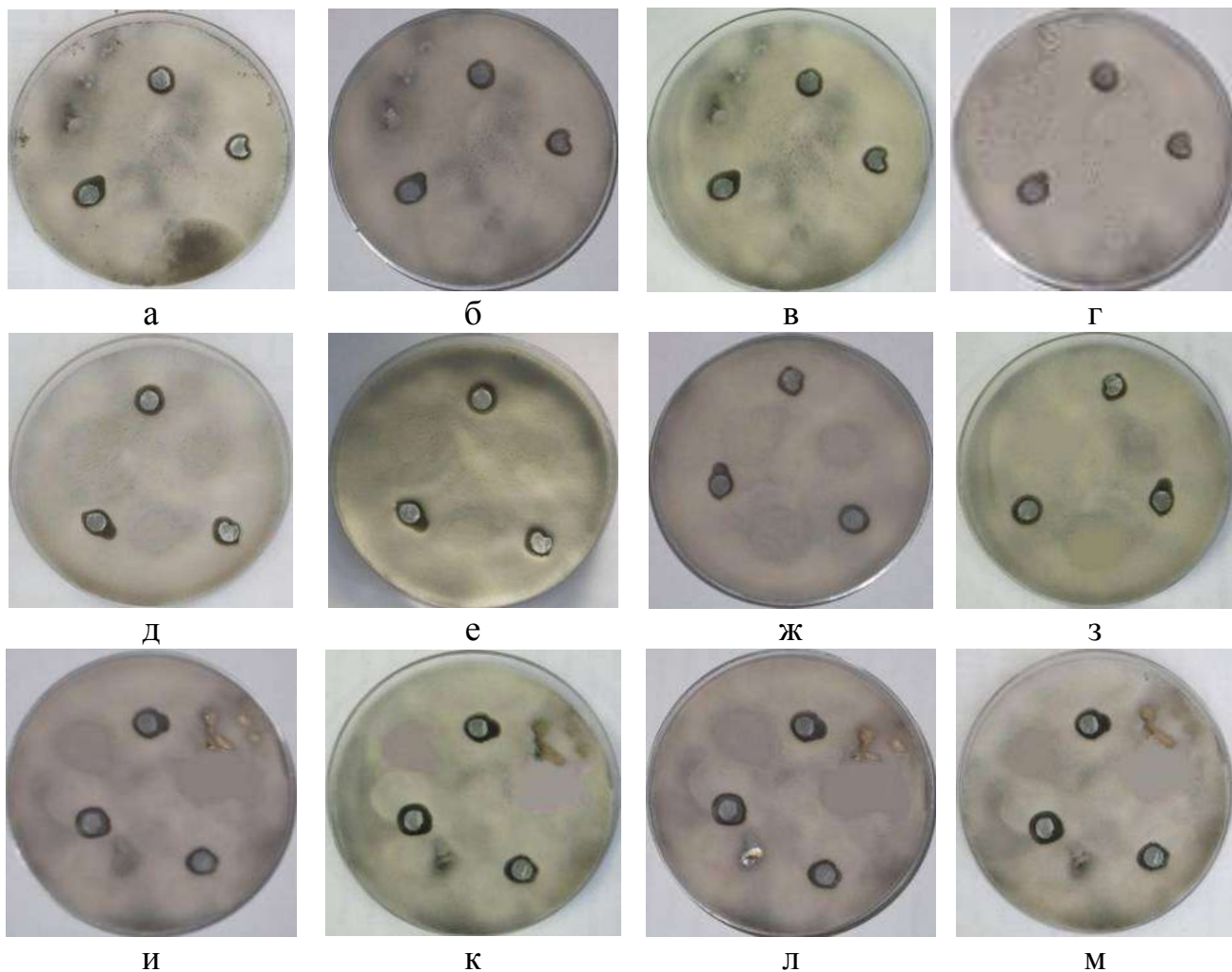


Рисунок 32. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Alternaria solani*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Зоны лизиса не зарастали мицелием микромицета в течение опыта, т. е. фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA было стабильным для выбранного тест-организма (Рисунок 32).

Все зоны подавления роста тест-культуры *Fusarium oxysporum* были сопоставимы для исследованных концентраций препарата Impragnierung BFA и достигали 0.5–2 мм радиального размера (Рисунок 33). Истинного барража мицелия не наблюдали, но зоны подавленного роста не зарастали обильным мицелием в течение опыта, т. е. фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA было относительным и стабильным для выбранного тест-организма – *F. oxysporum* (Рисунок 33).

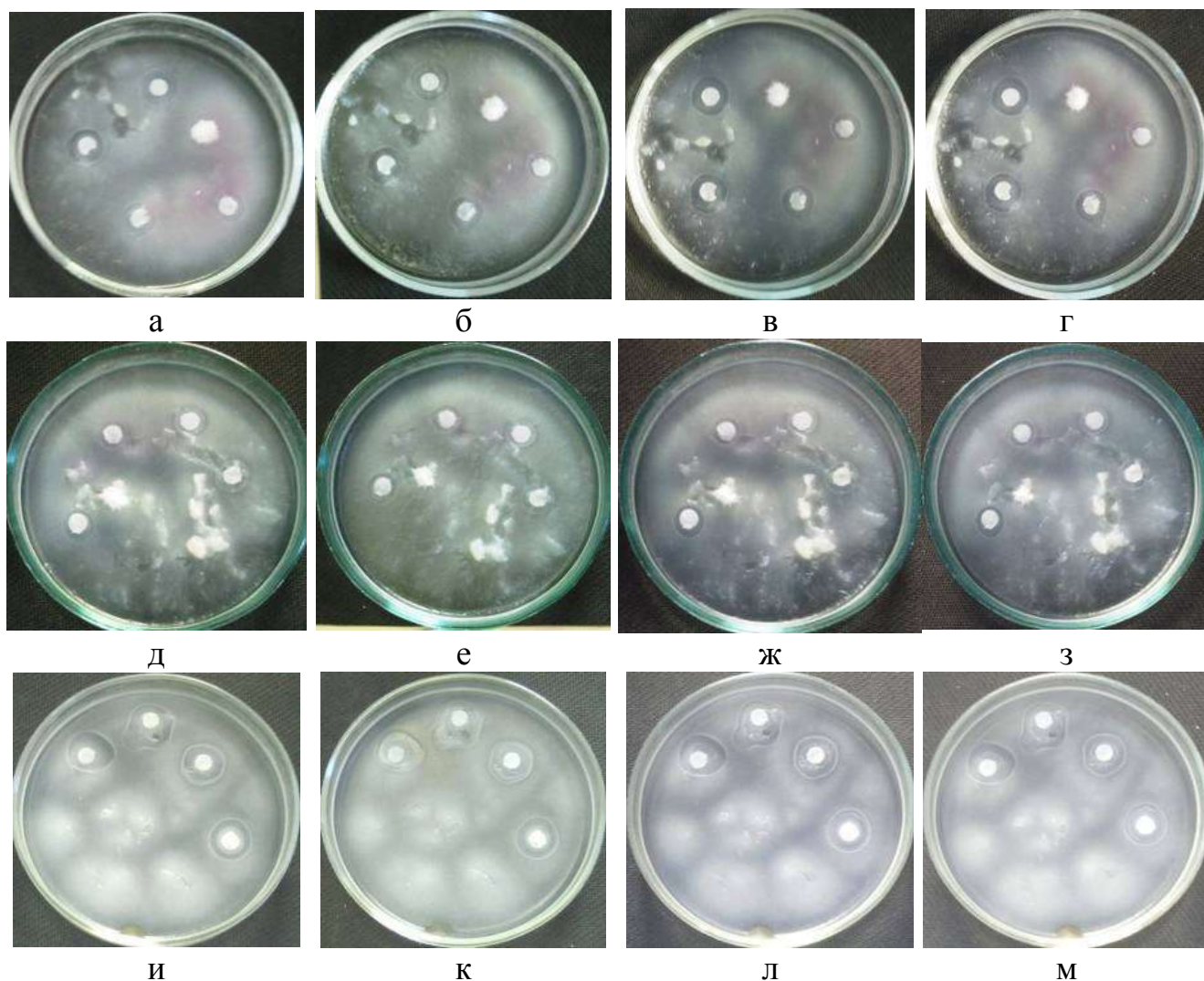


Рисунок 33. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Зоны подавления роста микромицета *Trichoderma viride* как тест-организма, вызванные воздействием всех исследованных концентраций Impragnierung BFA,

характеризовались небольшими размерами – до 1.5 мм, и зарастали мицелием к концу эксперимента, т. е. фунгицидное действие препарата нивелировалось быстрорастущим агрессивным микромицетом в течение полутора-двух недель (Рисунок 34). К концу проведения опыта (14-е сутки) наблюдали обильное спороношение микромицета на всех дисках, содержащих препарат во всех исследованных концентрациях (от половинной до удвоенной – 0.375 г/л, 0.75 г/л и 1.5 г/л) (Рисунок 34).

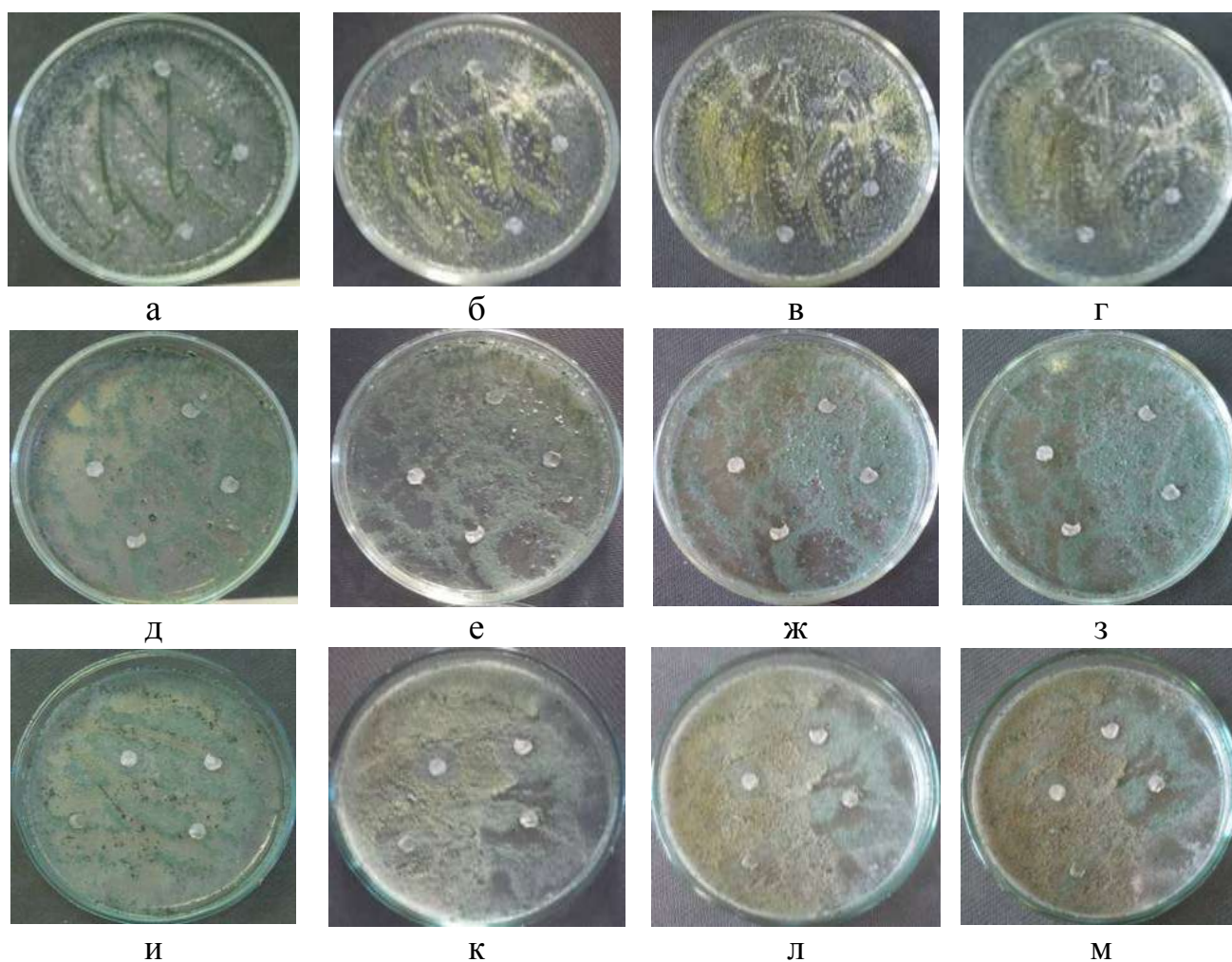


Рисунок 34. Фунгицидное действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Trichoderma viride*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Статистическая обработка результатов оценки фунгицидного действия используемых в современной реставрационной практике препаратов

Adolit M flussig и Impragnierung BFA выявила достоверный фунгицидный эффект для всех исследованных концентраций обоих препаратов (Таблица 19).

Таблица 19

Значения t-критерия Стьюдента при оценке фунгицидного действия препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA

Препарат; кон- центрация Тест-объект	Adolit M flussig			Impragnierung BFA		
	16 г/л	32 г/л	64 г/л	0.375 г/л	0.75 г/л	1.5 г/л
<i>Serpula lacrymans</i>	7.7139	15.9041	13.6456	16.6873	13.2658	13.2595
<i>Pleurotus ostreatus</i>	17.7087	14.0761	34.0448	20.5911	5.3395	18.0337
<i>Lentinula edodes</i>	21.8466	12.4874	15.1851	10.3201	13.2469	11.8081
<i>Alternaria solani</i>	9.9761	20.2459	12.7795	10.5105	26.6351	26.1948
<i>Fusarium oxysporum</i>	11.5862	17.0186	18.0411	15.3073	16.6996	37.7831
<i>Trichoderma viride</i>	7.0254	8.6657	5.0216	4.0741	7.4718	11.5208

Примечание: для 6-ти степеней свободы, организованных в опыте, и $p = 0.01$ табличное значение t-критерия составило 3.7074.

Существенных различий в воздействии половинных, рекомендованных и удвоенных концентраций обоих препаратов на все исследованные тест-объекты не выявили (Таблица 19).

Анализ динамики фунгицидной активности современных реставрационных препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA выявил отсутствие стабильного пролонгированного их воздействия на тест-культуры макро- и микромицетов (Рисунок 35). То есть отмечали значительный достоверный фунгицидный эффект вышеназванных препаратов, особенно, при рекомендованных и повышенных концентрациях, в первые 3-е суток после применения, но и достаточно быстрое (на 5–7-е сутки) нивелирование этого воздействия в виде зарастания к 14-м суткам опыта, часто с образованием мицелиального валика, как зон подавленного роста, так и зон истинного барража мицелия (Таблица 19, Рисунок 35). Наиболее значительное фунгицидное действие, особенно на активных микодеструкторов исторической древесины, оказали все исследованные концентрации препарата Adolit M flussig (Рисунок 35 а–в). Менее значительным было воздействие различных концентраций Impragnierung BFA (Рисунок 35 г–е). Пролонгированный фунгицидный эффект под воздействием различных

концентраций препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA отмечали лишь для тест-культур микромицетов *Fusarium oxysporum* и *Alternaria solani*, причем зона ингибирования роста мицелия последнего была незначительной во всех исследованных случаях (Рисунок 35).

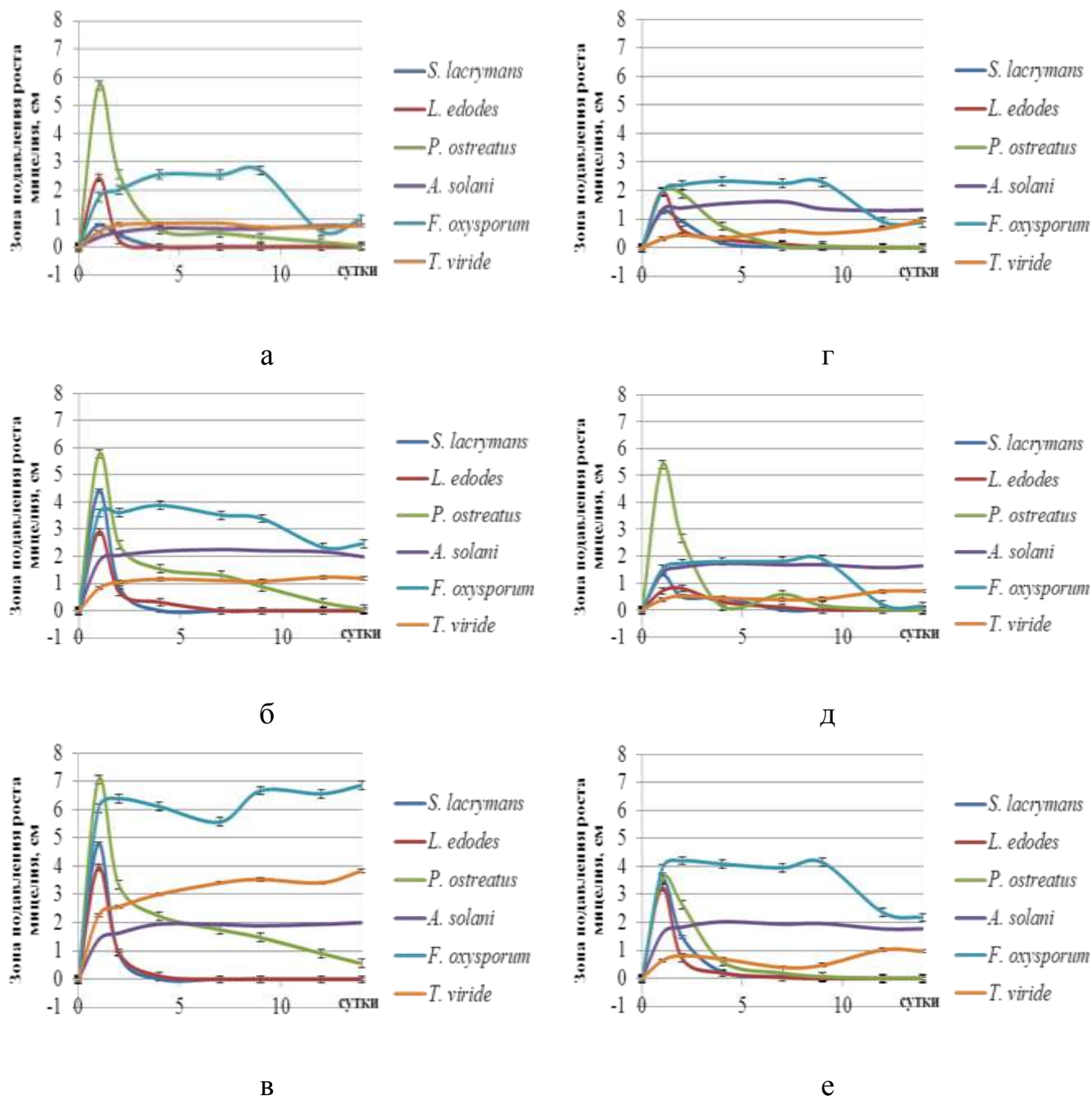


Рисунок 35. Динамика зоны подавления роста мицелия (фунгицидное действие) под воздействием различных концентраций препаратов Adolit M flussig: а – 16 г/л; б – 32 г/л; в – 64 г/л; и Impragnierung BFA: г – 0.375 г/л; д – 0.75 г/л; е – 1.5 г/л.

Таким образом, как рекомендованные, так и половинные концентрации препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут быть использованы однократно для купирования процессов колонизации исторической древесины как микро-, так и макромицетами.

6.2. Фунгистатическое действие реставрационных биоцидов на тест-культуры и представителей биодеструкторов исторической древесины

Фунгистатическое действие Adolit M flussig и Impragnierung BFA оценивали по средней скорости роста мицелия всех 6-и вышеупомянутых тест-культур макро- и микромицетов на агаризованной среде, содержащей экстракт исторической древесины и соответствующую концентрацию химического препарата (Рисунки 36–47).

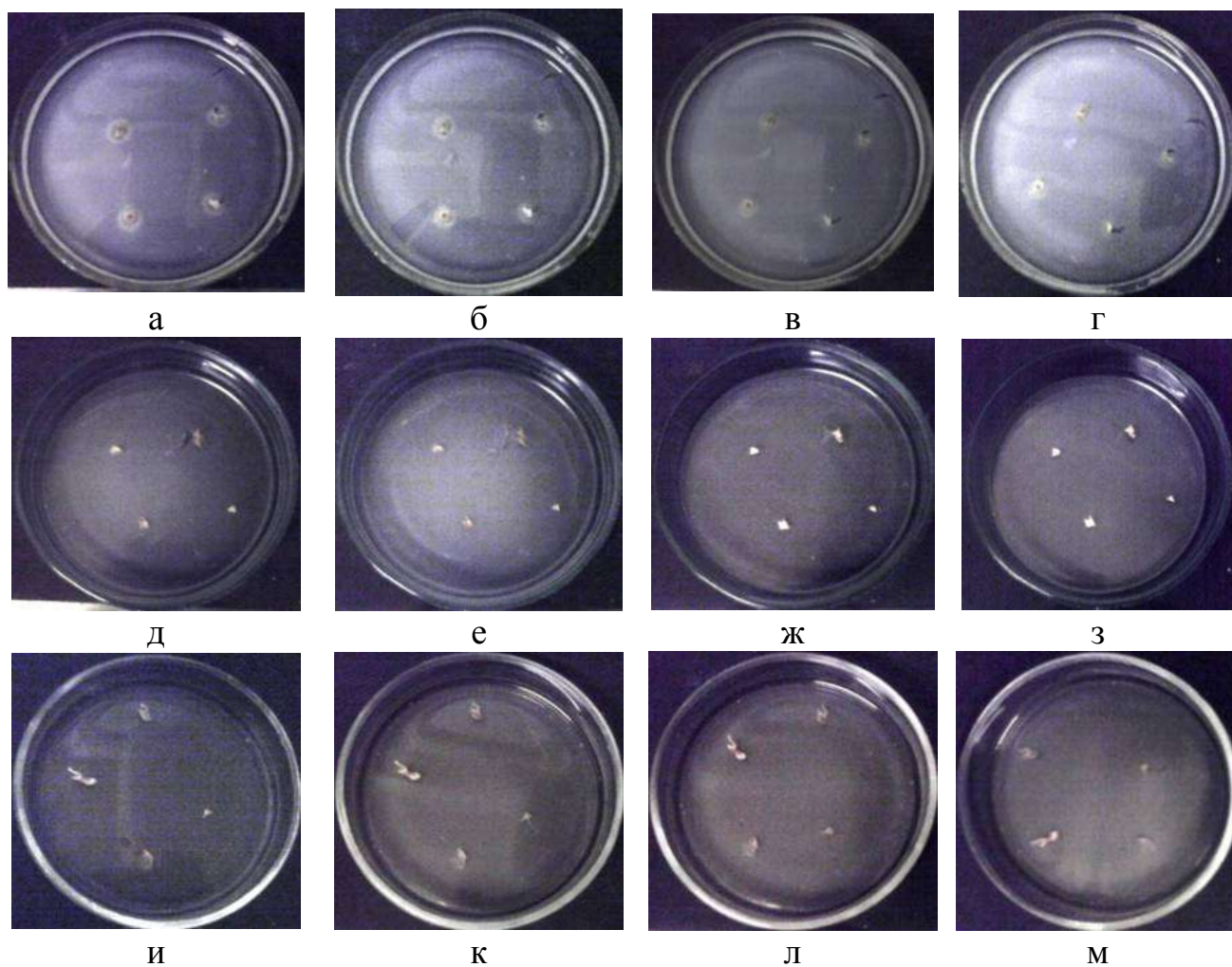


Рисунок 36. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Serpula lacrymans*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Роста мицелия тест-объекта *Serpula lacrymans* на средах с добавлением различных концентраций Adolit M flussig не наблюдали в течение 14-и суток опыта (Рисунок 36).

Совершенно сходную картину наблюдали на тест-культуре *Lentinula edodes*: рост мицелия фиксировали лишь на поверхности зерен коммерческого посевного мицелия без захвата гифами съедобного базидиомицета питательной среды (Рисунок 37).

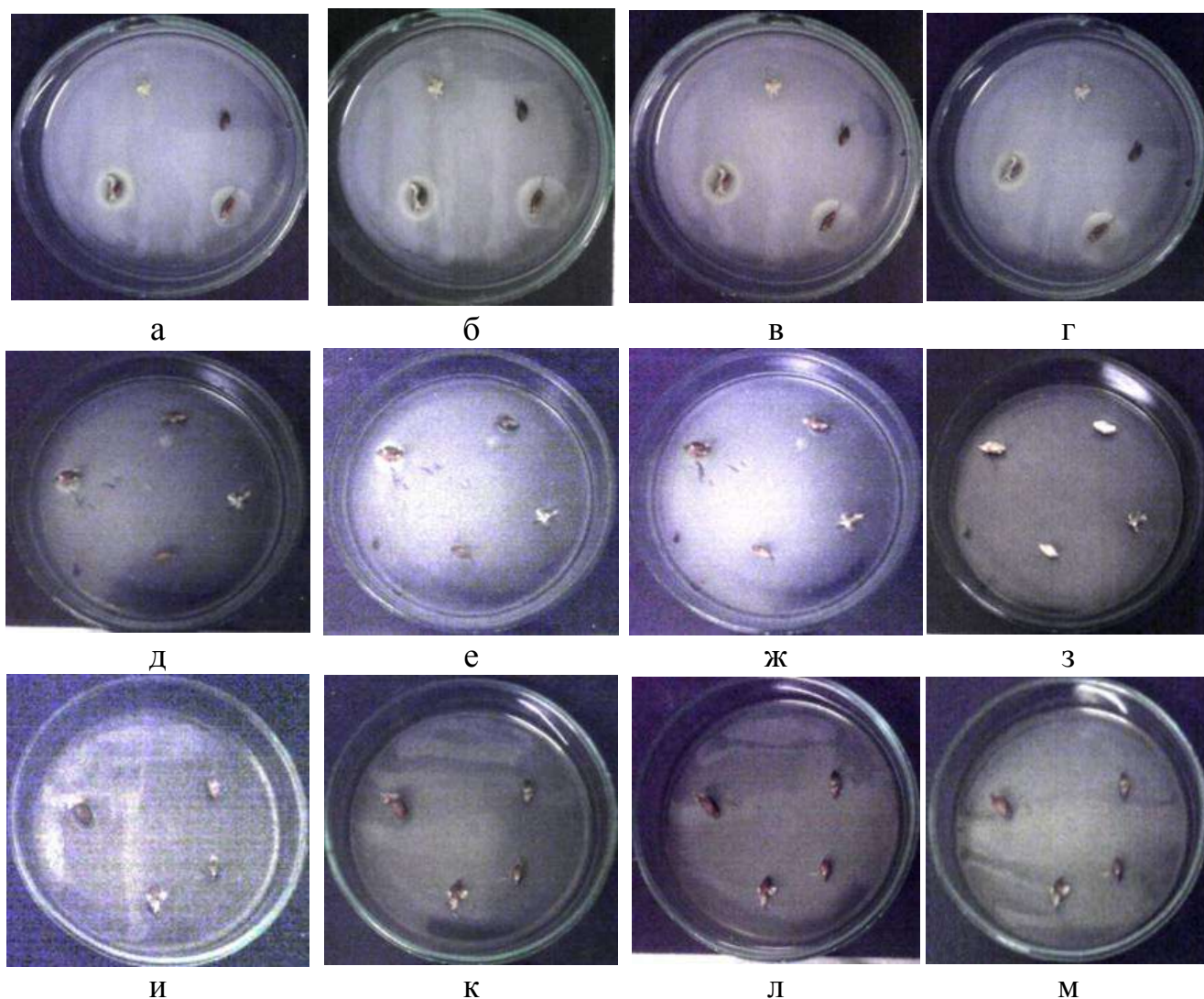


Рисунок 37. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Lentinula edodes*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

При исследовании развития мицелия *Pleurotus ostreatus* на питательных средах с добавлением различных концентраций Adolit M flussig наблюдали рост гиф также лишь на поверхности зерен посевного мицелия без перехода мицелия ксилотрофного съедобного макромицета на питательную среду (Рисунок 38).

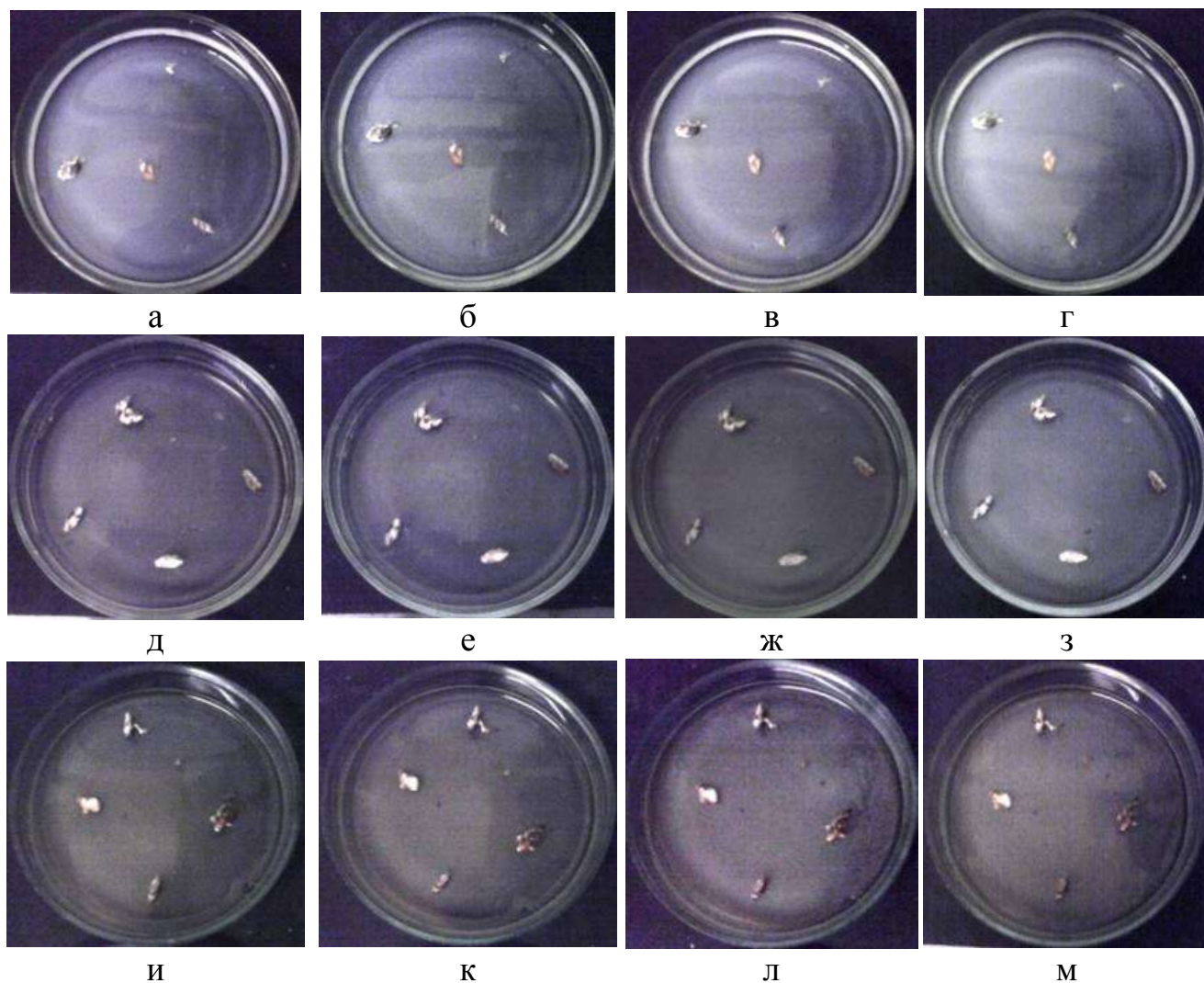


Рисунок 38. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Pleurotus ostreatus*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Наблюдали весьма незначительный рост колоний *Alternaria solani* на питательной среде, содержащей препарат Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л и 32 г/л. На среде с удвоенной концентрацией препарата – 64 г/л роста культуры тест-объекта не фиксировали (Рисунок 39). То есть повышенная концентрация Adolit M flussig обусловила полный фунгистатический эффект.

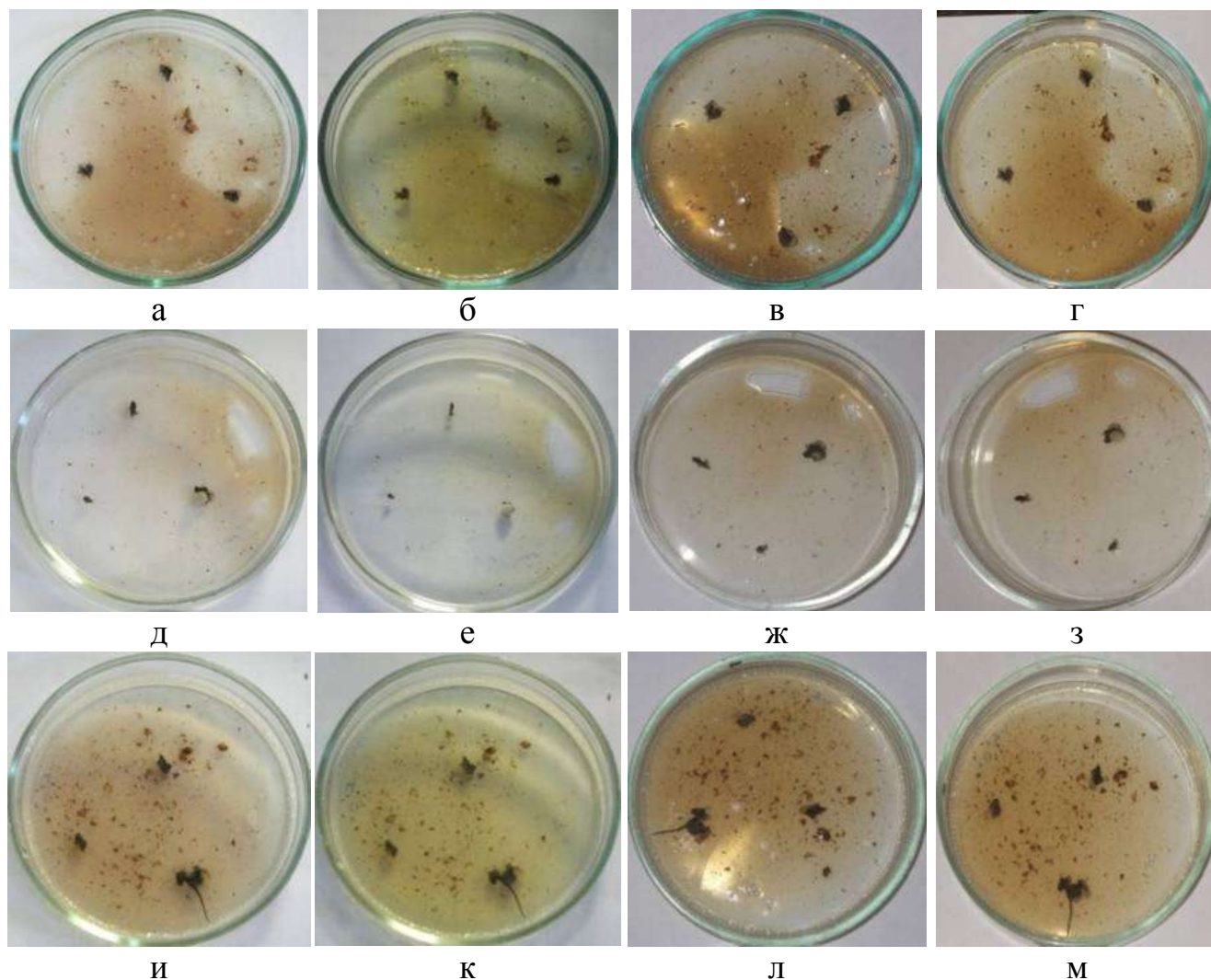


Рисунок 39. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Alternaria solani*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

При исследовании роста и развития тест-культуры *Fusarium oxysporum* на среде с добавлением трех разных концентраций препарата Adolit M flussig не наблюдали роста мицелия ни в одном случае. Растущие с замедлением гифы оставались лишь в верхней части инокулюма, однако, мицелий в данном случае не соприкасался со средой (Рисунок 40). То есть добавление всех исследованных концентраций химического фунгицида Adolit M flussig приводило к развитию фунгистатического эффекта в отношении мицелия тест-объекта – микромицета *F. oxysporum* (Рисунок 40).

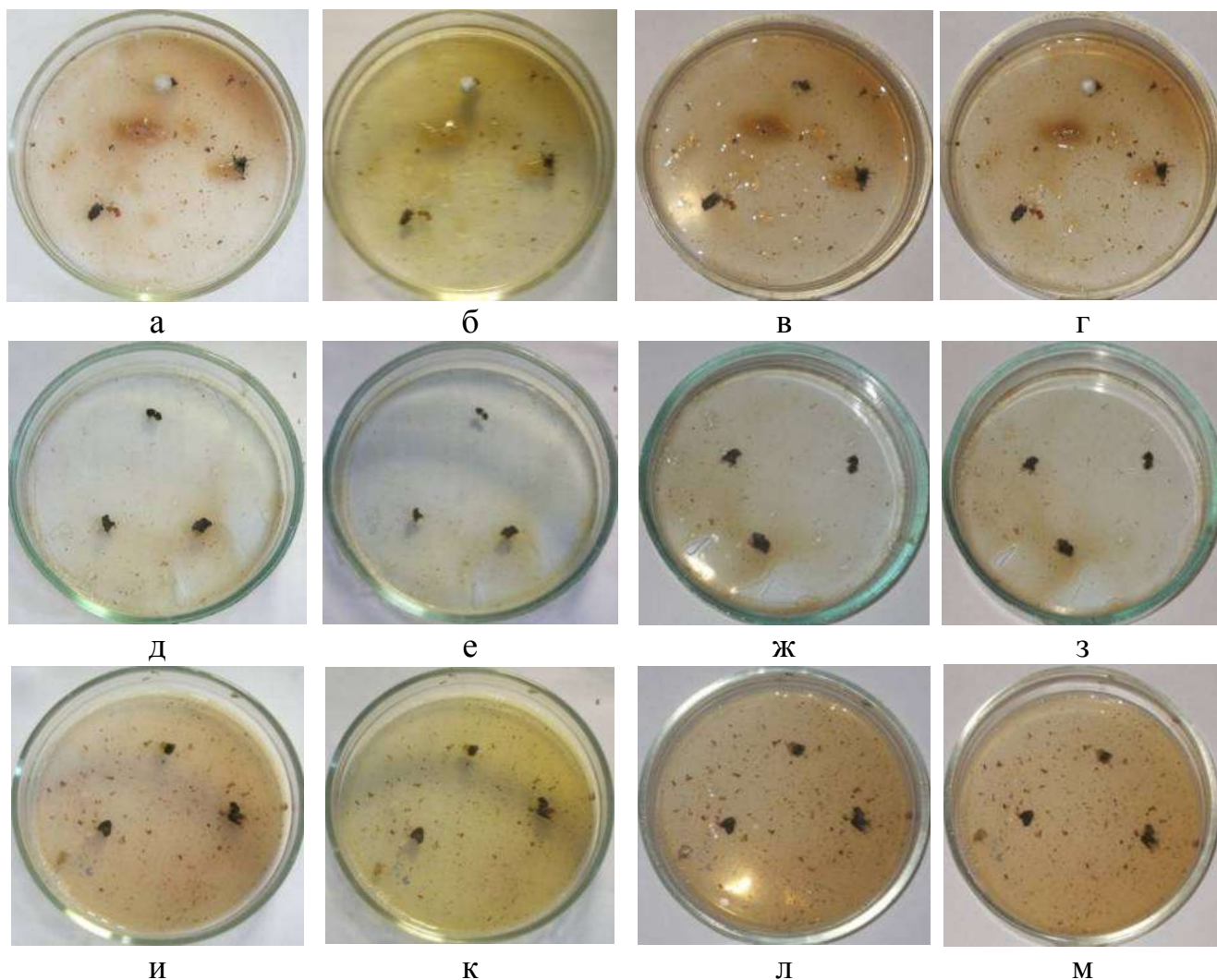


Рисунок 40. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

При исследовании развития тест-объекта *Trichoderma viride* также наблюдали полное отсутствие роста мицелия на агаризованной среде с добавлением половинной, рекомендованной и удвоенной концентраций современного фунгицида Adolit M flussig. Рост культуры *T. viride* происходил также лишь в верхней части инокулюма, не соприкасающегося со средой (Рисунок 41). То есть при всех исследованных концентрациях препарата наблюдали стабильный пролонгированный фунгистатический эффект (Рисунок 41). Ни высокая скорость роста тест-объекта, ни его значительная конкурентоспособность не позволили мицелию *T. viride* преодолеть фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig (Рисунок 41).

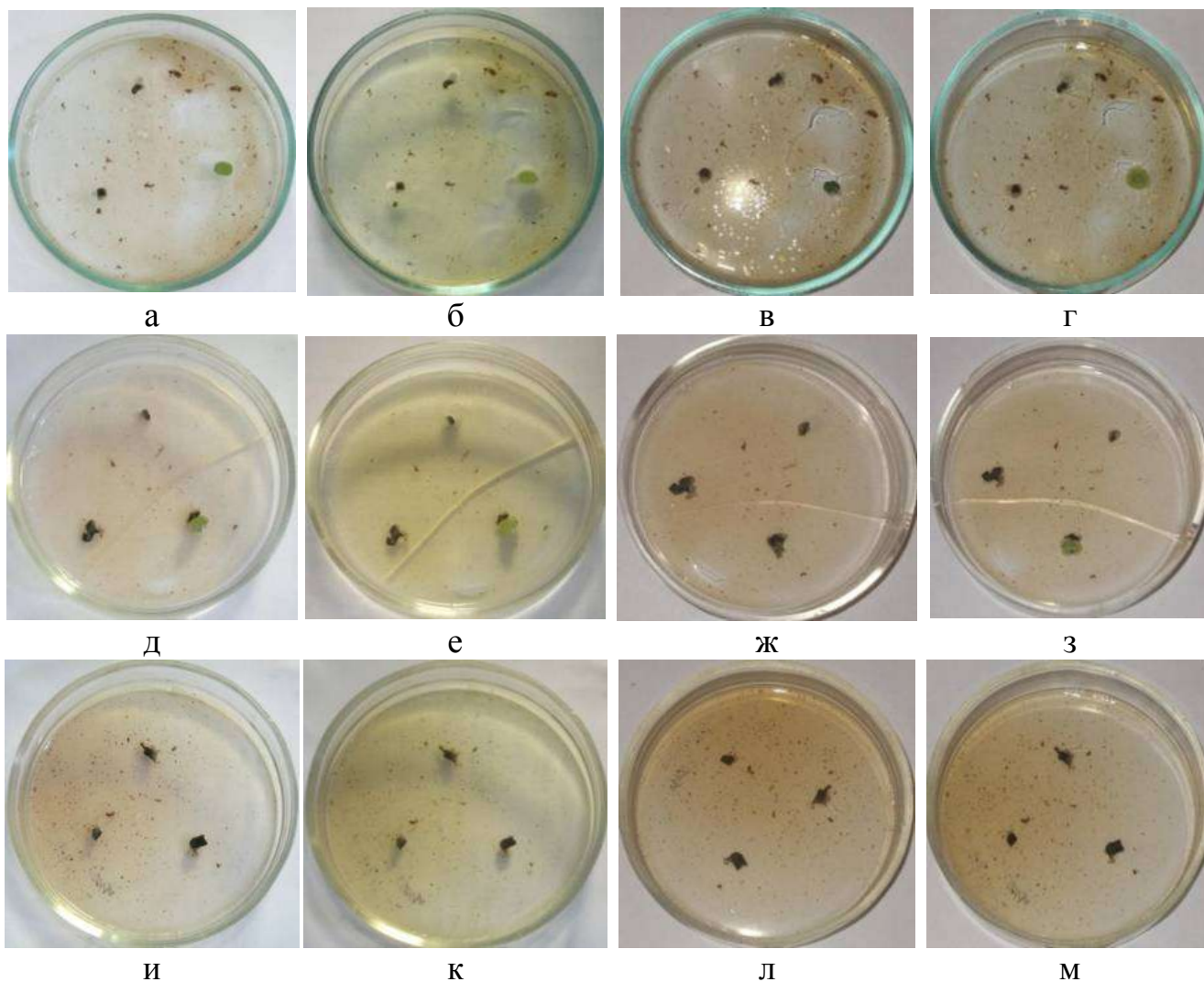


Рисунок 41. Фунгистатическое действие препарата Adolit M flussig в концентрациях 16 г/л (а–г), 32 г/л (д–з) и 64 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Trichoderma viride*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Фунгистатическое действие современного реставрационного фунгицида Impragnierung BFA оценивали по воздействию 3-х его концентраций (половинной, рекомендованной и удвоенной), добавленных в агаризованную питательную среду на основе экстракта исторической древесины сосны обыкновенной, на рост мицелия 3-х тест-культур макромицетов – *Serpula lacrymans*, *Lentinula edodes* и *Pleurotus ostreatus* и 3-х тест-культур микромицетов – *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma viride* и *Alternaria solani* (Рисунки 42–47).

Развития культуры *S. lacrymans* на среде с добавлением всех исследованных концентраций Impragnierung BFA не происходило (Рисунок 42). Наблюдали

живой мицелий тест-объекта, развивающийся в верхней части инокулюма, не соприкасающийся со средой и не переходящий на среду (Рисунок 42).

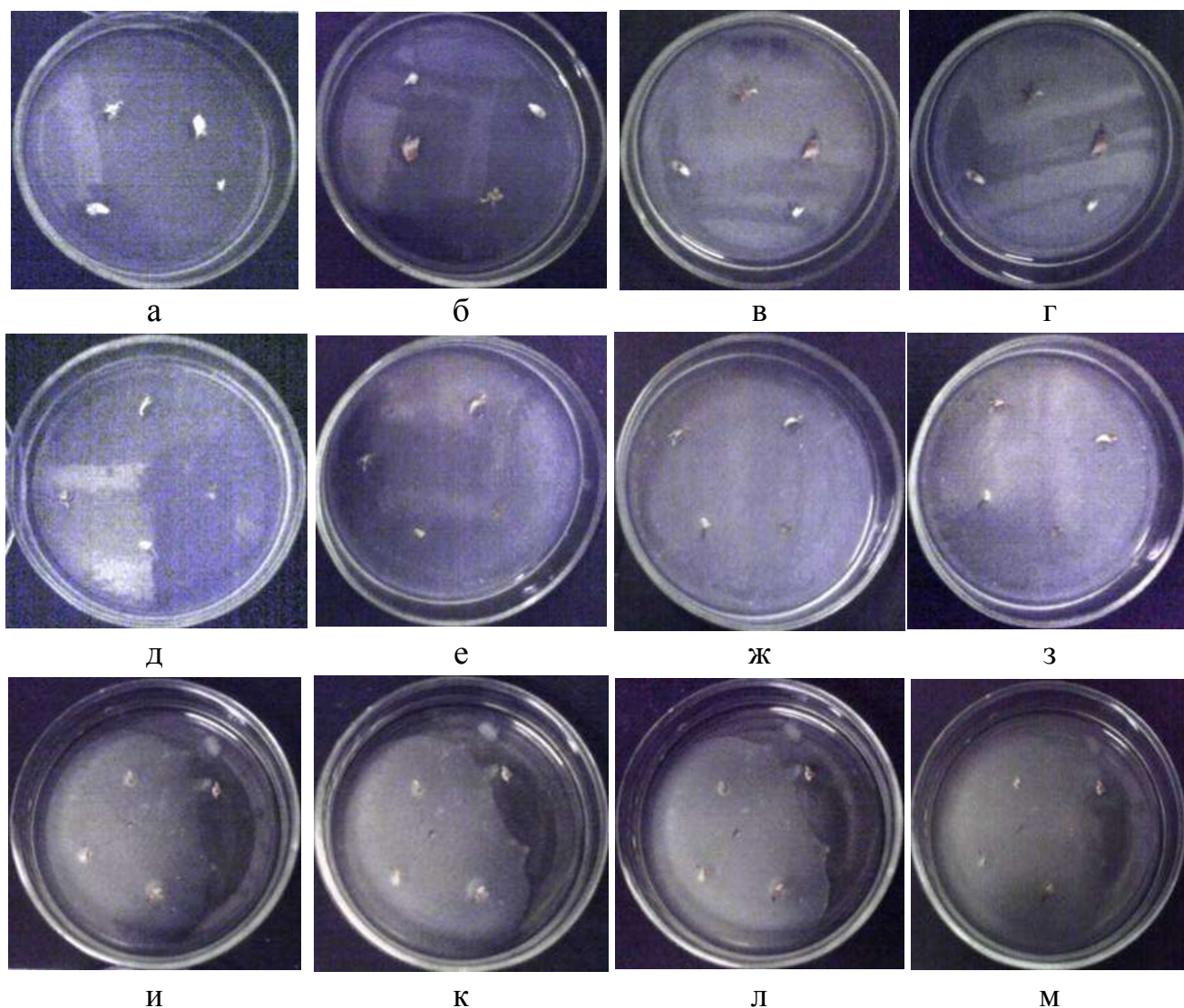


Рисунок 42. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Serpula lacrymans*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Развития мицелия тест-культуры *Lentinula edodes* на среде с добавлением разных концентраций препарата Impragnierung BFA не происходило. Наблюдали так же, как и при исследовании фунгистатического действия препарата Adolit M flüssig (Рисунок 37) живой мицелий тест-объекта, развивающийся в верхней части инокулюма, который не переходил для роста на поверхность питательной среды (Рисунок 43).

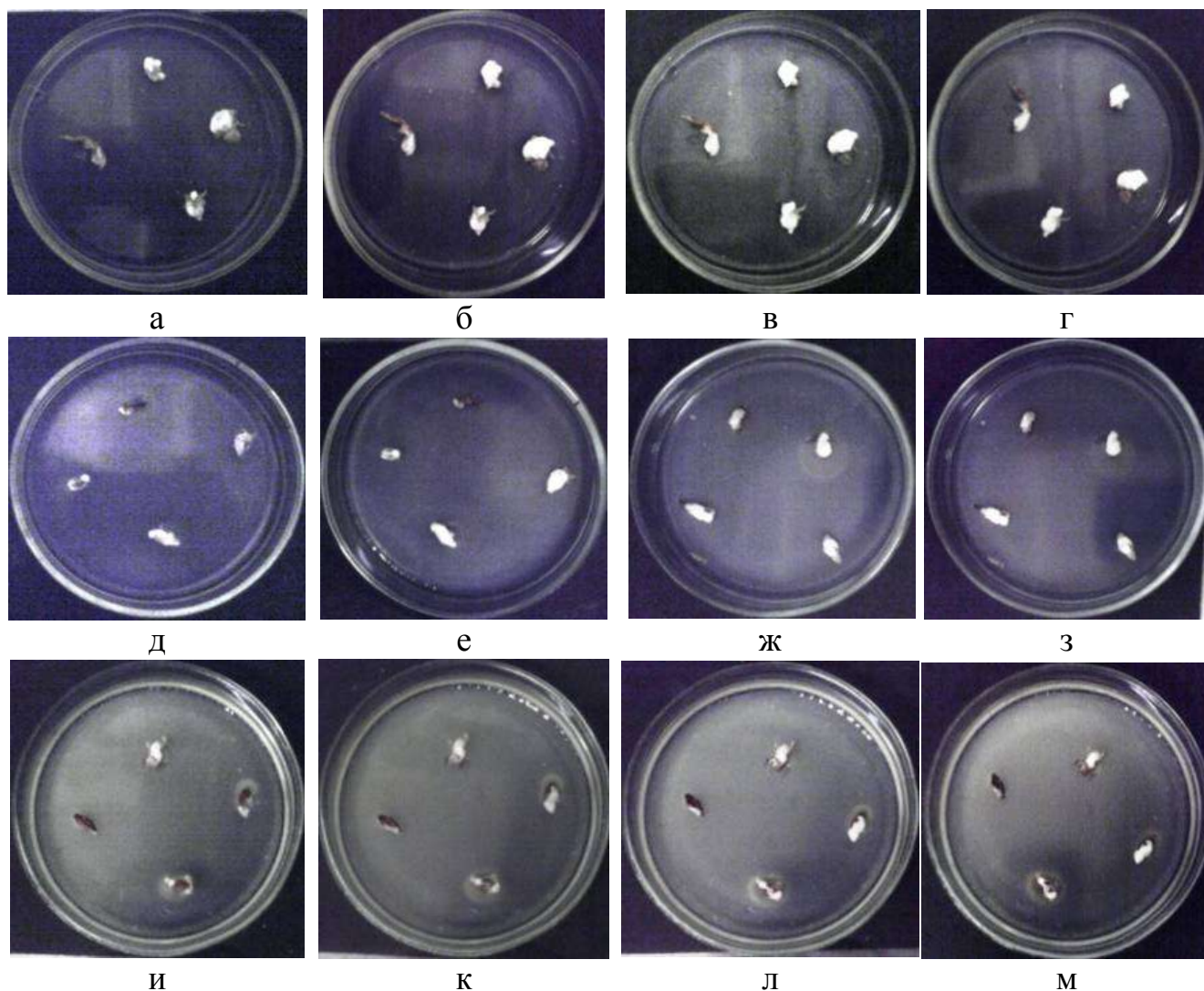


Рисунок 43. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Lentinula edodes*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Развитие мицелия тест-культуры *Peurotus ostreatus* наблюдали на питательных средах с добавлением концентраций 0.375 и 1.5 г/л препарата Impragnierung BFA (Рисунок 44). Однако максимальный радиальный прирост колоний к концу опыта (на 14-е сутки) не превысил 8 мм, что в 5–7 раз меньше, чем прирост контрольной колонии тест-объекта – съедобного ксилотрофного базидиомицета *P. ostreatus*. То есть при всех исследованных концентрациях Impragnierung BFA фиксировали его фунгистатическое действие на тест-культуру, лишь менее значительное при половинной и удвоенной концентрациях реставрационного фунгицида (Рисунок 44).

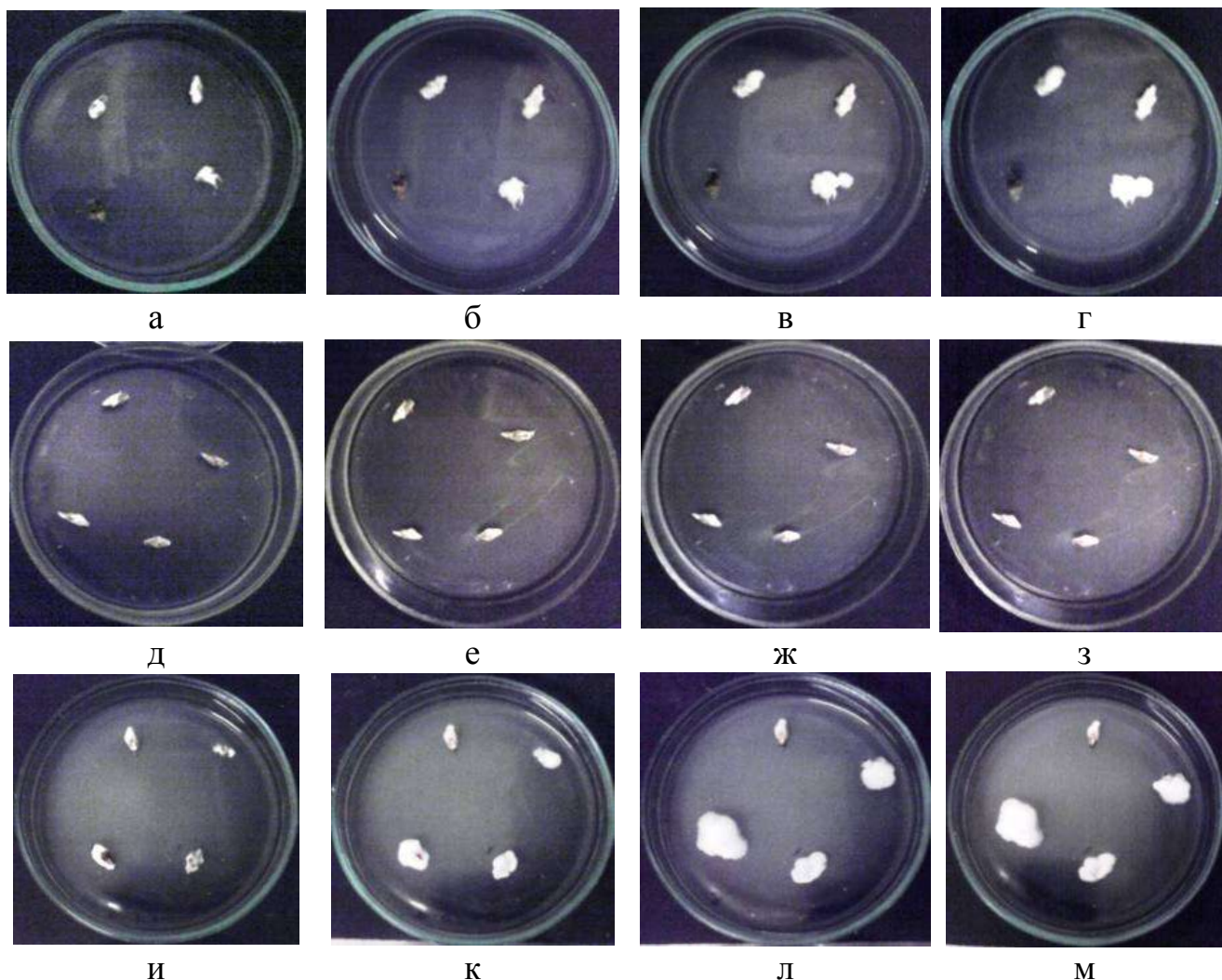


Рисунок 44. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие дереворазрушающего макромицета *Peurotus ostreatus*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Фиксировали весьма слабое развитие колоний тест-культуры микромицета *Alternaria solani* на среде с половинной концентрацией препарата Impragnierung BFA – 0.375 г/л, однако радиальный прирост колонии тест-объекта к концу опыта (на 14-е сутки) на вышеупомянутой концентрации препарата уступал контрольной культуре в 8–9 раз (Рисунок 45). То есть даже половинная концентрация препарата Impragnierung BFA в 0.375 г/л, добавленная в агаризованную среду, оказывала фунгистатическое действие на *A. solani*. При других (рекомендованной и удвоенной) концентрациях Impragnierung BFA фиксировали выраженный и стабильный фунгистатический эффект на развитие мицелия тест-культуры микромицета *A. solani* (Рисунок 45).

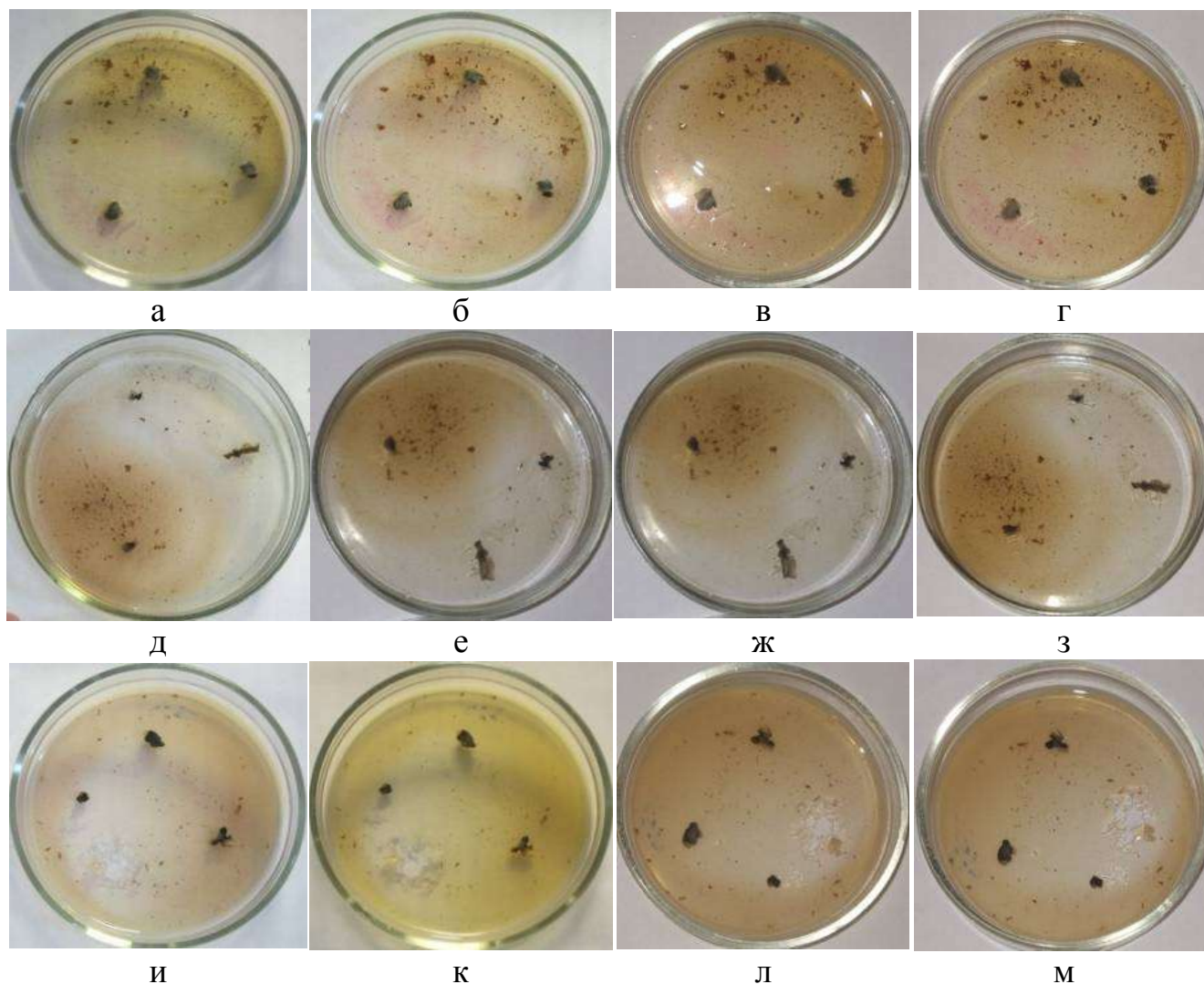


Рисунок 45. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Alternaria solani*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Весьма сходную картину полного отсутствия роста мицелия тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum* наблюдали на агаризованной питательной среде на основе экстракта исторической древесины сосны обыкновенной с добавлением трех разных концентраций (половинной, рекомендованной к применению и удвоенной) препарата Impragnierung BFA. Развитие мицелия микромицета ограничивалось остатками питательных веществ инокулюма, разрастания мицелия на поверхности питательной среды даже к 14-м суткам (концу опыта) не фиксировали (Рисунок 46). То есть выявили длительное фунгистатическое действие всех исследованных концентраций химического фунгицида Impragnierung BFA на культуру тест-объекта – микромицета *F. oxysporum*,

входящего в состав комплексов активных микодеструкторов исторической древесины памятников архитектуры г. Санкт-Петербурга (Рисунок 46).

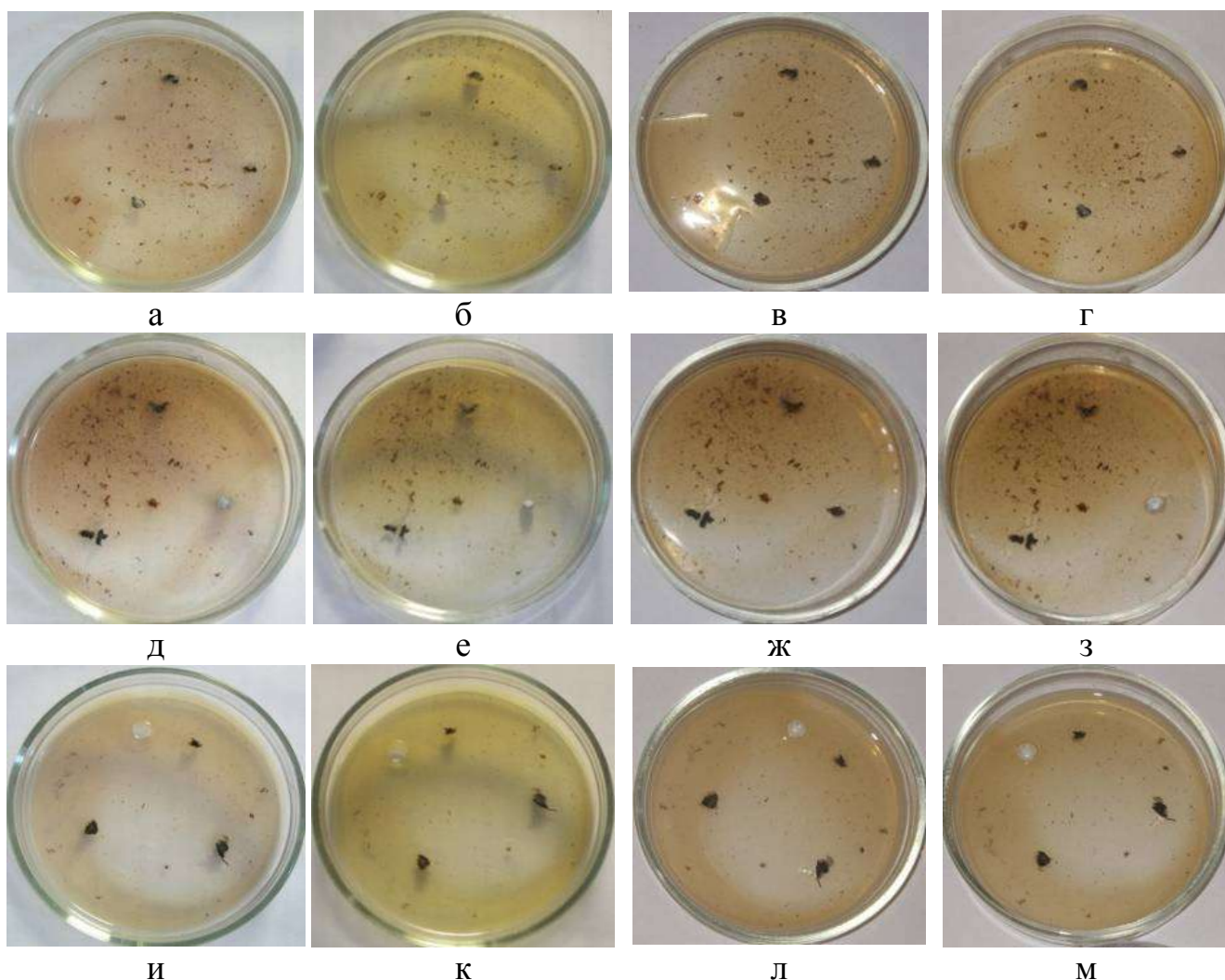


Рисунок 46. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Fusarium oxysporum*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

При исследовании развития тест-культуры *Trichoderma viride* выявили полное отсутствие роста мицелия на агаризованной среде с добавлением половинной, рекомендованной и удвоенной концентраций современного фунгицида Impragnierung BFA (Рисунок 47). То есть при всех исследованных концентрациях препарата наблюдали значительный стабильный и пролонгированный фунгистатический эффект (Рисунок 47). Как и в случае с использованием препарата Adolit M flussig, высокая скорость роста тест-объекта и

его значительная конкурентоспособность не позволили мицелию *T. viride* преодолеть фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA ни в одной из исследованных концентраций (Рисунок 47).

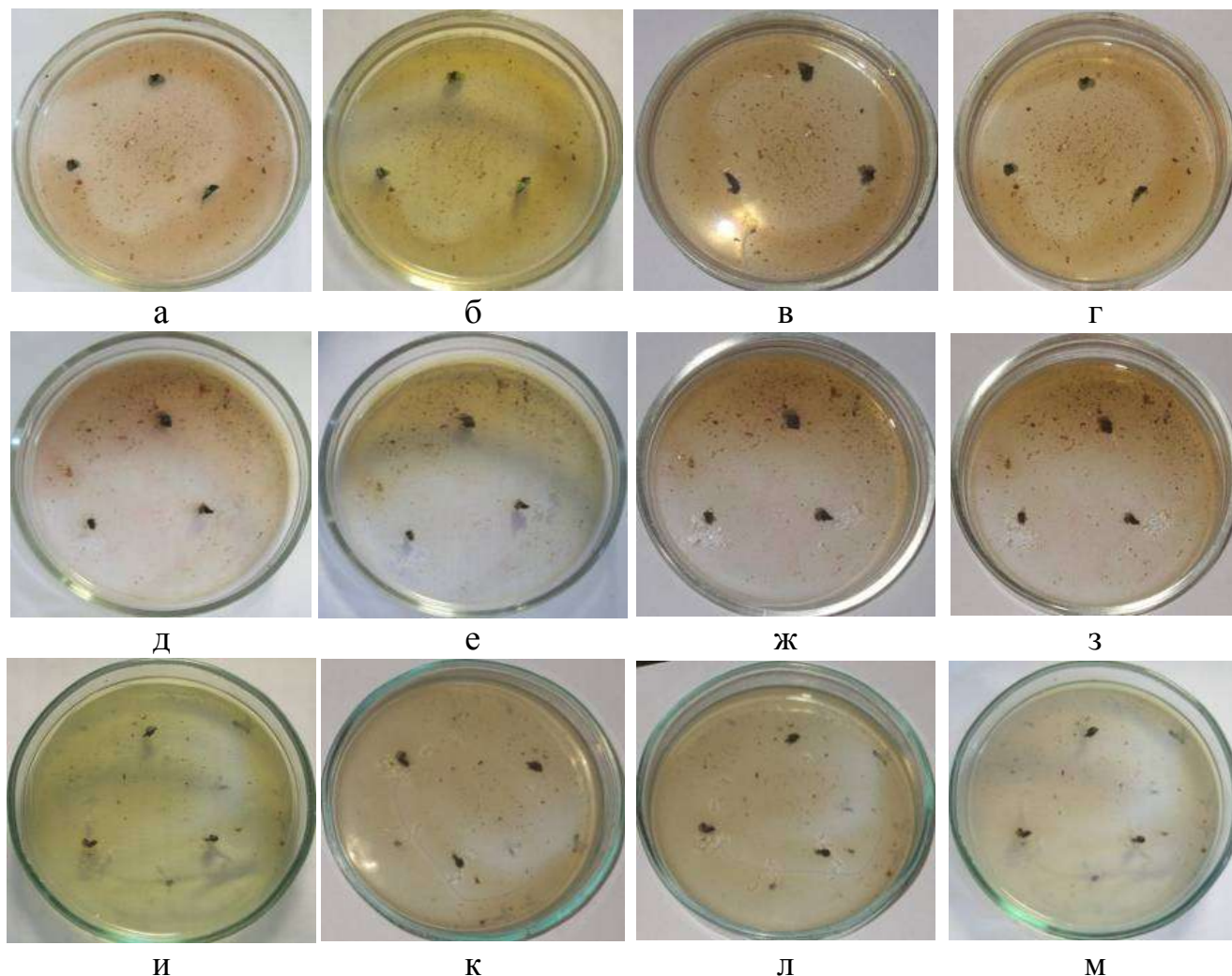


Рисунок 47. Фунгистатическое действие препарата Impragnierung BFA в концентрациях 0.375 г/л (а–г), 0.75 г/л (д–з) и 1.5 г/л (и–м) на развитие тест-культуры микромицета *Trichoderma viride*: а, д, и – 1-е сутки; б, е, к – 4-е сутки; в, ж, л – 7-е сутки; г, з, м – 10-е сутки опыта.

Статистическая обработка результатов оценки фунгистатического действия препаратов Adolit M flüssig и Impragnierung BFA, используемых в современной реставрационной практике для контроля поражений исторической древесины, а также обработки деревянных конструкций, участвующих в замене разрушенных исторических элементов при их реставрации, выявила достоверный

фунгистатический эффект для всех исследованных концентраций (половинных, рекомендованных к применению и удвоенных) обоих препаратов (Таблица 20).

Таблица 20

Значения по модулю t-критерия Стьюдента при оценке фунгистатического действия препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA

Препарат; кон- центрация Тест-объект	Adolit M flussig			Impragnierung BFA		
	16 г/л	32 г/л	64 г/л	0.375 г/л	0.75 г/л	1.5 г/л
<i>Serpula lacrymans</i>	92.5000	92.5000	92.5000	92.5000	92.5000	92.5000
<i>Pleurotus ostreatus</i>	44.5000	44.5000	44.5000	42.1927	43.5588	40.9326
<i>Lentinula edodes</i>	39.7143	39.7143	39.7143	39.7143	39.7143	39.7143
<i>Alternaria solani</i>	18.0866	18.0529	18.2403	17.8867	18.1992	18.2403
<i>Fusarium oxysporum</i>	34.3505	34.3505	34.3505	33.5882	34.3505	34.3505
<i>Trichoderma viride</i>	53.9714	53.9714	53.9714	53.9714	53.9714	53.9714

Примечание: для 6-ти степеней свободы, организованных в опыте, и $p = 0.01$ табличное значение t-критерия составило 3.7074. Приводятся значения t-критерия Стьюдента по модулю, так как при отсутствии роста тест-объекта этот показатель имеет отрицательное значение.

Сравнение скоростей роста тест-культур при воздействии различных концентраций реставрационных фунгицидов представлены на Рисунке 48.

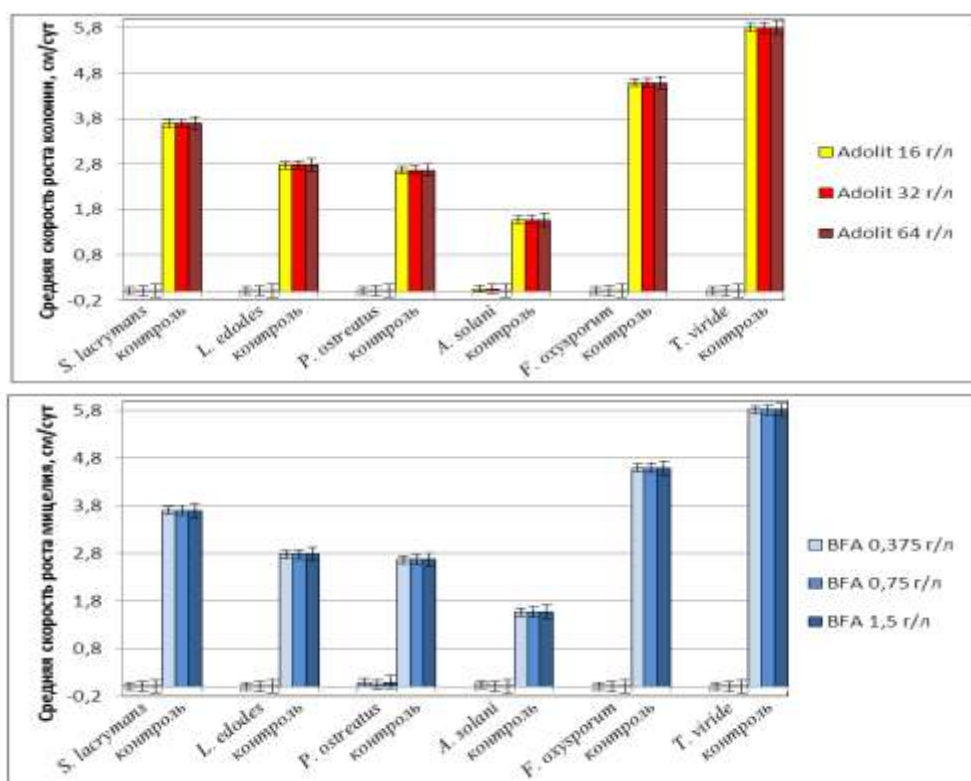


Рисунок 48. Средняя скорость роста мицелия тест-культур при воздействии различных концентраций препаратов Adolit M flussig (а) и Impragnierung BFA (б).

Из данных, представленных на Рисунке 48, становится очевидным, что рост тест-культур при воздействии любой из исследованных концентраций обоих реставрационных фунгицидов либо не происходил вообще, либо в 2–9 раз средняя скорость роста мицелия в контрольных вариантах была выше, чем в опытных. То есть достоверный выраженный длительный фунгистатический эффект зафиксировали для всех исследованных концентраций препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA на 6-и тест-культурах макро- и микромицетов (Рисунок 48).

Таким образом, возможно применение современных реставрационных фунгицидов Adolit M flussig и Impragnierung BFA в качестве превентивных средств на поверхности материалов для предотвращения колонизации конструктивных элементов и развития их микопоражений. Кроме того, при возникновении очагов поражений как рекомендованные, так и половинные концентрации препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут быть использованы для купирования развития как микро-, так и макромицетов на исторической древесине конструктивных элементов памятников архитектуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Историческая древесина элементов конструкций памятников архитектуры г. Санкт-Петербурга в интактном состоянии сохраняет влажность на уровне 8–12 %, поэтому не подвергается биодеструкции ни микро-, ни макромицетами (Рядова и др., 2004). Наличие трофической базы для микромицетов в виде органических остатков белковой природы и агрессивное систематическое увлажнение уже при субоптимальной температуре приводят к колонизации поверхностных слоев древесины конструкций. Формирующийся при поверхностной колонизации комплекс микромицетов-биодеструкторов в благоприятных для этого условиях активно деструктурирует поверхностные и более глубокие слои древесины, выделяя продукты жизнедеятельности и сохраняя метаболическую воду в субстрате, подготавливает его для колонизации макромицетами. Поэтому макромицеты могут поселяться не только в местах агрессивного воздействия влаги на древесину (протечек, систематического конденсирования, перепада температуры по длине и объему элемента конструкции), но и в тех местах, где происходит интенсивная колонизация субстрата и успешное развитие микромицетов на нем. Макромицеты, осуществляя глубокую биодеструкцию древесины, конкурируют с микромицетами за субстрат и формируют во времени условия для образования разнообразных, многочисленных, сменяющихся микосинузий, существующих в относительно стабильной структуре до изменения трофической базы и меняющих свой состав по мере изменения последней под действием деструктирующей доминанты. Показатель обилия макромицета-эдификатора достигает 30 %, т. к. на нескольких элементах обитает обычно одна особь базидиомицета. То есть субоптимальные константные значения температуры и влажности обуславливают биодеструкцию древесины путем биоконверсии некробионтных консорций. Составы комплексов вышеупомянутых консорций, качественная и количественная структура формирующих их микосинузий выявлены популяционными микологическими и молекулярно-генетическими методами исследований образцов пораженной древесины конструкций 3-х исторических зданий г. Санкт-Петербурга. Так в

результате микологического анализа образцов пораженной древесины различных конструкций здания Каменноостровского Императорского Театра выявлено 57 видов микроорганизмов, из которых 4 вида бактерий (3 вида рода *Pseudomonas*, 1 вид рода *Streptomyces*) и 53 вида – представители микобиоты (52 вида микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 13 семействам, 16 родам; в здании Гостиницы «Михайловская» выявлен 51 вид микроорганизмов, из которых 2 вида бактерий (1 вид рода *Pseudomonas*, 1 вид рода *Streptomyces*) и 49 видов – представители микобиоты (48 видов микромицетов и 1 вид макромицета), относящихся к 3 отделам, 10 порядкам, 12 семействам, 17 родам; в деревянном корпусе Наркологического диспансера – 105 видов микроорганизмов, из которых 4 вида бактерий (1 вид рода *Pseudomonas*, 3 вида рода *Streptomyces*), 99 видов – представители микобиоты (95 видов микромицетов и 4 вида макромицетов), относящихся к 3 отделам, 13 порядкам, 16 семействам, 24 родам. Показано, что по своим таксономическим характеристикам микобиота исторической древесины трех различных зданий в значительной степени сходна.

Представители микобиоты формируют комплексы, включающие доминирующие, частые, редкие и случайные виды, которые в разной степени участвуют в биодеструкции древесины. Эти комплексы микобиоты различались по своему составу и структуре доминант. Тем не менее, доминировали с высокой встречаемостью и обилием в составе микобиоты микромицеты-космополиты, обладающие широчайшими трофическими возможностями и большой экологической пластичностью (виды *Penicillium* и *Fusarium*). Эти виды были ответственны и за начало биодеструкции деревянных элементов конструкций, и за формирование устойчивых микосинузий в некробионтных консорциях на исторической древесине: виды *Fusarium*, *Penicillium* и *Aspergillus* в сочетании с различными видами *Acremonium*, *Alternaria* и *Chaetomium*, совокупная доля которых в микосинузиях элементов с поверхностной колонизацией древесины составила 53–72 %, а максимальный пул в образцах $\times 10^6$ КОЕ/г, что свидетельствовало об их участии в биодеструкции древесины. Сходство

комплексов микромицетов было выше в образцах, отобранных с конструктивных элементов одного здания и находящихся в сходных условиях, обуславливающих одинаковую степень биодеструкции древесины конструкций.

Смена ядра (детерминанта) консорции на осуществляющих глубокую биодеструкцию исторической древесины ксилотрофных макромицетов – эдификаторов структуры микосинузий – приводила к сукцессии некробионтных консорций в зависимости от вида макромицета и степени биодеградации деревянных элементов конструкций памятников архитектуры. Так в процессе исследований было показано, что разнообразие микромицетов изменялось в процессе биодеструкции: на начальном этапе III-й степени видовое разнообразие было невелико в связи с тем, что макромицет успешно конкурировал с микромицетами. Далее, видовое разнообразие микромицетов увеличивалось при незначительном обилии каждого вида. По этому показателю при сукцессиях некробионтных консорций лидировали виды *Penicillium* (20–75 %). Глубокую биодеструкцию древесины в зданиях Императорского Театра и Гостиницы «Михайловская» вызывал возбудитель бурой деструктивной гнили *Antrodia xantha*, а в деревянном корпусе Наркологического диспансера – возбудители бурой гнили *Fibroporia vaillantii*, *Coniophora cerebella* и *Serpula lacrymans*, а также возбудитель белой гнили *Coriolellus serialis*. Глубокое проникновение в древесину и высокая численность доминант микосинузий (совокупная доля в 43–76 % и численность $\times 10^6$ КОЕ/г), выявление из образцов молекулярно-генетическими методами, указывали на их участие в биодеструкции элементов конструкций исторических зданий. В процессе исследований выявлены два типа сукцессий микобиоты: при биодеструкции древесины макромицетом (быстрые сукцессии), микодеструкция, осуществляемая микромицетами без участия ксилотрофных базидиомицетов (медленные сукцессии). То есть биоконверсия некробионтных консорций на исторической древесине памятников культуры проявлялась в виде медленных и быстрых сукцессий, составляющих их микосинузий, обусловленных динамикой трофической базы и экологических факторов.

В процессе работы охарактеризована возможность выявления особенностей вышеупомянутой динамики трофической базы для развития микобиоты на основе оценки состояния исторической древесины, изменения содержания ее основных биополимеров, а также различий в качественном и количественном составах экстрактивных веществ. Маркерная функция этих показателей была доказана выявленной их выравненностью в контрольных образцах, взятых на поверхности и в глубине интактных деревянных конструкций. С помощью химических методов выявлены сходные тенденции изменения содержания основных биополимеров древесины при близких уровнях биодеструкции элементов: повышение влажности поверхностных слоев субстрата при биодегградации; снижение зольности древесины при поверхностной и глубокой биодегградации, связанное с выносом углерода органики субстрата в виде CO_2 ; пропорциональное снижение содержания лигнина и целлюлозы при развитии глубоких поражений; снижение содержания целлюлозы при сохранении близких к контрольным значений содержания лигнина при поверхностной биодегградации. С использованием современных хроматографических и спектральных методов выявлены различия в качественном и количественном составах экстрактивных веществ интактной и деструктурируемой комплексами микобиоты исторической древесины, однозначно указывающие на протекание и глубину процессов биодеструкции. Этими исследованиями показана возможность использования ВЭЖХ, УФ- и особенно масс-спектрометрии при их скорости и результативности в качестве адекватных экспресс-методов выявления поражений деревянных конструкций памятников архитектуры, их интенсивности, направленности, а также доминирующих грибов и на уровне предварительного диагноза состава деструктурирующих историческую древесину комплексов микобиоты.

Полученные в результате исследований данные по статистически достоверным фунгицидным и фунгистатическим действиям рекомендованных КГИОПом реставрационных препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA определили возможность их применения в качестве превентивных средств на поверхности материалов для предотвращения колонизации элементов

конструкций и развития их микопоражений. Кроме того, при возникновении очагов поражений как рекомендованные, так и половинные концентрации препаратов Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут быть использованы для купирования развития как микро-, так и макромицетов на исторической древесине элементов конструкций памятников архитектуры.

ВЫВОДЫ

1. В очагах поражения деревянных элементов конструкций в здании Императорского Театра выявлено 53 вида представителей микобиоты (52 вида микромицетов и 1 вид макромицета), в здании Гостиницы "Михайловская" – 49 видов (48 видов микромицетов и 1 вид макромицета); в деревянном корпусе Наркологического диспансера – 99 видов (95 видов микромицетов и 4 вида макромицетов). По своим таксономическим характеристикам надвидового уровня микобиота очагов поражения деревянных конструкций трех исторических зданий в значительной степени (более 50 %) сходна.
2. Представители микобиоты формируют различные по своему составу и структуре комплексы, включающие доминирующие, частые, редкие и случайные виды, которые в разной степени участвуют в биодеструкции древесины. Сходство комплексов микромицетов выше в образцах элементов конструкций одного здания, находящихся в сходных условиях, обуславливающих одинаковую степень биодеструкции древесины.
3. Осуществляющие глубокую биодеструкцию древесины макромицеты конкурируют с микромицетами за субстрат и формируют условия для образования разнообразных, относительно стабильных по структуре микосинузий.
4. Устойчивые микосинузии биодеструкторов древесины формируются видами *Fusarium*, *Penicillium* и *Aspergillus* в сочетании с различными видами *Acremonium*, *Alternaria* и *Chaetomium*.
5. Процессы биодеструкции древесины сопровождаются сукцессией комплексов колонизаторов, что приводит к уменьшению разнообразия и численности микромицетов в микосинузиях.
6. Выявлено два типа сукцессий микобиоты: быстрые сукцессии – при биодеструкции макромицетом в комплексе с микромицетами, и медленные сукцессии – при биодеструкции микромицетами без участия ксилотрофных базидиомицетов.

7. Биодеструкция древесины I-й и II-й степеней в местах поражений элементов конструкций обусловлена развитием комплексов микромицетов с преобладающими видами *Fusarium*, *Penicillium* и *Aspergillus*, биодеструкция III-й степени – развитием комплексов микро- и макромицетов с доминированием в зданиях Императорского Театра и гостиницы "Михайловская" – *Antrodia xantha*, в здании Наркологического диспансера в разных очагах – *Fibroporia vaillantii*, *Coniophora cerebella*, *Serpula lacrymans*, *Coriolellus serialis*.
8. Микодеструкция исторической древесины в местах поражений характеризуется повышением влажности более чем на 20 %, уменьшением зольности более чем на 50 %, специфичными качественным и количественным составами экстрактивных веществ, выявленными посредством хроматографии, УФ- и масс-спектрометрии (finger prints) по сравнению с данными для непораженных участков конструкций.
9. Медленная биодеструкция микромицетами сопровождается снижением содержания целлюлозы более чем на 20 %, быстрая биодеструкция комплексами макромицета с микромицетами – пропорциональным уменьшением содержания лигнина более чем на 40 % и целлюлозы более чем на 20 % по сравнению с непораженными участками конструкций.
10. Рекомендованные к применению Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП) в реставрации фунгициды Adolit M flussig и Impragnierung BFA могут использоваться в качестве превентивных средств на поверхности древесины и в очагах поражений для задержки развития микобиоты и биодеструкции элементов конструкций памятников архитектуры.

Список использованной литературы

1. Аксенов, М.Ю. Выявление и изучение динамики численности некультивируемых форм *Yersinia pseudotuberculosis* во внешней среде при использовании полимеразной цепной реакции / М.Ю. Аксенов, Е.Н. Мисуренко, Н.М. Шустрова // Журнал микробиологии. 1995. – № 2. – С. 80-83.
2. Александрова, А.В. Микроскопические грибы почв и листового опада в национальном парке Кат Тиен (Южный Вьетнам) / А.В. Александрова, И.И. Сидорова, А.В. Тиунов // Микология и фитопатология. – 2011. – Т. 45, вып. 1. – С. 12-25.
3. Андронов, Е.Е. Перспективы использования молекулярного метода в строительно-реставрационной микологической экспертизе / Е.Е. Андронов, А.Г. Пинаев, Ю.А. Титова, С.А. Павлов, В.И. Живан // Микология и фитопатология. – 2007. – Т.41, вып. 6. – С. 487-499.
4. Анисимова, Н.А. Идентификация органических соединений: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «химия» / Н.А. Анисимова // Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. – 95 с.
5. Арефьев, С.П. Системный анализ биоты дереворазрушающих грибов / С.П. Арефьев. – Новосибирск: Наука, 2010. – 261 с.
6. Бабицкая, В.Г. Особенности деградации лигнина природных полимеров ксилотрофами и почвенными сапротрофами / В.Г. Бабицкая, В.В. Щерба // Микробиология. – 1994. – № 1 – С.65-72.
7. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова; под ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 247 с.
8. Баранов, Н.Г. Материалы к изучению агарикоидных базидиомицетов Курской области / Н.Г. Баранов // Микология и фитопатология. – 2002. – Т. 36, вып. 5. – С. 15-23.
9. Бахтин, В.С. Грибные вредители книг / В.С. Бахтин // Дневник Всесоюзного съезда ботаников. – 1928. – С. 169-170.
10. Беккер, З.Э. Физиология грибов и их практическое использование / З.Э. Беккер. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 268 с.

11. Беккер, З.Э. Физиология и биохимия грибов / З.Э. Беккер; под ред. З.А. Турковой. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 230 с.
12. Беломесяцева, Д.Б. Микобиота в консорции можжевельника в Беларуси / Д.Б. Беломесяцева. – Минск: Право и экономика, 2004. – 236 с.
13. Билай, В.И. Фузарии / В.И. Билай. – Киев: Наукова думка, 1977. – 443 с.
14. Бисько, Н.А. Изменение химического состава субстрата при культивировании *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. / Н.А. Бисько, В.И. Фомина, Е.П. Володина, В.Т. Билай // Микология и фитопатология. – 1986. – Т. 20, вып. 5. – С. 392-395.
15. Болобова, А.В. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. В 2 кн. Кн. 2 : Ферменты, модели, процессы / А.В. Болобова, А.А. Аскадский, В.И. Кондращенко, М.Л. Рабинович; под ред. А.В. Болобовой. – М.: Наука, 2002. – 343 с.
16. Бондарцев, А.С. Видовой состав домовых грибов в Ленинграде, по данным Отдела Фитопатологии, за 1924-27 г / А.С. Бондарцев // Болезни растений. Вестник Отдела Фитопатологии Главного Ботанического сада. – 1927. – XIV год, № 1. – С. 185-188.
17. Бондарцев, А.С. Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа / А.С. Бондарцев; под ред. В.П. Савича. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1953. – 1106 с.
18. Бондарцев, А.С. Пособие для определения домовых грибов / А.С. Бондарцев – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1956. – 98 с.
19. Бондарцева, М.А. Разрушение материалов грибами в подземных горных выработках / М.А. Бондарцева, Э.О. Семан // Микология и фитопатология. – 1976. – Т. 10, вып. 6. – С. 518-521.
20. Бондарцева, М.А. Определитель грибов СССР: Порядок афиллофоровые. Вып. 1 / М.А. Бондарцева, Э.Х. Пармasto; отв. ред. М.В. Горленко. – Л.: Наука, 1986. – 192 с.

21. Бондарцева, М.А. Исследования по биоте афиллофороидных грибов в таежных экосистемах Северо-Запада России / М.А. Бондарцева, В.М. Коткова // Лесобиол. исслед. на северо-западе таежной зоны России: итоги и перспективы. – 2007. – С. 30-41.
22. Боровиков А. М. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
23. Буров, А.В. Изучение свойств лигнина и целлюлозы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: учебно-метод. пособие / А.В. Буров, Р.Г. Алиев, Е.А. Павлова, Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко // СПб.: ГОУВПО СПбГТУ РП, 2009. – 24 с.
24. Бурова, Л.Г. Экология грибов макромицетов / Л.Г. Бурова; отв. ред. М.В. Горленко. – М.: Наука, 1986. – 222 с.
25. Бухало, А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре / А.С. Бухало; отв. ред. И.А. Дудка. – Киев: Наукова думка, 1988.- 144 с.
26. Вакин, А.Т. Изыскание методов полноценной пропитки антисептиками древесины ели / А.Т. Вакин, Д.В. Соколов, Р.Ю. Тарханова, С.Д. Цветкова // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 126-133.
27. Вакин, А.Т. Комплексная гниль древесины в градирнях тепловых электростанций и меры борьбы с ней / А.Т. Вакин, Д.В. Соколов, Н.Г. Прикот [и др.] // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 91-100.
28. Вакин, А.Т. Сравнительная стойкость некоторых древесных пластиков и плит против биологического разрушения / А.Т. Вакин, Д.В. Соколов, В.И. Щедрова, Н.Ф. Транина // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: научные труды. – 1968. – № 110. – С. 101-108.
29. Ванин, С.И. Лесная фитопатология / С.И. Ванин; под ред. Д.В. Соколова. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 284 с.

30. Ванинская, Ю.М. Изменения в строении сосны и ели при поражении дереворазрушающими грибами / Ю.М. Ванинская // Экология древесных растений. –1955. – С. 23-32.

31. Васильев, О.А. К вопросу об использовании антагонизма грибов и бактерий для защиты древесины / О.А. Васильев // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110.– С. 28-33.

32. Великанов, Л.Л. Полевая практика по экологии грибов и лишайников / Л.Л. Великанов, И.И. Сидорова, Г.Д. Успенская. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 112 с.

33. Великанов, Л.Л. Количественный учет биомассы мицелия как необходимый компонент микоценологических исследований макромицетов / Л.Л. Великанов, И.И. Сидорова // Материалы II (X) съезда РБО. – СПб., 1998. – Т. 2. – С. 22.

34. Великанов, Л.Л. Регуляция высшими базидиомицетами структуры мико- и микробиоты почв и подстилки лесных экосистем. II. Влияние базидиомицетов на видовое разнообразие почвенных микромицетов / Л.Л. Великанов, И.И. Сидорова // Микология и фитопатология. – 1998. – Т. 32, вып. 1. – С. 33-36.

35. Великанов, Л.Л. Макромицеты-регуляторы структурно-функциональной и пространственно-временной организации мико- и микробиоты почв лесных экосистем / Л.Л. Великанов, И.И. Сидорова // I-ый съезд микологов России. Раздел 2. – М., 2002. – С. 86.

36. Власов, Д.Ю. К вопросу об адаптивной эволюции микроскопических грибов / Д.Ю. Власов // Актуальные проблемы микологии. – 2001. – С. 202-215.

37. Власов, Д.Ю. Обзор методов исследования грибов, повреждающих памятники архитектуры и искусства / Д.Ю. Власов, М.С. Зеленская, А.А. Горбушина, Е.В. Богомоллова // Актуальные проблемы микологии. – 2001. – С. 88-100.

38. Власов, Д.Ю. Образование обогащенной гипсом патины на памятниках из карбонатных пород (на примере Санкт-Петербурга) / Д.Ю. Власов, О.В. Франк-Каменецкая, М.А. Архипова // Биокосные взаимодействия: жизнь и

камень: материалы Междунар. симпоз. (23-25 июня 2004 г). – СПб., 2004. – С. 203-206.

39. Воронин, Л.В. Сукцессии комплексов грибов на отмерших растительных субстратах в малых озерах Воркутинской тундры / Л.В. Воронин // Микология и фитопатология. – 2007. – Т. 41, № 5. – С. 403–412.

40. Гаврилова, В.П. Возможности нетрадиционного использования базидиомицетов в кожевенном и текстильном производстве / В.П. Гаврилова, И.И. Шамолина, Н.В. Белова // Биотехнология. – 2002. – № 5. – С. 74-80.

41. Гарибова, Л.В. Морфология, биология и систематика рода *Agaricus* Fr. emend Karst.: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05 / Гарибова Лидия Васильевна. – М., 1982. – 36 с.

42. Гарибова, Л. В. Обзор и анализ современных систем грибов / Л. В. Гарибова; науч. ред. В.И. Шубин. – Петрозаводск: НИИ леса Карельского НЦ РАН, 1999. – 23 с.

43. Гашев, С.Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области) / С.Н. Гашев. – Тюмень: Изд-во Тюмен. ун-та, 2000. – 220 с.

44. Гашкова, М.Я. Разработка биологического метода защиты древесины березы от грибов «белой гнили» / М.Я. Гашкова // Материалы науч.-практ. конф. ЛТА. - Л., 1966. – Вып. 6. – С. 141-144.

45. Гашкова, М.Я. Смена грибов в древесины березы в связи с их физиологическими особенностями / М.Я. Гашкова // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 34-41.

46. Гашкова, М.Я. Оксидазная активность некоторых дереворазрушающих грибов / М.Я. Гашкова // Защита леса. – 1972. – № 144. – С. 8-12.

47. Гинцбург, А.Л. Современное состояние и перспективы молекулярно-генетических методов в решении задач медицинской микробиологии / А.Л. Гинцбург // Микробиология, иммунология и вирусология. – 1999. – №5. – С. 22-26.

48. Глушко, Н. И. Особенности биодеструкции деревянных исторических зданий / Н. И. Глушко, С. Д. Лисовская, В. Р. Паршаков, Е. В. Халдеева // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2010. – № 1. – С. 59.
49. Головлева, Л. А. Разложение лигнина грибными культурами / Л. А. Головлева, Х. Г. Ганбаров, Г. К. Скрыбин // Микробиология. – 1982. – Т. 51, № 4. – С. 543-547.
50. Гончаров, Г.Н. Процессы сульфатного выветривания известкового цемента в старинных зданиях Санкт-Петербурга / Г.Н. Гончаров, Е.В. Андреева, И.В. Дроздова, М.Л. Зорина // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень: материалы Междунар. симпоз. (23-25 июня 2004 г). – СПб., 2004. – С. 206-207.
51. Горбань, М.В. Сравнительная биоповреждающая активность микромицетов – деструкторов полимерных материалов / М.В. Горбань, Т.Д. Ямпольская // Современные проблемы биологических исследований в Западной Сибири и на сопредельных территориях: сб. мат-лов всерос. науч. конф. – Сургут, 2011. – С. 246-248.
52. Горбань, М.В. Физиологические аспекты деструкции синтетических и природных полимеров коллекционными и аборигенными штаммами микромицетов / М.В. Горбань, Т.Д. Ямпольская // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, вып. 1. – С. 2206-2210.
53. Горбатова, О.Н. Изучение некоторых биохимических и физико-химических свойств индуцибельной формы внеклеточной лакказы базидиомицета *Coriolus hirsutus* / О.Н. Горбатова, Е.В. Степанова, О.В. Королева // Прикладная биохимия и микробиология. – 2000. – Т. 36, № 3. – С. 272-277.
54. Дворнина, А.А. Базидиальные съедобные грибы в искусственной культуре / А.А. Дворнина. – Кишинев: Штиинца, 1990. – 112 с.
55. Демидова, З.А. Домовые грибы в Уральском строительстве / З.А. Демидова // Вопросы предохранения древесины от гниения. – 1961. – С. 5-25.
56. Демидова, З.А. Базидиальные грибы, поражающие древесину на Урале. Материалы по микологии Урала / З.А. Демидова. – Свердловск: Уральский филиал Акад. наук СССР, 1962. – 50 с.

57. Дерево. Каталог строительных материалов и изделий. Раздел 4; гл. ред. К.С. Алябан. – М.: Изд-во Акад. Архитектуры СССР, 1948. – 98 с.
58. Дзагания, А.М. Консортивные взаимоотношения микромицетов в агроценозах тропиков и субтропиков / А.М. Дзагания // Микология и фитопатология. – 1990. – Т. 24, вып. 1. – С. 10-12.
59. Дзедзюля, Е.И. Участие некоторых грибных ферментов в биодegradации лигноцеллюлозных субстратов / Е.И. Дзедзюля // Прикладная биохимия и микробиология. – 2001. – Т. 40, № 3. – С. 169-214.
60. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 414 с.
61. Дунаев, А.В. Макромицеты, поражающие стволловую часть дуба в лесостепных дубравах / А.В. Дунаев, О.В. Афанасенкова // Защита и карантин растений. – 2009. – № 2. – С. 51-52.
62. Дунаев, В.Ф. Закономерность изменения механических свойств древесины во времени при деформировании / В.Ф. Дунаев // Лесной журнал. – 2010. – № 3. – С. 101-109.
63. Дьяков, Ю.Т. Общая и молекулярная фитопатология: учеб. пособие / Ю.Т. Дьяков, О.Л. Озерецковская, В.Г. Джавахия, С.Ф. Багирова. – М.: Общество фитопатологов, 2001. – 302 с.
64. Журавлев, И.И. Защита зеленых насаждений от болезней / И.И. Журавлев. – М.: Изд-во «Лесная промышленность», 1966. – 232 с.
65. Журавлев, И.И. Болезни лесных деревьев и кустарников / И.И. Журавлев, Р.А. Крангауз, В.Г. Яковлев. – М.: Изд-во «Лесная промышленность», 1974. – 236 с.
66. Заикин, В.Г. Основы масс-спектрометрии органических соединений / В.Г. Заикин, А.В. Варламов, А.И. Микая, Н.С. Простаков. – М.: МАЙК Наука/Интерпериодика, 2001. – 286 с.
67. Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. РВСН 20-01-2006 Санкт-Петербург. – СПб.: ОАО «Изд-во Стройиздат СПб.», 2006. – 52 с.

68. Змитрович, И.В. Эволюционно-таксономические аспекты поиска и изучения лигнинразрушающих грибов – активных продуцентов окислительных ферментов / И.В. Змитрович, Н.В. Псурцева, Н.В. Белова // Микология и фитопатология. – 2007. – Т. 41, вып. 1. – С. 57-78.

69. Золотарев, Ф.Н. Деградация лигнина базидиомицетами / Ф.Н. Золотарев, Г.И. Головина, О.А. Сивочуб // Микология и фитопатология. – 1990. – Т. 24, вып. 1. – С. 38-44.

70. Иванова, А.М. Влияние микромицетов на деструкцию сооружений в антропогенно-нарушенной экосистеме Санкт-Петербурга / А.М. Иванова, И.Ю. Кирцидели, М.А. Мельник // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень: материалы Междунар. симпоз. (23-25 июня 2004 г). – СПб., 2004. – С. 210-212.

71. Иванова, Т.Л. Домовые грибы и влажность пораженной ими древесины / Т.Л. Иванова // Защита леса. – 1972. – № 144. – С. 58-66.

72. Ивановский, Б.В. Химия угля / Б.В. Ивановский. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1968. – 80 с.

73. Илюхин, Е.В. Агарикоидные базидиомицеты лесов Ульяновской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.12 / Илюхин Евгений Валерьевич. – СПб., 2010. – 24 с.

74. Ипатов, В.С. Фитоценология: Учебник / В.С. Ипатов, Л.А. Кирикова; рец.: В.И. Василевич. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 316 с.

75. Казарцев, И.А. Особенности разложения древесины грибами, вызывающими коррозию и делигнификацию.: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Казарцев Игорь Александрович. – СПб., 2010. – 24 с.

76. Кирцидели, И.Ю. Формирование сообществ микромицетов в воздухе музеев Санкт-Петербурга / И.Ю. Кирцидели, Е.В. Богомолова // Микология и фитопатология. – 2008. – Т. 42, вып. 2. – С. 128-136.

77. Ковалева, Г.К. Биологические особенности и биохимический состав ксилотрофных базидиомицетов *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., *Trametes versicolor* (L.:Fr.) Pilat.: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.24 / Ковалева Гульмира Кажгалиевна. – М., 2009. – 23 с.

78. Коваль, Э.З. Микодеструкторы промышленных материалов / Э.З. Коваль, Л.П. Сидоренко; отв. ред.: В. И. Билай. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.

79. Комаров, Ф.П. Руководство к лабораторным работам по химии древесины и целлюлозы / Ф.П. Комаров; под ред. В. Якиманского. – Л.: Гослестехиздат, 1934. – 56 с.

80. Корниенко, И.В. Подготовка биологического материала для молекулярно-генетических идентификационных исследований при массовом поступлении неопознанных тел / И.В. Корниенко, Д.И. Водолажский, В.П. Вейко [и др.]; под ред. П.Л. Иванова. – Ростов-на-Дону: ООО "Ростиздат", 2001. 256 с.

81. Коробова, Л.Н. Особенности сукцессии микробных сообществ в черноземах западной Сибири: автореф. дис. ... доктора биол. наук: 03.00.16 / Коробова Лариса Николаевна. – Новосибирск, 2007. – 43 с.

82. Костюк, С.А. Полимеразная цепная реакция — современный метод клинической лабораторной диагностики / С.А. Костюк, Г.Я. Хулуп, Н.А. Бадыгина [и др.] // Медицинские новости. – 2004. – №2. – С. 24-30.

83. Кочунова, Н.А. Базидиальные макромицеты юга Амуро-Зейского междуречья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Кочунова Наталья Анатольевна. – Владивосток, 2007. – 24 с.

84. Крейцберг, З.Н. Изменение микроструктуры клеточной оболочки трахеид ели и волокон либриформа березы под действием грибов бурой гнили / З.Н. Крейцберг, В.Н. Сергеева, Н.Р. Озолия // Известия Акад. наук Латвийской ССР. – 1976. – № 11. – С. 97-111.

85. Крутов, В.И. Характер консортивных взаимоотношений между патогенными грибами и высшими растениями при формировании лесных фитоценозов на вырубках / В.И. Крутов // Микосимбиотрофизм и другие консортивные отношения в лесах Севера. – 1985. – С. 133-142.

86. Курсанов, Л.И. Микология. 2-е изд. / Л.И. Курсанов; отв. ред. Н.А. Комарницкий, М.А. Лагутина. – М.: Гос.уч.-пед.изд., 1940. – 480 с.

87. Курсанов, Л.И. Определитель низших растений. Том 3. Грибы / Л.И. Курсанов, Н.А. Наумов, Н.А. Красильников, М.В. Горленко; под ред. Л.И. Курсанова. – М.: Советская наука, 1954. – 454 с.
88. Курсанов, Л.И. Определитель низших растений. Том 4. Грибы / Л.И. Курсанов, Н.А. Наумов, М.К. Хохряков [и др.]; под ред. Л.И. Курсанова. – М.: Советская наука, 1956. – 450 с.
89. Курьянова, Т.К. Формоустойчивость и некоторые механические свойства термохимически обработанной древесины дуба / Т.К. Курьянова // Деревообрабатывающая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 14-16.
90. Куцев, М.Г. Фрагментный анализ ДНК растений: RAPD, DAF, ISSR / М.Г. Куцев; рец. А.В. Родионов, Н.В. Фризен. – Барнаул: ARTIKA, 2009. – 164 с.
91. Лебедева, Л.А. Грибы и миксомицеты Советской Карелии / Л.А. Лебедева // Труды Ботанического ин-та АН СССР. – 1939. – Т. 2, вып. 1. – С. 329-406.
92. Леонтьевский, А.А. Внеклеточные лигнинразрушающие ферменты гриба *Panus tigrinus* / А.А. Леонтьевский, Л.А. Головлева // Биохимия. – 1990. – Т. 55, № 3. – С. 423-431.
93. Лилли, В. Физиология грибов / В. Лилли, Г. Барнетт – М.: Изд-во иностр.лит., 1953. – 531 с.
94. Литвинов, М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов / М.А. Литвинов; отв. ред. М.М. Голлербах. – Л.: Наука, 1967. – 303 с.
95. Литвинов, М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов / М.А. Литвинов. – Л.: Наука, 1969. – 253 с.
96. Лобанок, А.Г. Микробный синтез на основе целлюлозы. Белок и другие ценные продукты / А.Г. Лобанок, В.Г. Бабицкая, Ж.Н. Богдановская; рец. М.В. Залашко, Н.И. Федоров. – Минск: Наука и техника. 1988. – 261 с.
97. Лопухов, Л.В. ПЦР в клинической микробиологической практике / Л.В. Лопухов, Н.В. Эйдельштейн // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2000. – Т.2, № 3. – С. 96-106.

98. Майер, Л.В. Гидродинамические свойства малоизмененных лигнинов / Л.В. Майер, А.А. Арутюнян, Т.Э. Скребец, К.Г. Боголицын // Лесной журнал. 2001. – № 5 – С. 144-148.
99. Макарова, Л.А. Погода и болезни культурных растений / Л.А. Макарова, И.И. Минкевич. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 144 с.
100. Макринова, И.А. Домовый грибок (*Merulius lacrymans*), его распознавание и средства борьбы / И.А. Макринова. – Петроградъ: Вторая Государственная Типографія, 1920. – 214 с.
101. Мамедов, Р.М. Использование экстракта *Muscari comosum* (L.) Mill. для сохранения деревянных изделий от воздействия дереворазрушающих грибов / Р.М. Мамедов, О.М. Гёкташ // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 141-144.
102. Марьиновская, Ю.В. Микробиологическая деструкция целлюлозосодержащих отходов / Ю.В. Марьиновская, Н.Н. Севастьянова // Микробиология. – 2006. – №3. – С. 75-81.
103. Мезенцев, Б.А. Некоторые данные об антисептировании древесностружечных плит / Б.А. Мезенцев, В.И. Щедрова // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 146-150.
104. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений / И. Бёттхер, Т. Ветцель, Ф.В. Древе [и др.] – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
105. Методы почвенной микробиологии и биохимии / И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Б.А. Бызов [и др.]; рец. В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – М.: МГУ, 1980. – 224 с.
106. Методы экспериментальной микологии. Справочник / И.А. Дудка, С.П. Вассер, И.А. Эланская [и др.]; отв. ред. В.И. Билай. – Киев: Наукова думка, 1982. – 552 с.

107. Миркин, Б.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг, Л.Г. Наумова; отв. ред. Т.А. Работнов, Ю.А. Злобин. – М.: Наука, 1989. – 223 с.

108. Мирчинк, Т.Г. Использование некоторых сред для выделения почвенных грибов / Т.Г. Мирчинк // Биологические науки. – 1970. – № 1. – С. 123-128.

109. Мирчинк, Т.Г. О методах учета количества и биомассы грибов в почвах / Т.Г. Мирчинк // Вопросы численности и биомассы почвенных микроорганизмов. – 1972. – С. 34-37.

110. Мирчинк, Т.Г. Методические подходы к изучению грибов-микромикетов в почве / Т.Г. Мирчинк // Методы выделения и идентификации почвенных микромикетов-биодеструкторов. – 1982. – С. 96-99.

111. Мирчинк, Т.Г. Характеристика комплексов грибов-микромикетов некоторых почв Советского Союза / Т.Г. Мирчинк, Л.Н. Степанова, О.Е. Марфенина, С.М. Озерская // Вестник МГУ. Сер. Почвоведение. – 1981. – № 1. – С. 61-66.

112. Мирчинк, Т.Г. Почвенная микология / Т.Г. Мирчинк; рец. Л.В. Калакуцкий. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 219 с.

113. Михалева, Л.Г. Рекомендации по борьбе с домовыми грибами / Л.Г. Михалева – Якутск: Изд-во ЯГУ, 2002. – 23 с.

114. Мокрушина, Н.С. Биоконверсия древесинных отходов методом компостирования с получением органического удобрения / Н.С. Мокрушина, Т.С. Тарасова, И.В. Дармов // Известия Самарского науч. центра Рос. Акад. наук – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 228-232.

115. Морочковський, С.Ф. Визначник грибів України. Незавершені гриби. Т. 3. / С.Ф. Морочковський, Г.Г. Радзієвський, М.Я. Зерова [и др.] – Київ: Наукова думка, 1971. – 696 с.

116. Мухин, В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины / Мухин В.А. – Екатеринбург: Наука, 1993. – 222 с.

117. Негруцкий, С.Ф. Роль температуры в развитии гриба *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. / С.Ф. Негруцкий. – Ботанический журнал. – 1962. – Т. 47, вып. 3. – С. 416-418.
118. Низовская, О.П. Окисление лигнина пшеничной соломы базидиомицетами / О.П. Низовская, И.М. Панькова, Г.И. Кочеткова, Н.С. Мануковский // Микология и фитопатология. – 1984. – Т. 18, вып. 2. – С.133-135.
119. Никифорова, С.В. Биоконверсия хризена грибом белой гнили *Pleurotus ostreatus* D1 / С.В. Никифорова, Н.Н. Позднякова, О.Е. Макарова, М.П. Чернышова, О.В. Турковская // Микробиология. – 2010. – Т. 79, №4. – С. 481-485.
120. Нюкша, Ю.П. Некоторые причины порчи книг / Ю.П. Нюкша // Природа. – 1955. – № 11. – С. 94-96.
121. Нюкша, Ю.П. Микрофлора книг и бумаги / Ю.П. Нюкша // Ботанический журнал. – 1956. – Т. 41, № 6. – С. 797-809.
122. Нюкша, Ю.П. Микроскопическое изучение бумаги, пигментированной грибом *G. setosus* / Ю.П. Нюкша // Микробиология. – 1960. – Т. 29, вып. 1. – С. 133-135.
123. Нюкша, Ю.П. Систематический обзор грибов, обитающих на бумаге / Ю.П. Нюкша // Ботанический журнал. – 1961. – Т. 46, № 1. – С. 70-79.
124. Нюкша, Ю.П. Взаимоотношения между грибами, вызывающими порчу книг / Ю.П. Нюкша // Прикладная биохимия и микробиология. – 1967. – Т. 3, вып. 5. – С. 622-627.
125. Нюкша, Ю.П. Пигментация среды грибами и условия pH / Ю.П. Нюкша // Микология и фитопатология. – 1968. – Т. 2, вып. 4. – С. 331-341.
126. Нюкша, Ю.П. Грибы, обитающие на бумаге / Ю.П. Нюкша // Микология и фитопатология. – 1974. – Т. 8, вып. 4. – С. 306-309.
127. Нюкша, Ю.П. Ферментативная активность грибов, повреждающих бумагу / Ю.П. Нюкша // Микология и фитопатология. – 1976. – Т. 10, вып. 3. – С. 185-190.

128. Нюкша, Ю.П. Причины поражаемости и грибостойкости бумаги / Ю.П. Нюкша // Микроорганизмы и низшие растения-разрушители материалов и изделий. – 1979. – С. 217-224.
129. Оболенская, А.В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская. – М.: Лесная промышленность, 1955. – 320 с.
130. Оболенская, А.В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская, В.П. Щеголев, Г.Л. Аким // М.: Лесная промышленность, 1967. – 411 с.
131. Овчинников, Д.В. Определение родственных лигнину фенолов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Д.В. Овчинников, Д.С. Косяков, Н.В. Ульяновский // Аналитика и контроль. – 2014. – Т. 18, № 3. – С. 302-309.
132. Озерская, С.М. Структура комплексов почвенных грибов-микромицетов двух лесных биоценозов зоны смешанных лесов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.24 / Озерская Светлана Михайловна. – М., 1980. – 24 с.
133. Озерская, С.М. Структуры комплексов грибов-микромицетов подстилок и почв двух лесных биогеоценозов / С.М. Озерская, Т.Г. Мирчинк, К.М. Запрометова // Биологические науки. – 1981. – № 1. – С. 99-103.
134. Околов, И.Н. Определение концентрации глазных капель левофлоксацина и моксифлоксацина в содержимом влаги передней камеры глаза методом ВЭЖХ МС / И.Н. Околов, Ю.В. Тахтаев, А.И. Мяжитова [и др.] // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. – Т. 12, № 4. – С. 44-51.
135. Остроумов, Л.А. Метод выделения растительной ДНК из растений и продуктов питания / Л.А. Остроумов, А.Ю. Просеков, А.Н. Архипов, О.В. Мудрикова // Известия Самарского науч. центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 722-724.
136. Паников, Н.С. Кинетика роста микроорганизмов / Н.С. Паников; отв. ред. Д.Г. Звягинцев. – М.: Наука, 1991. – 309 с.
137. Пианка, Э. Эволюционная экология / Э. Пианка; под ред. М.С. Гилярова. – М.: Мир, 1981. – 399 с.

138. Пидопличко, Н.М. Грибы - паразиты культурных растений. Определитель в 3-х томах / Н.М. Пидопличко; рец. В.И. Билай, М.Я. Зерова. – Киев: Наукова думка, 1977. – 826 с.
139. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 368 с.
140. Плохинский, Н.А. Математические методы в биологии / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 266 с.
141. Полубояринов, О.И. Современное состояние и перспективы использования в производстве древесины, пораженной гнилью / О.И. Полубояринов // Материалы науч.-практич. конф. ЛТА. – Л., 1966. – Вып. 6. – С.147-150.
142. Попов, М.Г. Основы флорогенетики / М.Г. Попов. – М.: АН СССР, 1963. – 135 с.
143. Попова, Н.Р. Каталитическое окисление диоксанлигнина растворенным кислородом / Н.Р. Попова, А.Е. Кошелева, К.Г. Боголицын // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 49-54.
144. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. – М.: Стройиздат, 1997. – 151 с.
145. Рабинович, М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов: в 2 кн. Кн. I Древесина и разрушающие ее грибы / М.Л. Рабинович, А.В. Болобова, В.И. Кондращенко. – М.: Наука, 2001. – 264 с.
146. Работнов, Т.А. О консорциях / Т.А. Работнов // Бюллетень МОИП. Отд. Биологии. – 1969. – Т. 74, № 4. – С. 109-116.
147. Равкин, Ю.С. Особенности морфологического изучения животного населения на зональных трансектах (исходные концепции и допущения) / Ю.С. Равкин // Известия РАН. Сер. Биол. – 1996. – № 5. – С. 603-612.
148. Райлло, А.И. Микофлора почвы / А.И. Райлло // Дневник Всесоюз. съезда ботаников (январь 1928 г). – Л., 1928. – С. 181-183.

149. Рангно, Н.В. Диагностика домовых грибов при помощи ДНК-чипа / Н.В. Рангно, К. Якобс, Б. Вейб [и др.] // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2010. – № 1. – С. 76-77.

150. РВСН 20-01-2006 Региональные временные строительные нормы. Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. – СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2006. – 55 с.

151. Репникова Е.А. Исследование структуры лигнинов / Е.А. Репникова, Л.А. Алешина, С.В. Глазкова, А.Д. Фофанов // Химия растительного сырья. – 2004. – № 1. – С. 5-9.

152. Решетникова, И.А. Деструкция лигнина ксилотрофными макромицетами. Накопление селена и фракционирование его изотопов микроорганизмами / Решетникова И.А. // М.: СП Новинтех-Пресс, 1997. – 202 с.

153. Русинова, Т.В. Разработка технологий биосинтеза фермента лакказы базидиальными грибами *Trametes*: автореф. дис. ... канд. технич. наук: 03.00.23 / Русинова Татьяна Витальевна. – М., 2007. – 191 с.

154. Рябушева, Ю.В. Заметки о микобиоте парка биологического института СПбГУ (усадьба «Сергиевка») / Ю.В. Рябушева, Е.В. Сафронова // Актуальные проблемы микологии. – 2001. – С. 74-87.

155. Рядова, М.Н. Микобиота стропильных конструкций и кирпичной кладки крыши Казанского кафедрального собора / М.Н. Рядова, Ю.А. Титова, А.Е. Серов, Е.Н. Серов, И.О. Зыков // Микология и альгология – 2004: материалы юбилейной конф. – М., 2004. – С. 116-118.

156. Савельева, Д.Н. Взаимодействие высших съедобных базидиомицетов и дрожжей в чистой культуре [Электронный ресурс] / Д.Н. Савельева // Научный биологический блог. – 2010. Режим доступа: <http://shmain.ru/nauchnye-stati/vzaimodejstvie-vyshshix-sedobnyx-bazidiomicetov-i-drozhzhej-v-chistoj-kulture.html>

157. Сажин, А.А. Исследование физико-химических процессов делигнификации древесины в системе этанол-уксусная кислота-вода и получение материалов на основе органосольVENTных полуфабрикатов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 02.00.04 / Сажин Александр Анатольевич. – Йошкар-Ола, 2004. – 20 с.
158. Саики, Р. Полимеразная цепная реакция / Р. Саики, У. Гиленстен, Г. Эрлих // Анализ генома. Методы. – 1990. – С.176-190.
159. Сафонов, М.А. Грибы, обитающие на древесине плодовых деревьев в Оренбургской области / М.А. Сафонов // Вестник оренбургского государственного педагогического университета. – 2012. – № 2. – С. 8-11.
160. Светашева, Т.Ю. Тульская область как объект микологических исследований. Агарикоидные грибы / Т.Ю. Светашева // Грибы в природных и антропогенных экосистемах: материалы 3-й Междунар. конф. (24 – 28 апреля 2005). – СПб., 2005. – Т. 2. – С. 177-182.
161. Свиридова, О.В. Разложение коры хвойных деревьев грибами и бактериями / О.В. Свиридова, Л.В. Михалева, Н.И. Воробьев, В.В. Кочетков // Микология и фитопатология. – 2001. – Т. 35, вып. 1. – С. 38-47.
162. Семак, И. В. Определение рокситромицина в сыворотке крови методом жидкостной хроматографии с масс спектрометрическим детектированием / И.В. Семак, А.Н. Алексеев, Е.О. Корик [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 2. – С. 199-205.
163. Семенова, И.Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины (определятельные таблицы): учеб. пособие / И.Г. Семенова; рец. В.Д. Ломов, М.В. Щепашенко. – М.: ГОУВПОМГУЛ, 2008. – 72 с.
164. Серков, Б.Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины [Электронный ресурс] / Б.Б. Серков, Р.М. Асеева, А.Б. Сивенков // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" – 2011. – Вып. № 6. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-6/11-06-11.ttb.pdf>

165. Серов, А.Е. Основные результаты обследования конструкций крыши Казанского собора / А.Е. Серов, Е.Н. Серов, С.А. Лабутов, Ю.А. Титова // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 56-ой Междунар. научн. конф. молодых ученых. – СПб., 2004. – Ч. 1 – С. 32-37.

166. Сидорова, И.И. Регуляция высшими базидиомицетами структуры мико- и микробиоты почв и подстилки лесных экосистем. I. Влияние базидиомицетов на численность грибов и бактерий / И.И. Сидорова, Л.Л. Великанов // Микология и фитопатология. – 1997. – Т. 31, вып. 4. – С. 20-26.

167. Синадский, Ю.В. Некоторые трутовые грибы на лиственных породах в пойме реки Урал / Ю.В. Синадский, М.А. Бондарцева // Ботанические материалы Отдел споровых растений. – 1960. – Т. 13. – С. 222-232.

168. Сеница, А.П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов: учеб. пособие. / А.П. Сеница, А.В. Гусаков, В.М. Черноглазов; под ред. А.П. Сеницы. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.

169. Синцов, К.Н. Микромицеты лигниновых шламоотвалов / К.Н. Синцов, Е.В. Старкова, Е.А. Мартинсон [и др.] // Экология и здоровье человека: материалы XVIII Всероссийского конгресса (8-10 октября 2013 г.). – Самара, 2013. – С. 1961-1964.

170. Скала, Л.З. Современные аспекты клинической микробиологии. – М., 1999. – 323 с.

171. Слудский, Н.Ф. Эпидемия вредителей построек в Московской губернии / Н.Ф. Слудский // Дневник Всесоюз. съезда ботаников. – 1928. – С. 186-187.

172. Смирнов, В.Ф. Деструкция микромицетами композиционных материалов на основе природных и синтетических полимеров / В.Ф. Смирнов, А.Е. Мочалова, О.Н. Смирнова [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 4. – С. 537-541.

173. Смицкая, М.Ф. Определитель пиреномицетов СССР / М.Ф. Смицкая, Л.В. Смык, Т.А. Мережко. – Киев: Наукова думка, 1986. – 364 с.

174. Смоленская, Н.Г. Современные методы обследования зданий / Н.Г. Смоленская, Л.А. Дудышкина, А.Г. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1972. – 80 с.

175. Смоляницкая, О.Л. Микромицеты как потенциальные агенты биоповреждения культурных ценностей и стратегия защиты от них в Государственном Эрмитаже: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.24 / Смоляницкая Ольга Львовна. – СПб., 2007. – 25 с.

176. Соколов, Д.В. Некоторые новые данные о защите древесины оросителей в градирнях / Д.В. Соколов, Р.Ю. Тарханова // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 135-145.

177. Соколов, Д.В. Опыт использования антибиотических веществ, продуцируемых трутовыми и некоторыми другими грибами для борьбы с фузариозом семян сосны / Д.В. Соколов, В.И. Щедрова // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 109-113.

178. Соловьев, В.А. Биологическое разложение древесины как саморегулируемый процесс / В.А. Соловьев // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 73-78.

179. Соловьев, В.А. Влияние двуокиси углерода на дыхание некоторых дереворазрушающих грибов / В.А. Соловьев, М.Я. Гашкова // Защита леса. – 1968. – № 144. – С. 114-116.

180. Соловьев, В.А. Количественная характеристика микогенного ксилолиза / В.А. Соловьев, О.Н. Малышева // Превращение древесины при микробиологическом и ферментативном воздействиях. – 1980. – С. 35-38.

181. Степанова, Е.В. Сравнительная характеристика лакказ высших грибов и возможность их практического применения: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.04 / Степанова Елена Владимировна. – М., 1999. – 23 с.

182. Стороженко, В.Г. Грибные сообщества лесных экосистем: материал координационных исследований РАН / В.Г. Стороженко, В.И. Крутов, Н.Н. Селочник; отв. ред. В.Г. Стороженко, В.И. Крутов. – М. – Петрозаводск: Карельский науч. центр. РАН, 2000. – 320 с.

183. Стороженко, В.Г. Структура микоценозов устойчивых лесных сообществ / В.Г. Стороженко // Лесобиологические исследования на северо-западе таежной зоны России: итоги и перспективы. – 2007. – С. 30-41.
184. Стыскин, Е.Л. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография / Е.Л. Стыскин, Л.Б. Ициксон, Е.В. Брауде. – М.: Химия, 1986. – 284 с.
185. Терехова, В.А. Влияние перекрестной интродукции микромицетов на минерализацию подстилки ненарушенных южнотаежных ельников / В.А. Терехова, С.Я. Трофимов // Микология и фитопатология. – 2001. – Т. 35, вып. 4. – С. 53-58.
186. Тихомирова, И.Н. Паразитические микромицеты Санкт-Петербурга / И.Н.Тихомирова, А.В. Тобиас // Актуальные проблемы микологии. – 2001. – С. 17-26.
187. Тобиас, А.В. Некоторые особенности формирования микобиоты Санкт-Петербурга / А.В. Тобиас, И.Н. Тихомирова // Актуальные проблемы микологии. – 2001. – С. 62-73.
188. Транина, Н.Ф. К вопросу взаимоотношения грибов и бактерий, обитающих в древесине при ее распаде / Н.Ф. Транина // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110.– С. 79-90.
189. Феофилова, Е.П. Клеточная стенка грибов: современные представления о составе и биологической функции / Е.П. Феофилова // Микробиология. – 2010. – Т. 79, № 6. – С. 723–733.
190. Физдель, И.А. Дефекты и методы устранения биопоражения в конструкциях и сооружениях / И.А. Физдель. – М.: Стройиздат, 1970. – 178 с.
191. Фризен, Н. Молекулярные методы, используемые в систематике растений / Н. Фризен. – Барнаул: АзБука, 2007. – 64 с.
192. Хеншен, А. Высокоэффективная жидкостная хроматография в биохимии / А. Хеншен, К.-П. Хупе, Ф. Лотшпайх, В. Вельтер; под ред. И.В. Березиной. – М.: Мир, 1988. – 688 с.

193. Херрингтон, С. Молекулярная клиническая диагностика. Методы / С. Херрингтон, Дж. Макгли. – М.: Мед. книга, 1999. – 433 с.
194. Холькин, Ю.И. Хроматография в химии древесины / Ю.И. Холькин. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 288 с.
195. Черепанова, Н.П. Систематика грибов: учеб. пособие. / Н.П. Черепанова. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. – 344 с.
196. Чудаков, М.И. Некоторые процессы конденсации лигнина при гидролизе древесины / М.И. Чудаков, М.Г. Окунь, А.П. Самсонова [и др.] // Сборник трудов ВНИИТС. – 1965. – Т. 14. – С. 238.
197. Чумаков, А.Е. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур / Чумаков А.Е., Захарова Т.И. – М.: Агропромиздат, 1990. – 128 с.
198. Чураков, Б.П. Микроскопические грибы, развивающиеся на дубе черешчатом в дубравах Ульяновской области / Б.П. Чураков, Т.А. Романова, К.Е. Корнилин // Ульяновский медико- биологический журнал. – 2013. – № 2. – С. 91-96.
199. Чураков, Б.П. Микромицеты лесов Кандалинского и Кузоватовского лесничеств Ульяновской области / Б.П. Чураков, Н.А. Митрофанова, К.Е. Корнилин [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, вып. 1. – С. 896-899.
200. Шарков, В.И. Количественный анализ растительного сырья / В.И. Шарков, Н.И. Куйбина, Ю.П. Соловьева. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 60 с.
201. Шеховцов, А.Г. О микофлоре почв лесных фитоценозов различных регионов России и Украины / А.Г. Шеховцов // 1-ый съезд микологов России. Раздел 2. – 2002. – С. 79-80.
202. Шкарупа, А.Г. Микромицеты как компоненты консорциев / А.Г. Шкарупа // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. – 1980. – Т. 85, вып. 4. – С. 67-78.
203. Шуберт, В. Биохимия лигнина / В. Шуберт. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 134 с.

204. Шубин, В.И. Грибы Карелии и Мурманской области / В.И. Шубин, В.И. Крутов. – Л.: Наука, 1979. – 105 с.

205. Шумилова, Л.П. Разнообразие и структура комплексов микроскопических грибов в почвах города Благовещенска / Л.П. Шумилова, Н.Г. Куимова, В.А. Терехова [и др.] // Микология и фитопатология. – 2014. – Т. 48, № 4. – С. 240-247.

206. Шутова, В.В. Физиолого-биохимическая характеристика базидиомицета *Panus tigrinus* и его применение для получения прессованных материалов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.23 / Шутова Виталина Викторовна. – Саранск, 2001. – 153 с.

207. Щедрова, В.И. Исследование процессов разрушения древесины и созданных на ее основе материалов / В.И. Щедрова, Н.Ф. Транина // Облагораживание древесины и биологическая переработка ее отходов: науч. труды. – 1968. – № 110. – С. 114-125.

208. Юницкий, А.А. Важнейшие грибные вредители лесов Казанского края / А.А. Юницкий // Дневник Всесоюз. съезда ботаников. – 1928. – С. 191-192.

209. Adair, S. A molecular approach for early monitoring of decay basidiomycetes in wood chips / S. Adair, S.H. Kim, C. Breuil // FEMS Microbiological letters. – 2002. – № 211. – P. 117-122.

210. Andronov, E.E. Molecular analyses of fungal community in St. Petersburg historical sites / E.E. Andronov, A.G. Pinaev, J.A. Titova [e.a.] // Abstracts of XV Congress of European Mycologists (16-21 September 2007). – SPb, 2007. – P. 67-68.

211. BCCM MUCL (Mycotheque de l'Universite Catholique de Louvain-la-Neuve). Agro-industrial fungi-yeasts. Catalogue 1998. – Belgium: Belgian office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, 1998. – 551 p.

212. Balazs, S. The effect of environment on the growth of *Lentinula edodes* and some microscopic pathogen fungi / S. Balazs, F. Gulyas, G.M. Kovecsne // Zoldsegtermeszt. Kut.Int.Bull. Kecskemet. – 1998. – Vol. 28. – P. 5-11.

213. Barnett, H.L. Illustrated genera of imperfect fungi / H.L. Barnett. – Minneapolis: Burgess Publ. Co., 1960. – 225 p.

214. Berbee, M.L. Cochliobolus phylogenetics and the origin of known, highly virulent pathogens, inferred from ITS and glyceraldehydes-3-phosphate dehydrogenase gene sequences / M.L. Berbee, M. Pirseyedi, S. Hubbard // Mycologia. – 1999. – № 91. – P. 964-977.
215. Booth, C. Fusarium / C. Booth. – England, Kew: CMI, 1977. – 58 p.
216. Bresinski, A. Phylogenetic relationship within Paxillus s.l. (Basidiomycetes, Boletales): separation of a southern hemisphere genus / A. Bresinski, M. Jarosch, M. Fisher [e.a.] // Plant biology. – 1999. – № 1 – p. 327-333.
217. Chapin, F.S. Principles of terrestrial ecosystem ecology / F.S. Chapin, P.A. Matson, H.A. Mooney. – New York: N.Y. Springer-Verlag, 2002. – 398 p.
218. Chesters, C.G.C. Studies on British Pyrenomycetes. I. The life histories of three species of Cephalotheca Fuck. / C.G.C. Chesters // Transact. Brit. Mycol. Soc. – 1934. – №19. – P. 261-279.
219. Damm, U. Coniochaeta (Lecythophora), Collophora gen. nov. and Phaeomoniella species associated with wood necroses of Prunus trees / U. Damm, P. H. Fourie, P. Crous // Persoonia. – 2010. – № 24. – P. 60-80.
220. Desai, J.D. Production of cellulase and beta-glucosidase by shake culture of Scytalidium lignicola / J.D. Desai, N.P. Patel // J. Ferment. Technol. – 1982. – Vol. 60. – P.117-124.
221. Doyle, J.J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue / J.J. Doyle, J.L. Doyle // Phytochem. Bull. – 1987. – Vol. 19. – P. 11-15.
222. Edwards, K. A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis / K. Edwards, C. Johnstone, C.A. Thomson // Nucleic Acids Res. – 1991. – Vol. 19. – P. 1349.
223. Ellis, M.B. Dematiaceous Hyphomycetes / M.B. Ellis. – Surrey, Kew: Commonwealth Mycol. Inst., 1971. – 608 p.
224. Ellis, M.B. More Dematiaceous Hyphomycetes / M.B. Ellis. – Surrey, Kew: Commonwealth Mycol. Inst., 1976. – 363 p.
225. Ellis, M.B. Microfungi on land plants. An identification handbook / M.B. Ellis, J.P. Ellis. – London – Sidney: Croom Helm, 1985. – 818 p.

226. Fackler, K. Assessment of early stage fungal decay of wood by FT-NIR-spectroscopy / K. Fackler, B. Hinterstoisser, M. Schwanninger [e.a] // Quality control for wood and wood products: abstr. conf. (15th - 17th October 2007). – Warsaw, 2007. – P. 145-151.
227. Gardes, M. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts / M. Gardes, T.D. Bruns // *Molec. Ecol.* – 1993. – № 2. – P. 113-118.
228. Garrett, S.D. Biological groups of soil fungi: a survey of substrate relationships / S.D. Garrett // *New Phytology*. – 1951. – Vol. 50, № 2. – P. 149-166.
229. Garrett, S.D. Soil fungi and soil fertility / S.D. Garrett. – London: Pergamon press, 1963. – 165 p.
230. Gerlach, W. The genus *Fusarium* - a Pictorial atlas / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin: Kommissionsverlag Paul Parey, 1982. – 408 p.
231. Hawksworth, D.L. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi / D.L. Hawksworth, P.M. Kirk, B.C. Sutton, D.N. Pegler; Intern. Mycol. Inst. – 8th edit. – Cambridge: CAB Intern. Univ. Press, 1995. – 616 p.
232. Hogberg, N. Identification of *Serpula lacrymans* and other decay fungi in construction timber by sequencing of ribosomal DNA – a practical approach / N. Hogberg, C.J. Land // *Holzforschung*. – 2004. – № 58. – P. 199–204.
233. Hogberg, N. Isolation and characterization of fifteen polymorphic microsatellite markers for the devastating dry rot fungus *Serpula lacrymans* / N. Hogberg, I.B. Svegarden, H. Kauserud // *Molec. Ecol. Notes*. – 2006. – № 6. – P. 1022–1024.
234. Huhndorf, S.M. Molecular systematics of the Sordariales: the order and the family Lasiosphaeriaceae redefined / S.M. Huhndorf, A.N. Miller, F.A. Fernandez // *Mycologia*. – 2004. – № 96. – P. 368-387.
235. Jarosch, M. *Leucogyrophoma*, a polyphyletic genus of the order Boletales (Basidiomycetes) / M. Jarosch, H. Besl // *Plant Biology*. – 2001. – № 3. – P. 443-448.

236. Jasalavich, C.A. Detection and identification of decay fungi in spruce wood by restriction fragment length polymorphism analysis of amplified genes encoding rDNA / C.A. Jasalavich, A. Ostrofsky, J. Jellison // *App. Environm. Microbiol.* – 2000. – Vol. 66, № 11. – P. 4725-4734.

237. Kauserud, H. Asian origin and rapid global spread of the destructive dry rot fungus *Serpula lacrymans* / H. Kauserud, I.B. Svegarden, G.-P. Sætre [e. a.] // *Molec. Ecol.* – 2007. – № 16. – P. 3350-3360.

238. Kirk, P.M. Authors of fungal names. Index of fungi supplement / P.M. Kirk, A.E. Ansell. – Plymouth: CAB Intern. Latimer Trend & Co.Ltd., 1992. – 95 p.

239. Kirk, P.M. Ainsworth & Bisby's Dictionary of the fungi. / P.M. Kirk, P.F. Cannon, D.W. Minter, J.A. Stalpers. – 10th edit. – Cambridge: CABI Eupore-UK, 2008. 771 p.

240. Kirk, T.K. Principles of lignin degradation by white-rot fungi / T.K. Kirk // *Abstracts of The Ekman Days: Int. Symp. Wood and Pulping Chem.* (9–12 June 1981). – Stockholm, 2007. – Vol. 3. – P. 66-70.

241. Košíková, B. Eine neue Methode zur Isolierung des Lignin-Saccharic-Komplexes / B. Košíková, J. Polčín, M. Dandarova-Vasatková // *Holzforschung.* – 1969. – B. 23, № 2. – P. 37-43.

242. Moreth, U. Identification of indoor rot fungi by taxon-specific priming polymerase chain reaction / U. Moreth, O. Schmidt // *Holzforschung.* – 2000. – № 54. – P. 1-8.

243. Moreth, U. Investigations on ribosomal DNA of indoor wood decay fungi for their characterization and identification / U. Moreth, O. Schmidt // *Holzforschung.* – 2005. – № 59. – P. 90-93.

244. Nicolotti, G. A Biomolecular method for the detection of wood decay fungi: A focus on tree stability assessment / G. Nicolotti, P. Gonthier, F. Guglielmo, M.M. Garbelotto // *Arboricult. Urban Forest.* – 2009. – Vol. 35, №1. – P. 14-19.

245. Nilsson, T. The degradation of cellulose and the production of cellulose, xylanase, mannanase and amylase by wood-attacking microfungi / T. Nilsson // *Studia forest. Suecica.* – 1974. – № 114. – P. 60.
246. Pitchairamu, C. Litter fungi diversity in piranmalai forest, Eastern Ghats, Tamilnadu, India / C. Pitchairamu, S. Venkatesan, K. Muthuchelian // *Ethnobotanical Leaflets.* – 2008. – № 12. – P. 750-757.
247. Raper, K.B. A manual of the Penicillia / K.B. Raper, C. Thom. – Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1949. – 672 p.
248. Ribeiro, R.A. Comparative analysis of different DNA extraction protocols in fresh and herbarium specimens of genus *Dalbergia* / R.A. Ribeiro, M.B. Lovato // *Genet. Molec. Res.* – 2007. – Vol. 6, № 1. – P. 173-187.
249. Ryvarden, L. European Polypores. Part 1. *Abortiporus-Lindtneria* / L. Ryvarden, R.L. Gilbertson. – Oslo: Fungiflora, 1993. – P. 1-387.
250. Ryvarden, L. European Polypores. Part 2. *Meripilus-Tyromyces* / L. Ryvarden, R.L. Gilbertson. – Oslo: Fungiflora, 1994. – P. 388-743.
251. Sanger, F. A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase / F. Sanger, A.R. Coulson // *J. Molec. Biol.* – 1975. – Vol. 94. – P. 444-448.
252. Sanger, F. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors / F. Sanger, S. Niclein, A.R. Coulson // *Proc. Nat. Acad. Sci.* – 1977. – Vol. 74. – P. 5463-5467.
253. Schmidt, O. Species-specific priming PCR in the rDNA-ITS region as a diagnostic tool for *Serpula lacrymans* / O. Schmidt, U. Moreth // *Mycological Research.* – 2000. – Vol. 104. – P. 69-72.
254. Schmidt, O. Data bank of rDNA-ITS sequences from building-rot fungi for their identification / O. Schmidt, U. Moreth // *Wood Sci. Technol.* – 2002. – Vol. 36. – P. 429-433.
255. Schmidt, O. Molecular identity of species and isolates of the internal pore fungi *Antrodia* spp. and *Oligoporus placenta* / O. Schmidt, U. Moreth // *Holzforschung.* – 2003. – Vol. 57. – P. 120-126.

256. Schmidt, O. Differentiation of indoor wood decay fungi with MALDI-TOF mass spectrometry / O. Schmidt, W. Kallow // *Holzforschung*. – 2005. – Vol. 59. – P. 374-377.
257. Schmidt, O. Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control / O. Schmidt // *Mycol. Progress*. – 2007. – № 6. – P. 261-279.
258. Schwanninger, M. Klason lignin: Modification to improve the precision of the standardized determination / M. Schwanninger, B. Hinterstoisser // *Holzforschung*. – 2002. – Vol. 56. – P. 161-166.
259. Short protocols in molecular biology: a compendium of methods from «Current protocols in molecular biology» / ed.F.M. Ausubel. – 5th edit. – New York: John Wiley and Sons, 2002. – 1512 p.
260. Stamets, P. Growing gourmet and medical mushroom / Stamets P. – Hong Kong: Chinese Univer. Press, 1993. – 550 p.
261. Taylor, B.H. Isolation and characterization of plant DNAs / B.H. Taylor, J.R. Manhart, R.M. Amasino // *Methods in plant molecular biology and biotechnology*. – 1993. – P. 37-65.
262. Thom, C. The Aspergilli / C. Thom, M.B. Church. – London: Bailliere, Tindall & Cox, 1926. – 272 p.
263. Harrington, T.C. Phylogenetic analysis places the Phialophora-like anamorph genus Cadophora in the Helotiales / T.C. Harrington, D.L. McNew // *Mycotaxon*. – 2003. – № 87. – 141-151.
264. Titova, J.A. Mycobiota of Chinese palace rafters / J.A. Titova // *Abst. of 15th Congress European Mycol.* (16-21 September 2007). – Saint-Petersburg, 2007. – P. 105.
265. Weber, E. The Lecythophora-Coniochaeta complex. II. Molecular studies based on sequences of the large subunit of ribosomal DNA / E. Weber, C. Görke, D. Begerow // *Nova Hedwigia*. – 2002. – № 74. – P. 187-200.
266. Wilson, K. Preparation of genomic DNA from bacteria / K. Wilson // *Current protocols in molec. biol.* – 1987. – P. 241–245.

267. White, T.J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics / T.J. White, T.D. Bruns, S. Lee, J.W. Taylor // PCR Protocols: a Guide to methods and applications. – 1990. – P. 315-322.
268. White, N.A.P. Molecular analysis of intraspecific variation between building and 'wild' isolates of *Serpula lacrymans* and their relatedness to *S. himantoides* / N.A.P. White, K. Dehal, J.M. Duncan [et al.] // Mycological Research. – 2001. – Vol. 105. – P. 447-452.
269. Zadoks, J.C. International dispersal of fungi / J.C. Zadoks // Netherlands J. Plant Pathol. – 1967. – Vol. 73, Supp. 1. – P. 61-80.
270. Zaremski, A. Molecular characterization of wood-decaying fungi / A. Zaremski, M. Ducuosso, Y. Prin, D. Fouquet // Bois et Forêts des Tropiques. Special issue. – 1999. – P. 76-81.
271. Zhang, Z. A greedy algorithm for aligning DNA sequences / Z. Zhang, S. Schwartz, L. Wagner, W. Miller // J. Computat. Biol. – 2000. – Vol. 7, № 1-2. – P. 203-214.

СХЕМА РАЗВИТИЯ БИОПОРАЖЕНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ



Рекомендации по предохранению деревянных конструкций от биодеструкции

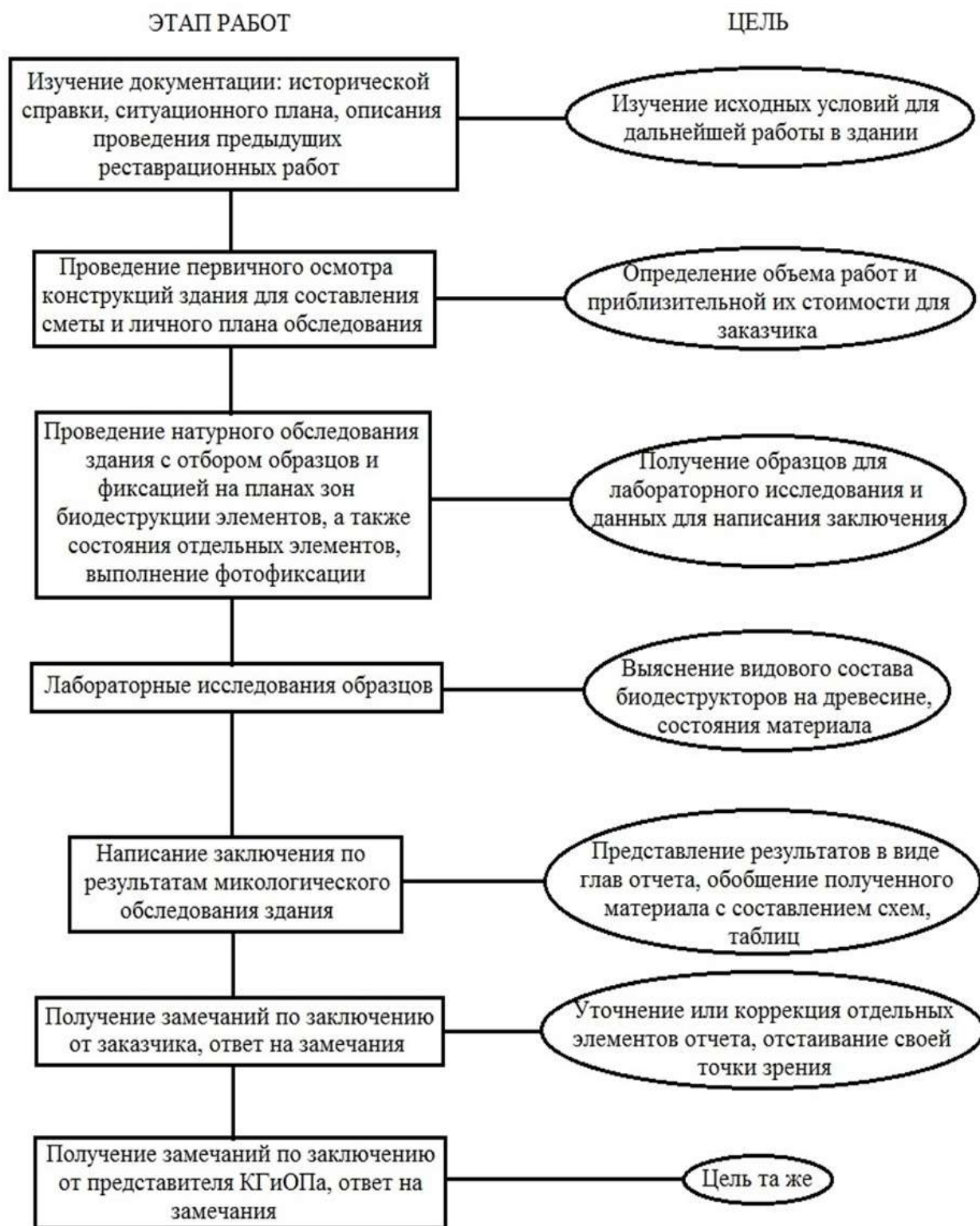
1. Использование маршрутного и физических методов обследования для оценки общего состояния элементов конструкций, формирования алгоритма отбора образцов и предварительной консервации объекта.
2. Использование в качестве экспресс-методов оценки степени биодеструкции основных биополимеров высокочувствительной жидкостной хроматографии, УФ- и ИК-спектрометрии, масс-спектрометрии.
3. Установление предварительной консервации объекта, необходимыми условиями которой являются избежание константных условий повышенных влажности и температуры, а также снижение антропогенного воздействия в любой форме.
4. Активная вентиляция помещений объекта с возможной поверхностной стерилизацией УФ-облучением.
5. Использование классических популяционных микологических методов диагностики биодеструкторов в образцах.
6. Установление окончательного диагноза на основании использования молекулярно-генетических методов определения деструктурирующих организмов.
7. Установление точной степени биодеструкции элементов объекта на основании использования количественных химических методов определения содержания основных компонентов, влажности и зольности образцов.
8. Использование полученных результатов и экспериментальных данных для составления планов консервации и реставрации объектов культурного наследия.

9. Перманентное определение эффективности воздействия различных микоцидных химических препаратов на физиологически активные комплексы грибов.

10. Разработка методических рекомендаций и регламентов по использованию различных микоцидных препаратов для купирования процессов биоконверсии материалов конструкций.

11. Разработка регламентов работ по реставрации и консервации исторического объекта.

Схемы проведения реставрационных работ с элементами конструкций разной степени биодеструкции древесины



РЕСТАВРАЦИОННАЯ СХЕМА

Составляется для элементов определенной категории, например, крупноразмерные элементы I-й степени интенсивности биодеструкции (II-й или III-й степени); мелкоразмерные элементы.

Примеры:

1. Пораженные с III-й степенью интенсивности биопоражения домовыми грибами элементы удалить. Не складировать в здании, вывозить без промедления.

2. Элементы, пораженные домовым грибом со II-й степенью интенсивности биодеструкции, реставрировать следующим образом:

- Удалить часть элемента, пораженного грибом, захватывая 50 см здоровой древесины.
- Заменить удаляемый участок свежей древесиной, обработанной антисептиком и просушенной до 24 %-й влажности.
- Оставленный участок элемента обработать антисептиком.
- Обработку проводить в сухую погоду при температуре воздуха не ниже +10° С, равномерно промазывая всю поверхность.

РЕСТАВРАЦИОННЫЙ ПЛАН

Включает в себя перечисление конкретных элементов и зон, где требуется применение данной реставрационной схемы. Может содержать текстовое описание или графический план с нанесенными на него обозначениями.